ИнтерКарто. ИнтерГИС

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Материалы Международной конференции

Ташкент (Узбекистан), 1–2 июня,
Пятигорск (Россия), 24–26 сентября,
Тбилиси (Грузия), 28–29 сентября, 2020

Том 26

Часть 3

http://intercarto.msu.ru

Москва
Издательство Московского университета
2020

ISSN 2414-9179 (Print)
ISSN 2414-9209 (Online)
УДК 911.2:528

Организаторы конференции:

Международная картографическая ассоциация (МКА), Международная академия наук Евразии, Центр мировой системы данных по географии ICSU-WDS, МГУ имени М. В. Ломоносова, Северо-Кавказский федеральный университет, Севастопольский государственный университет, Тбилисский государственный университет, Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, Секция океанологии, физики атмосферы и географии Отделения наук о Земле РАН

ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития
И 732 территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26. Ч. 3. 479 с.

Сборник включает материалы, представленные на Международную конференцию ИнтерКарто. ИнтерГИС 26. В статьях рассматриваются теоретические и методические аспекты геоинформационного и картографического обеспечения экологических, экономических и социальных вопросов устойчивого развития, геоинформатики, картографии, создания атласов, дистанционного зондирования Земли. Также рассматриваются аспекты картографического и геоинформационного обеспечения решения вопросов общественного здоровья, сельского хозяйства и землепользования, туризма, природного и культурного наследия, исторической географии и географического образования. Освещено состояние географической и картографической науки в Грузии. Сборник выпускается 1 раз в год, начиная с 1994 г. В 2020 г. конференция «ИнтерКарто. ИнтерГИС» проведена совместно с конференцией «ГИС в Центральной Азии» (GISCA 2020) при поддержке проекта DSinGIS программы Европейского Союза “Erasmus+”.

Главный редактор: **В. С. Тикунов** (МГУ, советник рабочей группы «Картография для устойчивого развития» МКА)

Ответственные редактора: **М. В. Грибок** (МГУ), **О. Ю. Черешня** (МГУ)

Редакционная коллегия: **О. Е.Архипова** (Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону), **П. Я. Бакланов** (Тихоокеанский ин-т географии РАН, г. Владивосток), **А. Р. Батуев** (Ин-т географии СО РАН, г. Иркутск), **В. С. Белозеров** (Северо-Кавказский федеральный ун-т, г. Ставрополь), **С. Н. Бобылев** (МГУ), **Ц. Вэйхун** (Нац. исслед. центр инженерии и геоматики, Китай), **Г. Гиенко** (Ун-т Аляски, США), **М. Говоров** (Университетский Колледж Маласпина, Канада), **Н. Гойко** (Ун-т Черногории), **С. Горин** (Ун-т Св. Кирилла и Мефодия, Македония), **Н. Караниколас** (Ун-т Аристотеля, Греция), **Т. Кольчугина** (Корпорация технологий устойчивого развития, США), **А. В. Кошкарев** (Институт географии РАН), **Х. Кремерс** (советник рабочей группы «Картография для устойчивого развития» МКА, Германия), **А. Курбан** (Синьцзянский ин-т экологии и географии, Китай), **Х. Линь** (Китайский ун-т Гонконга), **Д. В. Лисицкий** (Сибирский государственный ун-т геосистем и технологий, г. Новосибирск), **Д. М. Лопес Лопес** (Мексика), **И. К. Лурье** (МГУ), **Ф. Де Мейер** (Гентский ун-т, Бельгия), **М. В. Нырцов** (МГУ), **Г. Нямдава** (Министерство окружающей среды, зелёного развития и туризма, Монголия), **Ф. Ормелинг** (Ун-т Утрехта, Нидерланды), **Е. А. Паниди** (Санкт-Петербургский государственный ун-т), **А. Н. Панин** (МГУ), **А. В. Погорелов** (Кубанский государственный ун-т, г. Краснодар), **С. В. Пьянков** (Пермский государственный ун-т), **И. Н. Ротанова** (Алтайский государственный ун-т, г. Барнаул), **Н. Улугтекин** (Стамбульский технический ун-т, Турция), **Н. Н. Филатов** (Институт водных проблем Севера РАН, г. Петрозаводск), **М.-И. Фрейтас** (Гос. ун-т Сан-Паулу, Бразилия), **Р. Хусса** (Марокко), **А. Н. Чумаченко** (Саратовский государственный ун-т), **Щитова Н. А.** (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь)

При цитировании просим использовать точное наименование сборника.
Образцы цитирования:
Ivanov A. B., Petrov A. B. Title of the article. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2020. V. 26. Part 3. P. 110–120. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-110-120 (для цитирования на английском языке).
Иванов И. О., Петров И. О. Название статьи. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2020. Т. 26. Ч. 3. С. 110–120. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-110-120 (для цитирования на русском языке).

Адрес редакции:
Лаборатория комплексного картографирования географического факультета МГУ
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, комн. 2209, тел.: +7(495)939-23-54, *e-mail:* **intercarto@yandex.ru**
Интернет-сайт: **intercarto.msu.ru**

© Международная картографическая ассоциация, 2020
© Коллектив авторов, 2020

InterCarto. InterGIS

GI SUPPORT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TERRITORIES

Proceedings of the International conference

Tashkent (Uzbekistan), June 1–2,
Pyatigorsk (Russia), September 24–26,
Tbilisi (Georgia), September 28–29, 2020

Volume 26

Part 3

http://intercarto.msu.ru

Moscow
Moscow University Press
2020

ISSN 2414-9179 (Print)
ISSN 2414-9209 (Online)

Organized by:

International Cartographic Association (ICA), International Eurasian Academy of Sciences, World Data Center for Geography ICSU-WDS, Moscow State University named after M. V. Lomonosov (MSU), North Caucasus Federal University, Sevastopol State University, Tbilisi State University, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Section of Oceanology, Atmospheric Physics and Geography of the Division of Earth Sciences of RAS

InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2020. V. 26. Part 3. 479 p.

The Proceedings include papers presented at the "InterCarto. InterGIS 26" International conference. The articles are reviewed theoretical and methodological aspects of geoinformation and cartographic support of ecological, economic and social aspects of sustainable development, geoinformatics, cartography, creation of the atlases, remote sensing of the Earth. Aspects of cartographic and geoinformation providing of issues of public health, agriculture and land use, tourism, natural and cultural heritage, historical geography and geographical education also are considered. The state of geographical and cartographic science in Georgia is highlighted. The Proceedings have been published once per year since 1994. In 2020, the conference "InterCarto. InterGIS" was held together with the conference "GIS in Central Asia" (GISCA 2020) supported by the DSinGIS project of "Erasmus+" Programme of the EU.

Editor-in-Chief: **V. Tikunov** (MSU, Advisor to the Working Group "Cartography for Sustainable Development" ICA)

Executive Editors: **O. Chereshnya** (MSU), **M. Gribok** (MSU)

Editorial Board: **O. Arkhipova** (Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences (RAS), Rostov-on-Don), **P. Baklanov** (Pacific Institute of Geography RAS, Vladivostok), **A. Batuev** (Institute of Geography SB RAS, Irkutsk), **V. Belozerov** (North-Caucasus Federal University, Stavropol), **S. Bobylev** (MSU), **A. Chumachenko** (Saratov State University), **N. Filatov** (Institute of Water Problems of the North of RAS, Petrozavodsk), **M. I. Freitas** (UNESP São Paulo State University, Brazil), **G. Gienko** (University of Alaska, USA), **N. Gojko** (University of Montenegro), **S. Gorin** (St. Cyril and St. Methodius University, Macedonia), **M. Govorov** (Malaspina University College, Canada), **R. Houssa** (Morocco), **N. Karanikolas** (Aristotle University of Thessaloniki, Greece), **T. Kolchugina** (Sustainable Development Technology Corporation, USA), **A. Koshkarev** (Institute of Geography RAS, Moscow), **H. Kremers** (Advisor of ICA Working Group Cartography for Sustainability, Germany), **A. Kurban** (Xinjiang Institute of Ecology and Geography, China), **H. Lin** (Chinese University of Hong Kong), **D. Lisitsky** (Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk), **D. M. Lopez Lopez** (Mexico), **I. Lourie** (MSU), **Ph. De Maeyer** (Ghent University, Belgium), **G. Nyamdavaa** (Ministry of Environment, Green Development and Tourism, Mongolia), **M. Nyrtsov** (MSU), **F. Ormeling** (Utrecht University, Netherlands), **E. Panidi** (St. Peterburg State University), **A. Panin** (MSU), **A. Pogorelov** (Kuban State University, Krasnodar), **S. Pyankov** (Perm State University), **I. Rotanova** (Altai State University, Barnaul), **N. Shchitova** (North Caucasus Federal University, Stavropol), **N. Ulugtekin** (Istanbul Technical University, Turkey), **C. Weihong** (National Engineering Research Center for Geomatics of China)

Please use the exact name of the Proceedings for citations.
Citation example:
Ivanov A. B., Petrov A. B. Title of the article. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2020. V. 26. Part 3. P. 110–120. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-110-120.

Editorial Office:
Integrated Mapping Laboratory, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;
119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, of. 2209; tel.: +7(495)939-23-54; *e-mail:* **intercarto@yandex.ru**
Website: **intercarto.msu.ru**

© International Cartographic Association, 2020
© Authors, 2020

КАРТЫ И ГИС В ИССЛЕДОВАНИЯХ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ

MAPS AND GIS IN PUBLIC HEALTH RESEARCH

УДК: 912.4 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-5-16**

Н.А. Шартова[1], О.Ю. Черешня[2], В.С.Тикунов[3,4]

РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИЧИН СМЕРТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АННОТАЦИЯ

Современные исследования показывают существенное неравенство в показателях общественного здоровья и смертности во многих странах, и Россия не является исключением. Более того, по некоторым показателям неравенство в России крайне высоко как региональное, так и между разными социально-экономическими, этническими и демографическими группами. В связи с этим особенно актуальной представляется математическая оценка основных показателям причин смертности на региональном уровне. В данной работе представлено исследование географии причин смерти в России с 2011 по 2015 г. в регионах и крупных городах. Оценка проводилась с использованием ранжирования по стандартизированным демографическим показателям (смертность населения по причинам: некоторые инфекционные и паразитарные заболевания; новообразования; заболевания системы кровообращения; респираторные заболевания; заболевания органов пищеварения; внешние причины смерти). Пространственные особенности смертности по каждой из

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail:* **shartova@yandex.ru**
[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия*; e-mail:* **chereshnia.o@geogr.msu.ru**
[3] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия*; e-mail:* **vstikunov@yandex.ru**
[4] Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, д. 33, 299053, Севастополь, Россия; *e-mail:* **vstikunov@yandex.ru**

основных причин определены для мужчин и женщин отдельно. Оценка и ранжирование городов и регионов России была разработана на основе математического алгоритма, разработанного одним из авторов [*Тикунов*, 1997]. Полученные результаты были картографированы с применением индивидуальной шкалы для каждой причины смерти.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: общественное здоровье, причины смерти, оценка, регионы России

Natalia A. Shartova[1], **Olga Yu. Chereshnia**[2], **Vladimir S. Tikunov**[3,4]

REGIONAL EVALUATION OF THE REASONS OF DEATH IN THE RUSSIAN FEDERATION

ABSTRACT

Modern studies show significant inequalities in public health and mortality in many countries, and Russia is no exception. Moreover, according to some indicators, inequality in Russia is extremely high, both regionally and between different socio-economic groups. In this regard, a mathematical assessment of the main indicators of the causes of mortality at the regional level seems particularly relevant. This paper presents a study of the geography of causes of death in Russia from 2011 to 2015 in regions and large cities. The assessment was carried out using ranking according to standardized demographic indicators (mortality for reasons: some infectious and parasitic diseases; neoplasms; diseases of the circulatory system; respiratory diseases; diseases of the digestive system; external causes of death). The spatial features of mortality for each of the main causes are determined separately for men and women. Assessment and ranking of cities and regions of Russia was developed on the basis of a mathematical algorithm developed by one of the authors [*Tikunov,* 1997]. The results were mapped using an individual scale for each cause of death.

KEYWORDS: public health, causes of death, assessment, regions of Russia

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день многочисленные исследования показывают сохраняющееся или даже растущее неравенство в показателях общественного здоровья между верхними и низшими социально-экономическими группами, между странами и внутри них [*Mackenbach et al*., 2015; *Tikunov, Chereshnya,* 2016; *Mackenbach et al*., 2008]. Как правило, люди с более низким уровнем образования или низкой профессиональной квалификации, а также и уровнем дохода умирают в более молодом возрасте; в этих группах населения значительно выше распространённость многих болезней и травм [Commission on Social Determinants…, 2008; *Mackenbach*, 2006]. Несмотря на то что в последние годы для России характерны тенденции снижения уровня смертности практически по всем основным классам причин смерти (болезней системы кровообращения, внешних причин и т.п.; исключение составляет смертность от новообразований), сохраняется проблема глубокого пространственного неравенства в общественном здоровье (16 лет между самым высоким и самым низким региональным показателем ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ)),

[1] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia; *e-mail:* **shartova@yandex.ru**
[2] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia; *e-mail:* **chereshnia.o@geogr.msu.ru**
[3] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory 1, 119991, Moscow, Russia; *e-mail:* **vstikunov@yandex.ru**
[4] Sevastopol State University, Universitetskaya str., 33, 299053, Sevastopol, Russia; *e-mail:* **vstikunov@yandex.ru**

гендерные различия в ожидаемой продолжительности жизни по-прежнему одни из самых высоких в мире (в 2016 г. разрыв между ОПЖ мужчин и женщин составлял 10,5 лет), а также одно из самых больших в мире различий в ожидаемой продолжительности жизни между группами с разным уровнем образования [*Shkolnikov et al.,* 2004]. Учитывая экономическое благосостояние России, ожидаемая продолжительность жизни может быть существенно выше, а неравенство — ниже. Ожидаемая продолжительность жизни в 2015 г. как для России, так и для Москвы была ниже ожиданий, основанных на кривой Престона, на 6,5 лет и 4,9 года соответственно [*Shkolnikov et al*., 2019]. А. Вишневский, Е. Андреев, С. Тимонин считают, что высокая преждевременная смертность от болезней системы кровообращения [*Вишневский и др.*, 2016] и её долговременная неблагоприятная динамика — одна из главных причин отставания России от развитых стран по продолжительности жизни. Другой фактор дефицита ожидаемой продолжительности жизни по сравнению со странами с аналогичным уровнем ВВП на душу населения — высокая смертность от внешних причин в трудоспособном возрасте [*Shkolnikov et al.,* 2019].

В связи с этим изучение регионального неравенства в причинах смерти представляется актуальной задачей. Цель данного исследования — лучше понять региональные паттерны смертности в России путём проведения анализа межрегионального неравенства смертности внутри страны, что позволит выделить ведущие региональные факторы, приводящие к усугублению пространственного неравенства в общественном здоровье России. Задачи: сбор первичной информации по смертности населения и составление базы данных; создание автоматизированного алгоритма стандартизации показателей смертности по полу и возрасту и расчёт производных показателей; разработка классификации по уровню смертности и проведение математико-картографического анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использовался текст со сносками на литературные [*Jones*, 2014, p. 115], электронные и пр. источники[1]. Оценка проводилась с использованием оценочной классификаций по демографическим показателям (стандартизованные коэффициенты смертности на 100 000 населения соответствующего пола по причинам: некоторые инфекционные и паразитарные заболевания; новообразования; заболевания системы кровообращения; респираторные заболевания; заболевания органов пищеварения; внешние причины смерти) Федеральной службы государственной статистики (Росстат), опубликованных в сборниках «Регионы России» и «Демографический ежегодник России». Исследование базировалось на созданной базе данных по смертности населения в городах РФ за 2011–2015 гг. Массив данных включал в себя 250 территориальных единиц: 85 регионов (в т.ч. города федерального значения) и 165 крупных городов с численностью населения свыше 100 000 чел.

Выбор показателей для внесения в базу данных проводился на основе международной классификации болезней 10-го пересмотра, МКБ-10 [Международная статистическая классификация…, 2003]. Общий принцип формирования системы медико-демографических показателей в базе данных основан на взаимодополняющем использовании первичной статистической информации и расчётных производных показателей. Первичные статистические материалы были собраны в Федеральной службе государственной статистики для 165 городов с численностью населения свыше 100 000 чел. Они представляют собой данные об абсолютном количестве умерших людей и отражены в статистической форме С51 «Распределение умерших по полу, возрастным группам и причинам смерти». Информация представлена отдельно для мужчин и женщин по возрастным категориям: 0–1 год, 1–4 года и т.д. с интервалом в пять лет до возрастной категории свыше 85 лет; всего 19 возрастных групп. Проанализировано 306 причин смерти, включая как классы болезней согласно МКБ-

[1] Название ресурса. Электронный ресурс: http://www.... (дата обращения 24.05.2019)

10, так и отдельные нозоформы. В результате было выбрано 140 причин смертности, вошедших в базу данных и имеющих приоритетное значение для проведения медико-географического анализа состояния здоровья городского населения.

На основе данных первичной статистики сформированы производные (расчётные) медико-демографические показатели [Практическая демография, 2005; *Денисенко, Калмыкова*, 2009]. Их расчёт связан с тем, что для проведения корректного сравнительно-географического анализа медико-демографических процессов следует использовать стандартизованные показатели, для которых устранено влияние половозрастной структуры населения.

Существует несколько методов стандартизации, выбор которых зависит от исходных данных. В настоящем исследовании применён метод прямой стандартизации, при которой повозрастные коэффициенты смертности реального населения перевзвешиваются по возрастной структуре стандарта. В качестве эталона выбран европейский стандарт Всемирной организации здравоохранения 1975 г., представляющий собой обобщённую возрастную структуру ряда европейских стран, которая принята в качестве основы при стандартизации демографических показателей. Для территории России европейский стандарт целесообразно использовать в силу того, что возрастная структура населения нашей страны близка к государствам Европы.

Для определения производных показателей был разработан алгоритм автоматизированного расчёта стандартизованных медико-демографических показателей с использованием СУБД MSVisualFoxPro 9.0 (рис. 1). Необходимость разработки данного алгоритма связана с тем, что информация об абсолютном количестве умерших по причинам смерти в городах РФ представляет собой большой массив информации, трудно обрабатываемый в ручном режиме. Разработанная программа позволяет выбрать необходимую комбинацию (год, причина смерти, возрастная группа, пол и др.) с последующим выводом таблиц MS Excel, содержащих возрастной коэффициент смертности, стандартизованный коэффициент смертности, нижнюю и верхнюю границы доверительного интервала, а также длину доверительного интервала (рис. 2).

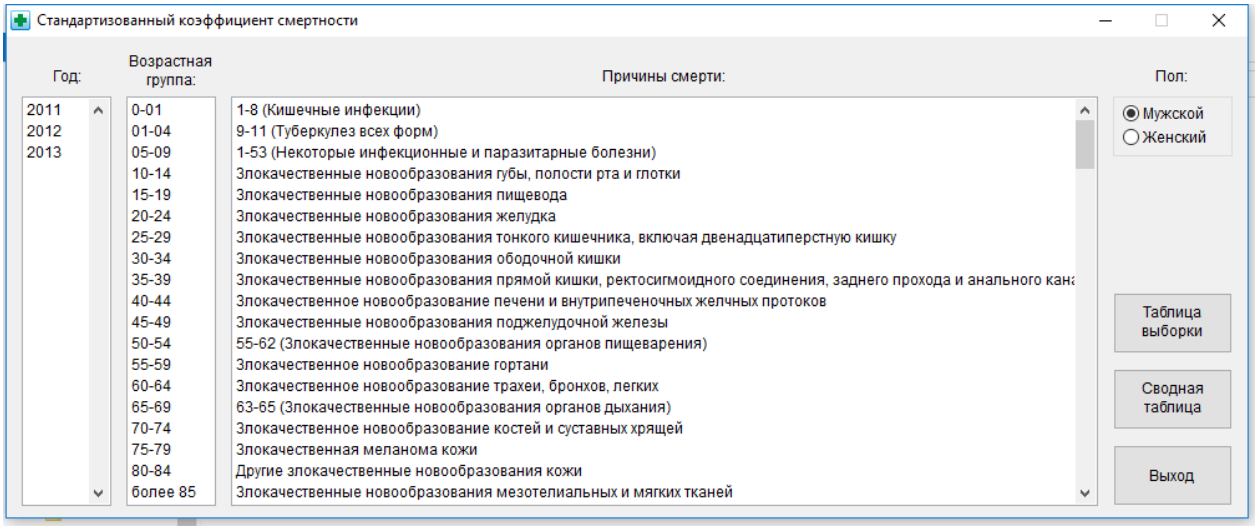


Рис. 1. Интерфейс программы расчёта стандартизованного коэффициента смертности
Fig. 1. Standardized mortality rate calculation program interface

Таким образом, проведённая работа по обработке первичного материала позволила получить производные данные, представляющие возрастной состав населения по 5-летним группам, смертность по причинам, соответствующим классам болезней, согласно МКБ-10 и ряду патологий, отдельно для мужчин и женщин.

1	141-150 (Цереброваскулярные болезни), Женщины, 2012														
2	Город	0-01	01-04	05-09	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64
3	Белгород	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0	0,027	0,017	0,024	0,067
4	Старый Оскол	0	0	0	0	0	0	0	0,007	0	0	0,039	0,026	0,047	0,056
5	Брянск	0	0	0	0	0	0	0	0,004	0,005	0,015	0,027	0,026	0,065	0,114
6	Владимир	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,023	0,016	0,026	0,044	0,057
7	Ковров	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,014	0,027	0,043	0,064	0,189
8	Муром	0	0	0	0	0	0	0	0,017	0,016	0,017	0,016	0,039	0,089	0,163
9	Воронеж	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0	0,006	0,011	0,019	0,025	0,04	0,074
10	Иваново	0	0	0	0	0	0	0,004	0	0,004	0,019	0,033	0,017	0,059	0,119
11	Калуга	0	0	0	0	0	0	0	0,016	0,011	0,012	0,017	0,027	0,034	0,084
12	Обнинск	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,019	0	0,014	0,042	0,049
13	Кострома	0	0	0	0	0	0	0	0	0,007	0	0,007	0,047	0,063	0,07
14	Курск	0	0	0	0	0	0	0,004	0	0	0,005	0,023	0,039	0,056	0,078
15	Липецк	0	0	0	0	0,006	0	0	0,003	0,007	0,004	0,011	0,02	0,069	0,062
16	Елец	0	0	0	0	0	0	0	0	0,035	0,019	0,018	0,075	0,063	0,111
17	Железнодорожный	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,011	0,028	0,04	0,011	0,031	0,137
18	Жуковский	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,091	0,059	0,053	0
19	Королев	0	0	0	0	0	0	0,008	0	0,018	0,01	0	0	0,071	0,037
20	Коломна	0	0	0	0	0	0	0	0	0,026	0	0,027	0,093	0,083	0,086
21	Орехово-Зуево	0	0	0	0	0	0	0	0,014	0,014	0,016	0,016	0,052	0,069	0,082
22	Подольск	0	0	0	0	0	0	0	0	0,008	0,009	0	0,017	0,044	0,065
23	Серпухов	0	0	0	0	0	0	0	0	0,014	0,015	0,029	0,064	0,066	0,142

Станд. коэфф. смертн.

Рис. 2. Фрагмент вывода итоговых таблиц стандартизованных коэффициентов смертности
Fig. 2. A fragment of the output of the summary tables of standardized mortality rates

Объектом классификации являлись 6 видов причин смертности (некоторые инфекционные и паразитарные заболевания; новообразования; заболевания системы кровообращения; респираторные заболевания; заболевания органов пищеварения; внешние причины смерти), учитываемых по территориальным единицам (ТЕ) РФ.

Обозначим всё множество ТЕ символом $X = \{x_1, \ldots, x_N\}$, где x_i — i-я ТЕ, N — количество ТЕ. В пространственном отношении ТЕ описываются различными показателями и метриками, основными из которых можно считать способы расчёта расстояния между ТЕ (т.е. коэффициентов «сходства» или «отличия» ТЕ). Помимо географического пространства, исследуемая совокупность ТЕ фиксирована и в пространстве M атрибутивных показателей (или пространстве M атрибутивных признаков). В этом пространстве ОТЕ теряют свою географичность и независимо от своей первоначальной природы становятся M-мерными точками. Результатом нахождения ТЕ в <u>каждом</u> признаковом пространстве является одно из двух представлений.

1. Представление исходных ТЕ в виде матрицы ТЕ-признак, отражающей измерение M признаков на N ТЕ и содержащей N строк и M столбцов:

$$X = \left(\frac{x_1}{\ldots x_N}\right) = (x^{(1)}, \ldots, x^{(M)}) =$$
$$\left(x_1^{(1)} \ \cdots \ \cdots \ \cdots \ x_{N-1}^{(1)} \ \cdots \ x_1^{(j)} \ \cdots \ x_1^{(M)} \ \cdots \ \cdots \ \cdots \ x_{N-1}^{(j)} \ \cdots \ x_{N-1}^{(M)} \ x_N^{(1)} \ \cdots \ x_N^{(j)} \ \cdots \ x_N^{(M)}\right),$$

где
$x_i = (x_i^{(1)}, \ldots, x_i^{(M)})$ — i-я ТЕ в M-мерном пространстве признаков,
$x^{(j)}$ — j-й признак, $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \ldots, x_N^{(j)})$,
$x_i^{(j)}$ — значение j-го признака на i-й ТЕ,
$i \in \{1, \ldots, N\}$, $j \in \{1, \ldots, M\}$.

2. Представление исходных ТЕ в виде матрицы ТЕ-ТЕ, отражающей результат сопоставления ТЕ в признаковом или географическом пространстве между собой и содержащей по N строк и столбцов:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N-11} & \dots & a_{N-1\,j} & \dots & a_{N-1N} \\ a_{N1} & \dots & a_{N\,j} & \dots & a_{N\,N} \end{pmatrix}, \text{ где}$$

a_{ij} — результат сопоставления i-й и j-й ТЕ, $i, j \in \{1, \dots, N\}$.

Обычно a_{ij} означает меру различия (или сходства) ТЕ. В случае интерпретации a_{ij} в качестве мер различия матрица A — симметричная с нулями на главной диагонали. Переход от матрицы ТЕ-признак к матрице ТЕ-ТЕ осуществляется с помощью задания метрики d (или расстояния между ТЕ).

Следующим этапом классификации ТЕ являлась их предварительная обработка, включающая нормировку, взвешивание и снижение размерности.

В случае типологической классификации нормировка осуществлялась по дисперсиям и математическим ожиданиям.

Целью данной нормировки является приведение каждого показателя к стандартному виду (в результате математическое ожидание любого показателя становится равным нулю, а дисперсия — единице).

Пусть

$$x_{min}^{(j)} = \{x_i^{(j)} \mid i \in 1, \dots, N\},$$
$$x_{max}^{(j)} = \{x_i^{(j)} \mid i \in 1, \dots, N\},$$
$$c \in [x_{min}^{(j)}, x_{max}^{(j)}].$$

Тогда нормировка заключается в пересчёте

$$x_i^{(j)} = \frac{x_i^{(j)} - c}{x_{max}^{(j)} - x_{min}^{(j)}} \ \forall j \in \{1, \dots, M\}, i \in \{1, \dots, N\}, \text{ т.е.}$$
$$\Delta_1 = c, \Delta_2 = x_{max}^{(j)} - x_{min}^{(j)}.$$

В качестве c берут максимальные или минимальные значения j-го показателя $x_{max}^{(j)}$ или $x_{min}^{(j)}$. Полученные в результате нормировки по наилучшим или наихудшим значениям $x_i^{(j)}$ ограничены отрезком [0, 1].

Следующим этапом было применение метода главных компонент. Анализ главных компонент, или компонентный анализ — это один из наиболее часто используемых методов снижения размерности. Данным методом решается задача отыскания на основе существующей системы атрибутивных признаков, описывающих ОТЕ, новой системы со следующими свойствами:

- признаки новой системы являются линейными комбинациями признаков исходной системы;
- количество признаков в новой системе в общем случае не больше, а на практике всегда меньше числа признаков в исходной системе;
- признаки новой системы ортогональны, т.е. некоррелированы;
- признаки новой системы упорядочены в порядке убывания дисперсии;

- признаки новой системы несут столько же информации (или наперёд заданный процент информации, например, 90 %) об изменчивости объектов, сколько и исходные признаки. Под информацией понимается дисперсия признаков.

Метод главных компонент следует применять для исправления искажённого взаимными корреляциями исходного пространства признаков, снижения объёмов хранящихся данных без потери существенной части информации о ТЕ, визуализации ТЕ в пространстве признаков (что достигается, например, изображением ТЕ в виде точек на плоскости первых двух главных компонент) и выявления латентных (т.е. скрытых, не наблюдаемых в явном виде) показателей, отражающих суть процесса или явления.

В матричной форме результат работы метода главных компонент записывается как

$Z = XL$ или $Z_{N\times m} = X_{N\times M} L_{M\times m}$, где

M — количество исходных признаков;

m — количество полученных главных компонент, $m \le M$;

$Z = Z_{N\times m} = (z^{(1)},...,z^{(m)})$ — матрица новых признаков (как и в исходной матрице, признаки расположены по столбцам);

$X = X_{N*M} = (x_i^{(1)},\dots, x_i^{(M)})$ — исходная матрица ТЕ-признак;

$L = L_{M\times m} = (l^{(1)},...,l^{(m)})$ — вычисленная матрица компонентных нагрузок.

Наиболее просто воспринимается геометрическая интерпретация метода главных компонент. В многомерном пространстве признаков ТЕ рассматриваются как точки, геометрическая структура облака которых в случае нормального распределения напоминает M-мерный эллипсоид. За новые признаки принимаются главные оси воображаемого эллипсоида, отсортированные в порядке уменьшения дисперсий ТЕ по осям.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные ранжирования по каждой из причин смерти представлены на картах (рис. 3 и 4). Каждой причине смерти у мужчин и у женщин на картах соответствует своя шкала, построенная в зависимости от наилучших и наихудших полученных показателей. Самый насыщенный оттенок соответствует самой высокой смертности от выбранной причины смертности, самый бледный — самой низкой. Все остальные цвета рассчитываются между этими значениями.

Анализ результатов, полученных с использованием данной методики, позволяет выявить те причины смерти, которые отличаются наибольшим или наименьшим разбросом значений по уровню смертности по территории страны.

Рассматривая различные классы причин смерти, можно отметить, что наиболее контрастная ситуация по уровню смертности в городах и регионах складывается от смертности от внешних причин. При этом ситуация сильно различается для показателей среди мужчин и среди женщин.

Для подавляющего большинства регионов характерен высокий уровень смертности среди мужчин. Низкий уровень смертности зарегистрирован преимущественно в городах — Москве, городах Чечни и Дагестана, а также на территории Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского АО. Это может быть обусловлено различными причинами. Так, в Москве это может быть связано с более благополучной социальной ситуацией и развитой медицинской инфраструктурой. Более благополучная социальная обстановка в силу региональной производственной специфики может сказываться и в нефтегазовых регионах — Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском АО. В то время как в отношении показателей регионов Северного Кавказа традиционно возникает вопрос достоверности статистических данных. Для показателя смертности среди женщин в целом характерны такие же пространственные тенденции, однако для большинства регионов типичен низкий уровень смертности. Отдельно следует выделить Республику Тыва, где складывается крайне неблагополучная ситуация по

смертности от внешних причин как среди мужчин, так и среди женщин. При этом в г. Кызыле наблюдается уровень смертности немного ниже, чем в регионе в целом.

Достаточно высокий разброс значений по уровню смертности характерен и для инфекционных и паразитарных болезней. Вновь обращает на себя внимание Республика Тыва — наивысший уровень смертности среди регионов как среди мужчин, так и среди женщин. Кроме того, неблагополучная ситуация характерна для регионов юга Сибири — Республики Бурятии и Иркутской области. Рассматривая отдельные патологии, входящие в состав данного класса, следует отметить, что наибольшее количество умерших приходится на туберкулёз, являющейся социально значимым заболеванием. Учитывая, что в данных регионах наблюдается не только высокий уровень смертности от инфекционных болезней, но и от внешних причин, можно сделать вывод о неблагополучной социальной обстановке на данных территориях.

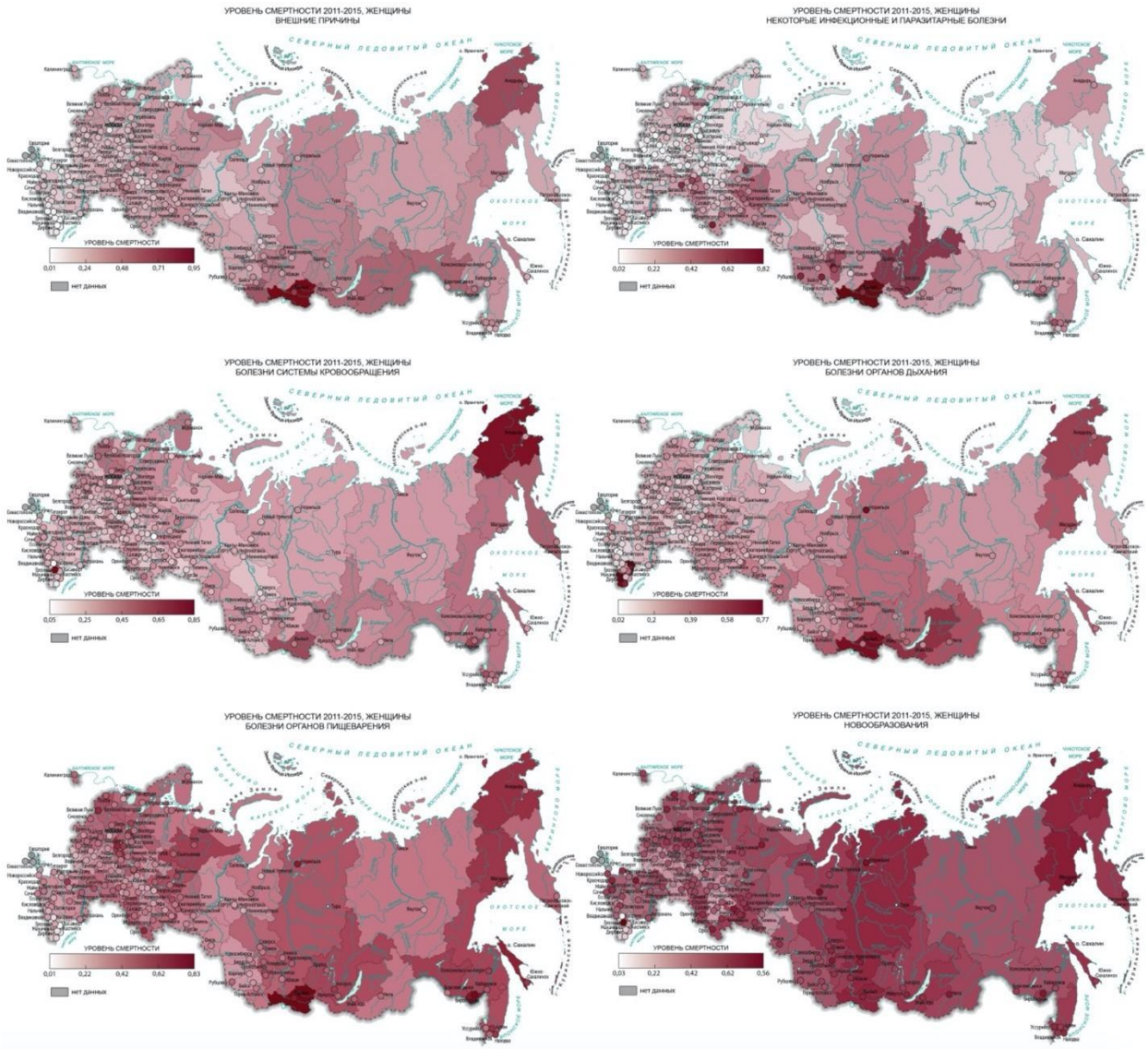


Рис. 3. Ранжирование по каждой из причин смерти 2011–2015, женщины
Fig. 3. Ranking for each of the causes of death 2011–2015, women

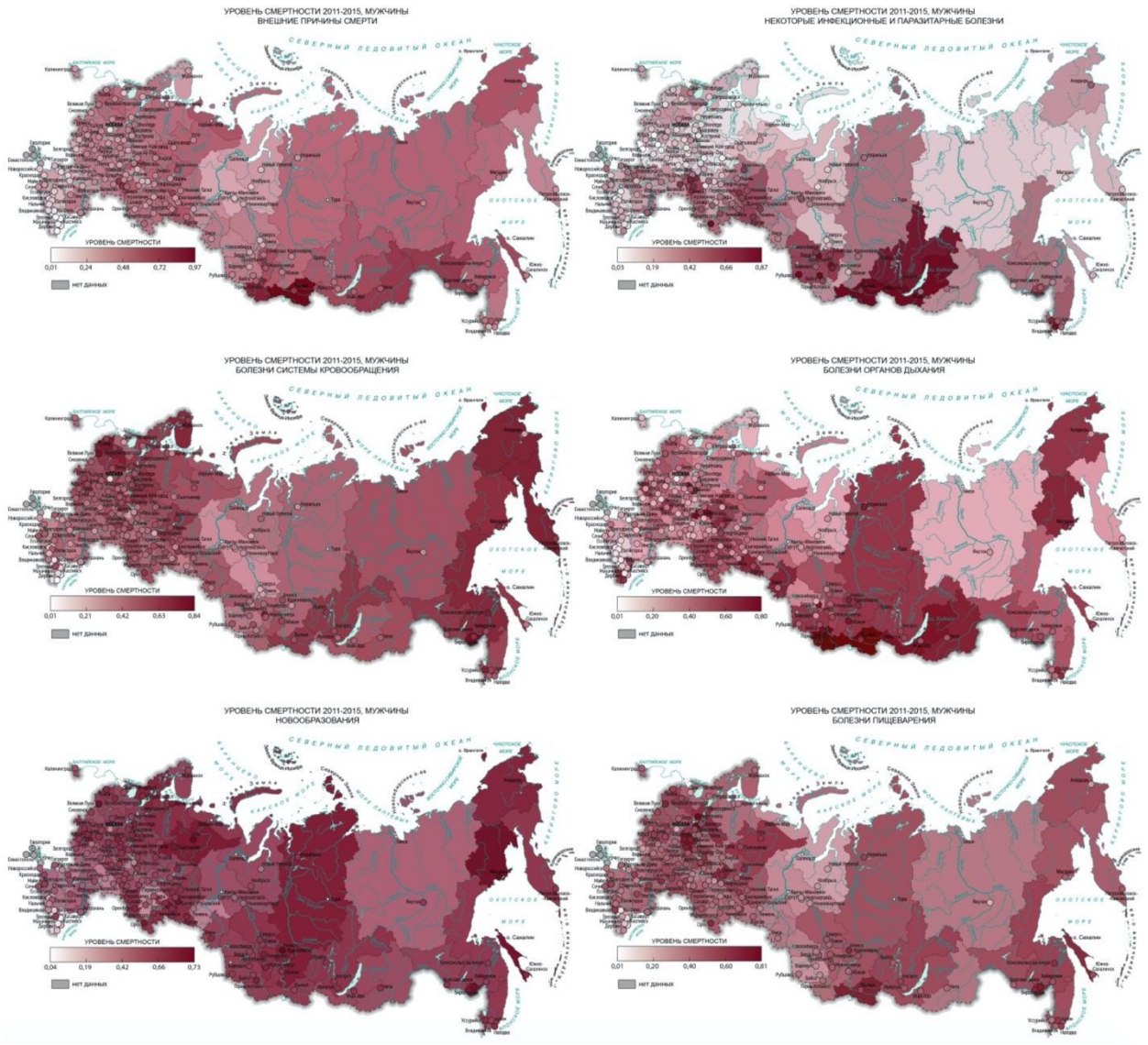


Рис. 4. Ранжирование по каждой из причин смерти 2011–2015, мужчины
Fig. 4. Ranking for each of the causes of death 2011–2015, men

Несмотря на то, что в целом в городах складывается более благополучная ситуация по смертности, в некоторых городах, таких как Орск (Оренбургская область), Балаково (Саратовская область), Березники (Пермский край) и др., регистрируется более высокий уровень смертности как среди мужчин, так и среди женщин. В целом по стране складывается достаточно контрастная картина по уровню смертности с наиболее благополучной ситуацией в центрально-европейских регионах и наименее благополучной в регионах Поволжья, Урала, юга Сибири и Дальнего Востока.

Смертность от болезней системы кровообращения — ещё одна причина смерти наряду с внешними причинами, кардинально отличающаяся в своей пространственной картине для мужчин и женщин. Для большинства регионов характерен высокий уровень смертности среди мужчин. Он наблюдается в европейских регионах севера России — Тверской, Псковской, Новгородской, Мурманской областях. Другой группой городов с высоким уровнем смертности являются практически все дальневосточные регионы — Чукотский АО, Камчатский край, Магаданская область, Еврейская АО и Хабаровский край, а также группа сибирских регионов — Республики Тыва, Бурятия и Иркутская область. На фоне общей

неблагополучной ситуации в стране резко выделяются Москва и города Северного Кавказа с низким уровнем смертности. Также к группе регионов с благополучной ситуацией относятся Ханты-Мансийский АО и Томская область. Уровень смертности среди женщин значительно ниже. В целом наиболее неблагополучная ситуация наблюдается в тех же регионах, что и по смертности среди мужчин. Резко отличаются от остальных территорий Чукотский АО и город Грозный с очень высоким уровнем смертности.

Пространственная картина смертности от болезней органов пищеварения, к которым относятся язвенные болезни, гастриты, панкреатиты, в том числе и алкогольной этиологии, напротив, очень схожа по наблюдаемым региональным тенденциям для мужчин и женщин. По высокому уровню смертности от болезней органов пищеварения следует выделить Республику Тыву, Еврейскую АО и в целом регионы Дальнего Востока, а также Республику Коми, Ивановскую область. Лишь в отдельных городах — Москве, Якутске, Назрани, Хасавюрте, Каспийске и некоторых других северокавказских городах зарегистрирован низкий уровень смертности.

Показатель смертности среди мужчин от болезней органов дыхания, включающих острые респираторные инфекции, бронхиты, пневмонии, распределён по территории страны крайне неоднородно. Вновь выделяется Республика Тыва, а также Республика Алтай, Республика Бурятия, Магаданская область, Чувашская Республика, Ивановская область и др. Наиболее низкие показатели в городах Северного Кавказа и Москве. Выделяется ещё одна особенность: в городах европейской части уровень смертности зачастую значительно ниже, по сравнению с регионами. Для остальной части России такой тенденции не прослеживается. Уровень смертности среди женщин значительно ниже, чем среди мужчин, и имеет более равномерное распределение по территории. Кроме Республике Тывы, высокий уровень смертности зафиксирован в Норильске, Республике Дагестан и Чукотском АО.

Пространственная картина по уровню смертности от новообразований среди мужчин и женщин существенно отличается от всех остальных причин смерти. Для неё характерен равномерно высокий уровень смертности как среди мужчин, так и среди женщин как в регионах, так и в городах. Даже в Москве, отличающейся достаточно благополучной ситуацией по уровню смертности от остальных причин смерти, наблюдаются высокие показатели. Среди отдельных регионов с наиболее высоким уровнем смертности можно выделить Магаданскую область и Чукотский АО. Низкий уровень смертности зарегистрирован в городах Дагестана.

ВЫВОДЫ

Таким образом, к причинам смерти, по которым складывается наиболее неблагополучная ситуация в большинстве регионов, следует отнести внешние причины смерти, болезни системы кровообращения, болезни органов пищеварения, новообразования. Наиболее контрастная ситуация в пространственном отношении характерная для смертности от инфекционных и паразитарных болезней.

Традиционно прослеживаются различия в уровне смертности между мужчинами и женщинами. Для большинства регионов и городов характерен низкий уровень смертности среди женщин от болезней органов дыхания, болезней системы кровообращения, внешних причин, в то время как среди мужчин наблюдаются высокие значения показателя смертности по этим же причинам.

В городах уровень смертности обычно ниже, чем в регионах. Тем не менее прослеживаются исключения, характерные для таких причин смерти, как новообразования и инфекционные и паразитарные болезни.

К абсолютному «лидеру» по уровню смертности следует отнести Республику Тыву, где зарегистрированы высокие значения показателей смертности по всем проанализированным причинам как среди мужчин, так и среди женщин.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 18-05-00236.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 18-05-00236.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вишневский А., Андреев Е., Тимонин С.* Смертность от болезней системы кровообращения и продолжительность жизни в России. Демографическое обозрение, 2016. № 1. С. 6–34.
2. *Денисенко М.Б., Калмыкова Н.М.* Демография. Москва: Инфра-М, 2009. 432 с.
3. Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем. МКБ-10. М.: Медицина, 2003. Т. 1. 741 с.
4. Практическая демография. Учебное пособие для вузов. Москва: ЦСП, 2005. 280 с.
5. *Тикунов В.С.* Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). Смоленск: Издательство СГУ, 1997. 367 с.
6. Commission on Social Determinants of Health. Closing the gap in a generation. Health equity through the social determinants of health. Geneva: World Health Organization, 2008.
7. *Mackenbach J.P.* Health inequalities: Europe in profile. London: Department of Health, 2006.
8. *Mackenbach J.P., Kulhánová I., Menvielle G., Bopp M., Borrell C., Costa G., Deboosere P., Esnaola S., Kalediene R., Kovacs K., Leinsalu M., Martikainen P., Regidor E., Rodriguez-Sanz M., Strand B.H., Hoffmann R., Eikemo T., Östergren O., Lundberg O.* Trends in inequalities in premature mortality: a study of 3.2 million deaths in 13 European countries. Journal of Epidemiology and Community Health, 2015. P. 207–206.
9. *Mackenbach J.P., Stirbu I., Roskam A.-J.R., Schaap M.M., Menvielle G., Leinsalu M., Kunst A.E.* European Union Working Group on Socioeconomic Inequalities in Health. Socioeconomic inequalities in health in 22 European countries. New England Journal of Medicine, 2008. P. 2468–2481.
10. *Shkolnikov V.M., Deev A.D., Kravdal Ø., Valkonen T.* Educational differentials in male mortality in Russia and northern Europe. A comparison of an epidemiological cohort from Moscow and St. Petersburg with the male populations of Helsinki and Oslo. Demographic Research, 2004. V. 10. Art. 1. P. 1–26.
11. *Tikunov V.S., Chereshnya O.Y.* Public health index in the Russian Federation from 1990 to 2013 in comparison with other countries. Geography, Environment, Sustainability, 2016. V. 9. No 1. P. 94–108.

REFERENCES

1. Commission on Social Determinants of Health. Closing the gap in a generation. Health equity through the social determinants of health. Geneva: World Health Organization, 2008.
2. *Denisenko M.B., Kalmykova N.M.* Demography. Moscow: Infra-M, 2009. 432 p. (in Russian).
3. International statistical classification of diseases and health problems. ICD-10. Moscow: Medicine, 2003.V.1. 741 p. (in Russian).
4. *Mackenbach J.P.* Health inequalities: Europe in profile. London: Department of Health, 2006.
5. *Mackenbach J.P., Kulhánová I., Menvielle G., Bopp M., Borrell C., Costa G., Deboosere P., Esnaola S., Kalediene R., Kovacs K., Leinsalu M., Martikainen P., Regidor E., Rodriguez-Sanz M., Strand B.H., Hoffmann R., Eikemo T., Östergren O., Lundberg O.* Trends in inequalities in premature mortality: a study of 3.2 million deaths in 13 European countries. Journal of Epidemiology and Community Health, 2015. P. 207–206.
6. *Mackenbach J.P., Stirbu I., Roskam A-JR., Schaap M.M., Menvielle G., Leinsalu M., Kunst A.E.* European Union Working Group on Socioeconomic Inequalities in Health. Socioeconomic

inequalities in health in 22 European countries. New England Journal of Medicine, 2008. P. 2468−2481.
7. Practical demography. Textbook for universities. Moscow: CSP, 2005. 280 p. (in Russian).
8. *Shkolnikov V.M., Deev A.D., Kravdal Ø., Valkonen T.* Educational differentials in male mortality in Russia and northern Europe. A comparison of an epidemiological cohort from Moscow and St. Petersburg with the male populations of Helsinki and Oslo. Demographic Research, 2004. V. 10. Art. 1. P. 1−26.
9. *Tikunov V.S., Chereshnya O.Y.* Public health index in the Russian Federation from 1990 to 2013 in comparison with other countries. Geography, Environment, Sustainability, 2016. V. 9. No 1. P. 94−108.
10. *Tikunov V.S.* Classifications in geography: renaissance or withering? (The experience of formal classifications). Smolensk: Publishing House of SSU, 1997. 367 p. (in Russian).
11. *Vishnevsky A., Andreev E., Timonin S.* Mortality from diseases of the circulatory system and life expectancy in Russia. Demographic Review, 2016. No 1. P. 6−34 (in Russian).

УДК: 504.75: 551.493+633.88 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-17-25**

С.М. Малхазова[1], **Т.В. Котова**[2], **Н.Б. Леонова**[3], **И.М. Микляева**[4]

ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ В АТЛАСНОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ

АННОТАЦИЯ

Лекарственные растения — важный природный ресурс страны, используемый в медицинских и оздоровительных целях. Картографическое изучение природно-ресурсного потенциала лекарственных растений остается актуальной задачей современных эколого-географических и ресурсоведческих исследований. В статье рассмотрены итоги картографирования лекарственных растений, специфика их картографического отображения. С 1964 по 2014 гг. в России издано более 30 научно-справочных, научно-популярных и школьно-краеведческих комплексных и специализированных федеральных и региональных атласов, включающих карты лекарственных растений. Наиболее полно отражены лекарственные растения в атласе, созданном коллективом сотрудников ВИЛАР «Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР», содержащем более 180 карт ареалов 234 видов растений.

Из последних атласных произведений выделены и рассмотрены Национальный атлас Арктики [2017] и Медико-географический атлас России «Целебные источники и растения» [2019], разработанный коллективом сотрудников географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова при поддержке Русского географического общества. В последнем представлены ареалы официнальных растений России, разрешённых Министерством здравоохранения РФ для применения в научной медицине. Атлас содержит 37 карт ареалов 72 видов растений в масштабе 1: 30 000 000 на основе карты зон и типов высотной поясности растительности России. Атлас представляет первое научно-популярное издание, содержащее исчерпывающие сведения о распространении и состоянии популяций официнальных растений страны, о проблемах их использования и охраны в комплексе с общей физико-географической, климатической, биогеографической и медико-географической картографической информацией.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: целебные ресурсы, официнальные растения, база данных, современные атласы, карты ареалов

---

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail:* **sveta_geo@mail.ru**

[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail:* **tatianav.kotova@yandex.ru**

[3] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail:* **nbleonova2@gmail.com**

[4] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail:* **inessa-miklyaeva@yandex.ru**

Svetlana M. Malkhazova[1], Tatiana V. Kotova[2], Nadezhda B. Leonova[3], Inessa M. Miklyaeva[4]

MEDICINAL PLANTS IN ATLAS MAPPING

ABSTRACT

Medicinal plants are an important natural resource of the country, used for medicine and healthcare needs. Cartographic study of the natural resource potential of medicinal plants remains an actual proposal for contemporary ecological geographical and resource researches. The paper concerns the state of medicinal plants mapping in our country, specifics of cartographical display and description. More than 30 scientific reference, popular science complex and special federal and regional atlases including maps of medicinal plants have been published during 1964–2014 period in Russia. Medicinal plants distribution is most fully displayed in the "Atlas of natural ranges and resources of medicinal plants of the USSR". The Atlas contains about 180 maps of ranges for 234 plants species.

Contemporary atlases are represented by the National Atlas of Arctic [2017] and the Medical-Geographical atlas of Russia "Healing springs and plants" [2019] created by scientists of the Lomonosov Moscow State University (the Faculty of Geography). The last atlas contains ranges of officinal plants, permitted by the RF Ministry of Healthcare for usage by scientific medicine. This atlas contains 37 maps of 72 plants' species (1:30 000 000) at the background of the Map of Zones and Altitudinal Types of Vegetation of Russia. This atlas is the first popular science publication containing comprehensive information about state and distribution of officinal plants species, about problems of their use and protection accompanied by physiographic, climatic, biogeographical, medical-geographical maps.

KEYWORDS: healing resources, officinal plants, database, contemporary atlases, maps of ranges

ВВЕДЕНИЕ

Со второй половины 40-х гг. XX в. в нашей стране усилилось внимание к атласному картографированию — созданию федеральных национальных и региональных атласов, включающих карты растительности и растительных ресурсов. В числе последних особое внимание уделяют лекарственным растениям. Преимущество атласов, в сравнении с отдельными картами, заключается в содержащемся в них большом объёме сопоставимой информации [*Сочава*, 1979], которая позволяет прослеживать связи растительности с другими компонентами ландшафта. Наличие в атласах материалов о природных и социально-экономических условиях даёт возможность получить наглядное представление о факторах, прямо или косвенно влияющих на условия произрастания лекарственных растений. На картах обычно отображают ареалы видов лекарственных растений, которые применяют в научной медицине. Целебные ресурсы дикорастущих и культивируемых лекарственных растений имеют важное экономическое значение — обеспечивают необходимым сырьём химико-фармацевтическую промышленность страны. Несмотря на возросший во всем мире интерес к природным растительным лекарственным ресурсам, к валеологии, науке о здоровом образе жизни и этноботанике [*Cunningham,* 2001; *Schultes, Von Rei,* 2008], за рубежом практически нет крупных картографических изданий, посвящённых этой теме. Примером

[1] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia; *e-mail:* **sveta_geo@mail.ru**
[2] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia; *e-mail:* **tatianav.kotova@yandex.ru**
[3] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia; *e-mail:* **nbleonova2@gmail.com**
[4] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia, *e-mail:* **inessa-miklyaeva@yandex.ru**

региональных исследований лекарственных растений, применяемых в научной и народной медицине, могут служить работы по Аляске [*Viereck*, 1995], атлас-определитель лекарственных растений Китая [A Colored…, 2010], работы о проблемах сохранения лекарственных растений [*Akerele et al*., 1991] и мн. др., содержащие в какой-то степени сведения о географии этих видов.

Цель настоящей работы — рассмотрение подходов и полноты отображения лекарственных растений и их ресурсов в отечественном атласном картографировании. Для её достижения в работе последовательно решены следующие задачи: анализ картографической изученности лекарственных растений в федеральных и региональных атласах; характеристика содержания карт и способов изображения, использованных для показа лекарственных растений в разных масштабах; создание карт лекарственных растений в соответствии с разработанной концепцией Медико-географического атласа России «Целебные источники и растения» [2019].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование опирается на обширный по объёму материал научных публикаций, картографических источников, интернет-источников, содержащих сведения о картографическом опыте отображения распространения лекарственных растений и их ресурсов. Научно-методические принципы картографирования природных ресурсов сформировались в русле различных направлений — геоботанического, биоресурсного, экологического и базируются на концепции системного комплексного картографирования [Картография…, 2004]. При анализе картографической изученности лекарственных растений и их ресурсов использован сравнительно-географический метод исследований.

При создании Медико-географического атласа России «Целебные источники и растения» [2019] были использованы информационные источники, разнородные в методическом отношении, во временной и пространственной привязке, что потребовало их предварительной обработки. Авторами была создана База данных лекарственных растений России (Свидетельство регистрации прав на ПО №2018621769), обобщающая более 60 картографических, литературных публикаций и интернет-источников, отражающих характерные особенности распространения официнальных растений. Материалы объединены на основе Web-GIS технологий в информационно-поисковую систему на сайте www.biomap.ru [http//www.biomap.ru].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Картографическая изученность лекарственных растений

В течение пятидесятилетнего периода, с 1964 по 2014 гг., в России опубликовано более 30 научно-справочных, научно-популярных и школьно-краеведческих комплексных и специализированных федеральных и региональных атласов, включающих карты лекарственных растений (рис. 1). Помещённые в них карты имеют разные масштабы и различаются уровнем детальности информации. Обычно на них отображены ареалы видов растений, места находок или территории, занятые основными видами лекарственных растений, а в сопровождающих текстах приведена оценка ресурсного потенциала, указаны места, перспективные для заготовок.

Региональные атласы. К настоящему времени в стране разработано большое количество карт лекарственных растений регионального уровня, где содержится более детальная информация об особенностях распространения и использования этого целебного ресурса в рамках того или иного региона. Большинство таких карт входит в состав региональных комплексных атласов. Карта «Лекарственные растения» м-ба 1: 4 000 000 в Атласе Забайкалья [1967] отражает распространение 22 видов лекарственных растений в границах пяти типов ландшафтов региона. В тексте содержится ботаническая и фармакологическая характеристики, а также сроки сбора сырья. В Атласе Сахалинской области [1967]

приведена карта «Лекарственные и пищевые растения» м-ба 1: 8 000 000. На ней даны комплексы лекарственных растений сообществ низменных равнин и плато в виде диаграмм, отражающих обилие видов. Атлас Алтайского края [1978] содержит карту «Дикорастущие лекарственные растения», м-б 1: 2 500 000. На ней показаны 24 комплекса лекарственных растений, тяготеющих к определённым местообитаниям; отдельно даны границы распространения реликтовых видов. Подобные карты входят в состав региональных атласов многих областей (Белгородская, Брянская, Вологодская, Воронежская, Курская, Ленинградская, Липецкая и др.), республик и автономных округов (Республика Дагестан, Коми, Северная Осетия, Саха Якутия, Ханты-Мансийский АО — Югра, Ямало-Ненецкий АО и др.).

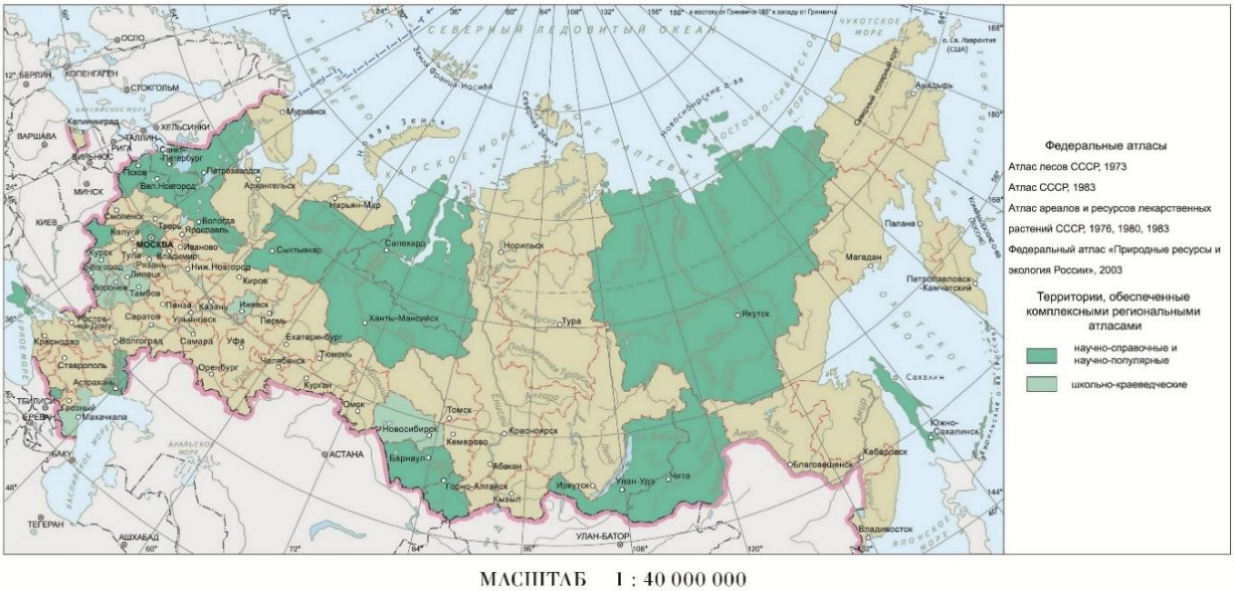


Рис. 1. Картографическая изученность лекарственных растений [Медико-географический…, 2019]
Fig. 1. Cartographical supply of medicinal plants resources [Medical-Geographical…, 2019]

Способы отображения лекарственных растений в региональных атласах различаются. В Атласе Новгородской области [1982] качественным фоном отображено распространение 35 видов преобладающих лекарственных растений; дополнительными значками показаны виды с небольшой численностью. Большинство обзорных карт лекарственных растений отображают распространение видов способом значков или приводят их ареалы. Примером таких карт служат карты, помещённые в школьно-краеведческом Атласе Московской области [1976] в м-бе 1: 1 500 000; Атласе Якутской АССР [1981] в м-бе 1: 30 000 000; в Атласе Читинской области и Агинского Бурятского автономного округа [1997] в м-бе 1: 5 000 000. В Атласе Тамбовской области [1981] лекарственные растения показаны совместно с растительностью на карте м-ба 1: 1 250 000.

Национальный атлас Арктики [2017] включает карту «Ареалы полезных растений Арктики» (м-б 1: 16 000 000), составленную авторами статьи, где отражены северные границы ареалов 4-х видов официнальных растений, а также 4-х видов растений, используемых в народной медицине, составляющих потенциальный фонд официнальных растений.

Федеральный уровень картографирования. Карты лекарственных растений в пределах страны содержатся как в общих комплексных, так и в тематических атласах, посвящённых их характеристике. «Атлас лесов СССР» [1973] содержит 2 карты м-ба 1: 25 000 000, на которых даны ареалы 15 видов лекарственных растений в сопровождении кратких пояснений, отражающих ботаническую характеристику видов и природных

условий, указания на заболевания, в лечении которых эти виды применяют, а также районы заготовок. В Атласе СССР [1983] содержится одна карта «Лекарственные растения» (м-б 1: 36 000 000), где в пределах природных зон и поясов перечислены лекарственные растения (более 210 видов), приуроченные к конкретной зоне и высотному поясу. Карта «Лекарственные растения» (м-б 1: 25 000 000) с ареалами девяти видов и аналитическим обзором ресурсов лекарственных растений размещена в федеральном атласе «Природные ресурсы и экология России» [2002, 2003].

Наиболее полно отражены лекарственные растения в тематическом атласе, созданном коллективом сотрудников ВИЛАР в 1970-х гг. — «Атласе ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР» [издания 1976, 1980 и 1983 гг.], который содержит более 180 карт ареалов 234 видов лекарственных растений, а также карту, отражающую изученность их ресурсов. Сопровождающие тексты раскрывают эколого-ботанические особенности лекарственных растений, их химический состав и использование. Атлас выдержал три издания и не потерял своего значения до настоящего времени.

Объёмную сводку с характеристикой 117 видов лекарственных растений и картами их ареалов представляет атлас «Ареалы лекарственных и родственных им растений СССР», изданный под редакцией В. М. Шмидта Ленинградским государственным университетом и Ботаническим Институтом имени В.Л. Комарова в 1990 г.

Современная концепция картографирования лекарственных растений

В последние годы при поддержке Русского географического общества коллектив сотрудников географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова разработал и создал Медико-географический атлас России «Целебные источники и растения» [2019].

Один из основных разделов атласа, основанный на созданной авторами Базе данных лекарственных растений России [http//www.biomap.ru], содержит ареалы официнальных растений России, разрешённых Министерством здравоохранения РФ для применения в научной медицине и включённых в Государственные фармакопеи, а также в Государственный реестр лекарственных средств. Базовой тематической основой для карт ареалов видов выбрана карта «Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий» [1999], что позволило использовать биогеографический метод анализа распространения видов, а также дать научную интерпретацию полученных результатов для целей рационального использования лекарственных растений и разработки мер по их реабилитации и охране.

В общем разделе приведены 6 аналитических карт (м-б 1: 30 000 000), в которых показаны эколого-географические особенности распространения лекарственных растений на территории страны в целом. На карте «Распределение лекарственных растений по федеральным округам» в форме гистограмм дано соотношение видов, типичных для определённых зон, подзон растительности и горных районов в рамках каждого федерального округа. Карта «Дикорастущие и культивируемые лекарственные растения федеральных округов» отражает соотношение этих групп растений по числу видов в округах. На карте «Разнообразие лекарственных растений в субъектах РФ» показано число официнальных видов растений, произрастающих на территории каждого округа.

В атласе приведены 37 карт с ареалами 72 видов официнальных растений (в м-бе 1: 30 000 000) (рис. 2). Согласно концепции Медико-географического атласа России «Целебные источники и растения», карты ареалов растений сгруппированы в соответствии с их использованием для лечения заболеваний, относящихся к 14 основным классам болезней согласно международной классификации ICD-10 [International statistical …, https://icd.who.int].

В атлас включены карты лекарственных растений 2-х модельных регионов — Крыма и Камчатки. Для территории Крыма приводится карта эколого-географического распределения лекарственных растений (м-б 1: 825 000), где дано число официнальных видов в рамках физико-географических районов и их соотношение по типам местообитаний, включая

сельскохозяйственные земли. Для Камчатки на 7 картах в м-бе 1: 15 000 000 приведены ареалы 16 видов официнальных растений и карта видового разнообразия официнальных растений в рамках флористических районов полуострова. Кроме того, приведена карта находок родиолы розовой — лекарственного официнального растения, включённого в Красную книгу Российской Федерации (м-б 1: 7 500 000). В сопровождающих текстах приведена характеристика биологических и фармакологических особенностей лекарственных растений, отмечены заболевания, для лечения которых их используют, возможные противопоказания и, при наличии, охранный статус.

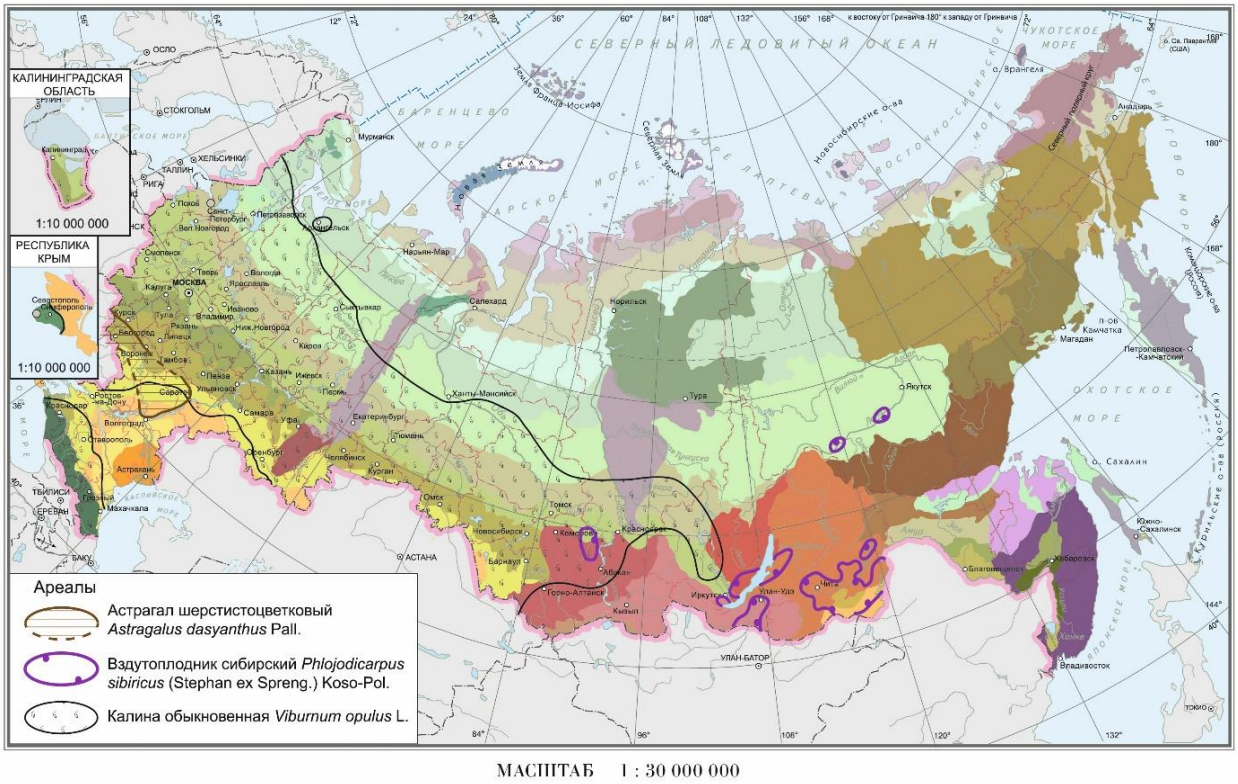


Рис. 2. Пример карты ареалов видов, используемых для лечения болезней системы кровообращения [Медико-географический…, 2019]
Fig. 2. Map of ranges of officinal plants used to treat circulatory diseases [Medical-Geographical…,2019]

Природоохранную тематику отражает карта «Некоторые лекарственные растения, занесённые в Красную книгу РФ». На ней приведены ареалы 6 видов ценных лекарственных растений, нуждающихся в охране. Отдельный раздел посвящён интродукции и культивированию лекарственных растений. В него вошли две карты «Ботанические сады с коллекциями лекарственных растений. Высшие учебные заведения с подготовкой специальности «Фармация», «Плантации лекарственных растений. Заготовка дикорастущего лекарственного сырья». В сопровождающем тексте отмечены интродуцированные виды и дикорастущие виды, введённые в культуру, заготовки которых в естественных условиях их произрастания не производятся.

Наличие в атласе в соответствующих разделах общих физико-географических, климатических, биогеографических и медико-географических карт позволяет получить исчерпывающую характеристику условий произрастания и возможностей использования анализируемых лекарственных растений для лечения заболеваний определённых классов болезней в масштабе всей страны.

ВЫВОДЫ

К настоящему времени накоплен определённый опыт в отображении распространения лекарственных растений России и их ресурсов в атласном картографировании. Несмотря на большое число изданных карт в региональных и федеральных атласах, в большинстве своём они не дают комплексной информации о распределении и характеристике этого важного национального ресурса, столь необходимого для отечественной химико-фармацевтической промышленности и повышения здоровья и качества жизни населения. Наиболее полную содержательную сводку о лекарственных растениях страны представляет «Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР», изданный около полувека назад.

В региональном атласном картографировании не отражено соотношение отечественного и импортируемого, дорогостоящего и не всегда более эффективного, сырья, которое использует химико-фармацевтическая промышленность для изготовления лекарственных препаратов. Это необходимо для понимания на государственном и общественном уровнях значения отечественных ресурсов лекарственных растений. Недостаточно освещена необходимость охраны лекарственных растений и рационального использования этих ресурсов, запасы которых истощаются в результате неконтролируемых заготовок коммерческими компаниями и воздействия антропогенных факторов.

Изданный в 2019 г. Медико-географический атлас России «Целебные источники и растения» представляет первое научно-популярное издание, содержащее полную информацию о распространении и состоянии популяций 72 видов официнальных растений страны и проблем их использования и охраны в комплексе с общей физико-географической, климатической, биогеографической и медико-географической информацией, отражённой на картах. До настоящего времени в атласном картографировании не нашли отражения лекарственные растения, издавна широко используемые в народной медицине, составляющие потенциальный фонд официнальных растений. Эти растения являются перспективными для детального изучения их химического состава и введения в состав фармакопейных.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РГО, гранты: № 02/2016-И от 04.05.2016, №02/2017-И от 23.06.2017 и №01/2018-И от 12.11.2018.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Geographical Society, grants No 02/2016-И, 04.05.2016; No 02/2017-И, 23.06.2017 and No 01/2018-И, 12.11.2018.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтайский край. Атлас. Т. I. М. – Барнаул: Главное управление геодезии и картографии, 1978. 222 с.
2. Ареалы лекарственных и родственных им растений СССР (Атлас). Л.: Издательство Ленинградского университета, 1990. 167 с.
3. Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР. М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт лекарственных растений, Главное управление геодезии и картографии, 1976; 1980; 1983. 340 с.
4. Атлас лесов СССР. М.: Госкомлес, Главное управление геодезии и картографии, 1973. 222 с.
5. Атлас Новгородской области. М.: Главное управление геодезии и картографии, 1982. 32 с.
6. Атлас Сахалинской области. М.: Главное управление геодезии и картографии, 1967. 136 с.

7. Атлас СССР. М: Главное управление геодезии и картографии, 1983. 260 с.
8. Атлас Тамбовской области. М.: Главное управление геодезии и картографии, 1981. 32 с.
9. Атлас Читинской области и Агинского Бурятского автономного округа. М.: Роскартография, 1997. 48 с.
10. Атлас Якутской АССР. М.: Главное управление геодезии и картографии, 1981. 40 с.
11. База данных «Целебные растения». Электронный ресурс: https://www.biomap.ru (дата обращения 05.05.2019).
12. Забайкалье. Атлас. М. – Иркутск: Главное управление геодезии и картографии, 1967. 176 с.
13. Зоны и типы поясности растительности России. Карта, м-б 1: 8 000 000. М.: ЭКОР, 1999.
14. Картография, геоинформатика и аэрокосмическое зондирование. М.: Городец, 2004. 622 с.
15. Медико-географический атлас России «Целебные источники и растения». М.: Географический ф-т МГУ, 2019. 304 с.
16. Московская область. Атлас. М.: Главное управление геодезии и картографии, 1976. 40 с.
17. Национальный атлас Арктики. М.: Роскартография, 2017. 496 с.
18. Природные ресурсы и экология России: Федеральный атлас. М.: НИА-Природа, 2002, 2003. 278 с.
19. *Сочава В.Б.* Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука, 1979. 190 с.
20. Фармакогнозия. Лекарственное сырьё растительного и животного происхождения. СПб: СпецЛит, 2010. 862 с.
21. A colored identification atlas of Chinese materia medica and plants as specified in the pharmacopoeia of the Peoples Republic of China. Institute of medicinal plant department, Chinese academy of medical sciences. Huayu Nature Book Trade Co. Ltd, 2010. 1236 p.
22. *Akerele O., Heywood V., Synge H.* The conservation of medicinal plants. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1991. 367 p.
23. *Cunningham A.B.* Applied ethnobotany: people, wild plant use and conservation. London: Earthscan, 2001. 300 p.
24. International statistical classification of diseases and related health problems 10th revision (ICD-10). Электронный ресурс: https://icd.who.int (дата обращения 25.12.2019).
25. *Schultes R.E., Von Rei S.* Ethnobotany: evolution of a discipline. Portland, Or., USA: Dioscorides Press, 2008. 414 p.
26. *Viereck E.G.* Alaska's wilderness medicines. Seattle: Graphic Arts Center Publishing Company, 1995. 190 p.

REFERENCES

1. A colored identification atlas of Chinese materia medica and plants as specified in the pharmacopoeia of the Peoples Republic of China. Institute of medicinal plant department, Chinese academy of medical sciences. Huayu Nature Book Trade Co. Ltd, 2010. 1236 p.
2. *Akerele O., Heywood V., Synge H.* The conservation of medicinal plants. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1991. 367 p.
3. Altaisky Krai. Atlas. V. I. Moscow – Barnaul: State Department of Geodesy and Cartography, 1978. 222 p. (in Russian).
4. Atlas of Chita Oblast and Agin-Buryat Autonomous Okrug. Moscow: Roscartography, 1997. 48 p. (in Russian).
5. Atlas of natural areas and resources of medicinal plants of the USSR. Moscow: All-Union Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, State Department of Geodesy and Cartography, 1976; 1980; 1983. 340 p. (in Russian).
6. Atlas of natural areas of medicinal and related plants of the USSR. Leningrad: Leningrad State University, 1990. 167 p. (in Russian).

7. Atlas of Tambov Oblast. Moscow: State Department of Geodesy and Cartography, 1981. 32 p. (in Russian).
8. Atlas of the Moscow Oblast. Moscow: State Department of Geodesy and Cartography, 1976. 40 p. (in Russian).
9. Atlas of the Novgorod Oblast. Moscow: State Department of Geodesy and Cartography, 1982. 32 p. (in Russian).
10. Atlas of the Sakhalin Oblast. Moscow: State Department of Geodesy and Cartography, 1967. 136 p. (in Russian).
11. Atlas of the USSR. Moscow: State Department of Geodesy and Cartography, 1983. 260 p. (in Russian).
12. Atlas of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic. Moscow: State Department of Geodesy and Cartography, 1981. 40 p. (in Russian).
13. Atlas of Transbaikalia. Moscow – Irkutsk: State Department of Geodesy and Cartography, 1967. 176 p. (in Russian).
14. Cartography, geoinformatics and space remove sensing. Moscow: Gorodets, 2004. 622 p. (in Russian).
15. *Cunningham A.B.* Applied ethnobotany: people, wild plant use and conservation. London: Earthscan, 2001. 300 p.
16. Database “Healing plants”. Web resource: https://www.biomap.ru (accessed 05.05.2019) (in Russian).
17. Forest atlas of the USSR. Moscow: Goskomles and State Department of Geodesy and Cartography, 1973. 222 p. (in Russian).
18. International statistical classification of diseases and related health problems 10th revision (ICD-10). Web resource: https://icd.who.int (accessed 25.12.2019)
19. Medical geographical atlas of Russia “Healing springs and plants”. Moscow: Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 2019. 304 p. (in Russian).
20. National Atlas of Arctic. Moscow: Roscartography, 2017. 496 p. (in Russian).
20. Natural resources and ecology of Russia: Federal atlas. Moscow: NIA-Priroda, 2003. 280 p. (in Russian).
22. Pharmacognosy. Crude medicine materials of plant and animal origin. St. Petersburg: SpetsLit, 2010. 862 p. (in Russian).
23. *Schultes R.E., Von Rei S.* Ethnobotany: evolution of a discipline. Portland, Or., USA: Dioscorides Press, 2008. 414 p.
24. *Sochava V.B.* Vegetation cover in thematic maps. Novosibirsk: Nauka, 1979. 190 p. (in Russian).
25. *Viereck E.G.* Alaska’s wilderness medicines. Seattle: Graphic Arts Center publishing company, 1995. 190 p.
26. Zones and altitudinal zonality types of vegetation of Russia and adjacent territories. Map. Scale 1: 8 000 000. Moscow: ECOR, 1999 (in Russian).

УДК: 528. 9 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-26-38**

Е.А. Прохорова[1], В.Н. Сёмин[2], А.В. Морозова[3]

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ АКТИВНЫМ ТУБЕРКУЛЁЗОМ НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

АННОТАЦИЯ

Тема исследования связана с эпидемиологической ситуацией по туберкулёзу на территории Крымского полуострова и обусловлена дальнейшим развитием решения этого вопроса, так как, несмотря на снижение заболеваемости туберкулёзом, Республика Крым остается на сегодняшний день одним из неблагополучных регионов нашей страны. По данным официальной статистики общая заболеваемость туберкулёзом в 2018 г. составила 51 чел. на 100 тыс. населения.

Развитие заболевания туберкулёзом зависит от целого ряда факторов — экологических, экономических, социально–гигиенических и др. Для того чтобы показать и оценить территориальное распределение, интенсивность, локализацию и концентрацию явления в определённых ареалах, а также иметь возможность сравнивать однородные показатели с теми, что получены в других регионах России, необходим анализ с использованием картографического и статистического методов.

Цель статьи — посредством обработки статистических и аналитических исходных данных определённых временных срезов показать на картах совокупность факторов, которые могут оказывать влияние на динамику заболеваемости туберкулёзом и распространение больных на конкретной территории — Крымском полуострове, а также выявить наиболее значимые из этих факторов.

В работе проводится статистическое исследование показателей заболеваемости активным туберкулёзом в сочетании с демографическими характеристиками районов Крымского ФО. Количественная характеристика этих процессов представлена в виде таблиц, графиков и картографических изображений. Выявленные статистические закономерности позволяют увидеть те особенности развития исследуемых параметров, которые обычно ускользают при одном лишь картографировании, и прогнозировать ситуацию на будущее.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: активный туберкулёз, геоинформационные методы, статистические методы, факторы риска

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e–mail:* **eaprohorova@mail.ru**
[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e–mail:* **vnsemin@mail.ru**
[3] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e–mail:* **aleksandra.v.morozova@yandex.ru**

Elena A. Prokhorova[1], **Vladimir N. Semin**[2], **Alexandra V. Morozova**[3]

MAPPING OF THE DISTRIBUTION OF ACTIVE TUBERCULOSIS INCIDENCE ON THE TERRITORY OF THE CRIMEAN PENINSULA

ABSTRACT

This study is conducted to analyze spatial distribution of tuberculosis (TB) incidence in the Crimean peninsula and is due to the further development of a solution to this issue, since, despite the fact that there is a decrease in the incidence of tuberculosis on the peninsula, the Republic of Crimea remains today one of the disadvantaged regions of our country. According to official statistics, the total incidence of tuberculosis in 2018 was 51 per 100 thousand people.

The risk of developing tuberculosis depends on a number of factors — environmental, economic, social and others. In order to show and evaluate the spatial distribution, intensity, localization and concentration of the phenomenon in certain areas an analysis using cartographic and statistical methods is needed.

The purpose of the article is, through the processing of statistical and analytical source data of certain time slices, to show on maps the totality of factors that can affect the dynamics of the incidence of tuberculosis and the spread of patients in a specific territory — the Crimean Peninsula, and also to identify the most significant of these factors.

The work provides a statistical study of the incidence rates of active tuberculosis in combination with the demographic characteristics of the Crimean Federal District. The quantitative characteristic of these is presented in the form of tables, graphs and cartographic images. The revealed statistical regularities make it possible to see those features of the development of the studied parameters that usually slip away with only one mapping, and to predict the situation for the future.

KEYWORDS: active tuberculosis, GIS techniques, statistical methods, risk factors

ВВЕДЕНИЕ

В середине 1990-х гг. во многих экономически благополучных странах снижение заболеваемости туберкулёзом, которое происходило на протяжении всего XX в., прекратилось, а в некоторых начался и его рост. Республика Крым, которая более полувека входила в состав Украины, не является исключением: за последнее десятилетие прошлого столетия и первые 14 лет XXI в. эпидемиологическая обстановка на Крымском полуострове ухудшалась, а абсолютное число новых зарегистрированных случаев заболевания туберкулёзом все время увеличивалось. Так, в конце прошлого века общее количество больных всеми формами туберкулёза в Крыму (включая г. Севастополь) составляло 27,5 тыс. человек, а всего через 3 года в 2001 г. — более 30 тыс.[4] В настоящее время отмечается снижение заболеваемости и смертности от туберкулёза, но по ряду показателей, характеризующих

[1] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia;
e–mail: **eaprohorova@mail.ru**
[2] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia;
e–mail: **vnsemin@mail.ru**
[3] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia;
e–mail: **aleksandra.v.morozova@yandex.ru**

[4] Государственный доклад «О состоянии санитарно–эпидемиологического благополучия населения в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе в 2015 году». Симферополь, 2016. 248 с. Электронный ресурс: http://82. rospotrebnadzor.ru/s/82/files/ documents/Gosdoklad/145923.pdf (дата обращения 10.09.2019)

эпидемиологическую ситуацию, Крым всё ещё является одним из неблагополучных регионов нашей страны. Несмотря на стабилизацию ситуации в последние годы, показатель заболеваемости туберкулёзом в Республике Крым превышает общероссийский, а общая заболеваемость туберкулёзом в 2018 г. составила 51 чел. на 100 тыс. населения.

Развитие заболевания туберкулёзом зависит от целого ряда факторов — экологических, экономических, социально-гигиенических и др. Как правило, туберкулёз ассоциируется с бедностью, высокой плотностью населения и плохими условиями жизни. Анализ распространения заболеваемости туберкулёзом приводит к выводу, что самыми «ранними» по происхождению и наиболее значимыми по силе воздействия являются социальные, миграционные и демографические факторы. Туберкулёз заболевание социальное, поэтому переход пассивной стадии в активную происходит тогда, когда активизируются факторы социального неблагополучия: повышается уровень безработицы, растёт преступность, понижается уровень заработной платы, увеличивается количество беженцев и ВИЧ-инфицированных [*Перельман*, 2007].

Задача любого научного исследования, как составной части деятельности политических, экономических и общественных организаций — помочь в решении одной из самых серьёзных проблем в здравоохранении современного общества: добиться снижения заболеваемости и смертности от туберкулёза. В связи с этим значительное количество исследований, большинство из которых проведено во второй половине XX в., посвящено анализу различных факторов или их комбинаций, влияющих на риск заболевания туберкулёзом. Однако принципы, положенные в основу исследований, и используемые методики столь различны, а получаемые результаты подчас так разноречивы (а порой и диаметрально противоположны), что не удаётся определить критерии или дать оценку благоприятности или неблагоприятности факторов, определить главные характеристики «групп риска» заболевания туберкулёзом.

Необходимо дальнейшее исследование проблемы в различных направлениях, например, изучение региональных особенностей и факторов, влияющих на количество заболевших в различных районах, определение степени их негативного или позитивного воздействия. При этом использование ресурсов картографических данных, геоинформационного и статистического анализа будет способствовать получению и наглядному представлению новых данных, позволит картографам в количественных, сопоставимых показателях представить и оценить территориальное распределение, интенсивность, концентрацию и локализацию явления в определённых ареалах.

Цель статьи — посредством обработки статистических и аналитических исходных данных определённых временных срезов показать на картах совокупность факторов, которые могут оказывать влияние на динамику заболеваемости туберкулёзом и распространение больных на конкретной территории — Крымском полуострове, а также выявить наиболее значимые из этих факторов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной теоретической и методологической базой настоящей работы является опыт отечественных и зарубежных статистических исследований по медико-экологическому картографированию в целом и распространению конкретных заболеваний в частности [*Люманов и др.*, 2016; *Kammerer*, 2013]. В качестве исходной информации для анализа распространения заболеваемости активным туберкулёзом на территории Крымского п-ова использовались официальные статистические данные Главного управления статистики в автономной республике Крым за период с 2000 по 2018 гг., информация, полученная в результате сбора данных, проведённого осенью 2012 г. в Симферополе в рамках Крымской комплексной экспедиции МГУ. Информационную базу работы составили также серии карт из архивов различных новостных порталов.

Чтобы показать и оценить распределение по территории заболеваемости туберкулёзом, а также наибольшую интенсивность и концентрацию заболеваемости, в 25 районах п-ова был проведён анализ, основанный на принципах статистического и картографического методов исследования. Исследование проводилось по административно-территориальным единицам (рис. 1), и все данные были приурочены к сетке АТД.

Цифрами на карте обозначены: 1 - Крвсноперекопский район, 2 - Раздольненский р-н, 3- Первомайский район, 4- Джанкойский район, 5 - городской округ Джанкой, 6- Красногвардейский р-н, 7 - Нижнегорский р-н, 8 - Советский район, 9 - Кировский р-н, 10 - Симферопольский р-н, 11 - городской округ Симферополь, 12 - Бахчисарайский район

Рис. 1. Административно-территориальное деление Крыма
Fig. 1. Administrative territorial division of the Crimea

Рассмотрено достаточно большое количество факторов, которые, по мнению авторов, могут оказывать влияние на территориальное распределение заболеваемости туберкулёзом. Среди этих факторов — количество ВИЧ-инфицированных, количество людей с заболеваниями нервной системы, количество больничных коек по регионам, количество врачей всех специальностей (кроме стоматологов); количество психоневрологических диспансеров (с числом койко-мест в них), объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, уровень зарегистрированной безработицы, уровень преступности, средняя температура, средняя высота района над уровнем моря и др. Всего было отобрано 17 факторов (предикторов), сформированных в основные группы (рис. 2), определяющие пространственное распределение больных туберкулёзом на территории Крыма. Первые две группы — т. наз. «медицинские» — состояние здоровья населения и здравоохранение, следующие две — демографическая и социальная, показатели которых характеризуют численность, структуру и уровень жизни населения; последние две — климат и состояние окружающей среды, непосредственно связанные со средой проживания и способствующие созданию условий для развития туберкулёза.

При расчёте значимости предикторов (факторов) был использован корреляционный и регрессионный анализ. Расчёт статистических показателей и вычисление коэффициентов регрессии были произведены с использованием статистического пакета SPSS;

картографические и графические материалы подготовлены с помощью программного обеспечения ArcGIS.

Рис. 2. Группы факторов, использованные при статистическом анализе
Fig. 2. Factor groups used in statistical analysis

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основная трудность исследования заключалась в изначально правильном наборе (поиске) факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на наличие и концентрацию больных туберкулёзом в каждом конкретном районе Крымского полуострова.

Отобранные показатели и полученные по ним исходные данные обладают некоторыми статистическими характеристиками, которые могут быть наглядно представлены в виде графиков или таблиц (рис. 3). Необходимо было провести обработку и систематизацию этих данных, для того чтобы получить представление о некоторых свойствах и закономерностях той выборки, с которой предстояло работать. После обобщения первичных результатов (что является первым шагом любого анализа), а именно группировки данных по их значениям, распределению частот и выявлению тенденций распределения, была

охарактеризована теснота связей в изменении признаков, т.е. проведен корреляционный анализ. Этот анализ показал, что существуют значительные корреляции между некоторыми факторами риска и распределением заболеваемости туберкулёзом в Крыму на основе ранговой корреляции Спирмена: наибольшая положительная корреляция существует между заболеваемостью туберкулёзом и количеством ВИЧ-инфицированных, уровнем зарегистрированной безработицы и уровнем преступности. Таким образом, увеличение значения фактора приводит к увеличению зависимой переменной (заболеваемости туберкулёзом). Наибольшая отрицательная корреляция существует между количеством медицинских учреждений, врачей всех специальностей и заболевших туберкулёзом.

После расчёта корреляций ещё раз был произведен отбор факторов — это связано с тем, что в случае, если два фактора (предиктора) очень сильно коррелируют между собой, вряд ли они будут репрезентативны для исследования, так как дают практически один и тот же результат.

На следующем шаге исследования данных использовался регрессионный анализ, целью которого являлось выявить наиболее значимые факторы зависимости распределения на полуострове больных активным туберкулёзом от набора всех изучаемых факторов. Статистический метод, который был использован — автоматизированное линейное моделирование (АЛМ). На рис. 4 представлена зависимость реально выявленного количества больных активным туберкулёзом с впервые в жизни установленным диагнозом на 100 тыс. чел. от предсказанных значений. Анализ качества выполненного регрессионного анализа приведён на рис. 5 и 6.

Корреляции

Описательные статистики

	Среднее значение	Среднеквадратичная отклонения	N
Количество больных активным туберкулезом с впервые в жизни установленным диагнозом на 100 тыс.чел	73,980	16,0155	25
Количество больных СПИДом с диагнозом, установленным впервые	9,560	14,8859	25
Количество больничных коек по регионам, на 10 тыс человек	49,520	16,7542	25
Количество врачей всех специальностей по регионам, на 10 тыс населения	23,008	9,0997	25
Смертность детей до 1 года, кол-во умерших на 1000 родившихся	10,644	5,0584	25
Количество зарегестрированных преступлений на 10 тыс. населения	780,480	726,6896	25
Уровень зарегистрированной безработицы, кол-во безработных	1042,760	429,8723	25

Рис. 3. Характеристики исходных данных на примере ряда показателей
Fig. 3. Characteristics of the basic data by the example of a number of indicators

Рис. 4. Предсказанные значения против наблюдённых
Fig. 4. Predicted values versus observation

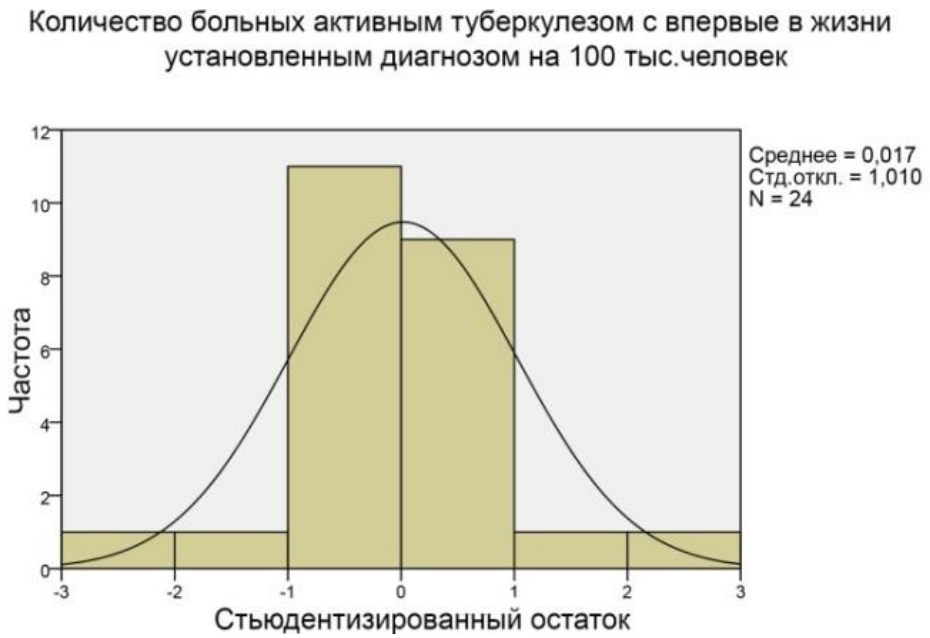


Рис. 5. График, демонстрирующий анализ исходных данных на нормальное распределение
Fig. 5. A graph showing the normal distribution analysis of basic data

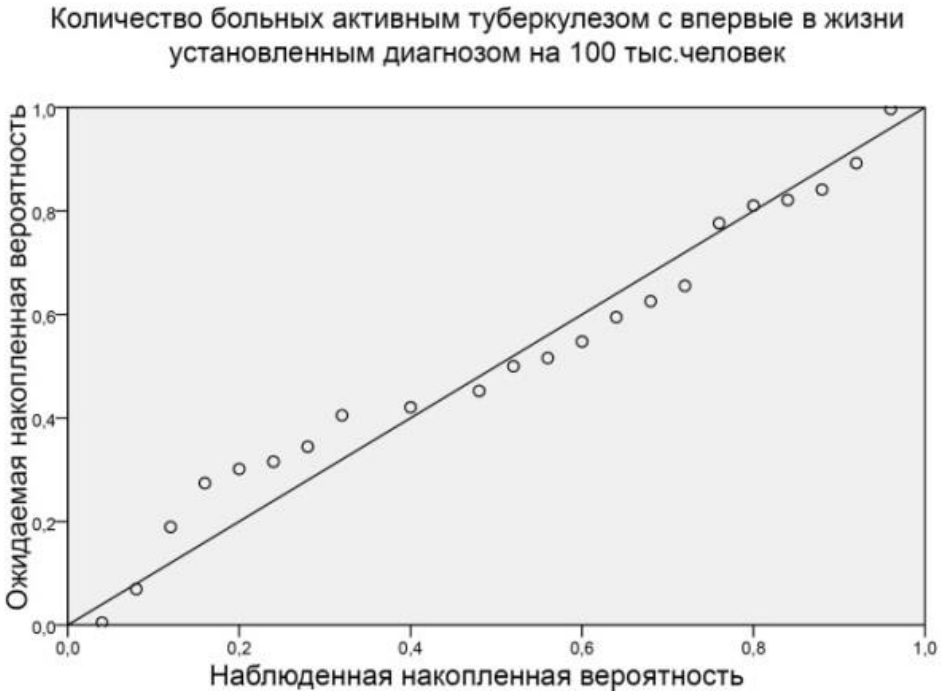


Рис. 6. График зависимости наблюдённой накопленной вероятности от ожидаемой
Fig. 6. The graph of the dependence of the observed cumulative probability on the expected

Графики и диаграмма (рис. 5, 6) сравнивают распределение остатков с нормальным распределением. Непрерывная линия на рис. 5 и диагональная линия на рис. 6 представляют нормальное распределение. Чем ближе частоты остатков и наблюдённые накопленные вероятности остатков к этой линии, тем ближе распределение остатков к нормальному распределению.

Проведённый анализ на нормальное распределение остатков наблюдённых и предсказанных значений и графическое представление накопленной вероятности показывают, что получен удовлетворительный результат. Таким образом, можно отметить, что при этой совокупности данных набор факторов и коэффициентов регрессии достаточно репрезентативен.

При этом нормальное распределение подтверждает, что нет ярко выраженных признаков преобладания того или иного тренда в районе. Каждый фактор вносит свой вклад в распространение туберкулёза, но при том, что все они достаточно равноценны, в результате исследования всё же удалось выделить из них наиболее значимые.

Таким образом, по результатам исследования, в ходе которого были получены коэффициенты регрессии и значимость каждого коэффициента, было выявлено, что территориальное распределение больных туберкулёзом больше всего зависит от количества ВИЧ-инфицированных и больных СПИДом, количества больничных коек в медицинских учреждениях и от количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (рис. 7).

Статистическое исследование было проведено, учитывая фактор времени с использованием данных на 2000, 2006, 2008 и 2012 гг. Анализ показал, что количественные характеристики большинства факторов год от года незначительно изменяются, но их качественное соотношение и важность влияния на риск заболевания туберкулёзом остаются неизменными. Все основные коэффициенты представлены на графике (рис. 8) в соответствии с убыванием их значимости и с оценкой положительного или отрицательного их влияния на результативный признак — количество больных туберкулёзом.

Рис. 7. Наиболее значимые факторы в размещении больных туберкулёзом
Fig. 7. The most significant factors in the placement of patients with tuberculosis

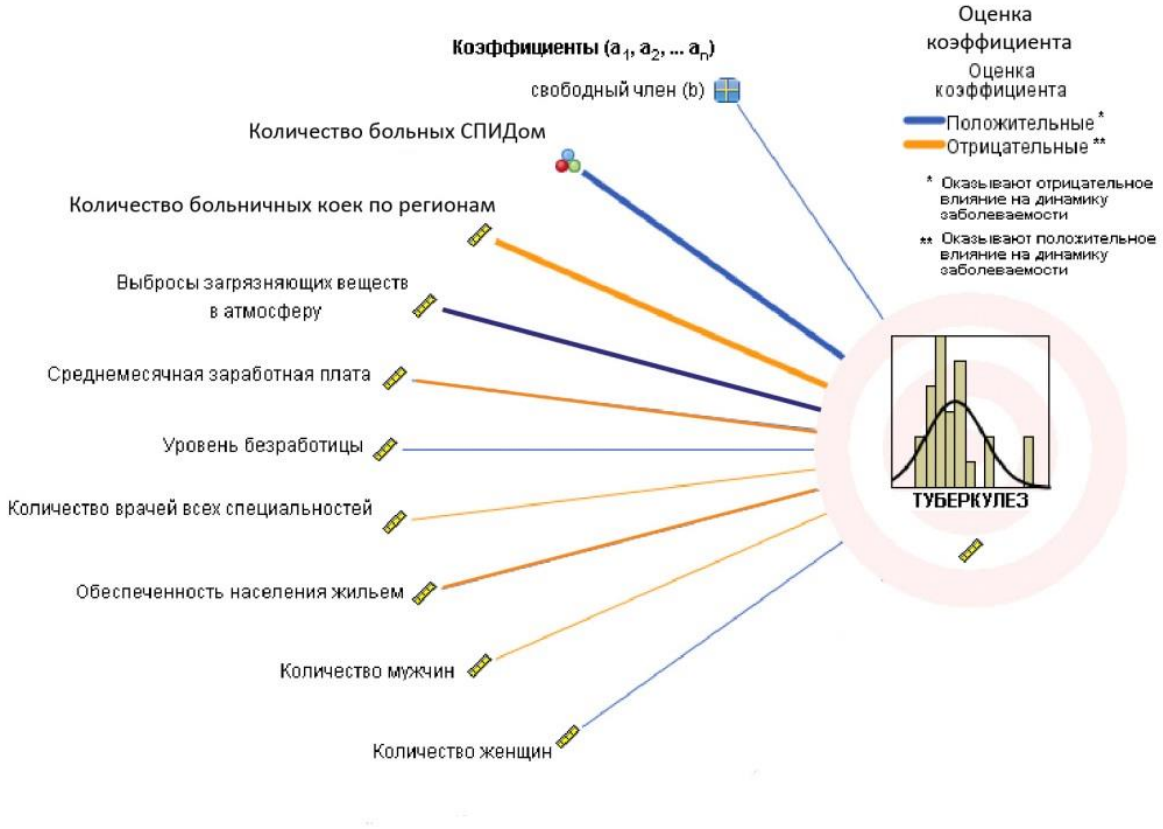


Рис. 8. Значимость коэффициентов регрессии на заболеваемость в порядке убывания
Fig. 8. Significance of incidence regression coefficients in descending order

Положительная оценка отвечает за положительный прирост больных туберкулёзом, отрицательная — за их уменьшение. Так, число больных СПИДом в каждом конкретном районе оказывает положительное влияние на число больных туберкулёзом; это касается и выбросов в атмосферу — влияние также положительное. Увеличение же больничных коек в медицинских учреждениях и врачей всех специальностей даёт отрицательный коэффициент, т.е. ведёт к уменьшению больных туберкулёзом при проч. равных условиях.

Распределение значений наиболее важных факторов по территории полуострова были представлены на сериях карт за разные годы начала текущего века. Четыре из них представлены на рис. 9. Это дало нам возможность выполнить анализ и оценку территориальной дифференциации заболевания туберкулёзом на Крымском п-ове. Каждый фактор представлен на отдельной карте, его пространственное распределение по территории показано с выделением 5 интервалов значений и характеризуется увеличением насыщенности тона при увеличении значения показателя.

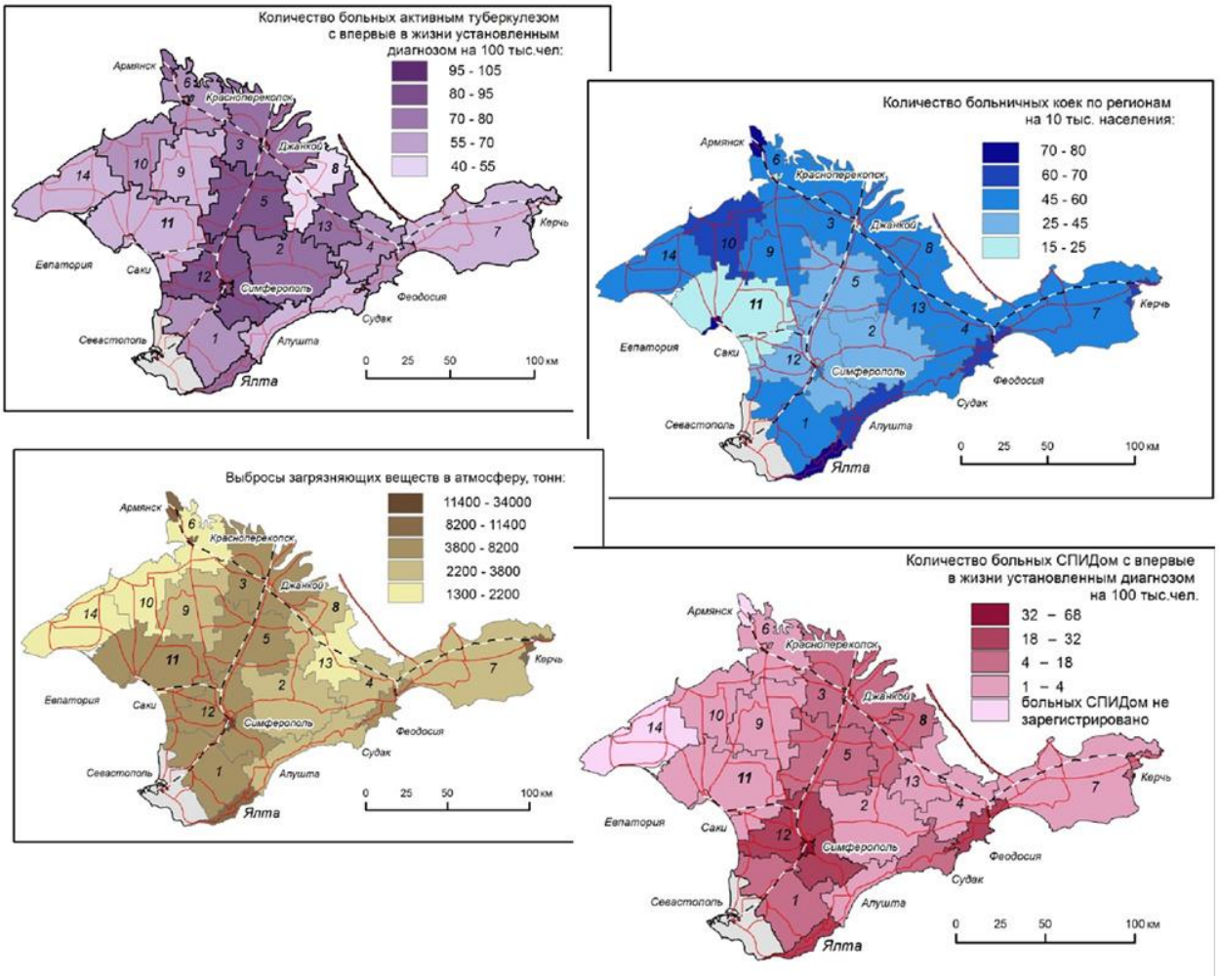


Рис. 9. Основные значимые факторы, представленные на картах
Fig. 9. The main relevant factors presented on the maps

Проделанный статистический анализ подтверждает, что картина пространственной мозаики распределения по территории Крыма больных туберкулёзом весьма контрастна. Максимальное количество больных сосредоточено в городском округе Ялта и центральных (Симферопольском, Красногвардейском и др.) районах. Такие города, как Феодосия, Судак, Ялта многие годы играли важную роль в лечении заболевших туберкулёзом и являлись местом их концентрации благодаря возможностям климатотерапии и гидротерапии.

Южный берег Крыма становится курортом со второй половины XIX в. и специализируется на лечении больных туберкулёзом. До сих пор бóльшая часть противотуберкулёзных диспансеров располагается на территории именно этих городских округов и районов. Проблему усугубляет то, что больные туберкулёзом, как правило, страдают от 2–3 сопутствующих инфекций, например, от того же ВИЧ.

Карты, отображающие количество заболевших активным туберкулёзом и ВИЧ–инфицированных (в т.ч. больных СПИДом) показывают существование прямой корреляции между двумя заболеваниями, что отмечается авторами, проводившими исследования в этом же направлении на другие территории [*Жукова и др.*, 2004; *Малхазова и др.*, 2017]. Единственным регионом, в котором выявлен высокий уровень заболеваемостью ВИЧ-инфекцией и низкий уровень заболеваемостью туберкулёзом — это городской округ Керчь, на территории которого много лет эффективно функционировали противотуберкулёзные санатории, в т.ч. детские.

Центральные районы — Белогорский, Симферопольский и Красногвардейский — можно также охарактеризовать как регионы с существующей отрицательной корреляцией между количеством коек и заболеваемостью туберкулёзом (т.е. чем больше первый показатель, тем меньше второй). Полученный вывод закономерен, т.к. высокий уровень медицинского обслуживания (в т.ч. и наличие медицинских коек) понижает уровень заболеваемости в целом [*Перельман*, 2007].

В Армянске, где заболеваемость туберкулёзом достаточно высока, не удалось выявить причин прямой корреляции между показателями о заболевших туберкулёзом и ВИЧ-инфицированных. Но при изучении карты, которая иллюстрирует объёмы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, отмечаем, что этот показатель максимален в Ялте, Симферополе, Армянске и Керчи. Таким образом, можно предположить, что в Ялте и Симферополе значительные объёмы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу отягчают проч. факторы, которые провоцируют увеличение заболеваемости туберкулёзом, а в городском округе Армянск — это единственный показатель, который имеет наиболее сильное влияние на заболеваемость.

ВЫВОДЫ

Исследование вносит определённый вклад в обсуждение вопроса территориального распределения больных туберкулёзом на территории Крымского полуострова в современных условиях. Использование статистических методов и пространственного анализа показало, что существует гетерогенность пространственной картины туберкулёза внутри области исследования. Прежде всего, статистический анализ подтвердил, что на рассматриваемой территории заболеваемость активным туберкулёзом тесно связана с социальными факторами. Выявлены 3 основных фактора, которые сопутствуют и находятся в тесной связи с количеством больных: количество ВИЧ-инфицированных (в т.ч. больных СПИДом), уровень медицинского обслуживания и антропогенное воздействие на окружающую среду (объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферу).

В ходе исследования выявлено, что наличие медперсонала и количество больничных коек оказывают отрицательное влияние на заболеваемость туберкулёзом, так же, как и уровень обеспеченности жильём, а положительная связь проявляется при увеличении выбросов загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников. Долгое время считали, что такие тяжёлые болезни, как туберкулёз, не связаны напрямую с экологической обстановкой. Однако полученные за последнее время данные свидетельствуют об обратном. И статистическое исследование подтверждает это. При определённом уровне загрязнения (техногенного давления) связь между количеством заболевших и уровнем загрязнения становится статистически значимой.

В то же время не выявлено существование каких-либо связей между расселением больных туберкулёзом и физико-географическими особенностями каждого отдельного

района или города. Объяснение данного факта вероятнее всего определяется двумя причинами: во-первых, малым пространственным охватом исследуемой территории; во-вторых, тем, что на полуострове расположены две физико-географические области — степной Крым и горный Крым. Несмотря на то, что климат гор способствует усиленному функционированию лёгочной системы и препятствует заболеваемости туберкулёзом, эта часть полуострова мало заселена и поэтому слабо влияет на статистику заболеваемости.

Созданная серия аналитических карт демонстрирует ситуацию территориального распределения больных на полуострове: концентрация больных туберкулёзом с впервые выявленным диагнозом колеблется от 40 до 100 чел. на 10 тыс. населения; карты показывают достаточно высокую степень корреляции больных туберкулёзом с уровнем общего социально-экономического развития по регионам. Высокий уровень концентрации больных наблюдается в центре степного Крыма в районах с высокой степенью урбанизации и имеющих в своём составе крупные городские агломерации.

Более глубокий анализ распределения больных туберкулёзом в Крыму возможен на основе многолетней выборки статистических данных, которая бы позволила сгладить ряд показателей и подтвердить основные факторы и тренды развития. Однако проделанная работа уже позволяет сделать заключение о том, что, несмотря на незначительно меняющиеся год от года количественные значения большинства факторов, их качественное соотношение и значимость воздействия на риск заболевания туберкулёзом остаются неизменными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе в 2015 году». Симферополь: Межрегиональное управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Республике Крым и городу федерального значения Севастополю, 2016. 248 с. Электронный ресурс: http://82.rospotrebnadzor.ru/s/82/files/ documents/Gosdoklad/145923.pdf (дата обращения 10.09.2019).

2. *Жукова А.Э., Сахнова Н.С., Галух Г.А.* Географический анализ заболеваемости туберкулёзом в Крыму. Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География, 2004. Т. 17 (56). № 4. С. 307–314.

3. *Люманов Д.С., Бекирова Э.Э., Огар М.В., Махкамова З.Р., Санина Г.Н.* Сравнительная характеристика заболеваемости туберкулёзом в России. Научное сообщество студентов. Междисциплинарные исследования. Сб. ст. по мат. IX междунар. студ. науч.-практ. конф. Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2016. № 6 (9). С. 140−144. Электронный ресурс: https://sibac.info/archive/meghdis/6(9).pdf (дата обращения: 20.09.2019).

4. *Малхазова С.М., Пестина П.В., Шартова Н.В.* Здоровье населения в регионах России в начале XXI века: медико-географическая оценка. Доклады Академии наук, 2017. Т. 475. № 3. С. 329–332.

5. *Перельман М.И.* Факторы повышенного риска заболевания туберкулёзом. 2007. Электронный ресурс: http://ftiza.su/faktoryi–povyishennogo–riska–zabolevaniya–tuberkulyozom/ (дата обращения: 17.08.2019).

6. *Kammerer J.S., Shang N., Althomsons S.P., Haddad M.B., Grant J., Navin Th.R.* Using statistical methods and genotyping to detect tuberculosis outbreaks. International Journal of Health Geographics, 2013. V. 12. No 15. P. 114−128. DOI: https://doi.org/10.1186/1476-072X-12-15.

REFERENCES

1. *Kammerer J.S., Shang N., Althomsons S.P., Haddad M.B., Grant J., Navin Th.R.* Using statistical methods and genotyping to detect tuberculosis outbreaks. International Journal of Health Geographics, 2013. V. 12. No 15. P. 114−128. DOI: https://doi.org/10.1186/1476-072X-12-15.

2. *Lyumanov D.S., Bekirova E.E., Ogar M.V., Makhkamova Z.R., Sanina G.N.* Comparative characteristic of the incidence of tuberculosis in Russia. Student Science Community. Interdisciplinary Researches. Proceedings of the IX International student scientific practical conference. Novosibirsk: Publishing House “SibAK”, 2016. No 6 (9). P. 140−144. Web resource: https://sibac.info/archive/meghdis/6 (9).pdf (accessed 20.09.2019) (in Russian).
3. *Malkhazova S.M., Pestina P.V., Shartova N.V.* Population health in the regions of Russia at the beginning of the XXI century: medical geographical assessment. Doklady Akademii nauk (Reports of the Academy of Sciences), 2017. V. 475. No 3. P. 329–332 (in Russian).
4. *Perel’man M.* Factors of increased risk for tuberculosis incidence. 2007. Web resource: http://ftiza.su/faktoryi–povyishennogo–riska–zabolevaniya–tuberkulyozom (accessed: 17.08. 2019) (in Russian).
5. State report “On the state of the sanitary-epidemiological well-being of the population in the Republic of Crimea and the city of federal significance Sevastopol in 2015”. Simferopol: Interregional Department of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare in the Republic of Crimea and the federal city of Sevastopol, 2016. 248 p. Web resource: http://82. rospotrebnadzor.ru/s/82/files/ documents/Gosdoklad/145923.pdf (accessed 10.09.2019) (in Russian).
6. *Zhukova A.E., Sahnova N.S., Galukh G.A.* The geographical analysis of tuberculosis incidence in the Crimea. Scientific notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography, 2004. V.17 (56). No 4. P. 307–314 (in Russian).

УДК: 004.67 + 614.1/519.25 + 616.89-008.454-053.2 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-39-52**

И.П. Логинов[1], С.З. Савин[2]

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ПОПУЛЯЦИОННОМ АНАЛИЗЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЕПРЕССИВНЫХ РАССТРОЙСТВ В ХАБАРОВСКЕ

АННОТАЦИЯ

Исследования посвящены проблемам анализа пространственных медико-демографических данных с использованием современных геоинформационных технологий. На примере разработанной медико-экологической геоинформационной системой г. Хабаровска показаны возможности геоинформационных систем в изучении распространения в крупном городе депрессивных нарушений и анализе причинно-следственных связей между этим психическим расстройством и социально-экномическими факторами. Рассмотрены особенности математического обеспечения МЭГИС, необходимого для популяционного эпидемиологического анализа. Показаны возможности применения для этих целей корреляционно-регрессионного и кластерно-дискриминантного анализа. На этапе начального проявления симптоматики депрессий были установлены статистически значимые бинарные факторы риска ДР, используемые для разработки диагностического опросника. Разработан комплекс распознающих, классификационных и прогностических моделей, позволяющих на уровне индивида провести оценку риска развития ДР и спрогнозировать тяжесть возможного заболевания. На популяционном уровне следует формировать группы риска развития депрессивных расстройств у пациентов, перенесших депрессивные эпизоды в детстве. На основе результатов многоуровневого геоинформационного и классификационно-прогностического моделирования с учетом индивидуальных клинико-патодинамических, социально-психологических, культурных и медико-социологических факторов риска сформулированы практические рекомендации, направленные на повышение эффективности профилактики депрессивных расстройств. Исследование клинико-патодинамических, социально-психологических, культуральных и медико-экологических аспектов депрессивных расстройств с применением геоинформационных систем выполнено для профилактики депрессий и стабилизации психического здоровья населения региона. Резюмируется, что результаты исследований могут использоваться специалистами по геоинформационным системам, медицинской демографии, медицинской психологии и социальной психиатрии, социологии, психиатрии, психологии и семейной медицине, конфликтологии, информационному моделированию и системному анализу в здравоохранении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоинформационые системы (ГИС), картография, популяционный анализ, эпидемиология, депрессивные расстройства (ДР)

[1] Дальневосточный государственный медицинский университет, Кафедра психиатрии и наркологии, ул. Муравьёва-Амурского, д. 35, 680000, Хабаровск, Россия; *e-mail:* **log-i-p1954@ mail.ru**

[2] Тихоокеанский государственный университет, Хабаровский центр новых информационных технологий, ул. Тихоокеанская, д. 136, 680035, Хабаровск, Россия; *e-mail:* **savin.sergei@mail.ru**

Igor P. Loginov[1], **Sergey Z. Savin**[2]

GEOINFORMATION SYSTEMS IN POPULATION ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF DEPRESSIVE DISORDERS IN KHABAROVSK

ABSTRACT

The research is devoted to the use of modern geoinformation technologies for the analysis of spatial medical and demographic data. On the example of the medical and ecological geoinformation system (MEGIS) of Khabarovsk the possibilities of geoinformation technologies in the study of the spread of depressive disorders in a large city and the analysis of cause-and-effect relationships between this disease and some socio-economic factors are shown. The features of mathematical support of MEGIS necessary for population epidemiological analysis are considered. The possibilities of using correlation-regression and cluster-discriminant analysis for these purposes are shown. At the stage of the initial manifestation of symptoms of depression, statistically significant binary risk factors for depressive disorders were established, which were used in the diagnostic questionnaire. Developed complex recognition, classification and predictive models on the individual level, to assess the risk of developing depressive disorders and to predict the potential severity of the disease. At the population level, risk groups for depressive disorders in patients who have suffered depressive episodes in childhood should be formed. Based on the results of multi-level GIS and classification and predictive modeling based on individual clinical dynamically, socio-psychological, transcultural and environmental health risk factors formulated practical recommendations to improve the prevention of depressive disorders. The study of clinical and pathodynamic, socio-psychological, transcultural and medico-ecological aspects of non-psychotic depressive disorders with the use of geoinformation systems was carried out for the prevention of depression and mental health stabilization of the region population. The results of this research can be used by specialists in geoinformation systems, medical demography, medical psychology and social psychiatry, sociology, psychiatry, psychology and family medicine, conflictology, information modeling and system analysis in health care.

KEYWORDS: GIS, cartography, population analysis, epidemiology, depressive disorders

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений системных исследований дескриптивной эпидемиологии является изучение распространения случаев психических заболеваний среди отдельных категорий жителей, отличных друг от друга не только половозрастными характеристиками, но и способами питания, ведения хозяйства и быта, культурными традициями, привычками и обычаями [*Антомонов и др.*, 1998; *Burkov et al.*, 2018; *Wasserman et al.*, 2005]. К депрессии (ДР) относят расстройства психики, основными симптомами которых являются пониженное настроение, снижение или полная утрата способности получать удовольствие (ангедония) [*Краснов*, 2011]. Обычно при ДР присутствуют такие признаки, как пессимизм, заниженная самооценка, неадекватное чувство виновности, нарушение концентрации внимания, усталость или отсутствие энергии, расстройства сна и аппетита, а также суицидальные тенденции [*Логинов, Солодкая,* 2017]. Национальные особенности поведения и питания малых народов Приамурья в совокупности с особенностями быта способствуют

[1] Far Eastern State Medical University, Department of psychiatry and narcology, Muravyov-Amursky str., 35, 68000, Khabarovsk, Russia; *e-mail:* **log-i-p1954@ mail.ru**
[2] Pacific National University, Khabarovsk center of new information technologies, Pacific str., 136, 680035, Khabarovsk, Russia; *e-mail:* **savin.sergei@mail.ru**

значительной степени риска ДР [*Логинов, Солодкая,* 2019]. В этой связи актуальность изучения распространения ДР у взрослого и детского населения коренных народностей и пришлого населения с разработкой алгоритмов профилактического лечения является очевидной.

Эпидемиологические исследования выявили определённые различия в состоянии соматической сферы, иммунной системы у подрастающего населения народов Приамурья и Крайнего Севера России [*Логинов, Солодкая,* 2017; 2019]. По мере развития рыночных отношений потеря коренными народами Дальнего Востока религиозных, культурных, бытовых и иных традиционных ценностей вызывает существенный сдвиг в состоянии психического здоровья. Назрела необходимость в детальном изучении психического здоровья несовершеннолетних жителей Хабаровского края, воспитывающихся в учреждениях соцзащиты, для разработки превентивных программ для улучшения социальной адаптации к взрослой жизни. Настоящее исследование позволяет выявить с применением ГИС корреляции между особенностями образа жизни и распределением в субпопуляциях различных форм социально значимых психических заболеваний и найти методологию для более объективного исследования факторов развития депрессий. Эпидемиологическая ситуация с распространением ДР на Дальнем Востоке России в последние десятилетия отражает общие тенденции психической напряженности в мире [*Краснов,* 2011; *Brent, Weersing,* 2008; *Stewart et al.,* 2005; *Wasserman et al.,* 2005], но значительно превосходит их по темпу нарастания уровня ДР [*Логинов, Солодкая,* 2017]. По эпидемиологическим данным, распространённость депрессий в популяции 15–20-летних составляет от 8 до 20 % и более 50 % всей психической заболеваемости подросткового и юношеского возраста, а пик суицидов приходится на возрастную группу от 15 до 25 лет [*Логинов, Солодкая,* 2019]. Среди симптомов психического регистра самыми частыми являются депрессивные и тревожные расстройства, распространённость этих расстройств среди учащихся средней школы составляют 45,41 и 16,9 % соответственно [*Логинов, Солодкая,* 2017]. Аналогичная тенденция роста психических расстройств отмечается в Хабаровском крае. Если в 2011 г. первичная заболеваемость психическими расстройствами среди подростков на 100 тыс. населения составила в 2011 г. 309,9, то в 2014 г. — 347,7. В то же время аналогичный показатель среди взрослого населения Хабаровского края имеет противоположные значения (в 2010 г. — 149,4, в 2014 г. — 109,4 чел. на 100 тыс. населения соответственно) [там же].

Культурные и этнические особенности, медико-демографические и медико-генетические свойства, параметры уровня и образа жизни населения влияют на особенности структуры и течения психических расстройств [*Краснов,* 2011; *Логинов, Солодкая,* 2019]. В регионах, где ранее наблюдался умеренный и низкий риск ДР, отмечен неуклонный рост и распространение психиатрических заболеваний, сопряжённый со значительными социально-экономическими потерями, вызванными расходами на фармакотерапию и социальную защиту больных, что связано с растущими неизбежными прямыми и косвенными потерями производительных сил. Именно отсутствие эффективных и доступных методов определения контингентов риска хронических психических расстройств со стойким дезадаптирующим синдромом актуализируют проведение настоящего исследования. Актуальность комплексного исследования проблемы депрессивных нарушений среди населения Дальнего Востока с использованием геоинформационных систем заключается в высокой значимости негативной психопатологической симптоматики для эпидемиологической и клинико-психиатрической практики и недостаточной изученностью современного состояния проблем психического здоровья населения удалённых регионов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа распространения, ранней диагностики и профилактики ДР среди подростков применялись клинико-анамнестический, клинико-психопатологический, клинико-социальный методы, методология ГИС и средства математической статистики. Программа исследования включала сбор клинического материала, обработку полученных данных и этап системного анализа результатов испытаний. Результаты междисциплинарного исследования получены при выборочном клинико-психопатологическом обследовании подростков с непсихотическими ДР, проживающих в районах Хабаровского края. Материалами анализа стали сведения, полученные при рандомизированном исследовании 62 подростков, поступивших в Хабаровскую краевую психиатрическую больницу за последние 5 лет; период проведения исследований — 2014–2018 гг. В основу диагностики были положены критерии, базирующиеся на классификации МКБ-10. Исследовательский инструментарий был представлен «Базисной картой этнокультуральных исследований» и «Картой обследования», предназначенных для проведения комплексного изучения ДР [*Логинов, Солодкая,* 2019]. Карты заполнялись по каждому обследуемому в процессе персонального клинического собеседования, пополнялись информацией из медицинской документации (амбулаторная карта, данные анамнеза и пр.) и сведениями, сообщенными ближайшими родственниками больных. Таким образом, клинические методы основывались на объективном наблюдении за пациентами по ходу обследований и процесса лечения, а также на анамнестических данных, полученных от больного или его близких. Для реализации процесса корректного сбора, анализа и интерпретации сведений клинического и социально-психологического характера создана специальная анкета с использованием идеологии известных тестов Лири и MMPI для занесения клинико-диагностических данных и бинарных показателей тестирования испытуемых [*Логинов, Солодкая,* 2017]. Междисциплинарное исследование ДР проводилось в несколько этапов (табл. 1). На первом осуществлялся набор данных, основанный на критериях включения по социально-демографическим (пол и возраст) и клиническим признакам. На этом этапе совместно с Е.В. Солодкой проводилось полное клинико-психопатологическое, клинико-социальное и психологическое обследование всех подростков, госпитализированных по поводу непсихотических депрессивных расстройств в стационар. После первичного обследования за каждым пациентом устанавливалось клинико-катамнестическое наблюдение до момента выписки или окончания терапии.

Табл. 1. Схема исследований ДР
Table 1. Depression research design

Этапы исследований				
Первый этап	***Второй этап***	***Третий этап***	***Четвёртый этап***	***Пятый этап***
Проведение сбора первичного материала	Проведение статистической обработки полученных материалов	Проведение клинического анализа, интерпретации полученных результатов, их сопоставления с литературными данными	Исследования информативно значимых факторов риска методами математического моделирования, наполнение слоёв МЭГИС	Разработка диагностического опросника и создание превентивной модели депрессий

Медико-социальная и психологическая безопасность регионов складывается из множества взаимосвязанных факторов, классификация которых должна проводиться с учётом их характера, интенсивности, периодичности и других особенностей проявления в конкретных условиях. Не менее важно корректное дифференцирование территорий по степени их опасности для жизнедеятельности человека. При этом недостаточно рассмотрение лишь самого факта наличия психофизиологических и экологически опасных производств и негативных социально-экономических факторов. Необходимо отразить

степень опасности этих объектов с целью выработки рекомендаций по системе специальных предупредительных, защитных, спасательных и восстановительных мероприятий с учётом возможных их сценариев. Факторы воздействия и степени риска обладают определённым своеобразием в зависимости от уровня их оценивания и региональных особенностей в сфере социально-экологической безопасности. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо не только учитывать специфический набор факторов, но и вести подбор оптимальных методик их классификации и комплексной оценки. Оценку и картографирование медико-экологической обстановки следует проводить по методике, основу которой составляют интегральная типология территорий и анализ пространственных данных. Как правило, создаваемые по этой методике карты содержат два главных аспекта: констатационный и оценочный. В первом отображается актуальное состояние окружающей среды человека, во втором оцениваются территории с точки зрения воздействия на условия проживания, хозяйственной деятельности, отдыха, оздоровления населения. Как известно, ГИС предназначены для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации о представленных объектах [*Антомонов и др.*, 1998; *Маймулов и др.*, 1998; *Нурбаев*, 2000; *Карпик*, 2004; *Heywood et al.*, 2006; *Holdstock*, 2017]. Геоинформационные системы обладают широкими потенциальными возможностями в изучении как медицинских, так и социально-экономических проблем [*Burrough et al.*, 2015; *Harvey*, 2008; *Heywood et al.*, 2006; *Holdstock*, 2017]. В ряде случаев установление причинно-следственных связей между патологическими процессами в популяции и комплексом средовых факторов возможно только при помощи ГИС.

Медико-экологические ГИС (МЭГИС) дают пользователю широкий спектр картографических услуг, а также позволяют имитационно моделировать медико-демографические процессы различной сложности в пределах выделенных географических территорий с возможностью интерпретации пространнственных данных и слоёв карт. Ранее [*Косых и др.*, 2008] были рассмотрены особенности математического обеспечения МЭГИС, необходимого для анализа причинно-следственных связей, существующих в популяции крупных городов. Показаны возможности применения для этих целей корреляционно-регрессионного и кластерно-дискриминантного анализа. Особой проблемой, стоящей перед МЭГИС, является разработка принципов моделирования медицинских последствий при различных вариантах изменений социо-экономической ситуации. Эта задача решается с помощью регрессионного анализа. Разработка МЭГИС является перспективным направлением не только в эпидемиологии неинфекционных заболеваний, но и в сангигиене и организации здравоохранения. Своеобразие объекта изучения (популяция человека) диктует необходимость совершенствования методологии ГИС, применения в них новых программных решений. В качестве базовой геоинформационной системы использовалась электронная карта ГИС Хабаровск (рис. 1). На её основе был составлен адресный план для 10 415 случаев психических расстройств среди городского населения (рис. 2), состоящего на учёте в специализированных психоневрологических диспансерах города. Все паспортные данные деперсонифицированы, система предназначена для служебного пользования.

Важнейшей особенностью географических наборов данных является большой объём, относительная доступность и простота использования. Медико-экологические ГИС описывают распределение некоторых популяционных медико-демографических характеристик в пространстве и во времени [*Косых и др.*, 2008]. Информация, являющаяся основой для клинико-эпидемиологического и медико-географического анализа, обновляется по мере поступления новых данных. Простота загрузки и использования данных ГИС повышает производительность работы различных организаций здравоохранения, использующих систему, т.к. электронные карты не стареют так быстро и более актуализированы, чем бумажные аналоги [*Жуков и др.*, 1980; *Хуснетдинова*, 2014;

Clarke, 1986; *Vine et al.*, 1997; *Holdstock*, 2017]. С помощью МЭГИС реализуются такие основные задачи, как сбор данных в структурированном виде, виртуализация результатов в виде карт, таблиц и графиков, хранение и предоставление доступа к данным, обработка и анализ данных [*Harvey*, 2008; *Burrough et al.*, 2015]. Возникающие в медико-социальных исследованиях проблемы совмещения и манипулирования графическими и атрибутивными данными в рамках единой интегрированной модели решаются посредством инструментальных пакетов МЭГИС. Для медико-демографических задач экологии была разработана методология создания средств многомерного статистического анализа данных МЭГИС города и края. В геоинформационную систему г. Хабаровска включены электронные карты территориального распространения психиатрических заболеваний, важнейшие социально-экономические и медико-географические характеристики административных районов города. Создано программное и алгоритмическое обеспечение систем поддержки интерпретации данных слоёв МЭГИС, разработаны методологические подходы к оценке посредством ГИС-технологий и средств математического моделирования риска возникновения депрессий, других психиатрических заболеваний в зависимости от места проживания. На рис. 2 представлен адресный план г. Хабаровска с данными о пространственном распределении случаев психических нарушений.

Рис. 1. Общий план г. Хабаровска
Fig 1. General plan of Khabarovsk city

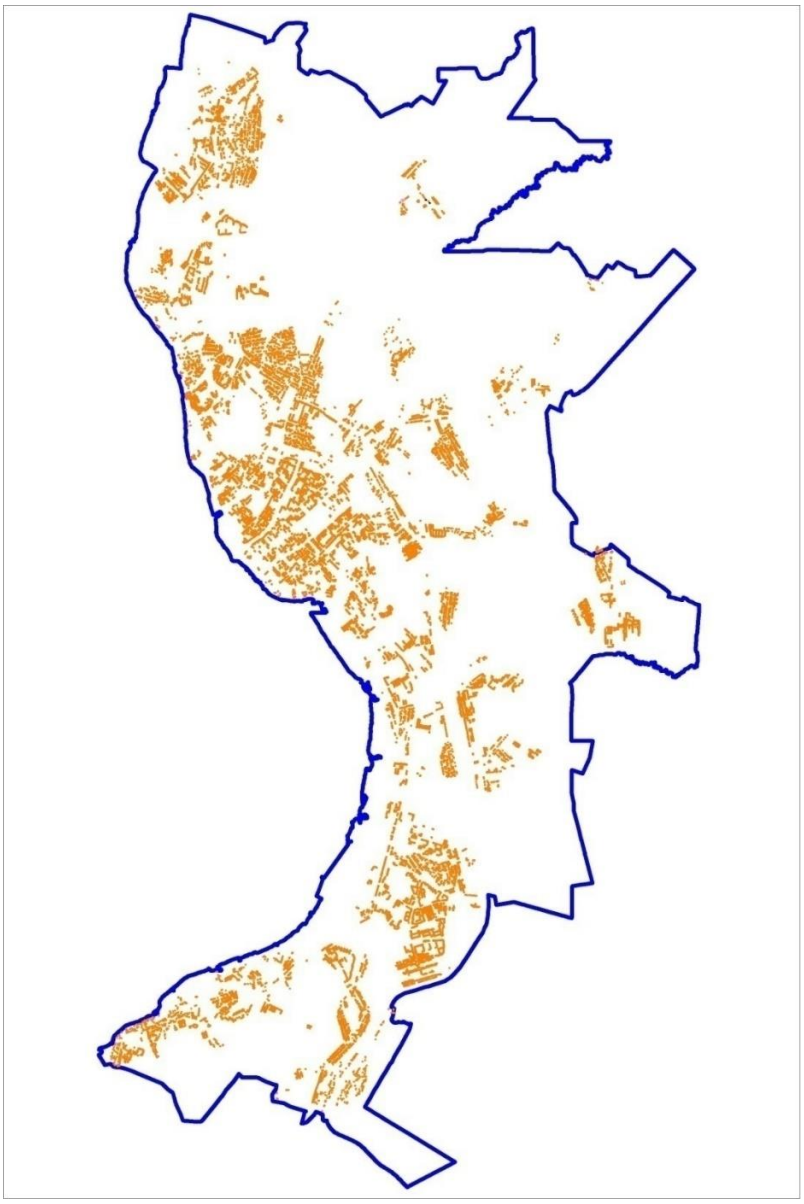


Рис. 2. Адресный план Хабаровска; количество объектов — 10 415
Fig. 2. Address plan of Khabarovsk; number of objects — 10 415

Разработанная методология создания программно-технического комплекса применялась для решения задач медицинской демографии и охраны психического здоровья населения посредством инструментария многофакторного математического анализа, ГИС-технологий и мониторинга окружающей среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Итак, в ходе междисциплинарных исследований по материалам изучения лиц с ДР посредством МЭГИС в сравнительном аспекте были выявлен и формализован набор медико-эпидемиологических, клинико-психопатологических, клинико-динамических, личностных и социальных детерминант ДР у представителей подрастающего поколения, живущих в разных районах г. Хабаровска. На основе интегративной оценки состояния подростков с ДР по мере пополнения слоев данных, привязанных к адресному плану города, реализована МЭГИС с функциями визуализации случаев ДР для изучения этой клинико-психологической патологии (рис. 3).

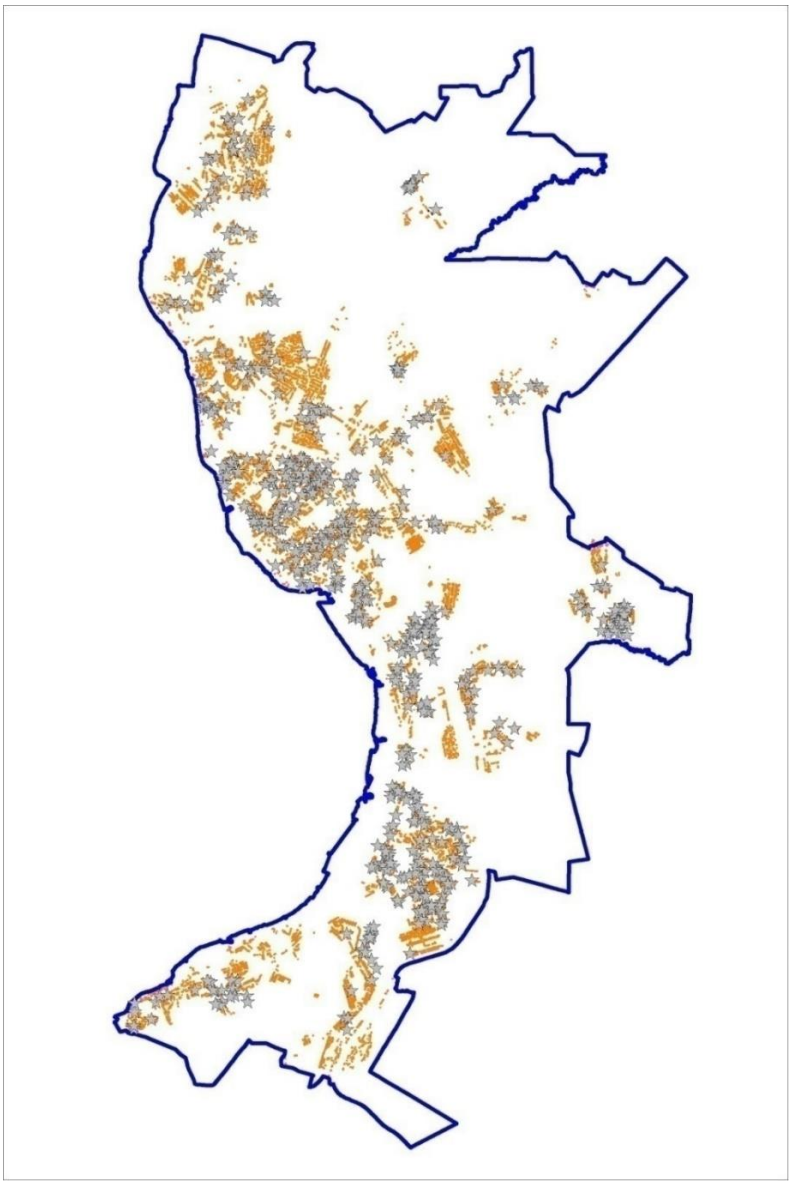


Рис. 3. Визуализация случаев депрессивных расстройств; количество объектов — 971
Fig. 3. Visualisation of depressive disorders; number of objects — 971

Разработанный комплекс распознающих, классификационных и прогностических моделей позволил на индивидуальном срезе проводить оценку риска развития ДР для прогноза тяжести потенциального психического заболевания, сопряжённого с суицидом. Для этапа первичного появления симптомов ДР выявлены статистически значимые бинарные факторы риска у подрастающего поколения. При использовании этих данных в диагностическом опроснике получена новые сведения о мотивации, событиях, обстоятельствах, формах и пр. характеристиках подростковых ДР. По результатам исследований сделан вывод об «омоложении» депрессий у подростков. Распространение ДР у детей препубертатного возраста составило 1−2 %. Выявлено, что для 8−13-летних детей риск рецидива составляет 40 % на протяжении следующих 2-х лет и 72 % — последующих 5 лет. Распространение ДР у подростков растёт, составляя 3−8 %; на окончание пубертатного периода достигает около 20 %. При этом гендерное соотношение распространения расстройств настроения, возникших впервые у пациентов — 3:1 (женщины / мужчины). До пубертата девочки не обнаруживают большую склонность к ДР, чем мальчики. Но у 12-летних девочек наблюдается рост ДР-симптоматики, которая достигает явного диагностического уровня в 13 лет и

старше. При подтверждённом диагнозе ДР отсутствуют какие-либо межполовые различия по протяжённости, степени тяжести и частоте рецидивов, а также показателях выздоравливания. Тщательное изучение структуры психопатологии вследствие медико-генетических причин показало, что чаще всего родственники подростков страдают расстройствами, вызванными злоупотреблением психоактивных средств (алкоголь) — 32 %. ДР с суицидальной отягощённостью имели 4 %, расстройства личности и поведения — 2 %. Почти четверть подростков были выходцами из т.н. «алкогольных» семей, что совпадает с исследованиями [*Brent, Weersing,* 2008; *Stewart et al.,* 2005], которые обнаружили, что дети из «алкогольной» семьи имеют риск ДР до 7 раз больше в сравнении с подростками из обычной семьи. Значительно меньше ближайшие родственники имели прочие расстройства психики: ДР с суицидальной отягощённостью — 4 %, личностные — 2 %. Итак, 38 % респондентов имели наследственную отягощённость, причём в 32 % случаев эта отягощённость вызвана употреблением психоактивных веществ. Выявленное распределение показывает, что в генетическом отношении формированию ДР способствуют не только расстройства психики на эндогенном уровне (около 5 %), но и расстройства экзогенного уровня, что лишний раз подчёркивает значение психосоциальных факторов и в генезе непсихотических ДР. С позиций наследственной отягощённости наибольший риск развития ДР имеют лица, родственники которых страдали расстройствами, связанными с употреблением алкоголя, а наличие психопатологической и суицидальной отягощённости в силу генетической наследственности можно рассматривать как значимый фактор развития депрессий. Далее были проанализированы особенности соматоневрологического состояния самих респондентов, показавшие, что чаще всего встречались болезни органов пищеварения (12 %). Влияние соматических заболеваний на психическое состояние реализуется одним из двух механизмов — соматогенному (интоксикационные воздействия на ЦНС) и психогенному (непосредственная острая реакция на болезнь и её последствие) [*Stewart et al.,* 2005; *Wasserman et al.,* 2005]. Астеническую реакцию мы наблюдали у 30 % пациентов, и она сопровождалась пессимистическими тенденциями, склонностью к отрицательной оценке своего будущего состояния, мнительности, что оказывает негативное влияние на длительность и течение депрессивного эпизода и формирует активизацию предсуицидальных тенденций. Рациональный тип реагирования составил 8 %; у таких больных также присутствует отрицательное воздействие на психику, но они пытаются выработать свои рациональные алгоритмы психологической защиты, что им не всегда удаётся. У большинства пациентов отмечены типы стенического, тревожного, меланхолического, дисфорического, ипохондрического, апатического и сенситивного реагирования, что утяжеляет субъективность оценки собственного состояния. Значимых особенностей суицидального поведения у пациентов какой-либо формой соматической патологии выявлено не было. Более значима не столько форма, сколько стадия и длительность — суицидальная активность усиливалась в периоды обострения. Продолжительность заболевания для большинства склонных к суициду достигала 10 лет и более. Суицидальный риск резко возрастал при болевом синдроме. Вышеперечисленные факты могут свидетельствовать о том, что статистически достоверные различия между группами городского и сельского населения по возрастному и гендерному признаку, степени соматоневрологической заболеваемости и психопатологической отягощённости отсутствуют. В то же время установлено, что расстройства психики, которые содержали в своих клинических проявлениях депрессивный симптомокомплекс, являлись более суицидоопасными. На базе полученных данных впервые разработана геоинформационная система для задач дифференцированной профилактики депрессивных расстройств, использующая методы кластерного анализа для поиска групп пациентов с одинаковыми свойствами (рис. 4) и учитывающая клинические, личностно-психологические и социальные детерминанты их развития, а также стадию депрессии.

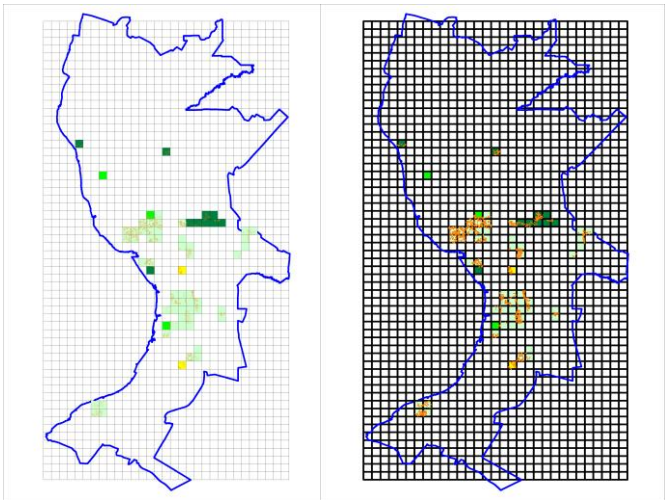


Рис. 4. Кластеризация случаев ДР с суицидальной попыткой
Fig. 4. Clustering depressive disorders with suicidal attempt

Проведённый на 2-ом этапе регрессионный анализ факторов риска депрессий дал следующие результаты (табл. 2).

Табл. 2. Регрессионный анализ факторов риска ДР у подростков
Table 2. Regression analysis of risk factors for depression in adolescents

Факторы риска	B	S.E.	Wald	Sig (p)
Родительский прессинг (да, нет)	-1,398	45,289	1	0,01**
Отношение с одноклассниками	-0,945	9,869	4	0,041*
Отношение с родителями (демократичные, формальные, пассивные, не общаются)	-0,955	15,35	3	0,01**
Употребление ПАВ (алкоголь)	-1,430	4,010	1	0,043*
Наследственная отягощённость психическими заболеваниями	-1,527	4,044	1	0,044*
Преморбидные акцентуации с преобладанием гипотимных и психастенических личностных черт	-1,334	41,481	1	0,01**

Примечания: * — достоверные различия между группами при $p < 0,05$; ** — при $p < 0,01$

Анализируя статистически значимые факторы риска ДР у подростков, мы определили те из них, которые можно использовать как вопросы для создания модели диагностического опросника (табл. 3).

Табл.3. Диагностический опросник подростковых депрессий
Table 3. Diagnostic questionnaire for teenage depression

Информативные факторы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Всего
1. Родительский прессинг (очень сильный контроль / полная свобода)										
2. Отношения с одноклассниками (напряжённые / очень хорошие)										
3. Отношения с родителями (напряжённые / очень хорошие)										
4. Условия проживания (очень плохие / очень хорошие)										

5. Планы на будущее (очень плохие / очень хорошие)										
6. Стрессоустойчивость (очень плохая / очень хорошая)										
7. Наследственная отягощённость психическими заболеваниями (очень плохая / очень хорошая)										
Итого										

Примечания: 0 – отрицание фактора (–); 1,2,3,4,5,6,7 – наличие фактора в баллах;
8 – максимальная значимость фактора (+)

С применением бинарной логистической регрессии Logistica (≥2) в нашем исследовании мы оценивали вероятность того, что ДР может быть сформировано или нет у конкретного подростка. Таким образом, у подростков выявлено 6 переменных статистически значимых факторов: родительский прессинг (Sig = 0,01), отношения с одноклассниками (Sig = 0,041), родителями (Sig = 0,01), употребление алкоголя (Sig = 0,043), наследственная отягощённость психическими заболеваниями (Sig = 0,044) и преморбидные акцентуации характера (Sig = 0,01), оказывающих влияние на формирование депрессивных расстройств.

Интегральная оценка: 0–14 — развитие депрессивных расстройств маловероятно; 15–21 — имеется риск развития депрессивных расстройств; 22–28 — высокий риск развития депрессивных расстройств; 35–56 — очень высокий риск развития депрессивных расстройств. Для построения превентивной модели подростковых депрессий использовался подход, основанный на алгоритме классификации значимых признаков на 3 группы: «индивидуальные», «групповые» и «популяционные» (табл. 4).

На основании результатов информативной значимости медико-социальных характеристик с помощью метода математического моделирования предложена модель превентивного выявления подростковых депрессий: на популяционном уровне — наличие депрессивного эпизода в детстве, психопатологическая наследственность; на групповом — конфликтные отношения со сверстниками и родителями; на индивидуальном — ангедония и стрессоустойчивость.

Табл. 4. Превентивная модель подростковых депрессий
Table 4. A preventative model of teenage depression

Значимые признаки		
индивидуальные	***групповые***	***популяционные***
Наличие скрытой ангедонии; Степень стрессоустойчивости	Конфликтные отношения с родителями, сверстниками; Родительский прессинг, отношения с одноклассниками; Преморбидная акцентуация личностных черт	Депрессивный эпизод в детстве, психопатологическая наследственность; Наличие пика депрессивных расстройств в возрасте 15−18 лет; Преобладание депрессивных реакций; Наследственная отягощённость психическими заболеваниями

ВЫВОДЫ

В настоящее время в связи со сложной медико-демографической ситуацией назрела необходимость в детальном изучении психического здоровья жителей Хабаровска и Хабаровского края. На базе собственных оригинальных методик и статистических материалов, данных отечественных и зарубежных авторов изучены закономерности поведения, модели и способы коррекции деструктивного поведения. На основе результатов многоуровневого геоинформационного и классификационно-прогностического моделирования с учётом индивидуальных клинико-патодинамических, социально-психологических,

транскультуральных и медико-эпидемилогических факторов риска сформулированы практические рекомендации, направленные на повышение эффективности профилактики ДР у подростков. Обоснована необходимость разработки особой разновидности геоинформационных систем — медико-экологических. На популяционном уровне следует формировать группы риска развития депрессивных расстройств у подростков, перенесших депрессивные эпизоды в детстве. На групповом уровне были сформированы психологические программы и тренинги для школьников с конфликтными отношениями с родителями и сверстниками. На индивидуальном уровне важно обращать внимание на скрытую ангедонию, проявление астенических черт, отсутствие планов на будущее, где основная роль отводится предупреждению развития тяжёлых форм и рецидивов депрессии.

Настоящее исследование позволило с помощью ГИС выявить возможные связи между некоторыми сторонами образа жизни и частотой в популяциях форм социально значимых заболеваний на примере депрессии, а также определить пути для более углубленного изучения причин и условий возникновения социально-психологических очагов депрессий. Были разработаны методология МЭГИС и математический инструментарий для моделирования распространения ДР и асоциального поведения, вызванного непсихотическими ДР с высоким риском суицида. Применение методологии информационного моделирования сложных конфликтных систем позволило провести анализ поведения лиц, склонных к суициду. Созданы модели индивидуального прогнозирования, разработан программный комплекс для оценки вероятности развития ДР по медико-социальным и клинико-патодинамическим факторам риска. Отметим, что тяжесть ДР для подростка, совершившего суицидальную попытку, как правило, лёгкой или умеренной степени, а суицид объясняется неадекватностью личностной реакции, спровоцированной злоупотреблением алкоголя и пр. ПАВ. Достоверно выше число подростков, совершивших акт суицида из-за расстройства адаптации при кратковременной депрессивной и пролонгированной реакции. Дальнейшее изучение особенностей психического здоровья несовершеннолетних г. Хабаровска и Хабаровского края с помощью МЭГИС послужит более глубокому пониманию причин развития ДР. Этнокультуральный подход позволит повысить не только диагностическую эффективность, но и уровень лечения, реабилитации и профилактики психических расстройств. Разработка модели организации психиатрической помощи для несовершеннолетних в городе и крае обеспечит высокий уровень общественного и индивидуального психического здоровья. Для этого рекомендовано создание при школах кабинетов психологического сопровождения с целью оказания учащимся первичной помощи при нахождении в кризисных ситуациях посредством групповых и индивидуальных консультаций и тренинга. Результаты исследований послужат теоретической и практической базой для разработки дифференцированных превентивных, лечебно-диагностических и реабилитационных мероприятий по охране психического здоровья. На базе полученных результатов предполагается разработать оптимальный алгоритм реабилитационных мероприятий, позволяющий улучшить качество жизни пациентов исследуемых групп подрастающего поколения. Результаты исследований могут использоваться специалистами по медицинской психологии и социальной психиатрии, социологии, психологии и медицине, конфликтологии, информационному моделированию и системному анализу.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 19-013-00018.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, № 19-013-00018.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антомонов М.Ю., Краева Л.А., Краев С.Б.* Применение современных методов компьютерной обработки данных при изучении заболеваемости населения. Киев: ИК НАНУ, 1998. 38 с.
2. *Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С.* Математико-картографическое моделирование в географии. М.: Мысль, 1980. 224 с.
3. *Карпик А.П.* Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: Монография. Новосибирск: СГГА, 2004. 260 с. Электронный ресурс: http://www.ssga.ru/metodich/karpik_1/index.html (дата обращения: 01.10.2019)
4. *Косых Н.Э., Лопатин А.С., Новикова О.Ю., Савин С.З.* Геоинформационные системы в задачах медицинской экологии. Владивосток: Дальнаука, 2008. 135 с.
5. *Краснов В.Н.* Депрессия как социальная и клиническая проблема современной медицины. Российский психиатрический журнал, 2011. № 6. С. 8–10.
6. *Логинов И.П., Солодкая Е.В.* Клинические характеристики депрессивных расстройств у подростков Дальнего Востока России и Северного Китая. Сибирский вестник психиатрии и наркологии, 2019. № 2 (103). С. 108–112. DOI: https://doi.org/10.26617/1810-3111-2019-2(103)-108-112.
7. *Логинов И.П., Солодкая Е.В.* Мониторинг суицидальной ситуации в Приамурье. Уровень жизни населения регионов России, 2017. № 2. С. 101–106. DOI: 10.12737/article_59008b9d661089.19306160.
8. *Маймулов В.Г., Пивоваров А.Н., Ломтев А.Ю., Горбанев С.А.* Использование географических информационных систем для оценки медико-экологической ситуации в городе. Медицина труда и промышленная экология, 1998. № 5. С. 10–13.
9. *Нурбаев С.К.* Практическое использование ГИС-технологий в здравоохранении. САПР и Графика, 2000. № 5. С. 28–33.
10. *Хуснетдинова В.Р.* Геоинформационные системы в экологии. Вестник Университета, 2014. № 8. С.174–177.
11. *Brent D.A., Weersing V.R.* Depressive disorders in childhood and adolescence. Rutter's Child and Adolescent Psychiatry. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2008. P. 587–613.
12. *Burkov S.M., Loginov I.P., Savin S.Z.* Geoinformation system for analysis of ethno-criminological situation in Priamurye. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Petrozavodsk: KRC RAS, 2018. V. 24. Part 1. P. 194–201. DOI: http://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-1-24-194-201.
13. *Burrough P.A., McDonn R.A., Lloyd C.D.* Principles of geographical information systems (spatial information systems). 3rd edition. New York: Oxford University Press, 2015. 330 p.
14. *Clarke K.C.* Advances in geographic information systems. Computers, environment and urban systems, 1986. V. 10. No 3−4. P. 175–184.
15. *Harvey F.A.* A primer of GIS: Fundamental geographic and cartographic concepts. New York: The Guilford Press, 2008. 310 p.
16. *Heywood I., Cornelius S.C., Carver S.* An introduction to geographical information systems. 3rd edition. Essex: Pearson Prentice Hall, 2006. 446 p.
17. *Holdstock D.* Strategic GIS planning and management in local government. Boca Raton, FL: CRC Press, 2017. 258 p.
18. *Stewart S.M., Kennard B.D., Lee P.W.H., Mayes T., Hughes C.W., Emslie G.* Hopelessness and suicidal ideation among adolescents in two cultures. Journal of Child Psychology, Psychiatry and Allied Disciplines, 2005. V. 46. No 4. P. 364–372. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00364.x.
19. *Vine M., Degnan D., Hanchette F., Environ C.* Geographic information systems: their use in environmental epidemiologic research. Health Perspect, 1997. V. 105 (6). P. 598–605.
20. *Wasserman D., Cheng Q., Jiang G.X.* Global suicide rates among young people aged 15−19. World Psychiatry, 2005. V. 4 (2). P. 114–120.

REFERENCES

1. *Antomonov M.Yu., Kraeva L.A., Kraev S.B.* Application of modern methods of computer data processing in the study of morbidity. Kiev: IK NASU, 1998. 38 p. (in Russian).
2. *Brent D.A., Weersing V.R.* Depressive disorders in childhood and adolescence. Rutter's Child and Adolescent Psychiatry. Oxford, England: Blackwell Publishing Ltd, 2008. P. 587–613.
3. *Burkov S.M., Loginov I.P., Savin S.Z.* Geoinformation system for analysis of ethno-criminological situation in Priamurye. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Petrozavodsk: KRC RAS, 2018. V. 24. Part 1. P. 194–201. DOI: http://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-1-24-194-201.
4. *Burrough P.A., McDonn R.A., Lloyd C.D.* Principles of geographical information systems (spatial information systems). 3rd edition. New York: Oxford University Press, 2015. 330 p.
5. *Clarke K.C.* Advances in geographic information systems. Computers, environment and urban systems, 1986. V. 10. No 3−4. P. 175–184.
6. *Harvey F.A.* Primer of GIS, Fundamental geographic and cartographic concepts. New York: The Guilford Press, 2008. 310 p.
7. *Heywood I., Cornelius S., Carver S.* An introduction to geographical information systems. 3rd edition. Essex: Pearson Prentice Hall, 2006. 446 p.
8. *Holdstock D.* Strategic GIS planning and management in local government. Boca Raton, FL: CRC Press, 2017. 258 p.
9. *Karpik A.P.* Methodological and technological bases of geoinformation support of territories: Monograph. Novosibirsk: SSGA, 2004. 260 p. Web resource: http://www.ssga.ru/metodich/karpik_1/index.html (accessed 01.10.2019) (in Russian).
10. *Khusnetdinova V.R.* Geoinformation systems in ecology. Vestnik Universita (Herald of the University), 2014. No 8. P. 174–177 (in Russian).
11. *Kosykh N.E., Lopatin A.S., Novikova O.Yu., Savin S.Z.* Geoinformation systems in problems of medical ecology. Vladivostok: Dalnauka, 2008. 135 p. (in Russian).
12. *Krasnov V.N.* Depression as a social and clinical problem of modern medicine. Russian Psychiatric Journal, 2011. No 6. P. 8–10 (in Russian).
13. *Loginov I.P., Solodkaya E.V.* Clinical characteristics of depressive disorders in adolescents of the Far East of Russia and Northern China. Siberian Herald of Psychiatry and Addiction Psychiatry, 2019. No 2 (103). P. 108–112 (in Russian). DOI: https://doi.org/10.26617/1810-3111-2019-2(103)-108-112.
14. *Loginov I.P., Solodkaya E.V.* Monitoring of suicidal situation in the Amur region. Living Standards of the Population in the Regions of Russia, 2017. No 2. P. 101–106 (in Russian).
15. *Maimulov V.G., Pivovarov A.N., Lomtev A.Yu., Gorbanev S.A.* The use of geographical information systems to assess the medical and environmental situation in the city. Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology, 1998. No 5. P. 10–13 (in Russian).
16. *Nurbaev S.K.* Practical use of GIS technologies in health care. CAD and Graphics, 2000. No 5. P. 28–33 (in Russian).
17. *Stewart S.M., Kennard B.D., Lee P.W.H., Mayes T., Hughes C.W., Emslie G.* Hopelessness and suicidal ideation among adolescents in two cultures. Journal of Child Psychology, Psychiatry and Allied Disciplines, 2010. V. 46. P. 364–372. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00364.x.
18. *Vine M., Degnan D., Hanchette F., Environ C.* Geographic information systems: their use in environmental epidemiologic research. Health Perspect, 1997. V. 105 (6). P. 598−605.
19. *Wasserman D., Cheng Q., Jiang G.X.* Global suicide rates among young people aged 15−19. World Psychiatry, 2005. V. 4 (2). P. 114–120.
20. *Zhukov V.T., Serbenyuk S.N., Tikunov V.S.* Mathematical and cartographic modeling in geography. Moscow: Mysl', 1980. 224 p. (in Russian).

УДК: 528.93 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-53-61**

П.М. Кикин[1], А.А. Колесников[2], А.М. Портнов[3], Д.В. Грищенко[4]

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

Состояние экологических систем наряду с их общими характеристиками практически всегда описывается показателями, изменяющимися в пространстве и времени, что приводит к существенному усложнению построения математических моделей для прогнозирования состояния таких систем. Одним из способов, позволяющих упростить и автоматизировать построение математических моделей для прогнозирования состояния таких систем, является использование методов машинного обучения. В статье приводится сравнение традиционных и основанных на нейронных сетях алгоритмов и методов машинного обучения для прогнозирования пространственно-временных рядов, представляющих данные экосистем. Анализ и сравнение проводились среди следующих алгоритмов и методов: логистическая регрессия, случайный лес, градиентный бустинг на деревьях решений, SARIMAX, нейронные сети долгой краткосрочной памяти (LSTM) и управляемых рекуррентных блоков (GRU). Для проведения исследования были подобраны наборы данных, имеющих как пространственную, так и временную составляющие: значения численности москитов, количество заражений лихорадкой денге, физическое состояние деревьев тропической рощи, уровень воды в реке. В статье рассматриваются необходимые действия по предварительной обработке данных, в зависимости от используемого алгоритма. Также в качестве одного из параметров, которые могут помочь формализовать выбор наиболее оптимального алгоритма при построении математических моделей пространственно-временных данных для используемых наборов, была вычислена колмогоровская сложность. По результатам проведенного анализа даются рекомендации по применению тех или иных методов и конкретных технических решений в зависимости от особенностей набора данных, описывающего конкретную экосистему.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экосистемы, пространственно-временные показатели, LSTM, SARIMAX, прогнозирование

---

[1] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), ул. Политехническая, д. 29, 195251, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail:* **it-technologies@yandex.ru**
[2] Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия; *e-mail:* **alexeykw@mail.ru**
[3] Московский государственный университет геодезии и картографии, Гороховский пер., д. 4, 105064, Москва, Россия; *e-mail:* **portnov@miigaik.ru**
[4] Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия; *e-mail:* **mr_divis@mail.ru**

Pavel M. Kikin[1], **Alexey A. Kolesnikov**[2], **Alexey M. Portnov**[3], **Denis V. Grischenko**[4]

NATURAL LANGUAGE PROCESSING SYSTEMS FOR DATA EXTRACTION AND MAPPING ON THE BASIS OF UNSTRUCTURED TEXT BLOCKS

ABSTRACT

The state of ecological systems, along with their general characteristics, is almost always described by indicators that vary in space and time, which leads to a significant complication of constructing mathematical models for predicting the state of such systems. One of the ways to simplify and automate the construction of mathematical models for predicting the state of such systems is the use of machine learning methods. The article provides a comparison of traditional and based on neural networks, algorithms and machine learning methods for predicting spatio-temporal series representing ecosystem data. Analysis and comparison were carried out among the following algorithms and methods: logistic regression, random forest, gradient boosting on decision trees, SARIMAX, neural networks of long-term short-term memory (LSTM) and controlled recurrent blocks (GRU). To conduct the study, data sets were selected that have both spatial and temporal components: the values of the number of mosquitoes, the number of dengue infections, the physical condition of tropical grove trees, and the water level in the river. The article discusses the necessary steps for preliminary data processing, depending on the algorithm used. Also, Kolmogorov complexity was calculated as one of the parameters that can help formalize the choice of the most optimal algorithm when constructing mathematical models of spatio-temporal data for the sets used. Based on the results of the analysis, recommendations are given on the application of certain methods and specific technical solutions, depending on the characteristics of the data set that describes a particular ecosystem.

KEYWORDS: ecosystems, spatio-temporal indicators, LSTM, SARIMAX, forecasting

ВВЕДЕНИЕ

Оценка потенциала и перспективы применения современных технологий машинного обучения и искусственного интеллекта в области экологии были представлены в 2000 г. на международной конференции Applications of Machine Learning to Ecological Modelling. Труды конференции описывают преимущества методов машинного обучения при работе с многомерными данными, обладающими нелинейностью, сложными взаимосвязями и разнородными ошибками в данных, а также описаны преимущества при совместном использовании различных типов экологических моделей для описания экосистемы, которые развиваются в структуре и поведении [*Knudby*, 2010].

Разнообразие актуальных алгоритмов машинного обучения, большое количество параметров и индивидуальные требования к подготовке исходных данных не позволяют специалистам, работающим с информацией в области экологических систем и явлений, эффективно их использовать и строить прогнозные математические модели [*Haupt*, 2009, *Olden*, 2008]. Таким образом, основной задачей исследования являлась формулировка

[1] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), Polytechnicheskaya str., 29, 195251, St. Petersburg, Russia; *e-mail:* **it-technologies@yandex.ru**
[2] Siberian State University of Geosystems and Technologies, Plakhotnogo str., 10, 630108, Novosibirsk, Russia; *e-mail*: **alexeykw@mail.ru**
[3] Moscow State University of Geodesy and Cartography, Gorokhovsky lane, 4, 105064, Moscow, Russia; *e-mail*: **portnov@miigaik.ru**
[4] Siberian State University of Geosystems and Technologies, Plakhotnogo str., 10, 630108, Novosibirsk, Russia; *e-mail*: **mr_divis@mail.ru**

рекомендаций по подготовке и инжинирингу исходных данных и выбору конкретного, наиболее подходящего алгоритма на основе критериев оценки исходного набора данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследования требовались данные, в которых среди характеристик объекта или явления присутствуют пространственная и временная составляющие. Исходя из этих требований, были выбраны следующие наборы данных:

- численность москитов Aedes aegypti на территории западной и прибрежной частей Кении [*Ndenga*, 2017];
- количество заражений лихорадкой денге на территории Пуэрто-Рико и Перу[1];
- физическое состояние деревьев в низинной тропической роще на территории Пуэрто-Рико [*David*, 2006];
- уровень воды в бассейне реки Соан, Пакистан[2].

Сводные характеристики указанных наборов данных представлены в табл. 1. Каждый набор данных был дополнен показателем колмогоровской сложности, описывающим пространственно-временные ряды с целью возможности определения эффективности того или иного подхода машинного обучения [*Ульянов*, 2013; *Сметанин*, 2014].

Табл. 1. Характеристики используемых наборов данных
Table 1. Parameters of used datasets

Набор данных	Количество экзогенных показателей	Временной интервал данных	Количество наблюдений	Стационарность	Сезонность	Колмогоровская сложность
Численность москитов	3	06.2014–06.2016	200	Нет	Да	0.13
Количество заболеваний денге	24	1990–2010	1456	Да	Да	0.16
Состояние деревьев	9	1983–2000	3381	Да	Нет	0.03
Уровень воды	1	1980–2000	18263	Да	Да	0.13

В наборе данные, которые были использованы для прогнозирования численности москитов. Исходными параметрами являлись температура, влажность, количество осадков[3], средние значения индекса NDVI для пикселей спутникового снимка, окружающих анализируемые города. Графическое представление количества заражений, являющееся целевым параметром в используемом наборе данных, отображено на рис. 1.

[1] Center for Disease Control and Prevention. Электронный ресурс: https://www.cdc.gov (дата обращения 27.12.2019)
[2] Pakistan meteorological department (PMD). Электронный ресурс: www.pmd.gov.pk (дата обращения 27.12.2019)
[3] National Oceanic and Atmospheric Administration. Электронный ресурс: https://www.noaa.gov (дата обращения: 27.12.2019)

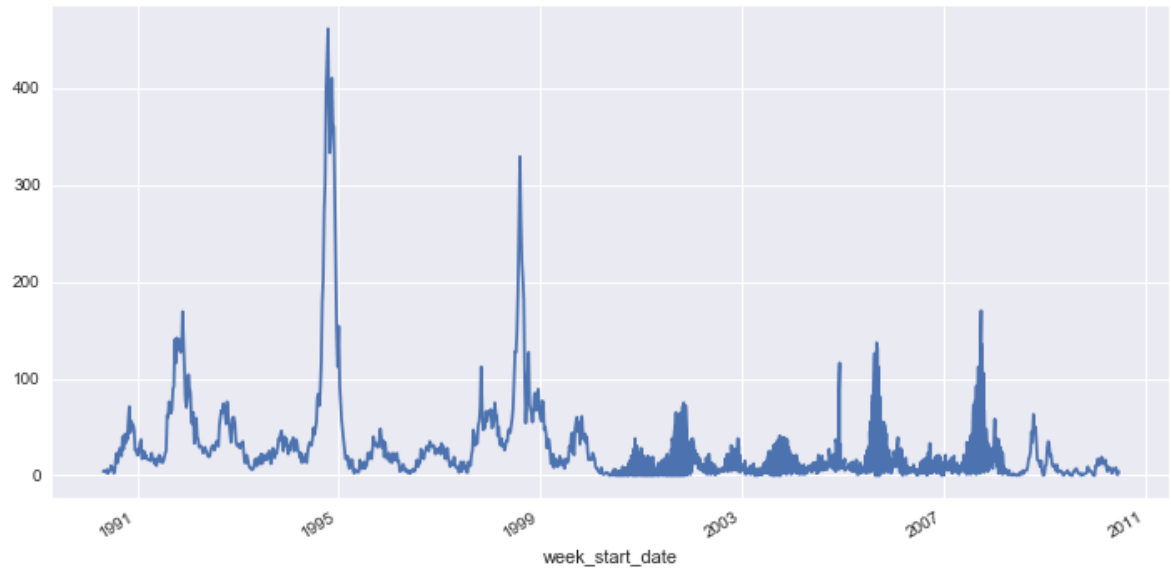


Рис. 1. График количества заражений лихорадкой денге
Fig. 1. Dengue fever count

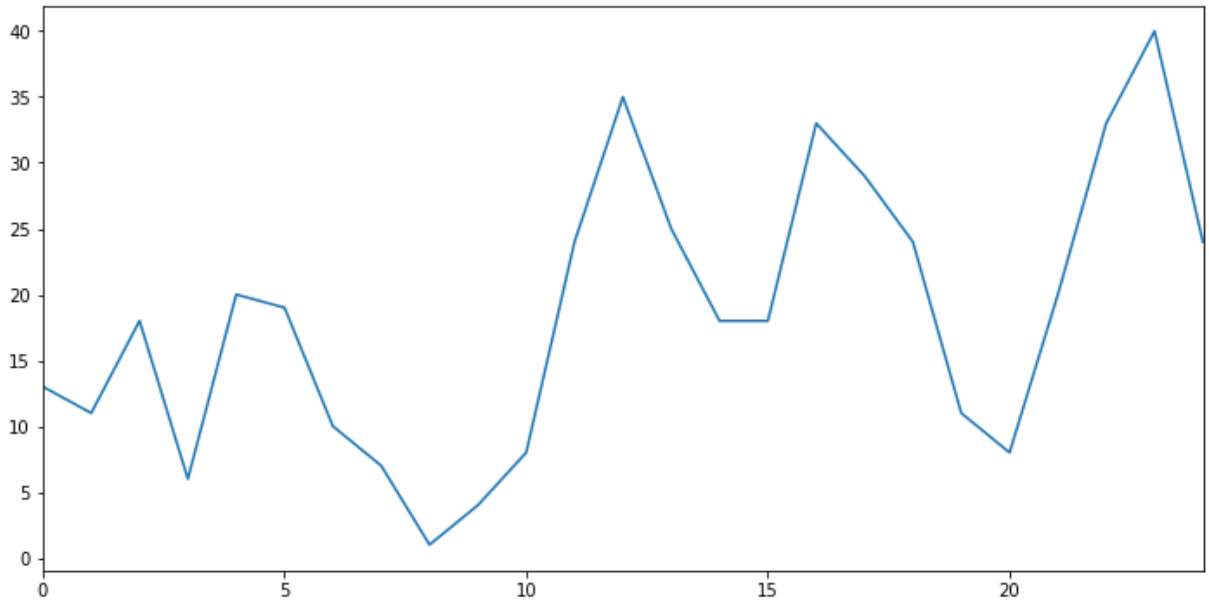


Рис. 2. График изменения численности москитов
Fig. 2. Mosquitoes count

Для данных, содержащих значения численности москитов дополнительно на указанные даты и для анализируемого района, из открытых источников (GlobeLand30, MODIS, WorldClim, ALOS Palsar) были собраны дополнительные характеристики — тип ландшафта, температура, NDVI, влажность, характеристики рельефа. Визуально изменение количества москитов за анализируемый период приведено на рис. 2.

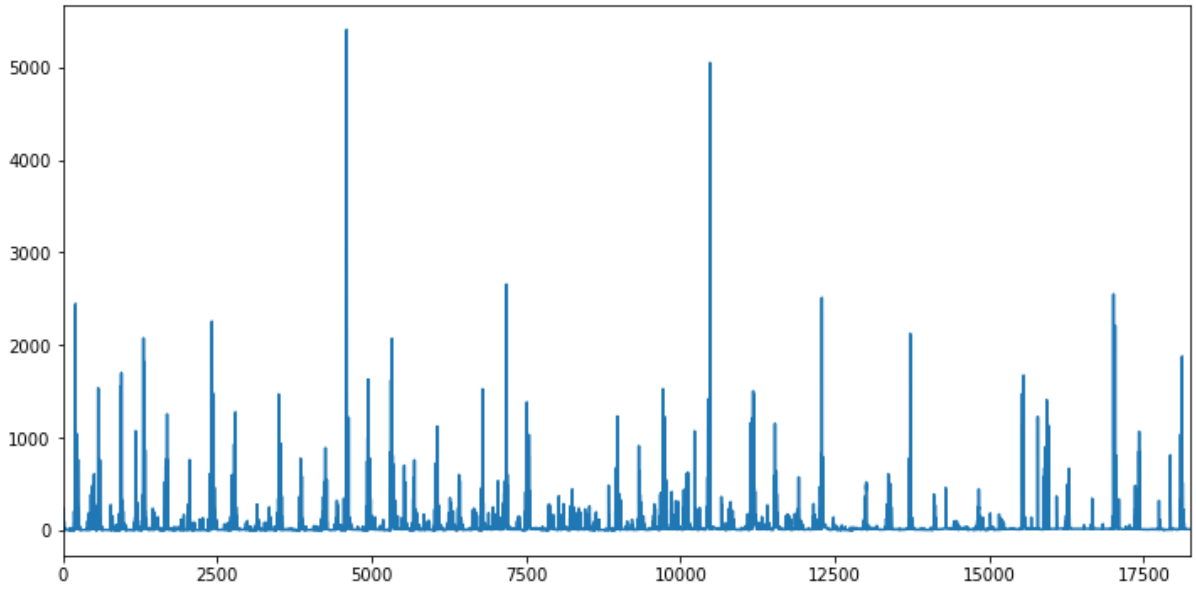


Рис. 3. График изменения уровня воды реки Соан
Fig. 3. Soan River water level

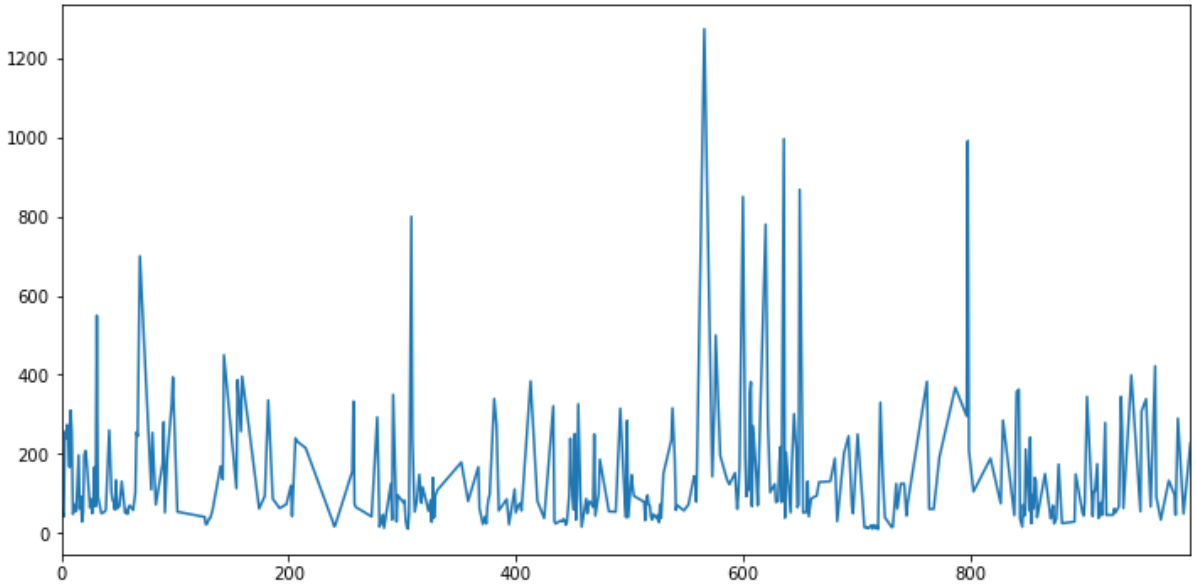


Рис. 4. График изменения сводной характеристики качества деревьев
Fig. 4. Graph of changes in the summary quality characteristic of trees

Построение математической модели прогнозирования уровня воды р. Соан базировалось только на значении количестве осадков. На рис. 3 показано изменение уровня вода за рассматриваемый период времени.

Оценка и прогноз изменения характеристик в используемом наборе данных основывался на годичных циклах, поскольку именно такой временной интервал наиболее оптимально отражает реакцию деревьев на изменения климата. Параметры представлены измерениями диаметра и высоты, состояния ствола и показателей освещённости кроны и структуры леса в целом. Графическое представление сводной характеристики качества деревьев отображено в виде графика на рис. 4.

Для построения прогнозов были использованы алгоритмы, которые наиболее успешно используются для работы с пространственно-временными данными:

- логистическая регрессия [*McCullagh*, 1989];
- random forest [*Liaw*, 2002];
- LightGBM, xgBoost, CatBoost;
- SARIMAX [*Arunraj*, 2016];
- LSTM (Simple, Stacked, Bi-Directional, CNN-LSTM) [*Hochreiter*, 1997] [Schuster, 1997], [*Chiu*, 2015];
- GRU [*Chung*, 2014].

Логистическая регрессия в данном исследовании была использована в качестве точки отсчёта для последующего сравнения метрик качества предсказания других методов. Random forest и другие алгоритмы, основанные на деревьях решений LightGBM, xgBoost, CatBoost и использующие градиентный бустинг в процессе обучения, на сегодняшний день остаются одним из самых надёжных и эффективных способов построения предсказательных моделей для табличных данных. Они обладают высокой скоростью обучения и устойчивы к ненормализованным числовым показателям, а также к наличию выбросов в данных. SARIMAX — наиболее изученный алгоритм прогнозирования числовых рядов с учётом сезонности и экзогенных параметров, куда были отнесены и данные о пространственном положении.

Также были использованы варианты рекуррентных нейронных сетей — LSTM и GRU. В обоих случаях тренировочные данные были преобразованы в числовой формат и нормализованы.

LSTM представляет собой развитие принципов рекуррентных нейронных сетей призванное решить их проблему с невозможностью «запоминания» долговременных зависимостей и работой с переменной величиной контекста. Архитектура LSTM спроектирована таким образом, чтобы «запоминать» взаимосвязи как на короткие, так и на длинные промежутки времени в анализируемых временных рядах, при этом используя механизмы «забывания», чтобы отсеивать несущественные взаимосвязи.

GRU более простой вариант с точки зрения количества вычислений, LSTM архитектуры и при этом в большинстве задач показывающий аналогичные результаты по точности. Основываясь на принципах работы GRU вариант должен показывать более качественные результаты при небольших объёмах данных для обучения.

Для всех используемых алгоритмов категориальные признаки обучающих наборов кодировались методом One Hot Encoding. Последующая предобработка наборов данных выполнялась в зависимости от используемого алгоритма. Для логистической регрессии ко всем имеющимся данным применялась нормализация. В случае алгоритма SARIMAX обучающая выборка формировалась на основе значений дат и прогнозируемого показателя, все остальные параметры помещались в массив экзогенных параметров. Для всех используемых вариаций LSTM и GRU, кроме обязательной нормализации, производилось преобразование данных таким образом, чтобы в каждой записи дублировались данные о нескольких предыдущих шагах. Значение количества шагов, дописываемых таким образом к каждой записи, подбиралось экспериментально и для описываемых данных составляло 7 единиц для набора данных о количестве заболеваний денге, 4 — для набора данных о состоянии деревьев, и 5 — для данных о численности москитов и уровне воды.

Построенные вышеперечисленными методами математические модели обладают низкой степенью интерпретируемости, а также параметры самих нейронных сетей (количество слоёв и нейронов в них, порядок слоёв, функции активации и т.д.) требуется подбирать экспериментально, что приводит к повышенной сложности их использования на данных, подобных используемым в описываемом исследовании.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты для всех описанных наборов данных приведены в табл. 2.

Для примера графическое представление результатов прогнозирования с помощью алгоритмов логистической регрессии, случайного леса, LightGBM, LSTM, GRU и истинного уровня (линия True) р. Соан приведено на рис. 5.

Табл. 2. Сводная таблица результатов
Table 2. Summary table of the results

MAE	Логистическая регрессия	Random forest	LightGBM	SARIMAX	LSTM Simple	LSTM Stacked	LSTM Bi-Directional	GRU
Численность москитов	9.58	14.30	13.91	8.12	7.56	7.13	6.49	6.68
Количество заболеваний денге	37.08	26.56	26.05	34.66	30.56	30.05	28.89	30.45
Состояние деревьев	32.14	20.14	19.23	26.61	22.80	21.55	20.38	21.63
Уровень воды	14.16	27.60	29.60	14.71	13.16	12.83	11.99	12.40

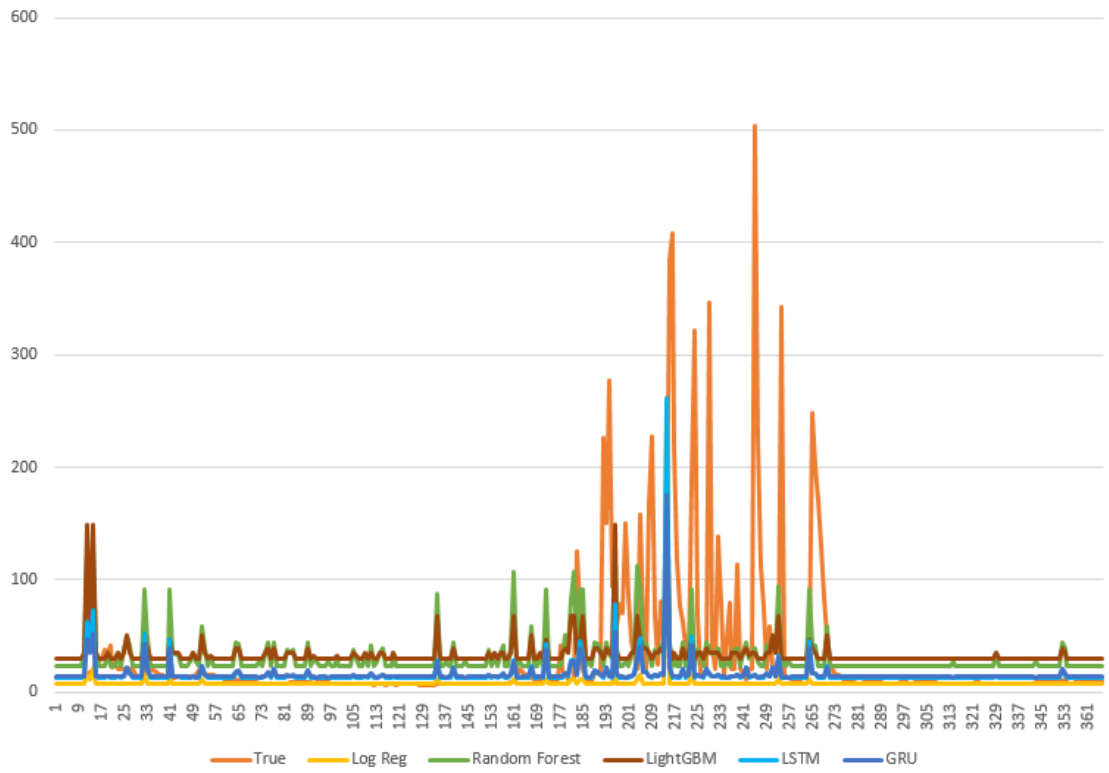


Рис. 5. Сравнение результатов прогнозирования уровня реки, полученного несколькими алгоритмами с истинными показателями
Fig. 5. Comparison of river level prediction results obtained by several algorithms with true values

ВЫВОДЫ

В результате анализа качества предсказаний, сделанных различными алгоритмами, было выявлено, что для пространственно-временных рядов с большим числом экзогенных параметров наилучшую предсказательную способность демонстрируют алгоритмы на основе деревьев решений. Для наборов данных с малым числом дополнительных параметров наилучшую предсказательную способность показывают рекуррентные нейронные сети.

Зависимость качества предсказания использованных алгоритмов от колмогоровской сложности исходных данных не была выявлена, что тем не менее может быть обусловлено недостаточно репрезентативной выборкой.

В дальнейших исследованиях планируется провести апробацию описанных алгоритмов на большем разнообразии исходных данных, а также применить модели Хольта-Уинтерса, библиотеку Facebook Prophet и интерпретируемые LSTM сети (IMV-LSTM).

Дополнительно планируется разработать набор методических указаний по формированию архитектуры рекуррентных нейронных сетей и подбору их гиперпараметров в зависимости от особенностей исходных данных.

Также нужны исследования, ориентированные на расчёт и формализацию величины перекрытия (обратных отсчётов) в пакетах данных (для используемых наборов данных наличие и величина перекрытия слабо влияла на точность используемых RNN).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сметанин Ю.Г., Ульянов М.В.* Построение кластерного пространства временных рядов: колмогоровская и гармоническая сложность. Научные труды Вольного экономического общества России, 2014. № 186 (186). С. 124−129.

2. *Ульянов М. В., Сметанин Ю. Г.* Подход к определению характеристик колмогоровской сложности временных рядов на основе символьных описаний. Бизнес-информатика, 2013. № 2. С. 49−54.

3. *Arunraj N.S., Ahrens D., Fernandes M.* Application of SARIMAX model to forecast daily sales in food retail industry. International Journal of Operations Research and Information Systems, 2016. V. 7 (2). P. 1−21. DOI: 10.4018/ijoris.2016040101.

4. *Chiu J., Jason P. C., Nichols E.* Named entity recognition with bidirectional LSTM-CNNs. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 2015. V. 4. P. 357−370.

5. *Chung J., Gulcehre C., Cho K.H., Bengio Y.* Empirical Evaluation of Gated Recurrent Neural Networks on Sequence Modeling, 2014. 9 p. DOI: arXiv:1412.3555 [cs.NE].

6. *Clark D. B., Clark D. A.* Tree growth, mortality, physical condition, and microsite in an old-growth lowland tropical rain forest. Ecology, 2006. V. 87. P. 2132−2132. DOI: 10.1890/0012-9658(2006)87[2132:TGMPCA]2.0.CO;2

7. *Haupt S., Pasini A., Marzban C.* Artificial Intelligence Methods in the Environmental Sciences. Springer Netherlands, 2009. 424 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-9119-3.

8. *Hochreiter S., Schmidhuber J.* Long Short-Term Memory. Neural Computing, 1997. V. 9−8. P. 1735−1780. DOI: dx.doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735.

9. *Knudby A., Brenning A., LeDrew E.* New approaches to modelling fish–habitat relationships. Ecological Modelling, 2010. V. 221 (3). P. 503−511. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2009.11.008.

10. *Liaw A., Wiener M.* Classification and Regression by Random Forest. R News, 2002. V. 2 (3). P. 18−22.

11. *McCullagh P., Nelder J.A.* Generalized linear models. 2nd edition. Taylor & Francis, 1989. 532 p.

12. *Ndenga B.A., Mutuku F.M., Ngugi H.N.* Characteristics of Aedes aegypti adult mosquitoes in rural and urban areas of western and coastal Kenya. PLoS One, 2017. V. 12 (12): e0189971. DOI: 10.1371/journal.pone.0189971.

13. *Olden J., Lawler J., Poff N.L.* Machine learning methods without tears: A primer for ecologists. The Quarterly Review of Biology, 2017. V. 83 (2). P. 171−193. DOI: 10.1086/587826.

14. *Schuster M., Paliwal K.K.* Bidirectional recurrent neural networks. IEEE Transactions on Signal Processing, 1997. V. 45−11. P. 2673−2681. DOI: dx.doi.org/10.1109/78.650093.

REFERENCES

1. *Arunraj N. S., Ahrens D., Fernandes M.* Application of SARIMAX model to forecast daily sales in food retail industry. International Journal of Operations Research and Information Systems, 2016. V. 7 (2). P. 1−21. DOI: 10.4018/ijoris.2016040101.
2. *Chiu J., Jason P.C., Nichols E.* Named entity recognition with bidirectional LSTM-CNNs. Transactions of the Association for Computational Linguistics, 2015. V. 4. P. 357−370.
3. *Chung J., Gulcehre C., Cho K.H., Bengio Y.* Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling, 2014. 9 p. DOI: arXiv:1412.3555 [cs.NE].
4. *Clark D.B., Clark D.A.* Tree growth, mortality, physical condition, and microsite in an old-growth lowland tropical rain forest. Ecology, 2006. V. 87. P. 2132−2132. DOI: 10.1890/0012-9658(2006)87[2132:TGMPCA]2.0.CO;2.
5. *Haupt S., Pasini A., Marzban C.* Artificial intelligence methods in the environmental sciences. Springer Netherlands, Amsterdam, 2009. 424 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-9119-3.
6. *Hochreiter S., Schmidhuber J.* Long short-term memory. Neural Computing, 1997. V. 9−8. P. 1735−1780. DOI: dx.doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735.
7. *Knudby A., Brenning A., LeDrew E.* New approaches to modelling fish–habitat relationships. Ecological Modelling, 2010. V. 221 (3). P. 503−511. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2009.11.008.
8. *Liaw A., Wiener M.* Classification and regression by random forest. R News, 2002. V. 2 (3). P. 18−22.
9. *McCullagh P., Nelder J.A.* Generalized linear models. 2nd edition. Taylor & Francis, 1989. 532 p.
10. *Ndenga B.A., Mutuku F.M., Ngugi H.N.* Characteristics of Aedes aegypti adult mosquitoes in rural and urban areas of western and coastal Kenya. PLoS One, 2017. V. 12 (12): e0189971. DOI: 10.1371/journal.pone.0189971.
11. *Olden J., Lawler J., Poff N.L.* Machine learning methods without tears: a primer for ecologists. The Quarterly Review of Biology, 2017. V. 83 (2). P. 171−193. DOI: 10.1086/587826.
12. *Schuster M., Paliwal K.K.* Bidirectional recurrent neural networks. IEEE Transactions on Signal Processing, 1997. V. 45−11. P. 2673−2681. DOI: dx.doi.org/10.1109/78.650093.
13. *Smetanin Y.G., Ulyanov M.V.* The design of cluster spaceoftime series: Kolmogorov and harmonious complexity. Scientific works of the Free Economic Society of Russia, 2014. V. 186 (186). P. 124−129 (in Russian).
14. *Ulyanov M. V., Smetanin Y. G.* An approach to characterizing the Kolmogorov complexity of time series based on symbolic descriptions. Business Informatics, 2013. V. 2. P. 49−54 (in Russian).

УДК: 504.7.064.3 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-62-77**

И.А. Ясенева[1], Е.В. Ясенева[2]

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ДЕТЕЙ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В СЕВАСТОПОЛЕ

АННОТАЦИЯ

Цель данной статьи состоит в определении факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье населения. Знания в данной области являются дополнительным инструментом для управления качеством окружающей природной среды с точки зрения сохранения и укрепления здоровья детского населения. Геоинформационный материал детской заболеваемости населения имеет значимые сведения о здоровье населения и влиянии экологии на него.

На загрязнение атмосферного воздуха влияют промышленные предприятия: Севгорводоканал ДКП Балаклавское государственное рудоуправление, Севтэц ДП, Севтеплоэнерго КП, Югторсан ООО. В воздушном бассейне присутствуют такие загрязнители, как: пыль неорганическая, окись углерода, сернистый ангидрид, окись азота, которые оказывают рост случаев заболеваемости органов дыхания, увеличение смертности от заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы.

В основу результатов работы легли материалы статистических данных, собранных автором в Территориальных органах Федеральной службы государственной статистики по городам и районам, региональных организациях здравоохранения (департамент здравоохранения г. Севастополя), городских поликлиниках исследуемой территории. Они включали информацию о демографической обстановке, а также данные медицинской статистики (заболеваемость и смертность по международной классификации болезней).

Рассмотрение медико-экологического состояния г. Севастополя проводилось с учётом критерия экологически зависимых заболеваний детского населения (возрастная группа от 0 до 17 лет). Оценка заболеваемости детей в г. Севастополе показала, что в структуре общей заболеваемости лидирующее место занимают болезни органов дыхания, второе место болезни органов пищеварения и третье место болезни нервной системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: заболеваемость, здоровье населения, экологозависимые заболевания

Irina A. Yaseneva[3], Elena V. Yaseneva[4]

CHILDREN MORBIDITY AS INDICATOR OF ECOLOGICAL SITUATION IN SEVASTOPOL

ABSTRACT

The aim of this study was to define the factors that have a negative impact on public health. Knowledge in this field is an additional tool for the environmental quality management in the

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail:* **iyaseneva@yandex.ru**

[2] Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе, Кафедра географии океана, ул. Героев Севастополя, д. 7, 299001, Севастополь, Россия; *e-mail:* **eyaseneva@yandex.ru**

[3] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia; *e-mail:* **iyaseneva@yandex.ru**

[4] Lomonosov Moscow State University Branch in Sevastopol, Department of Ocean Geography, Geroyev Sevastopolya str., 7, 299001, Sevastopol, Russia; *e-mail:* **eyaseneva@yandex.ru**

context of preserving and strengthening of the child population health. The geoformation material of the children's morbidity has an important information about the health of the population and the environmental impact on it.

Industrial enterprises influence air pollution: Sevgorvodokanal DKP Balaklava State Mining Administration, Sevtets DP, Sevteploenergo KP, Yugtorsan LLC. Pollutants such as inorganic dust, carbon monoxide, sulfur dioxide, nitric oxide, which increase the incidence of respiratory diseases, increase mortality from diseases of the respiratory system and the cardiovascular system, are present in the air basin.

The results of the study are based on statistical data collected by the author in the Territorial Bodies of the Federal State Statistics Service for cities and districts, regional health organizations (Sevastopol Health Department), and city polyclinics in the study area. The dataset included information on the demographic situation, as well as medical statistics (morbidity and mortality according to the international classification of diseases).

Analysis of the medical and environmental status of the city of Sevastopol was carried out taking into account the criteria of the environmentally dependent diseases of the child population (age group from 0 to 17 years). Assessment of the incidence of children in the city of Sevastopol, showed that respiratory diseases occupy a leading place in the structure of the general incidence rate, digestive apparatus diseases take the 2nd place and the nervous system disease takes the third one.

KEYWORDS: morbidity, public health, environmentally attributable diseases

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наблюдается увеличение объёмов антропогенной нагрузки на окружающую среду городов. Для обеспечения городского населения социальными гарантиями в области экологической безопасности необходимо обнаружение и оценка воздействия эколого-географических факторов на здоровье населения. Проведённые ранее исследования [*Ревич*, 2004; *Воробьёва, Душкова*, 2013; *Игнатов и др.*, 2015; 2016] показали, что практически для каждого российского города является актуальной проблема создания благоприятной среды жизнедеятельности человека и качественное улучшение городской среды.

Загрязнение и ухудшение качества окружающей среды городов наносят значительный ущерб здоровью населения и приводят к росту заболеваемости среди взрослых и детей. Важным показателем воздействия окружающей среды на здоровье населения является заболеваемость среди детей (возрастная группа от 0 до 17 лет), поскольку дети в меньшей степени, чем взрослые, подвержены внутригородской миграции. Таким образом, детская заболеваемость отражает реакцию коренного населения на вредные воздействия факторов среды. Кроме того, из-за анатомо-физиологических особенностей дети более чувствительны к качеству среды обитания, а сроки проявления неблагоприятных эффектов у них короче. Это повышает достоверность медико-статистических исследований, позволяя делать более объективные выводы об экологической обусловленности заболеваний. Согласно различным классификациям [*Ревич*, 2004; *Прохоров*, 2010], к ним относятся: заболевания органов дыхания, болезни кожи и подкожной клетчатки, врождённые аномалии, злокачественные новообразования, заболевания крови и кроветворных органов и др. Согласно классификации ВОЗ, факторами, определяющими здоровье, являются образ жизни (49–53 %), состояние окружающей среды (17–20%), наследственность (18–22 %) и уровень медицинского обслуживания (8–10 %). Факторы окружающей среды могут иметь многообразные, прямые или опосредованные связи с нарушениями состояния здоровья человека.

Детская заболеваемость выявляется значительно сложнее, чем ряд других показателей, например, смертность. Это связано с тем, что болезнь может не

препятствовать выполнению ребенком деятельности, адекватной и соответствущей возрасту и нервно-психическому развитию.

Для изучения детской заболеваемости используется целый ряд методик: официальные статистичекие данные, анализ электронных баз данных, анкетирование населения, экспертный метод в разных его вариациях, метод моментных наблюдений, углубленные медицинские осмотры и др.. Главная проблема применения разных методов — несопоставимость объектов исследования [*Максимова и др.,* 2008].

В настоящее время статистические данные о детской заболеваемости крайне ограничены, поскольку анализируются только случаи обращения за медицинской помощью, что не даёт полной картины распространения патологии и её последствий [*Богатырёв*, 1967; *Медик*, 2003; *Щепин и др*., 2007]. В связи с этим наблюдается большая потеря доступных данных при сведении информации из учетных в отчетные документы.

Севастополь, как город федерального значения, обладает богатым курортно-рекреационным потенциалом. Однако антропогенное загрязнение окружающей среды формирует в регионе напряжённую эколого-гигиеническую обстановку, а этот факор способствует высокому уровню общей заболеваемости [*Присенко и др.,* 2014; *Шибанов,* 2014 г.].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование заболеваемости осуществлялось на основе контент-анализа источников информации (официальных статистических сборников «Здравоохранение в России», формы 12 в поликлиниках города Севастополя и др.), их систематизации и последующего логического, структурного и сравнительного анализа. Информационный массив содержит сведения о первичной и общей заболеваемости детского населения Севастополя с ранжированием по возрасту. Показатели заболеваемости рассмотрены на основании официальных данных по обращаемости за медицинской помощью в лечебные учреждения.

Материалы исследования получены в Территориальных органах Федеральной службы государственной статистики по городам и районам, региональных организаций здравоохранения (департамент здравоохранения г. Севастополя), городских поликлиниках, а также в официальных статистических сборниках «Здравоохранение в России». Они включали информацию о состоянии окружающей среды (санитарно-гигиеническая оценка состояния атмосферы, поверхностных вод, почвы, растительности), социально-экономических условиях, демографической обстановке, а также данные медицинской статистики (заболеваемость и смертность по МКБ).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сочетание региональных и антропогенных нагрузок на человеческий организм в техногенно-измененной среде приводит к возникновению так называемой «экологически зависимой заболеваемости».

Севастополь в настоящее время интенсивно развивается и испытывает заметную техногенную нагрузку, что связано с деятельностью промышленных предприятий, транспорта, строительства и энергетики. Особое значение имеет то, что исследуемая территория — крупная военно-морская база, что создаёт специфику в его хозяйственной деятельности и, соответственно, отражается на экологической ситуации [*Игнатов и др.,* 2015].

По результатам переписи 2012 г. (табл. 1), численность населения, проживающего в Севастополе, составляла 379,2 тыс. чел. На начало 2013 г. здесь проживало 381,5 тыс. чел. — снижение численности населения составило 3,4 % процента. В 2014 г. начался рост численности населения, гл. обр. за счёт миграционного прироста.

*Табл. 1. Численность населения г. Севастополя**
*Table 1. Population of Sevastopol**

	Всего населения, человек	В том числе		В общей численности населения, %	
		городское	сельское	городское	сельское
2012	379271	355624	23647	93.8	6.2
2013	381474	357673	23801	93.8	6.2
2014	383304	363134	30170	92.3	7.7
2015	398973	368601	30372	92.4	7.6
2016	416263	385777	30486	92.7	7.3
2017	428753	398070	30683	92.8	7.2
2018	436670	405976	30694	93.0	7.0
2019	443212	412563	30649	93.1	6.9

** 2014 г. — итоги переписи населения КФО, за остальные года — оценки на 1 января соответствующего года*
** 2014 — the results of the census of the Crimea Federal District, for the remaining years — estimates for January 1 of the corresponding year*

В 2014 г. он составил 13,6 тыс. чел. (рис.1), в 2015 — 17,9 тыс. чел., в 2016 —12,4 тыс. чел., на конец 2016 г., по предварительной оценке, численность составила 428,7 тыс. чел. В городе значительная доля населения старших возрастов. В 2014 г. доля населения в возрасте старше 30 лет составила 66 % при среднем показателе в России 63 %. По прогнозу Росстата, увеличение доли населения старше 30 лет продолжится и в стране, и в Севастополе. Причём в Севастополе — опять же с опережением. К 2030 г. эта доля в городе составит 69 %, а в России — 65 %.

Положительные изменения показателей миграции, демографии и смертности в г. Севастополе привели к снижению естественной убыли населения Севастополя с -1,51 на 1000 чел. в 2015 г. до -1,08 на 1000 чел. в 2016 г. Одним из главных индикаторов популяционного здоровья населения является ожидаемая продолжительность жизни при рождении, которая в Севастополе отстаёт от среднероссийских значений: в Севастополе и в Крыму она составляет 70,7 и 70,5 лет соответственно, в ЮФО — 72,1 года, в среднем по России — 71,4 года [https://sevzakon.ru/assets/files/otchety/gubernator/proekt_strategii_ser_do_2030.pdf].

Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются промышленные предприятия, влияющие на окружающую среду, в первую очередь Севгорводоканал ДКП, Балаклавское государственное рудоуправление, Севтэц ДП, Севтеплоэнерго КП, Югторсан ООО. Перечисленные источники загрязнения обусловливают присутствие в воздушном бассейне Севастополя пыли неорганической, окиси углерода, сернистого ангидрида, окиси азота, которые оказывают негативное влияние на здоровье человека — от роста случаев заболеваемости органов дыхания до увеличения смертности от заболеваний органов дыхания и сердечно-сосудистой системы (рис. 2).

Для выявления состояния среды обитания на здоровье наиболее достоверными являются экологически обусловленные поражения организма, включающие в себя аллергические болезни, такие как бронхиальная астма. В атмосферном воздухе населённых мест, особенно вблизи промышленных предприятий, обнаруживается широкий спектр различных загрязняющих веществ. Однако в настоящее время либо вообще отсутствуют данные эпидемиологических исследований относительно влияния этих загрязнителей на возникновение и рост числа аллергических заболеваний, либо эти данные недостаточны и

касаются исключительно населения, проживающего в непосредственной близости от локальных источников загрязнения[1].

На протяжении выбранного периода наблюдений общий уровень заболеваемости детей, подростков и взрослого населения в г. Севастополе остаётся примерно на одном уровне. Среди категории лиц от 0 до 14 лет происходит периодичность среднегодового прироста и уменьшения заболеваний; разброс коэффициента заболеваемости составляет от -2,2 до +1,7. В возрастных группах «от 15 до 17» происходит уменьшение заболеваемости; среднегодовой темп прироста составляет около -3,2 % (15–17 лет). Однако, если рассматривать отдельные виды заболеваний, картина выглядит иначе.

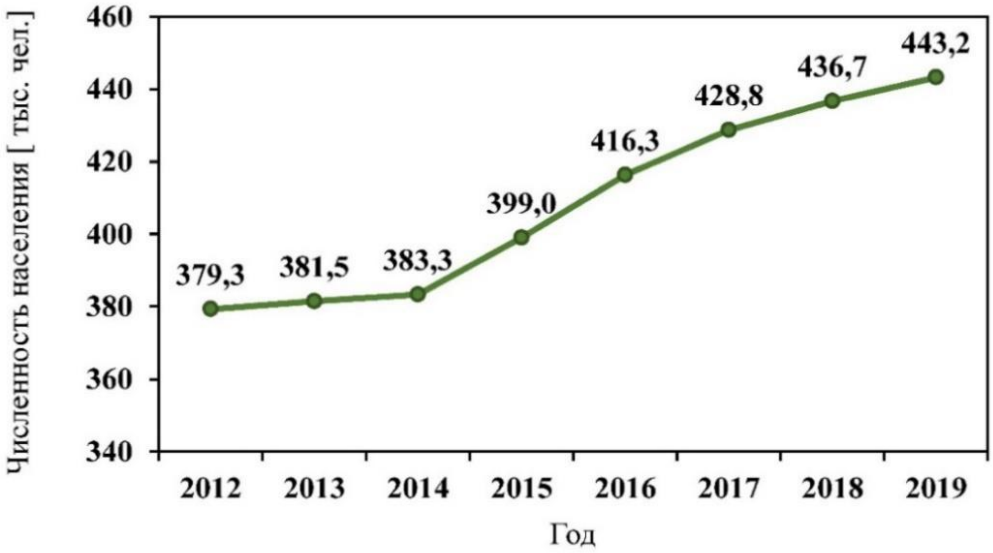


Рис. 1. Динамика численности населения с 2012 по 2019 гг.
Fig. 1. Population dynamics from 2012 to 2019

Маркером экологического неблагополучия внешней среды в первую очередь является патология органов дыхания (рис. 3). Загрязнённый воздух способствует возникновению и усугублению острых и хронических неспецифических заболеваний верхних дыхательных путей, хронического бронхита, эмфиземы легких, бронхиальной астмы. Таким образом, высокие показатели по классу болезни органов дыхания обусловлены не только региональными особенностями рассматриваемого района, но и воздействием неблагоприятных экологических факторов.

Особый интерес представляет заболеваемость детей в первый год жизни (рис. 4, 5). При оценке заболеваемости детей до 1 года в Севастополе видно, что в структуре общей заболеваемости лидируют болезни органов пищеварения (3258 случаев), 2-е место занимают болезни нервной системы (792 случая) и врождённые аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения (496 случаев) — на 3-ем месте.

Иную ситуацию отражает заболеваемость детей до 14 лет (рис. 6). 1-е и 2-е места среди всей заболеваемости детей до 14 лет, аналогично статистике 1-го года жизни, заняли болезни органов дыхания (3628 случаев), а также травмы, отравления и некоторые другие

---

[1] *Ясенева Е.В.* Геоэкологическая обстановка урбанизированных территорий Крыма: на примере г. Севастополя: диссертация ... кандидата географических наук: 25.00.23. Москва, 2010. 200 с.

последствия воздействия внешних причин (1072 случая), далее болезни органов пищеварения (584 случаев).

В сравнении с данными, приведёнными выше, детская заболеваемость в возрасте 15–17 лет распределилась совсем иначе (рис 7). Заболевания органов дыхания (3238 случая) занимают ведущее место наряду с болезнями органов пищеварения (652 случаев), 3-я позиция — болезни нервной системы (523 случая).

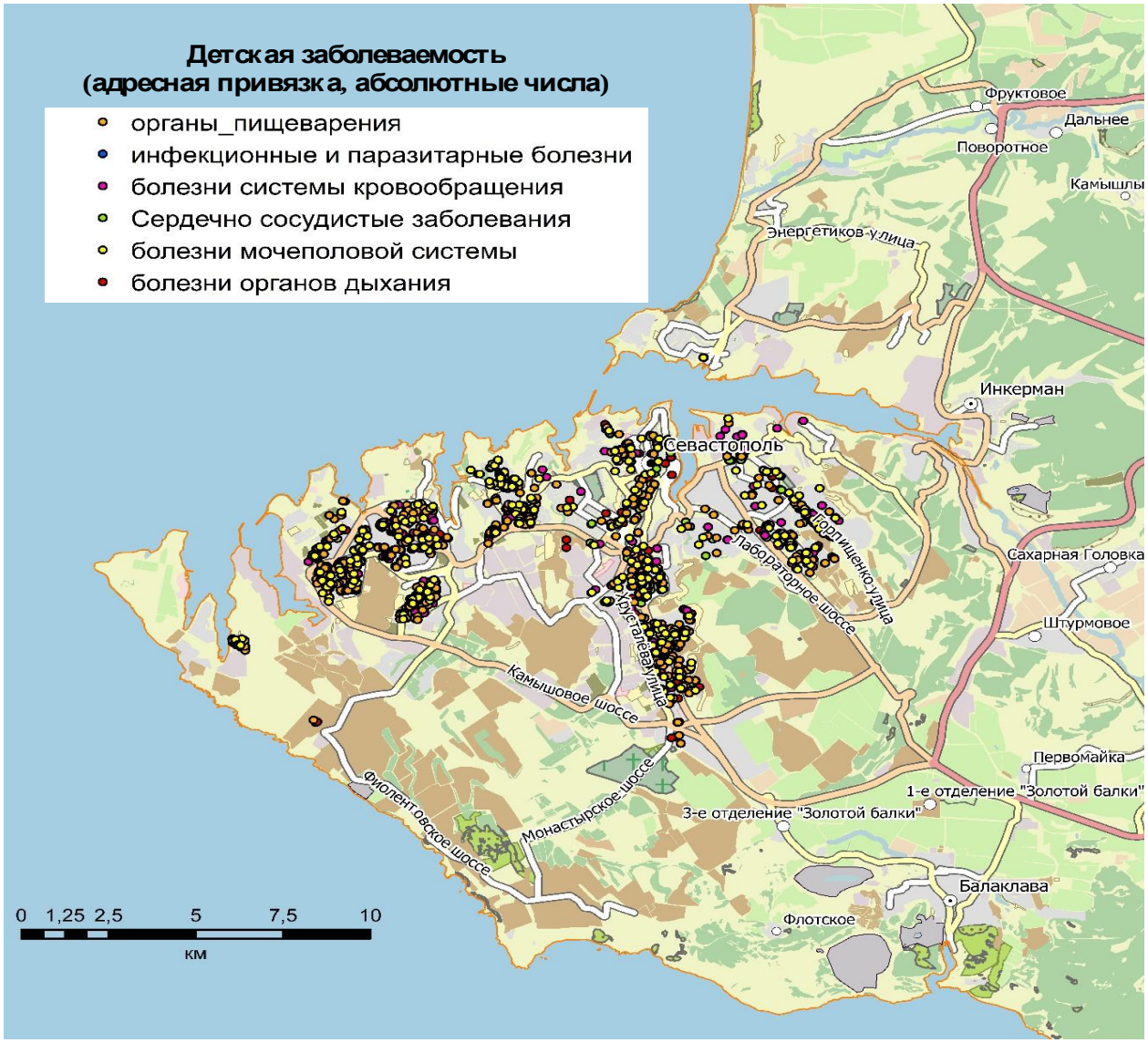


Рис. 2. Заболеваемость детей (0–18 лет)
основными классами эколого-зависимых болезней (2016 г.)
Fig. 2. The incidence of children (0−18 years)
by the main classes of environmentally dependent diseases (2016)

В основу построения карты напряжённости экологической обстановки положены расчёты отдельных параметров: загрязнения воздуха, загрязнения воды, загрязнения почвы, загрязнения растительности, медико-экологические показатели, проведённые авторами[1].

---

[1] *Барабошкин Е.Ю., Барабошкина Т.А., Каюкова Е.П., Ясенева Е.В. и др.* Эколого-ресурсный потенциал Крыма. История формирования и перспективы развития. Санкт-Петербург: ВВМ, 2016. Т. 1. 2-е изд. 351 с. https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_2060154

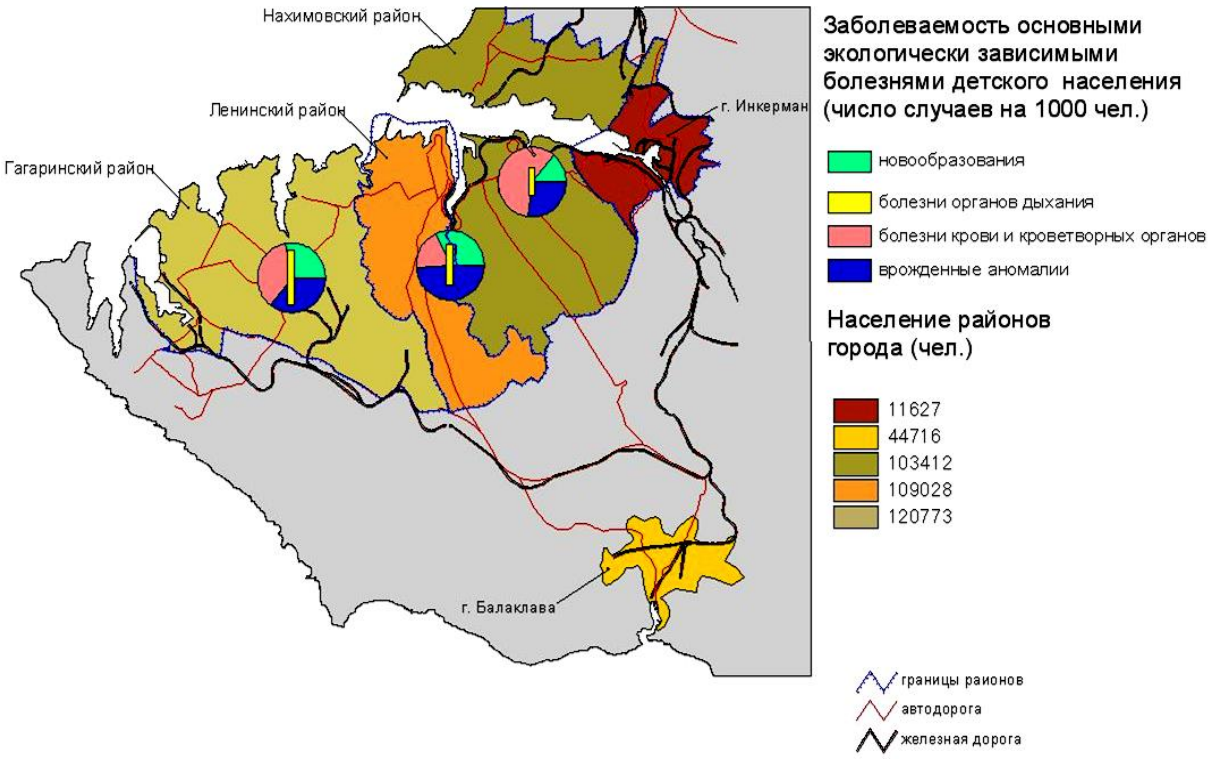
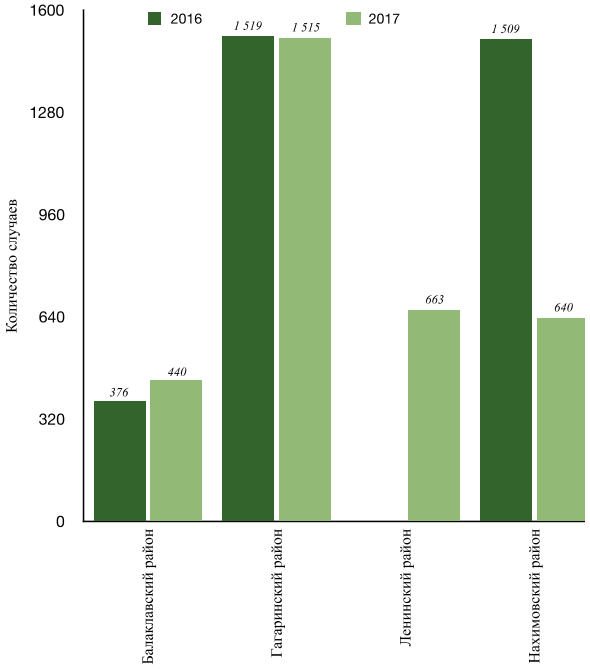


Рис. 3. Экологически зависимые заболевания среди детского населения г. Севастополя (Ясенева, 2010)
Fig. 3. Environmentally dependent diseases among the children's population of Sevastopol (Yaseneva, 2010)

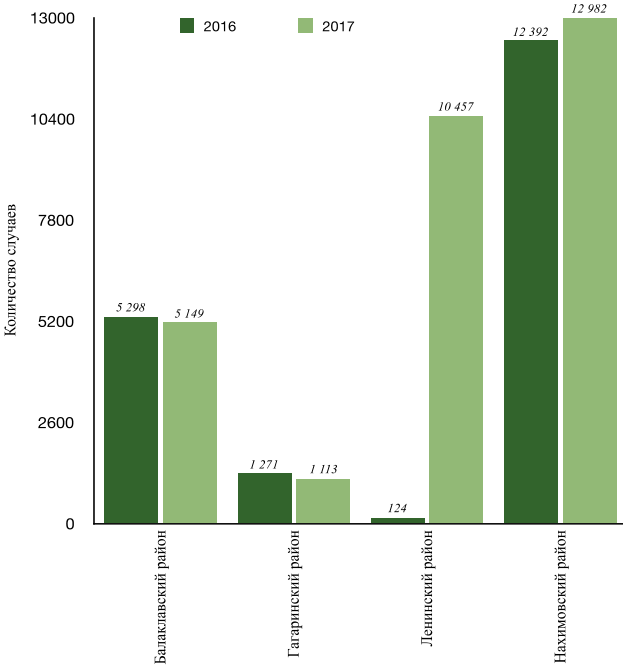
Оценка остроты экологической ситуации в городе по величине загрязнения была охарактеризована следующими рангами (рис. 8):

- благоприятная — отсутствие загрязнения, компоненты ландшафта не нарушены;
- относительно благоприятная — крайне малое загрязнение, компоненты ландшафта не нарушены;
- удовлетворительная — небольшое загрязнение (загрязнение не превышает 2ПДК по приоритетным поллютантам), слабо выраженная степень деградации ландшафта;
- неудовлетворительная — умеренное загрязнение (незначительно превышает ПДК=2–5), компоненты ландшафта нарушены;
- напряжённая — загрязнение значительно превышает ПДК > 5, сильно нарушены компоненты ландшафта.

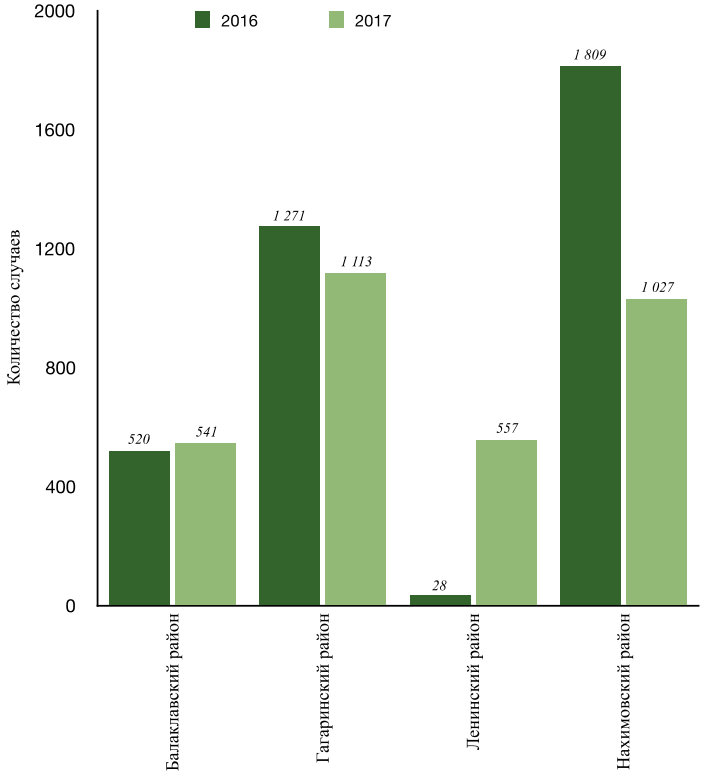
На основании проведённого анализа атмосферного воздуха, почвенного и растительного покрова выделены участки, где наблюдается напряжённая экологическая ситуация и относительно благоприятная (рис 8).



0 до года

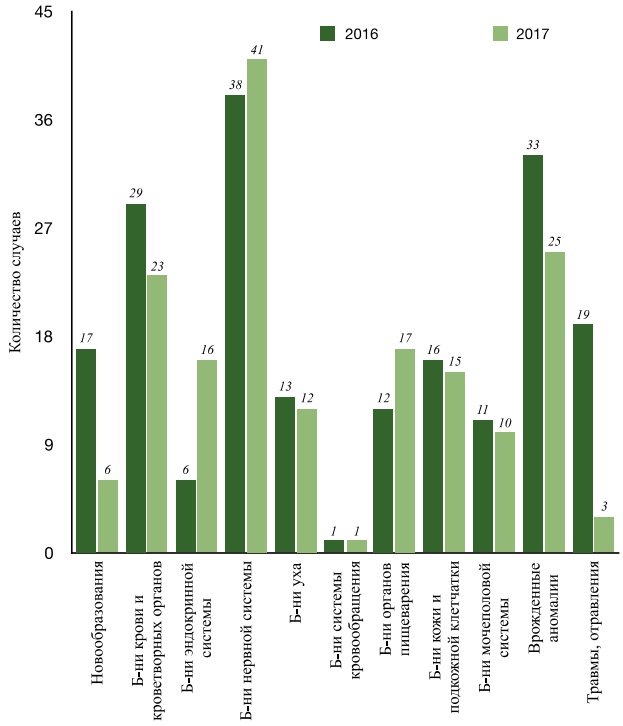


0 – 14 лет

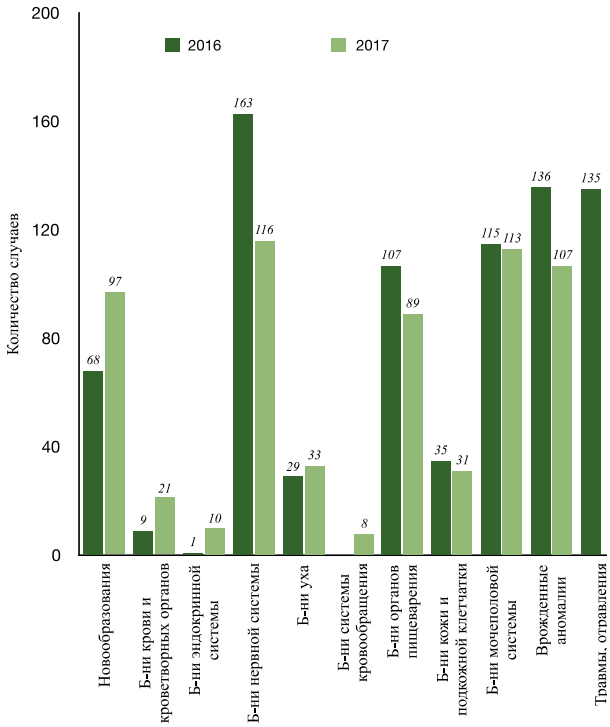


15–17 лет

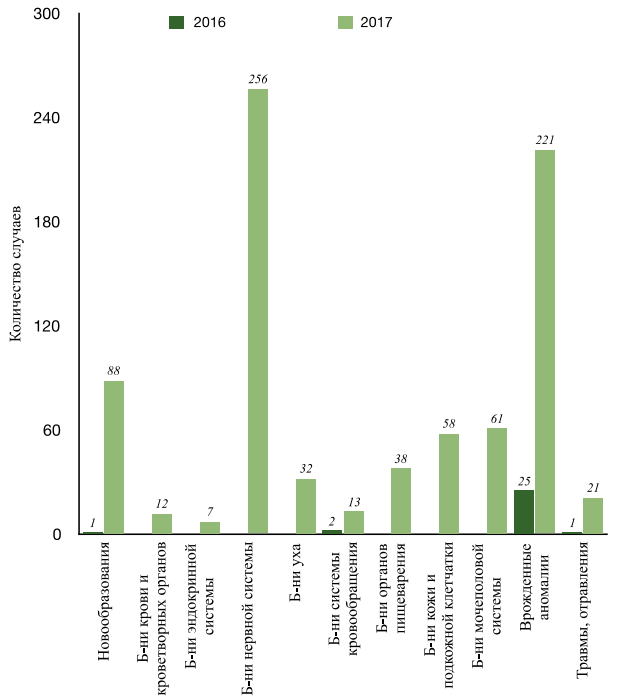
Рис. 4. Динамика патологии органов дыхания детского населения (0–17)
Fig. 4. Changes in the pathology of the respiratory system among the children (0–17)



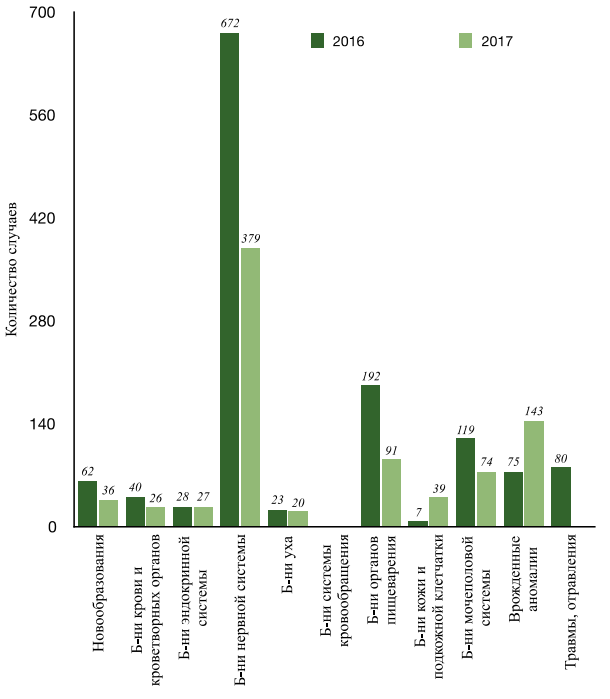
Балаклавский район



Гагаринский район

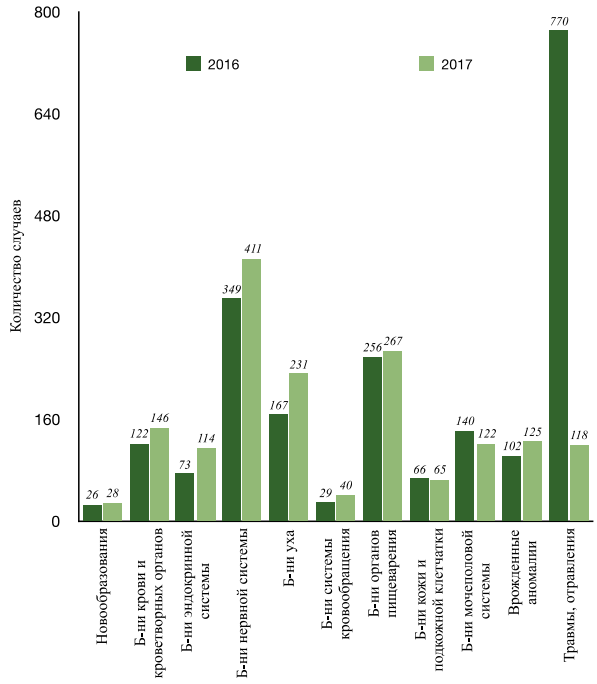


Ленинский район

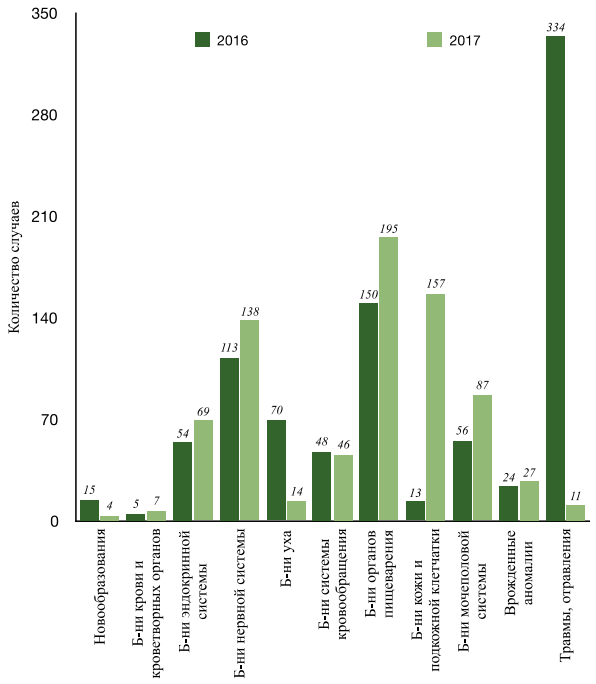


Нахимовский район

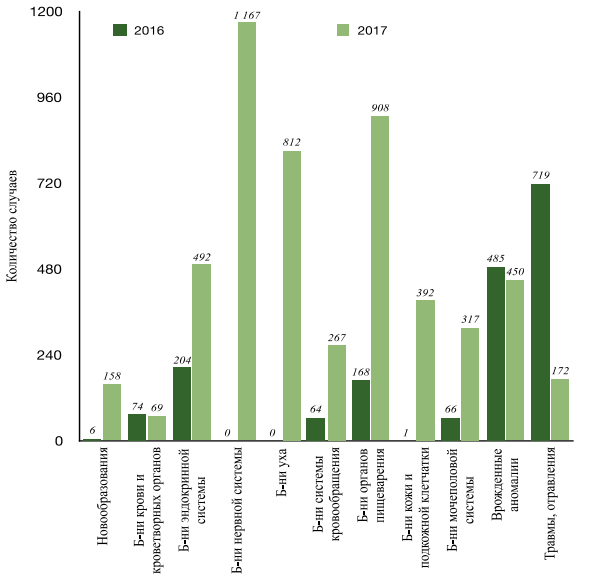
Рис. 5. Заболеваемость детей первого года жизни
Fig. 5. Morbidity of the children beyond the age of one year



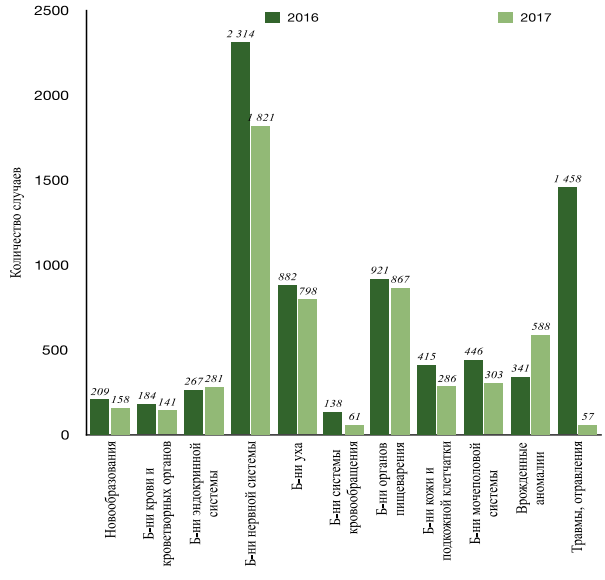
Балаклавский район



Гагаринский район

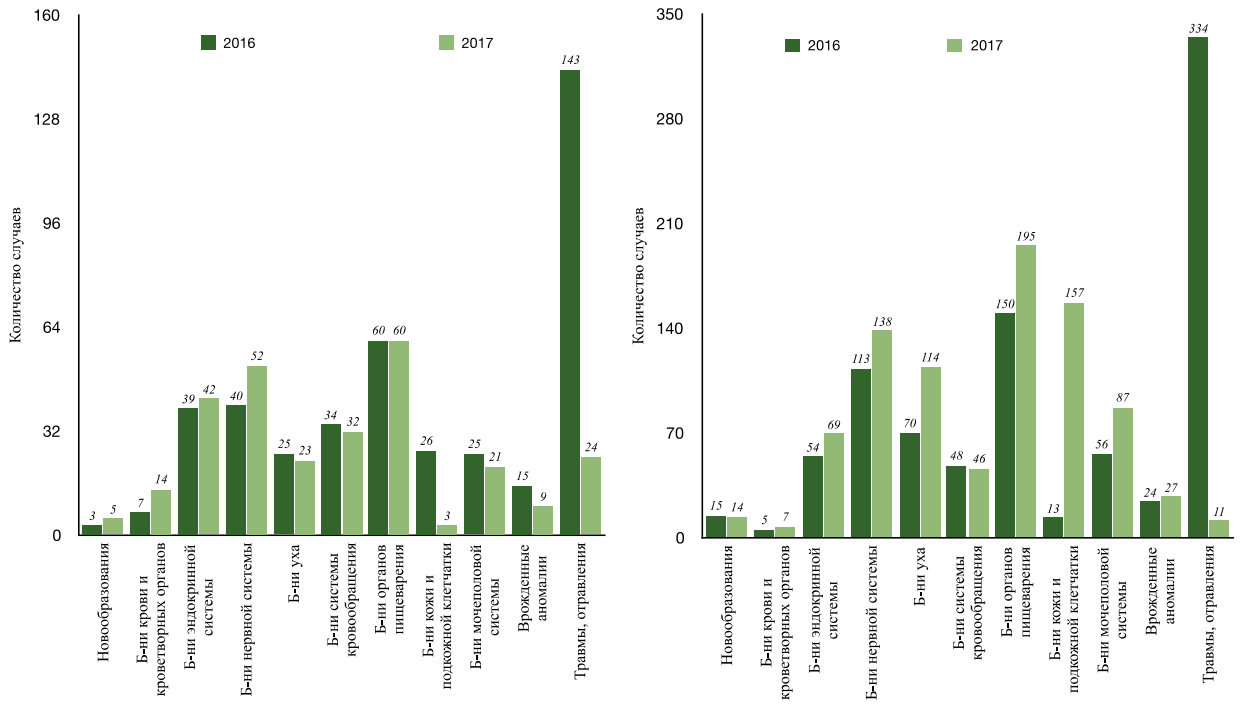


Ленинский район



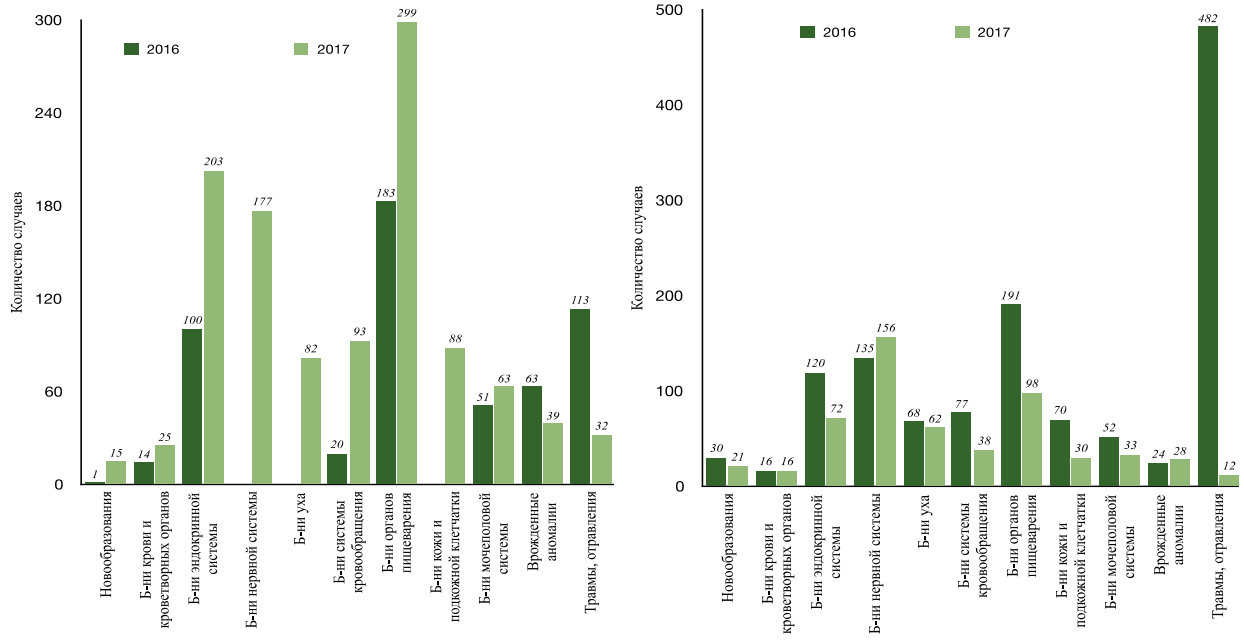
Нахимовский район

Рис. 6. Заболеваемость детей от 0 до 14 лет
Fig. 6. Incidence of children from 0 to 14 years



Балаклавский район

Гагаринский район



Ленинский район

Нахимовский район

Рис. 7. Динамика заболеваемости детей возрастной категории от 15 до 17 лет
Fig. 7. Dynamics of morbidity in children of the age category from 15 to 17 years

Участки с наиболее напряжённой экологической обстановкой занимают небольшие площади (3,26 %); территориально они расположены в прибрежной зоне Северной бухты. Это обусловлено влиянием потенциально опасных объектов, которые находятся в этой зоне (ОАО «Севморзавод», ТП КГС «Севастопольская ТЭЦ», Нефтяная база ООО «Нафто-Крым»), официальная свалка, а также наличие автотранспортной железнодорожной веток. Отмечается превышения в 30 р. значений ПДК оксидов азота и углерода, пыли. На данном участке наблюдается повышение ИЗА (> 16), коэффициент суммарного загрязнения почв (10–32) находится в области среднего уровня загрязнения. Почвы сильно подкислены (pH = 5,5), вероятно, за счёт подкисления атмосферных осадков сернистым ангидридом вследствие работы ТЭЦ и печного отопления домов частного сектора. Заболеваемость детей в данном районе характеризуется высокими показателями.

Участки, для которых характерна **неудовлетворительная экологическая ситуация,** расположены на территории города компактно (10,42 %), территориально близко к напряжённой экологической ситуации. Данные участки состоят из 2-х частей, одна из которых находится в прибрежной зоне Севастопольской бухты (как с южной, так и с северной её сторон — Нахимовский р-н города). Такая ситуация наблюдается в районах распространения агроландшафтов и селитебной застройки. Она сформировалась за счёт близкого расположения к промышленным предприятиям, плотной застройки и интенсивного движения транспорта (ИЗА в таких зонах выше 14, pH = 6–7, коэффициент загрязнения по свинцу > 7,5, по цинку > 2). По результатам анализа заболеваемость экологически зависимыми болезнями детского населения в данном районе намного выше, чем в других районах города. Другая часть участка неудовлетворительного экологического состояния территориально расположена в Ленинском р-не города. По показателю коэффициента ИЗА уровень загрязнения атмосферного воздуха на данной площади можно охарактеризовать как высокий (5–9), уровень суммарного загрязнения почв находится в пределах 10–16, pH коры деревьев = 5. Вероятно, такая ситуация обусловлена влиянием предприятий (ОАО «Севхладокомбинат» и ОАО «Сегормолокозавод»), а также размещением старой городской свалки. Это территория Ленинского р-на города. Для неё характерно увеличение заболеваемости детского населения по основным нозологиям (2-е место после Нахимовского р-на). Загрязнение атмосферного воздуха на данных участках значительно превышает ПДК по приоритетным поллютантам (7ПДК).

Удовлетворительное экологическое состояние наблюдается в производственной зоне западной части города (3,62 %). Здесь отмечено незначительное загрязнение окружающей среды, причём данные показатели не превышают значения ПДК по приоритетным поллютантам: ИЗА < 5, уровень суммарного загрязнения почв химическими элементами 10–16, pH = 6,5–7.

Основную часть территории города (61,26 %) можно охарактеризовать как **относительно благоприятную** в экологическом отношении; здесь наблюдается крайне малое загрязнение природной среды, а компоненты ландшафта не нарушены. По суммарному загрязнению почв уровень загрязнения определяется как низкий (до 10), а по загрязнению атмосферного воздуха (< 5) экологическая обстановка относительно благоприятная (мало влияет на здоровье). В административном отношении это Гагаринский р-н города. Данный район можно охарактеризовать как экологически благоприятную зону: уровень заболеваемости детей экологически зависимыми болезнями самый низкий по отношению к другим административным р-нам города. Объяснить такую ситуацию можно отсутствием промышленных объектов и частного сектора с печным отоплением, а также удачной планировкой (застройкой) данного района (продувается ветрами), способствующими быстрому самоочищению территории от вредных примесей. Немаловажным фактором служит присутствие здесь большого количества зелёных насаждений — парков и скверов.

Территорию города, где отсутствует загрязнение (21,44 %), мы обозначили как **благоприятную.** В эту часть вошли лесные насаждения. На данных участках отсутствует какая-либо застройка.

При анализе карты экологической напряжённости хорошо выявляется значение фактора приморского географического положения и рельефа городской территории для формирования экологической обстановки. В северо-западной части города, где высокое положение в рельефе и открытость застройки ветрам, относительно благоприятная экологическая ситуация, чего нельзя сказать о центре и северо-востоке города. Приморское положение обусловливает высокий потенциал самоочищения атмосферы, обеспечивая быструю нормализацию состояния окружающей среды после поступления загрязняющих веществ в атмосферу.

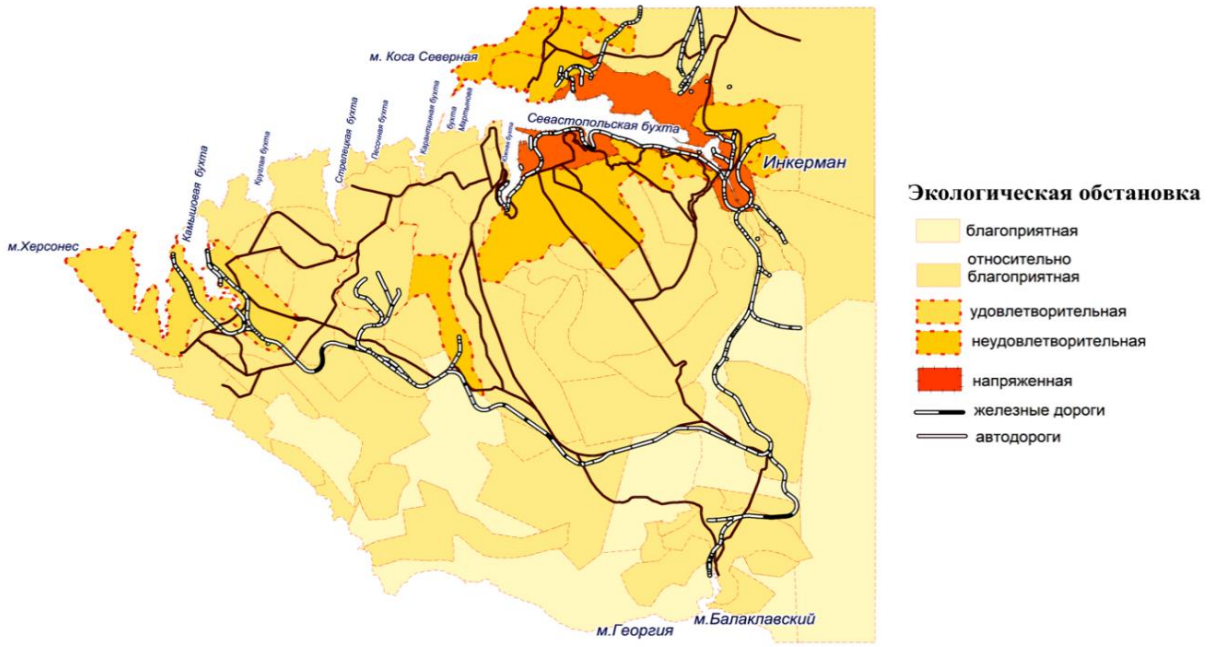


Рис. 8. Ранжирование экологической ситуации города Севастополя (Ясенева, 2010)
Fig. 8. The ranking of the environmental situation of the city of Sevastopol (Yaseneva, 2010)

Исходя из полученных данных, можно сделать заключение о том, что, несмотря на существующую техногенную нагрузку, экологический ассимиляционный потенциал территории не исчерпан. Специфика городской застройки, выделенные функциональные зоны, особенности развития — промышленность, динамика населения — имеют большое сходство с другими приморскими городами Крыма — Евпатория, Феодосия, Ялта и др.

Методические подходы к изучению геоэкологической обстановки Севастополя могут быть применены и в других приморских городах Крыма.

Продолжительные периоды безоблачной тихой погоды чаще всего наблюдаются летом и в начале осени. Это способствует значительному прогреву земной поверхности днем и её интенсивному выхолаживанию ночью. Поэтому наибольшего развития бризовая циркуляция достигает летом — в июле и августе, когда циркуляция атмосферы в зоны сопряжения суши и моря не менее половины всех дней характеризуется бризами. Сравнительно часты бризы и в сентябре. Весной и осенью они значительно ослабевают.

При сравнении эколого-зависимых детских заболеваний в России, Крыму и в городе Севастополь использовались статистические материалы «Заболеваемость детского населения России (0–14 лет) в 2016 году».

Среди представленных классов болезней основное место в структуре заболеваемости по выбранным территориям занимают заболевания органов дыхания (РФ — 118 704,4 случаев на 100 тыс. человек). Необходимо принять во внимание то, что заболевания органов дыхания не только имеют самый высокий процент (70 %) среди всех болезней, но и имеют высокую тенденцию к увеличению.

Актуальность болезней органов дыхания обусловлена также неуклонным ростом расходов на лечение и реабилитацию больных. Рост неблагоприятных последствий при заболеваниях органов дыхания связан с хроническим бронхитом, бронхиальной астмой и эмфиземой лёгких.

Что же касается болезней оргнанов пищеварения, то можно увидеть достаточно большой разброс случаев от 7 128,4 до 21 617. Болезни органов пищеварения входят в пятёрку лидеров по распространённости среди населения и оказывают значительное влияние на качество жизни пациентов в связи с частыми рецидивами и осложнениями. При этом следует подчеркнуть, что заболевания кишечника занимают первое место среди причин обращения гастроэнтерологических больных к врачу.

ВЫВОДЫ

Экономическое развитие г. Севастополя и связанное с ним увеличение численности населения способствует увеличению напряжённости экологической обстановки. За период с 2015 по 2017 гг. существенных изменений заболеваемости детского населения и подростков обнаружено не было. Основными болезями у детей до года являются болезни органов пищеварения, нервной системы и врождённые аномалии. Среди болезней у детей до 14 лет преобладают болезни оргнов дыхания, травмы, отравления и воздействие внешних причин и болезни органов пищеварения. У подростков в возрасте от 15 до 17 лет наиболее часто встречаются болезни органов дыхания, нервной системы и органов пищеварения.

Оценка напряжённости экологической ситуации в городе показала, что участки с наиболее острой экологической обстановкой занимают небольшую территорию и находятся в прибрежной зоне Северной бухты, в непосредственной близости от крупных промышленных предприятий. Наиболее благоприятная экологическая обстановка наблюдается в Гагаринском р-не и связана с отсутствием поблизости промышленных объектов и домов частного сектора с печным отоплением, а также особенностями ветрового режима территории.

БЛАГОДАРНОСТИ

Публикация подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Проект № 18-05-00236 «Математико-картографическая оценка медико-экологической ситуации в городах Европейской территории России для их комплексной экологической характеристики».

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, Project No 18-05-00236 “Mathematic and cartographic assessment of the medical and ecological situation in the cities of the European territory of Russia for their integrated ecological characteristics”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богатырёв И.Д., Якубова Е.Н., Березнев В.Я. и др.* Заболеваемость городского населения и нормативы лечебно-профилактической помощи. М.: Медицина, 1967. 488 с.
2. *Воробьёва Т.А., Душкова Д.О.* Картографическое обеспечение медико-экологических исследований. Геодезия и картография, 2013. № 2. С. 11–16.

3. *Игнатов Е.И., Ясенева Е.В., Ясенева И.А.* Природные и антропогенные факторы среды и здоровье детей Крыма. Использование и охрана природных ресурсов в России, 2016. № 1. С. 72–75.
4. *Игнатов Е.И., Ясенева Е.В., Ясенева И.А.* Ранжирование прибрежных городов Крыма на основе экологических индикаторов. Использование и охрана природных ресурсов в России, 2015. № 5. С. 58–61.
5. *Максимова Т.М., Белов В.Б., Лушкина Н.П. и др*. Состояние здоровья, условия жизни и медицинское обеспечение детей в России. М.: PerSe, 2008. 367 с.
6. *Медик В.А.* Заболеваемость населения: теория, современное состояние и методология изучения. М.: Медицина, 2003. 508 с.
7. *Присенко В.Г., Махкамова З.Р., ДеМарко А.В.* Природно-климатические особенности Крыма и здоровье населения. Сборник статей по материалам XXXIX международной научно-практической конференции «Инновации в науке». Новосибирск: Изд-во «СибАК», 2014. № 11 (36). С. 189–194.
8. *Прохоров Б.Б.* Экология человека. 5-е изд., стер. М.: 2010. 320 с.
9. *Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И.* Экологическая эпидемиология: Учебник для высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 384 с.
10. *Шибанов С.Э.* Экологическая характеристика антропогенного загрязнения регионов Крыма. Тез. докл. на межвуз. научно-практ. конф. с межд. участ., посв. 130-летию каф. общей гигиены МПФ Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, г. Москва, 6 ноябр. 2014 г. М., 2014. С. 148–150.
11. *Щепин О.П., Купеева И.А., Щепин В.О.* Современные региональные особенности здоровья населения и здравоохранения России. М.: Медицина, 2007. 360 с.

REFERENCES

1. *Bogatyrev I.D., Yakubova E.N., Bereznev V.Ya. et al.* Morbidity of the Urban Population and Standards of Treatment and prophylactic care. Moscow: Medicine, 1967. 488 p. (in Russian).
2. *Ignatov E.I., Yaseneva E.V., Yaseneva I.A.* Natural and anthropogenic environmental factors and the health of children in Crimea. Use and protection of natural resources in Russia, 2016. No 1. P. 72–75 (in Russian).
3. *Ignatov E.I., Yaseneva E.V., Yaseneva I.A.* Ranking of coastal cities of Crimea based on ecological indicators. Use and protection of natural resources in Russia, 2015. No 5. P. 58−61 (in Russian).
4. *Maksimova T.M., Belov V.B., Lushkina N.P. et al.* The state of health, living conditions and medical support for children in Russia. Moscow: PerSe, 2008. 367 p. (in Russian).
5. *Medic V.A.* Incidence of the population: theory, status and methodology of study. Moscow: Medicine, 2003. 508 p. (in Russian).
6. *Prisenko V.G., Makhkamova Z.R., DeMarco A.V.* Natural and climatic features of Crimea and public health. Collection of articles on the materials of the XXXIX international scientific-practical conference “Innovations in science”. Novosibirsk: SibAK Publishing House, 2014. No 11 (36). P. 189−194 (in Russian).
7. *Prokhorov B.B.* Human ecology. 5th ed. Moscow: 2010. 320 p.
8. *Revich B.A., Avaliani S.L., Tikhonova G.I. et al.* Ecological epidemiology: Textbook for higher educational institutions. Moscow: Publishing Center “Academy”, 2004. 384 p.
9. *Shchepin O.P., Kupeeva I.A., Shchepin V.O.* Modern regional features of public health and healthcare in Russia. Moscow: Medicine, 2007. 360 p.
10. *Shibanov S.E.* Ecological characteristics of anthropogenic pollution of the regions of Crimea. Abstracts of the Interuniversity scientific and practical conf. with intern. partic., dedicated 130th

anniversary of the Department of general hygiene of First MSMU named after I.M. Sechenov, Moscow, November 6, 2014. Moscow, 2014. P. 148−150.
11. *Vorobyova T.A., Dushkova D.O.* Cartographic support of medical and environmental studies. Geodesy and Cartography, 2013. No 2. P. 11–16.

УДК: 911.3:30 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-78-90**

А.Н. Огурцов[1], В.В. Дмитриев[2]

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНЫХ ДЕТЕРМИНАНТ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ (МУНИЦИПАЛЬНЫЙ УРОВЕНЬ)

АННОТАЦИЯ

Во всём мире была и остаётся актуальной задача обеспечения равенства в области здравоохранения и повышения уровня общественного здоровья. Ведущую роль в решении этого вопроса наряду с географической играет социальная среда. Сложность и многофакторность социальной среды обусловливает использование методов интегральной оценки с учётом отдельных критериев.

В настоящей статье представлены результаты интегральной оценки социальных детерминантов общественного здоровья на муниципальном уровне.

В качестве отдельных критериев оценки используются 8 показателей, которые характеризуют состояние занятости населения, условия развития и воспитания в раннем возрасте, состояние продовольственной безопасности, жилищные условия, состояние преступности и доступность первичной медико-санитарной помощи. АСПИД-метод рандомизированных сводных показателей был использован для интегральной оценки социальных детерминантов здоровья.

В качестве примера в статье приводятся результаты двух сценариев расчёта и оценки, социальных детерминант, определяющих степень благоприятности социальных условий в отношении общественного здоровья населения муниципальных городских округов Калининградской области. Представлены макеты карт, отражающих пространственную вариабельность интегральных оценок.

Анализ результатов по первому сценарию показал, что, когда не оказывается предпочтение ни по одному из показателей, социальные условия в отношении общественного здоровья в большей части муниципальных округов характеризуются как «относительно благоприятные — благоприятные».

По второму сценарию, когда показатели доступности первичной медицинской помощи имеют приоритет, в большей части округов социальные условия можно охарактеризовать как «благоприятные — наиболее благоприятные».

Результаты интегральной оценки социальных детерминантов могут быть полезны для лиц, принимающих решения по вопросам повышения уровня общественного здоровья.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: социальные детерминанты здоровья, интегральный показатель, оценка, АСПИД, ГИС

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле СПбГУ, ВО 10-линия, д. 33-35, 199178, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: **aogurcov@yandex.ru**

[2] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле СПбГУ, ВО 10-линия, д. 33-35, 199178, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail:* **v.dmitriev@spbu.ru**

Alexander N. Ogurtsov[1], **Vasiliy V. Dmitriev**[2]

INTEGRATED ASSESSMENT OF SOCIAL DETERMINANTS OF PUBLIC HEALTH OF THE POPULATION OF THE KALININGRAD REGION (MUNICIPAL LEVEL)

ABSTRACT

Health equality and public health promotion have been and remain relevant throughout the world. The social environment plays a leading role in addressing this issue, along with the geographical one. The complexity and multifactorial social environment lead to the use of integral assessment methods taking into account individual criteria.

This article presents the results of an integral assessment of the social determinants of public health at the municipal level. As an individual evaluation criteria were used by 8 indicators that characterize the state of employment, conditions of development and education at an early age, the state of food security, living conditions, the state of crime and the availability of primary health care. ASPID method of randomized composite indicator was used to integrated assessment for social determinants of health.

As an example, the article cites the results of two scenarios of calculation and evaluation, social determinants, determining the degree of social benefits in relation to the public health of the population of municipal urban districts Kaliningrad Region. Map models reflecting the spatial variability of integrated assessments are presented.

Analysis of the results in the first scenario showed that when there is no preference for any of the indicators, social conditions regarding public health in most municipalities are characterized as “relatively favorable – favorable”.

In the second scenario, where primary care accessibility rates are a priority, in most counties social conditions can be described as “favorable – most favorable”.

The results of an integrated assessment of social determinants can be useful for decision-makers on public health issues.

KEYWORDS: social determinants of health, composite indicator, assessment, ASPID, GIS

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в работе национальных систем здравоохранения во всём мире достигнуты определённые успехи по улучшению систем и сокращению пространственного неравенства населения в отношении общественного здоровья. В то же время даже в самых развитых странах эти результаты далеки от идеала. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) связывает это с многофакторностью влияния на здоровье окружающей человека среды. Основной причиной диспропорции в состоянии общественного здоровья ВОЗ считает неравенство социальных условий. В многовариантности сочетания и временного проявления факторов ВОЗ видит также причину неэффективности программ развития здравоохранения в странах, ориентированных на борьбу лишь с отдельными болезнями (факторами) и узкой специализацией медицинской помощи в ущерб системному подходу к выявлению факторов, их временных и пространственных сочетаний при решении проблемы оценки общественного здоровья и поисками рычагов управления этим эмерджентным свойством

[1] Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, VI 10-line, 33-35, 199178, St. Petersburg, Russia; *e-mail:* **aogurcov@yandex.ru**

[2] Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, VI 10-line, 33-35, 199178, St. Petersburg, Russia; *e-mail:* **v.dmitriev@spbu.ru**

социо-эколого-экономических систем. Об этом также свидетельствует узкая направленность многих современных публикаций по данной теме [*Dushkova et al.*, 2019].

Оценка новизны методологических подходов в опубликованных работах невелика. Выявлена недостаточность исследований по разработке системных подходов к изучению формирования общественного здоровья населения в конкретных регионах и областях. Авторы часто предпочитают покомпонентный анализ факторов или анализируют «подблоки» или «подындексы» общественного здоровья на основе «комплексных подходов», реализация которых не предполагает использование сценарного подхода и возможности пространственно-временного анализа действующих факторов с разной приоритетностью их сочетаний или проявлений. В работах, за редким исключением, отсутствует оценка точности полученных результатов и возможность использования нечисловой информации для обоснования приоритетов задания отдельных факторов в их сочетаниях. Сравнение «подындексов» приводит к неопределённости полученных результатов (попадание в разные классы по значениям разных «подындексов»), и в итоге авторы признают, что исследование носит рекогносцировочный характер и не претендует на завершённость функциональной модели.

Недостаточным является также исследование общественного здоровья на муниципальном уровне. Наш анализ публикаций в информационной базе «ScienceDirect» показал, что число статей с термином «social determinants of health» из года в год постоянно растёт. В то же время из общего числа статей на эту тематику исследованиям локального (муниципального) уровня посвящено менее одного процента публикаций. Интересно в этом плане исследование на уровне муниципальных образований Российской Федерации Душковой Д.О. и др. [2019]. Разработанный ранее и апробированный для регионов и субъектов Российской федерации алгоритм интегральной оценки с использованием индекса общественного здоровья (ИОЗ) [*Прохоров, Тикунов*, 2005 а,б; *Malkhazova et al.*, 2015; *Tikunov, Chereshnya*, 2016] реализован ими в рамках исследования показателей здоровья населения городов и районов Архангельской области.

Опыт, приобретённый в процессе исследований по интегральной оценке благоприятности природных условий для жизни людей[1,2], качества жизни населения [*Dmitriev, Kaledin*, 2016; *Dmitriev, Osipov*, 2017] и общественного здоровья населения регионов [*Огурцов, Дмитриев*, 2019], позволил авторам статьи в рамках выполнения исследований по гранту РФФИ приступить к решению задачи оценки различных детерминант общественного здоровья населения на уровне муниципальных образований. Первые результаты этой работы, акцентирующие социальные детерминанты общественного здоровья, положены в основу данной публикации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Доподлинно известно, что в условиях многофакторности всегда существует проблема выбора наиболее информативных показателей или их различных сочетаний. В своём выборе мы опирались на анализ библиографических баз данных и публикаций по социальным детерминантам общественного здоровья. Не последнюю роль при выборе показателей играла обеспеченность данными исследуемой территории. На этом этапе

---

[1] *Александрова Л.В., Васильев В.Ю., Огурцов А.Н.* Географическая экспертная система оценки благоприятности природных условий для проживания населения. ИнтерКарто. ИнтерГИС. ГИС для устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. Апатиты: Издательство Кольского научного центра РАН, 2000. Т. 6. Ч. 2. С. 116–125

[2] *Огурцов А.Н., Хованов Н.В.* Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей. III. Оценка степени благоприятности природных условий макрорегионов Северо-Запада РФ для жизни людей. Вестник СПбГУ, 1997. № 14. С. 55–62

исследований нами был определён перечень параметров, характеризующий различные социальные аспекты общественного здоровья, включая: занятость населения, условия развития и воспитания в раннем возрасте, состояние продовольственной безопасности, жилищные условия, криминальную обстановку и доступность для населения первичной медицинской помощи.

Условия труда, занятость населения являются важными социальными факторами, непосредственно обусловливающими неравенство в отношении общественного здоровья. По данным [*Hammarström, Janlert,* 2005] и [*Benach et al*., 2007] установлена причинно-следственная связь высокого уровня безработицы и болезней нервной и сердечно сосудистой систем. В качестве показателя, характеризующего состояние занятости населения муниципальных городских округов на рынке труда, в нашем исследовании используется уровень регистрируемой безработицы.

Пожизненное состояние физического и психического здоровья человека во многом определяется условиями развития и воспитания в раннем возрасте [*Spencer*, 2018]. К одному из факторов, влияющему на формирование социальных, эмоциональных и когнитивных навыков у детей в раннем возрасте относят доступ к программам раннего образования. В качестве критерия, характеризующего данный фактор, нами используется такой показатель, как охват детей дошкольным образованием от численности детей соответствующего возраста (%).

Удовлетворение основных потребностей населения в продовольствии характеризует состояние продовольственной безопасности, нарушение которой по ряду причин может приводить к дисбалансу в отношении здоровья как различных социальных групп, так и населения в целом. В Российской Федерации в качестве меры, регламентирующей размеры потребления пищи, отвечающей научно обоснованным медицинским нормам, используется «условный (минимальный) набор продуктов питания». Число (коэффициент) условного (минимального) набора продуктов питания принято нами в качестве 3-го критерия оценки. Этот критерий определяется нами как отношение общего объёма всех продовольственных товаров, реализованных в границах муниципального городского округа, в денежном выражении за месяц на человека к стоимости условного (минимального) набора продуктов питания.

Жилищные условия и эксплуатационные расходы на жильё наряду с безработицей, дошкольным образованием и состоянием продовольственной безопасности относят к медико-релевантным факторам, обусловливающим диспропорции в сфере общественного здоровья. В обзорной работе [*Swope, Hernández,* 2019], отмечается, что жилищные проблемы носят мультипликативный характер с пагубными последствиями для здоровья. В нашем исследовании в качестве критериев, характеризующих жилищные условия, приняты:

- доля нуждающихся семей в улучшении жилищных условий (%);
- доля граждан в общей численности населения, пользующихся социальной поддержкой по ЖКХ (%).

Негативные последствия для здоровья связаны также с преступностью и насилием в обществе. Известно, что преступность наносит вред как физическому, так и психическому здоровью человека. Как отмечено в обзоре [*Krug et al.,* 2002], преступные деяния зачастую являются непосредственной причиной преждевременных смертей, травм, психологических нарушений, отклонений в развитии и депривации. В качестве характеристики уровня преступности используется число зарегистрированных преступлений на 1000 чел. населения муниципального городского округа.

К числу проблем в области здравоохранения во всём мире относят проблему доступа населения к медицинским услугам. Главная роль в этом вопросе отводится первичной медико-санитарной помощи, которая, по мнению [*Starfield et al*., 2005], связана с более справедливым распределением медицинских услуг среди населения. Эти авторы

считают, что доступ к первичной медико-санитарной помощи важен не только для стран и регионов с низким уровнем социально-экономического развития, но и остаётся «краеугольным камнем» систем здравоохранения таких стран, как Великобритания и США. ВОЗ также рассматривает достижение справедливости в доступе к первичной медико-санитарной помощи в качестве важной составляющей повышения уровня общественного здоровья[1]. В качестве критериев, характеризующих доступность для населения первичной медико-санитарной помощи выбраны[2]:

- открытость и доступность информации по предоставлению медицинских услуг в амбулаторных условиях (количество баллов);
- комфортность условий предоставления медицинских услуг и доступность их получения в амбулаторных условиях (количество баллов).

В качестве объектов исследования выбрано население административно-территориальных образовании на уровне 22 муниципальных городских округов Калининградской области (КО). В статье приведены пространственный анализ и интегральная оценка социальных детерминант здоровья населения, по данным за 2017 г. База данных включала: материалы государственной статистики, материалы муниципальных администраций и ведомственные данные МВД, прокуратуры и Министерства здравоохранения КО (табл. 1).

Табл. 1. Социальные индикаторы оценки
Table 1. Social assessment indicators

Муниципальный городской округ	**Уровень регистрируемой безработицы, %**	**Охват детей дошкольным образованием от численности детей соответствующего возраста (%)**	**Число условного (минимального) набора продуктов питания**	**Доля семей, нуждающихся в улучшении жилищных условий, %**	**Доля граждан в общей численности населения, пользующихся социальной поддержкой по ЖКХ, %**	**Число зарегистрированных преступлений на 1000 чел.**	**Открытость и доступность информации по предоставлению медицинских услуг в амбулаторных условиях, количество баллов**	**Комфортность условий предоставления медицинских услуг и доступность их получения в амбулаторных условиях, количество баллов**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Багратионовский	0,7	43,8	0,9	98,3	14,7	18	10	18
Балтийский	0,5	67,1	0,9	94,3	3,3	15	11,5	19,5
Гвардейский	1,3	53,9	0,9	98,4	17,8	14	9	15,5
Гурьевский	0,55	75,1	0,8	96,4	14,4	13	11,5	13,5
Гусевский	1,2	62,5	0,9	93,4	17,9	12	8,5	20
Зеленоградский	0,5	61,7	0,9	99,4	16,5	20	11,5	23
Калининград	0,5	81,5	1,8	98,5	19,5	21	9,18	20,25

[1] Первичная медико-санитарная помощь: сегодня актуальнее, чем когда-либо. Электронный ресурс: https://www.who.int/whr/2008/summary/ru/ (дата обращения 4. 10.2019)
[2] Планы и отчётность. Электронный ресурс: https://www.infomed39.ru/open-ministry/nok/plans-and-reporting/ (дата обращения 24.05.2019)

Краснознаменский	3,2	35,9	0,8	91,3	19,7	19	12	18
Ладушкинский	0,7	67,4	0,8	100	34,4	10	7,5	21,5
Мамоновский	0,9	66,2	1,2	92,9	21,7	2	9,5	20
Неманский	2,21	46,4	0,6	96,8	20,9	17	9,5	19,5
Нестеровский	1,5	48,4	0,8	97,5	2,2	14	13	20
Озерский	2,7	45,2	0,7	95	22,5	16	10,5	18,5
Пионерский	0,7	91,2	1,5	98,3	23,6	9	10,5	18,5
Полесский	1,4	52,3	0,7	99,6	17,3	15	9,5	20,5
Правдинский	1,5	50,8	0,9	86,1	21,2	13	10	18
Светловский	0,5	73,1	1	95,2	19,4	14	11,5	22,5
Светлогорский	0,6	81,3	1,4	99,2	1,3	31	10,5	20,5
Славский	3,8	41,7	0,6	97,3	16,3	12	10,5	20
Советский	0,8	80,9	0,9	98,9	19,5	12	6,5	16,5
Черняховский	0,8	56,7	0,8	97,8	21,1	14	12	20,5
Янтарный	0,5	86,6	0,9	85,4	16,8	15	10,5	20,5

На следующем этапе проводится математическая обработка исходных характеристик (табл. 1) и получение интегральных оценок с использованием модельных алгоритмов, основанных на принципах «АСПИД» методологии [*Хованов*, 1996]. Процедуре агрегирования предшествует формирование системы отдельных показателей q_i в ходе нормирования исходных характеристик и проведение многокритериального анализа муниципальных образований с покомпонентной оценкой социальных детерминант по каждому из восьми критериев по величине нормированных значений показателей. Отдельный (нормированный) показатель представляет собой результат перевода всех исходных данных в безразмерные шкалы (от 0,0 до 1,0). Такие функции учитывают вид связи (прямая или обратная) и линейность/нелинейность связи каждого параметра с оцениваемым свойством. Результаты нормирования представлены в табл. 2. Алгоритм нормировки осуществляется по правилам, указанным в наших работах, при этом соблюдается условие согласованности. В рассматриваемом примере значения отдельных (нормированных) показателей близкие к единице свидетельствуют о благоприятности социальных условий для общественного здоровья, а их значения, близкие к нулю — о неблагоприятности.

Табл. 2. Система отдельных показателей
Table 2. System of individual indicators

Муниципальный городской округ	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8
Багратионовский	0,860	0,197	0,267	0,034	0,597	0,438	0,556	0,462
Балтийский	0,900	0,530	0,267	0,114	0,932	0,531	0,722	0,577
Гвардейский	0,740	0,341	0,267	0,032	0,506	0,563	0,444	0,269
Гурьевский	0,890	0,644	0,200	0,072	0,606	0,594	0,722	0,115
Гусевский	0,760	0,464	0,267	0,132	0,503	0,625	0,389	0,615
Зеленоградский	0,900	0,453	0,267	0,012	0,544	0,375	0,722	0,846
Калининград	0,900	0,736	0,867	0,030	0,456	0,344	0,464	0,635

Краснознаменский	0,360	0,084	0,200	0,174	0,450	0,406	0,778	0,462
Ладушкинский	0,860	0,534	0,200	0,000	0,018	0,688	0,278	0,731
Мамоновский	0,820	0,517	0,467	0,142	0,391	0,938	0,500	0,615
Неманский	0,558	0,234	0,067	0,064	0,415	0,469	0,500	0,577
Нестеровский	0,700	0,263	0,200	0,050	0,965	0,563	0,889	0,615
Озерский	0,460	0,217	0,133	0,100	0,368	0,500	0,611	0,500
Пионерский	0,860	0,874	0,667	0,034	0,335	0,719	0,611	0,500
Полесский	0,720	0,319	0,133	0,008	0,521	0,531	0,500	0,654
Правдинский	0,700	0,297	0,267	0,278	0,406	0,594	0,556	0,462
Светловский	0,900	0,616	0,333	0,096	0,459	0,563	0,722	0,808
Светлогорский	0,880	0,733	0,600	0,016	0,991	0,031	0,611	0,654
Славский	0,240	0,167	0,067	0,054	0,550	0,625	0,611	0,615
Советский	0,840	0,727	0,267	0,022	0,456	0,625	0,167	0,346
Черняховский	0,840	0,381	0,200	0,044	0,409	0,563	0,778	0,654
Янтарный	0,900	0,809	0,267	0,292	0,535	0,531	0,611	0,654

В последующем с использованием отдельных показателей осуществляется процедура их интеграции (свёртки), в ходе которой вычисляются интегральные показатели, характеризующие благоприятность социальных детерминант для общественного здоровья. Процедура свёртки осуществляется с использованием алгоритмов рандомизации [*Хованов*, 1996] и учётом задания весомости отдельных показателей по нечисловой, неточной и неполной информации, отражающей наши знания о приоритетности отдельных факторов в суммарной оценке. В качестве числовой оценки используется математическое ожидание рандомизированных интегральных показателей. Стандартное отклонение характеризует точность такой оценки.

Особо хочется отметить, что использование метода АСПИД при интегральной оценке социальных детерминантов общественного здоровья даёт возможность:

- в условиях дефицита количественных данных использовать нечисловую, неточную и неполную информацию как о критериях оценки (схема синтеза), так и об объектах оценки (схема анализа) и объединять её в единую систему оценки;
- использования различных сочетаний нечисловой, неточной и неполной информации при расчёте весовых коэффициентов и выработке сценариев, отражающих различные варианты управления политико- и административно-территориальными объектами;
- оценить точность и достоверность полученных результатов и подготовить рекомендации по проведению социальной политики в сфере здравоохранения;
- ранжирования территории политико-административных образований по благоприятности социальных детерминантов общественного здоровья с выявлением инвариантных состояний, оценки которых не изменяется в различных информационных ситуациях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показал анализ данных табл. 2, на этапе многокритериального оценивания мы сталкиваемся с несопоставимостью наших объектов и их свойств (для населения муниципальных городских округов). В чём это проявляется? Во-первых, мы видим, что ни один из 22-х округов не является лучшим по всем 8-ми показателям. Во-вторых, по разным исходным показателям «наилучшие» и «наихудшие» оценки социальных условий

в отношении общественного здоровья имеют разные объекты. Третьим проявлением несравнимости является факт того, что по каким-то показателям один округ лучше другого, а по каким-то хуже.

Наглядно несопоставимость оценок по отдельным показателям показана на рис. 1.

Ситуация несопоставимости оценок по отдельным показателям и невозможности сравнения муниципальных округов в целом по данному перечню характеристик разрешается авторами путём расчёта интегральных показателей, выступающих в качестве оценочного критерия социальных детерминант общественного здоровья.

Поскольку необходимость учета многофакторности влияния социальной среды на состояние здоровья населения обусловливает многовариантность возможных сценариев оценки, были разработаны и реализованы два сценария.

Первый (базовый) сценарий учитывал равновесомость всех характеристик. Этот сценарий реализуется нами, как правило, на первом этапе работы и служит некоторой отправной точкой для последующего сравнения сценариев.

По второму сценарию приоритет отдавался 7-му и 8-му критериям, отражающим доступность населению первичной медико-санитарной помощи, как наиболее важным для определения уровня состояния общественного и личного здоровья.

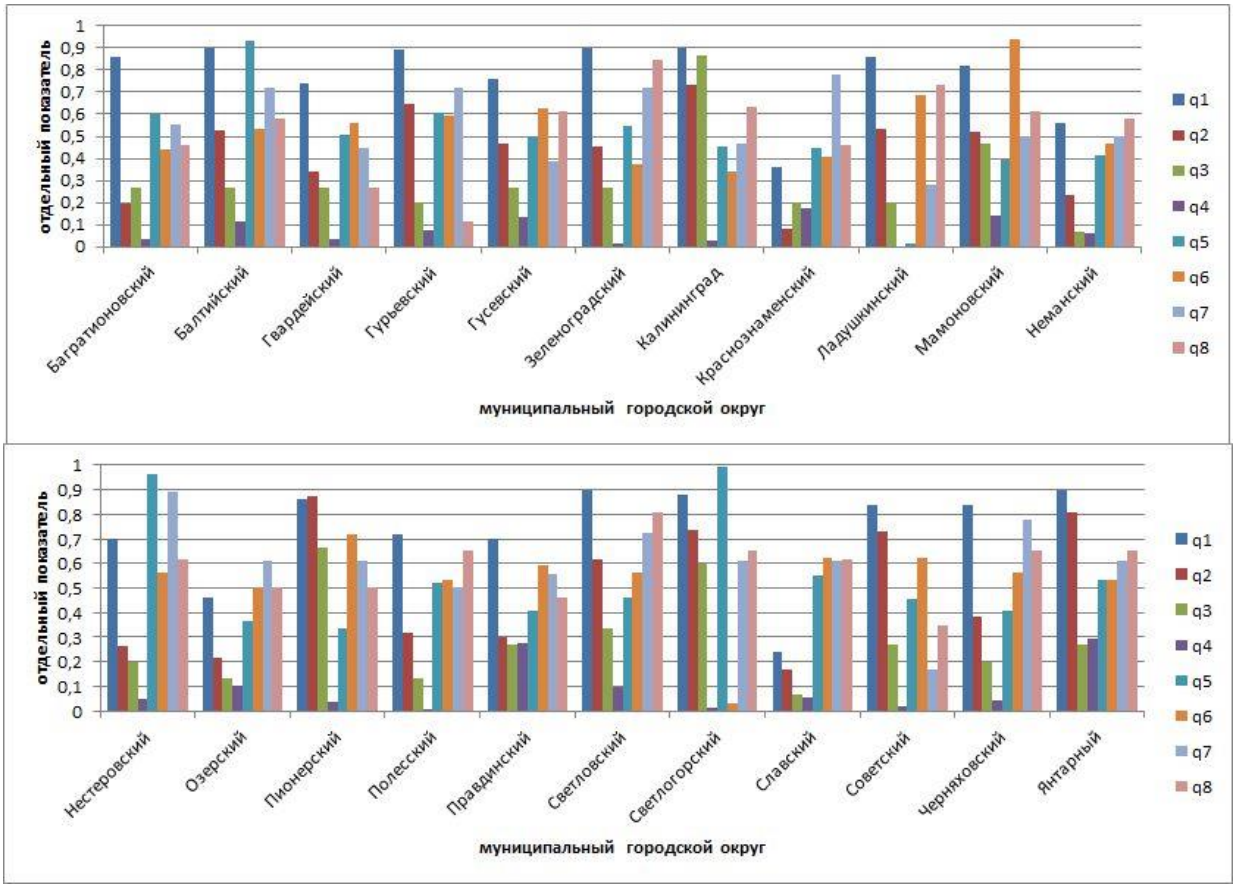


Рис. 1. Оценки социальных детерминантов общественного здоровья по отдельным показателям
Fig. 1. Estimates of social determinants of public health by individual indicators

В пользу выбора этого сценария говорит тот факт, что ещё в 2008 г. в докладе ВОЗ о состоянии здравоохранения в мире акцент был сделан на развитии и эффективности

первичной медико-санитарной помощи “Primary Health Care: Now More Than Ever” как залогу повышения уровня общественного здоровья. Хотя прошло уже больше 10 лет, но решение этого вопроса не потеряло своей актуальности для системы здравоохранения Российской Федерации и в наши дни. В ответах на вопросы, затронутые в ходе июньской 2019 г. пресс-конференции Президента РФ по развитию российского здравоохранения, им были озвучены главные проблемы, которые существуют в российском здравоохранении и мешают ему нормально развиваться. В качестве одной из них была названа «доступность первичного звена медицинской помощи».

На основании обобщения и анализа результатов расчётов была разработана шкала оценки социальных детерминант общественного здоровья. Разбиение оценочной шкалы на градации осуществлялось методом естественных групп (Jenks Natural Breaks) с выделением границ диапазонов значений интегрального показателя. Шкала интегральной оценки представлена в табл. 3.

Табл. 3. Шкала интегральной оценки
Table 3. Scale integral assessment

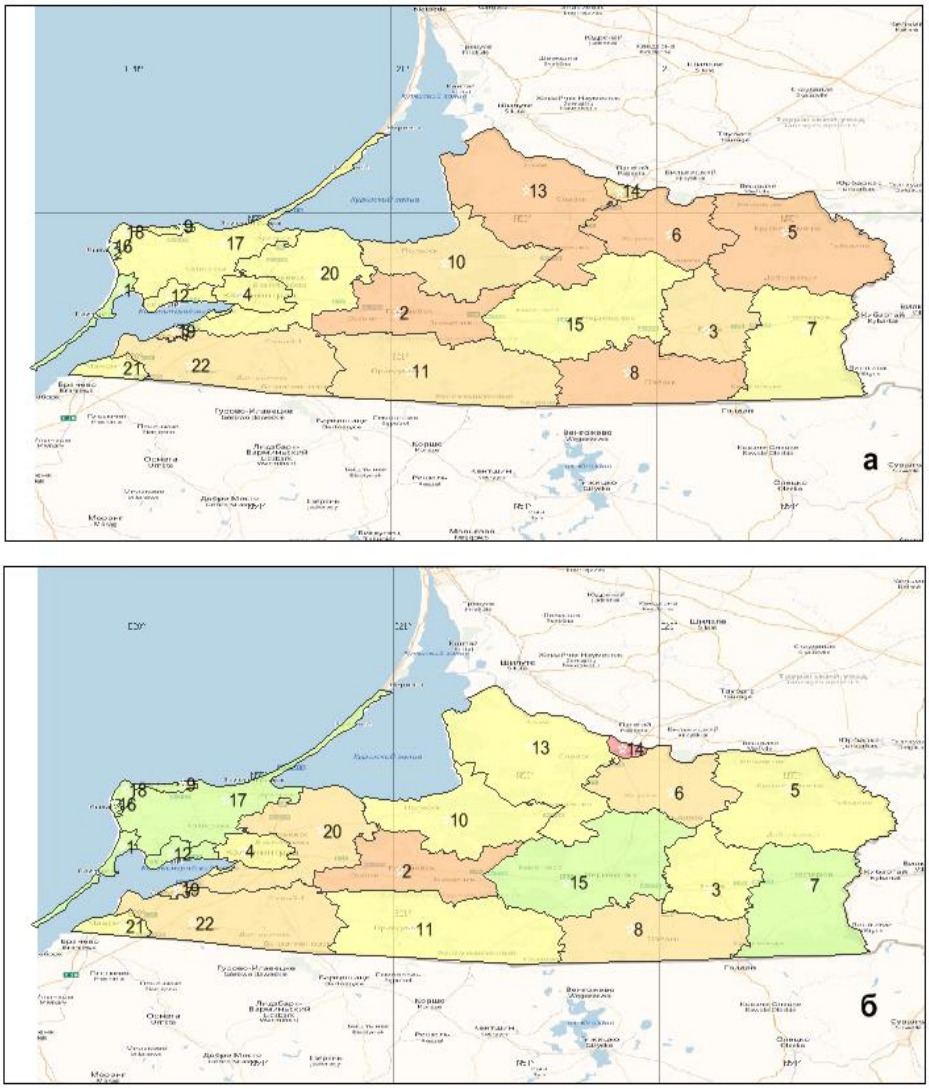
№ п/п	Градации шкалы интегрального показателя	Характеристика социальных детерминантов
1	0,00−0,33	наиболее неблагоприятные
2	0,33−0,41	неблагоприятные
3	0,41−0,48	относительно благоприятные
4	0,48−0,57	благоприятные
5	0,57−1,00	наиболее благоприятные

В качестве инструмента и средства визуализации и пространственного анализа результатов интегральной оценки использовалась ГИС MAPINFO. На базе ГИС разработаны макеты тематических картограмм (рис. 2).

Сопоставление значений интегральных показателей и их пространственный анализ по 2-м сценариям позволяет выявить географические особенности складывающейся социальной обстановки на территории муниципальных городских округов КО.

По базовому сценарию (рис. 2а) наиболее благоприятные условия формируются на территории Балтийского, Янтарного и Пионерского муниципальных городских округов. На большей же части Калининградской области складывается благоприятная — относительно благоприятная социальная среда в отношении общественного здоровья. К неблагоприятной можно отнести ситуацию на территории Гвардейского, Краснознаменского, Неманского, Озерского и Славского округов. Территории с наиболее низкими значениями интегрального показателя ($Q \leq 0,33$) отсутствуют.

Анализ результатов расчёта по 2-му сценарию (рис. 2б) позволяет говорить в целом о положительной динамике в оценках социальной ситуации. При этом только в Советском городском округе ситуация с социальными детерминантами может вызывать беспокойство. Здесь социальные условия можно оценить как наиболее неблагополучные в отношении общественного здоровья, что обусловлено относительно низкими показателями доступности первичной медико-санитарной помощи. Такая ситуация заслуживает пристального внимания местных властей. В итоге на большей части территорий социальные условия можно охарактеризовать как «благоприятные» — «наиболее благоприятные».



Номер муниципального городского округа на карте

1 - Балтийский
2 - Гвардейский
3 - Гусевский
4 - Калининград
5 - Краснознаменский
6 - Неманский
7 - Нестеровский
8 - Озерский
9 - Пионерский
10 - Полесский
11 - Правдинский
12 - Светловский
13 - Славский
14 - Советский
15 - Черняховский
16 - Янтарный
17 - Зеленоградский
18 - Светлогорский
19 - Ладушкинский
20 - Гурьевский
21 - Мамоновский
22 - Багратионовский

Шкала интегральной оценки социальных детерминант

0 – 0,33 "наиболее неблагоприятные"
0,33 – 0,41 "неблагоприятные"
0,41 – 0,48 "относительно благоприятные"
0,48 – 0,57 "благоприятные"
0,57 – 1,00 " наиболее благоприятные"

Рис. 2. Ранжирование территории муниципальных городских округов Калининградской области по величине интегрального показателя социальных детерминант здоровья: а) «базовый» сценарий 1 (равенство приоритетов); б) сценарий 2 (приоритет показателей доступности медико-санитарной помощи)

Fig. 2. Ranking of the territory of municipal districts of the Kaliningrad region by the value of the integral indicator of social determinants of health: a) "basic" scenario 1 (equality of priorities); b) scenario 2 (priority of indicators of access to health care)

В тоже время необходимо отметить инвариантное состояние ряда территорий муниципальных округов, в которых сценарные расчёты не изменили оценку благоприятности социальных условий. В Балтийском и Янтарном округах социальная ситуация остаётся наиболее благоприятной. Расчётные сценарии не изменили оценок в Калининграде и Мамоновском округе, где ситуация также характеризуется как благоприятная. «Относительно благоприятная» ситуация складывается в Багратионовском округе. Условия социальной среды остаются неблагоприятными в Гвардейском округе.

ВЫВОДЫ

Содержание статьи отражает первые результаты исследований авторов по интегральной оценке социальных детерминант общественного здоровья на муниципальном уровне. В качестве объектов исследований и тестирования методики интегральной оценки выбраны муниципальные городские округа Калининградской области.

Интегральная оценка проводилась на основе данных, полученных в результате сбора информации в региональных и муниципальных органах власти и управленческих структурах. В качестве инструмента оценки использовался метод анализа и синтеза информации в условиях информационного дефицита (АСПИД). В статье представлены результаты оценочных расчётов по 2-м сценариям и проведён их анализ.

По базовому сценарию социальные условия 3-х округов можно охарактеризовать как наиболее благоприятные в отношении общественного здоровья, 8-ми округов — как благоприятные, 6-ти округов — как относительно благоприятные и 6-ти округов — как неблагоприятные.

По второму сценарию на территории Калининградской области выявлены муниципальные образования с наиболее благоприятными (7 округов), благоприятными (9 округов), относительно благоприятными (4 округа), неблагоприятными (1 округ) и наиболее неблагоприятными (1 округ) условиями, характеризующими влияние социальных детерминант на общественное здоровье.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за поддержку исследований в рамках выполнения гранта РФФИ № 18-05-00328-а, а также Институту наук о Земле СПбГУ за помощь в организации работ.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to the Russian Foundation of Basic Research for supporting the studies on sustainability assessment within the framework of the RFBR grant No 18-05-00328-a, as well as to the Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University for assistance in organizing the works.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Огурцов А.Н., Дмитриев В.В.* Интегральная оценка и геоинформационный анализ социальных детерминант здоровья населения Крайнего Севера Европейской части Российской Федерации. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 23–34. DOI: 10. 35595/2414-9179-2019-1-25-23-34.

2. *Прохоров Б.Б., Тикунов В.С.* Медико-демографическая классификация регионов России. Проблемы прогнозирования, 2005 (а). № 5. С. 142–151.

3. *Прохоров Б.Б., Тикунов В.С.* Общественное здоровье в регионах России. География и природные ресурсы, 2005 (б). № 2. С. 26–33.
4. *Хованов Н.В.* Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996. 196 с.
5. *Benach J., Muntaner C., Santana V.* Employment conditions and health inequalities. Final Report to the WHO Commission on Social Determinants of Health (CSDH). WHO, 2007. Web resource: http://www.who.int/social_determinants/resources/articles/emconet_who_report.pdf (accessed 04.10.2019).
6. *Dmitriev V.V., Kaledin N.V.* Russian Northwest: An integral assessment of the conditions of regional social, environmental and economic systems and quality of life. Baltic region, 2016. V. 8. No 2. P. 87–98. DOI: 10.5922/2079-8555-2016-2-7.
7. *Dmitriev V.V., Osipov G.K.* Integral assessment of stability of social-ecological-economic system against changes in its functioning conditions. Ecology, Economics, Education and Legislation. Ecology and Environmental protection: Proceedings of the 17th International multidisciplinary Scientifc Geocoference SGEM 2017. Albena, 2017. V. 17. Iss. 52. P. 565–572. DOI: 10.5593/sgem2017/52.
8. *Dushkova D.O., Tikunov V.S., Chereshnya O.Y.* Methodology for assessment of public health at the municipalities level (A case study of Arkhangelsk oblast). Geography and Natural Resources, 2019. V. 40. No 1. P. 74–81.
9. *Hammarström A., Janlert U.* An agenda for unemployment research: A challenge for public health. Int J Health Serv, 2005. V. 35. No 4. P. 765–777.
10. *Krug E.G., Mercy J.A., Dahlberg L.L., Zwi A.B.* The world report on violence and health. Lancet, 2002. V. 360. Iss. 9339. P. 1083–1088. DOI: 10.1016/S0140-6736(02)11133-0.
11. *Malkhazova S.M., Shartova N.V., Timonin S.A.* Spatial patterns of public health in Russia. Geography, Environment, Sustainability, 2015. V. 8. No 4. P. 7–17. DOI: 10.24057/2071-9388-2015-8-4-7-17.
12. *Spencer N.* The social determinants of child health. Paediatrics and Child Health, 2018. V. 28. Iss. 3. P. 138–143.
13. *Starfield B., Shi L., Macinko J.* Contribution of primary care to health systems and health. Milbank Quarterly, 2005. V. 83. No 3. P. 457–502.
14. *Swope C.B., Hernández D.* Housing as a determinant of health equity: A conceptual model. Social Science & Medicine, 2019. V. 243. Web resource: https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2019.112571. (accessed 04.10.2019).
15. *Tikunov V.S., Chereshnya O.Y.* Public health index in Russian Federation from 1990 to 2012. Soc. Indic. Res., 2016. V. 129. No 2. P. 775–786. DOI: 10.1007/s11205-015-1144-x.

REFERENCES

1. *Benach J., Muntaner C., Santana V.* Employment conditions and health inequalities. Final Report to the WHO Commission on Social Determinants of Health (CSDH), WHO. 2007. Web resource: http://www.who.int/social_determinants/resources/articles/emconet_who_report.pdf. (accessed 04.10.2019).
2. *Dmitriev V.V., Kaledin N.V.* Russian Northwest: An integral assessment of the conditions of regional social, environmental and economic systems and quality of life. Baltic region, 2016. V. 8. No 2. P. 87–98. DOI: 10.5922/2079-8555-2016-2-7.
3. *Dmitriev V.V., Osipov G.K.* Integral assessment of stability of social-ecological-economic system against changes in its functioning conditions. Ecology, Economics, Education and Legislation. Ecology and Environmental protection: Proceedings of the 17th International multidisciplinary Scientifc Geocoference SGEM 2017. Albena, 2017. V. 17. Iss. 52. P. 565–572. DOI: 10.5593/sgem2017/52.

4. *Dushkova D.O., Tikunov V.S., Chereshnya O.Y.* Methodology for assessment of public health at the municipalities level (A case study of Arkhangelsk oblast). Geography and Natural Resources, 2019. V. 40. No 1. P. 74–81.
5. *Hammarström A., Janlert U.* An agenda for unemployment research: A challenge for public health. Int J Health Serv, 2005. V. 35. No 4. P. 765–777.
6. *Hovanov N. V.* Analysis and synthesis of indicators at information deficiency. St. Petersburg: St. Petersburg State University Press, 1996. 196 p. (in Russian).
7. *Krug E.G., Mercy J.A., Dahlberg L.L., Zwi A.B.* The world report on violence and health. Lancet, 2002. V. 360. Iss. 9339. P. 1083–1088. DOI: 10.1016/S0140-6736(02)11133-0.
8. *Malkhazova S.M., Shartova N.V., Timonin S.A.* Spatial patterns of public health in Russia. Geography, Environment, Sustainability, 2015. V. 8. No 4. P. 7–17. DOI: 10.24057/2071-9388-2015-8-4-7-17.
9. *Ogurtsov A.N., Dmitriev V.V.* Integral assessment and geoinformational analysis of social determinants of population health of the Extreme North of the European part of the Russian Federation. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 23–34. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-23-34 (in Russian, abs English).
10. *Prokhorov B.B., Tikunov V.S.* Medico-Demographic classification of regions of Russia. Forecasting problems, 2005 (a). No 5. P. 142–151 (in Russian).
11. *Prokhorov B.B., Tikunov V.S.* Public health in the regions of Russia. Geography and Natural Resources, 2005 (b). No 2. P. 26−33 (in Russian).
12. *Spencer N.* The social determinants of child health. Paediatrics and Child Health, 2018. V. 28. Iss. 3. P. 138–143.
13. *Starfield B., Shi L., Macinko J.* Contribution of primary care to health systems and health. Milbank Quarterly, 2005. V. 83. No 3. P. 457–502.
14. *Swope C.B., Hernández D.* Housing as a determinant of health equity: A conceptual model. Social Science & Medicine, 2019. V. 243. Web resource: https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2019.112571 (accessed 04.10.2019).
15. *Tikunov V.S., Chereshnya O.Y.* Public health index in Russian Federation from 1990 to 2012. Soc. Indic. Res., 2016. V. 129. No 2. P. 775–786. DOI: 10.1007/s11205-015-1144-x.

УДК: 351/354 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-91-104**

А.И. Чистобаев[1], В.В. Дмитриев[2], З.А. Семёнова[3], А.Н. Огурцов[4], Н.А. Грудцын[5]

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ КАК ИНДИКАТОРА КАЧЕСТВА ЖИЗНИ

АННОТАЦИЯ

Представлены концептуальные основы исследования динамики состояния общественного здоровья как одного из индикаторов качества жизни. На примере ряда регионов РФ рассмотрены подходы к моделированию и картографированию общественного здоровья. Процесс оценивания выполнялся для 5 классов — от высокого (первый класс) до низкого (пятый класс). Расчёты оценочных критериев проводились по 4-м группам: социальным, экономическим, экологическим, заболеваемости населения. Свёртка показателей осуществлялась как внутри блоков, так и между блоками. Прослежено линейное изменение показателей в состоянии социо-эколого-экономических систем и качества жизни населения. Динамика расчётных показателей приводится на рисунках. Даны рекомендации по использованию полученных результатов интегрального оценивания состояния общественного здоровья при управлении территориальным развитием сферы здравоохранения с использованием ГИС-технологий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: социо-эколого-экономическая система, здравоохранение, геоинформационные системы, регионы России

Anatoly I. Chistobaev[6], Vasiliy V. Dmitriev[7], Zoya A. Semenova[8], Aleksander N. Ogurtsov[9], Nikolai A. Grudtcyn[10]

INTEGRAL ASSESSMENT AND CARTOGRAPHIC MODELING OF PUBLIC HEALTH AS AN INDICATOR OF LIFE QUALITY

ABSTRACT

The conceptual foundations of the study of the dynamics of public health as one of the indicators of quality of life are presented. On the example of a number of regions of the Russian Federation, approaches to modeling and mapping public health are examined. The assessment

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, 10-я линия ВО, д. 33–35, 199178, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail:* **chistobaev40@mail.ru**
[2] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, 10-я линия ВО, д. 33–35, 199178, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail:* **vasiliy-dmitriev@rambler.ru**
[3] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, 10-я линия ВО, д. 33–35, 199178, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail:* **semzoy@yandex.ru**
[4] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, 10-я линия ВО, д. 33–35, 199178, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail:* **aogurcov@yandex.ru**
[5] Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций, НОЦ ПОС, наб. Реки Мойки, д. 61, 191186, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail:* **poxes@yandex.ru**
[6] Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, VI, 10th line, 33–35, 199178, St. Petersburg, Russia; *e-mail:* **chistobaev40@mail.ru**
[7] Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, VI, 10th line, 33–35, 199178, St. Petersburg, Russia; *e-mail*: **vasiliy-dmitriev@rambler.ru**
[8] Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, VO, 10th line, 33–35, 199178, St. Petersburg, Russia; *e-mail*: **semzoy@yandex.ru**
[9] Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, VO, 10th line, 33–35, 199178, St. Petersburg, Russia; e-*mail*: **aogurcov@yandex.ru**
[10] Saint Petersburg State University of Telecommunications, SEC POS, Moika River quay, 61, 191186, St. Petersburg, Russia; *e-mail*: **poxes@yandex.ru**

process was carried out for five classes — from high (first grade) to low (fifth grade). The calculation of the evaluation criteria was carried out in four groups: social, economic, environmental, and the incidence of the population. Convolution of indicators was carried out both inside the blocks and between the blocks. A linear change in indicators in the state of socio-ecological-economic systems and the quality of life of the population is traced. The dynamics of the calculated indicators is given in the figures. Recommendations are given on the use of the results of an integrated assessment of the state of public health in managing the territorial development of the healthcare sector using GIS technologies.

KEYWORDS: socio-ecological-economic system, healthcare, geographic information systems, Russian regions

ВВЕДЕНИЕ

Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) здоровье трактуется как состояние полного физического, психического и социального благополучия, а не просто как отсутствие болезней и физических недостатков [WHO, 2008]. Состояние общественного здоровья формируется под воздействием природных, социально-экономических и духовных факторов, оно определяет качество жизни населения (социума), и от него зависят пути развития общества, цивилизаций. Следовательно, качество жизни выступает одновременно как стратегическая цель и как критерий социально-экономического развития общества. При интегративном подходе могут быть выявлены территориальные (региональные) различия в качестве жизни населения, исходя из причинно-следственных связей.

Категории «общественное здоровье» и «качество жизни» взаимосвязаны между собой, они определяют выбор методов социальной защиты, охраны окружающей среды, обеспечения экологической безопасности. Общественное здоровье — это не совокупность показателей индивидуального здоровья, а многомерное динамическое состояние социума, ресурс продуктивной жизнедеятельности[1]. Качество жизни населения — постоянно эволюционирующая социально-экономическая и философская категория, характеризующая материальную и духовную комфортность существования людей и результирующая медико-экологическое состояние среды обитания на определённом этапе развития территории [*Чистобаев, Семёнова*, 2013]. Наряду с материальными жизненными ценностями, качество жизни социума определяется состоянием общественного здоровья, формируемого под воздействием факторов природной и социальной среды. Для выявления меры влияния здоровья на качество жизни населения — или качества жизни, связанного со здоровьем — необходимо установить параметры состояния охраны здоровья населения.

При исследовании динамики состояния общественного здоровья используются модели системной динамики и модели интегрального оценивания. В наших исследованиях неоднократно поднимался вопрос об использовании эмерджентных свойств сложных систем. Как было установлено, воздействия на систему могут быть детерминированными или случайными, касаться изменений в одной, нескольких или всех подсистемах (социальной, экологической, экономической, здоровьесберегающей) одновременно [*Огурцов, Дмитриев*, 2019]. Попытки оценки состояния сложных систем на покомпонентной основе не позволяют выявлять изменения эмерджентных свойств, характеризующих систему в целом [*Leading…,* 2010; *Рамонов*, 2012]. Что касается многокритериальных оценок, основанных на индикативном подходе, то при них могут проявиться ситуации, когда по одному индикатору система попадает в один класс

[1] *Чистобаев А.И., Семёнова З.А.* Индивидуальное и общественное здоровье как категории медицинской географии. Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология, география, 2011. № 3. С. 83–91

состояния (качества), а по-другому — в другой класс. Системы индикаторов устойчивого развития социо-эколого-экономических систем (СЭЭС), получивших широкое распространение в последнем десятилетии прошлого века [*Жукова*, 1994; *Бобылёв*, 2007], также могут обусловить неопределённость при оценивании временной динамики развития и не дать должного эффекта. И в данном случае может появиться такая ситуация: по одному индикаторы выявляется положительная динамика развития, а по другому случаю (или другим случаям) — стагнация или даже снижение (регресс) темпов развития. В этих условиях оправдан подход, основанный на принципе множественности моделей сложных систем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Начальным этапом выявления отношения субъекта к объекту оценивания выступает диагностический анализ состояния системы, который включает в себя рекогносцировочное выявление достоинств (положительная значимость) и недостатков (отрицательная значимость) объекта, его свойств и структуры, режимов функционирования. Сложность диагностирования общественного здоровья как элемента СЭЭС сопряжена с отсутствием в практике оценивания аксиометрии для выбранных критериев, по которым состояние системы характеризуется разными уровнями качества — высоким, средним или низким. Иначе говоря, для выполнения оценки недостаёт оценочных шкал для всех или части параметров, позволяющих классифицировать состояние объекта.

Исходя из приведённых выше определений общественного здоровья и качества жизни, основная задача оценки состоит в представлении в количественном и качественном измерении совокупности свойств, природных, социальных и экономических условий, обеспечивающих в той или иной степени здоровье людей и их потребителей. Поскольку общественное здоровье вбирает в себя элементы сложной разноуровневой системы, то оно является объектом и предметом междисциплинарного исследования и должно изучаться на основе комплексного подхода [*Семёнова, Чистобаев*, 2015]. Познание сложных СЭЭС требует применении системного подхода, т.е. такой методологии, в основе которой лежит исследование объекта как системы.

К основным задачам системного подхода относятся:

- разработка концептуальных представлений об исследуемом объекте как системы;
- построение обобщённых моделей систем и моделей разных классов и свойств систем;
- формирование методологических оснований различных системных теорий.

Системный подход ориентирует исследование на раскрытие целостности объекта и обеспечивающих эту целостность механизмов, а также на выявление многообразных типов связей сложного объекта, его элементов (подсистем) и сведение их в единое теоретическое обобщение.

При ознакомлении с научными литературными источниками нами установлено, что исследователи, как правило, оценивают воздействие на динамику состояния общественного здоровья единичных факторов, при этом внимание концентрируется на конкретных видах заболеваемости населения, проживающего в определенных административных границах [Проблемы…, 2011]; используются только показатели официальной статистики [*Душкова и др.*, 2019]. При попытках разработки интегральных критериев оценивания общественного здоровья предлагалось использовать разнообразные комплексные показатели [*Прохоров, Тикунов*, 2005; *Найговзина, Филатов*, 2008; *Brousmichea et al.*, 2020]. В расчётный алгоритм названного индекса входят нормированные значения трёх исходных характеристик: коэффициента младенческой смертности и ожидаемой продолжительности жизни мужского и женского населения.

Обобщение использованных для характеристики здоровья населения индексов свидетельствует о высоком разнообразии подходов и оценочных алгоритмов.

В основу наших исследований положена методология построения интегральных показателей состояния СЭЭС, качества жизни населения, общественного здоровья на основе многоуровневых и многокритериальных моделей. Их использование для оценки состояния СЭЭС, воздействующих на динамику общественного здоровья, иллюстрируется на примере ряда регионов — субъектов РФ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Оценка состояния СЭЭС региона и её устойчивости к гипотетическому изменению

В качестве модельного объекта для исследования принята Тверская область РФ. Результаты оценки качества жизни населения выполнялись для 2003 и 2013 гг. Учитывался линейный характер связи параметров с оцениваемым состоянием системы (качеством жизни) при равной весомости параметров 3-х подсистем: экологической, экономической, социальной и между ними. Выполнена оценка изменения системы при 30 % и двукратном ухудшением ситуации внутри блоков и между блоками на фоне 2013 г.

В экологическую подсистему включены 8 параметров оценивания:

- выбросы загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, в атмосферный воздух (тыс. т);
- улавливание загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников (тыс. т);
- использование свежей воды (млн м^3);
- объём оборотной и последовательно используемой воды (млн м^3);
- лесовосстановление (тыс. га);
- внесение удобрений на один га посева сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях (т);
- сброс загрязнённых сточных вод в поверхностные водные объекты (млн м^3);
- образование отходов производства и потребления (тыс. т).

В экономическую подсистему включены 5 параметров оценивания:

- численность населения (оценка на конец года; тыс. чел.);
- численность безработных (тыс. чел.);
- среднедушевые денежные доходы населения в месяц (руб.);
- численность населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума (в % от общей численности населения);
- число предприятий и организаций.

В социальную подсистему включены 5 параметров оценивания:

- ожидаемая продолжительность жизни при рождении (число лет, всё население);
- число зарегистрированных преступлений на 100 тыс. чел. населения;
- число посещений музеев на 1 тыс. чел. населения;
- число больничных коек (всего, тыс.);
- число дошкольных образовательных организаций.

Все показатели выбраны из данных Интернет-сайта Росстата (сборники «Регионы России»). Основная задача исследования состояла в выполнении свёртки показателей на первом и втором уровнях и выявлении ситуаций, при которых СЭЭС не сможет сохранить свои свойства и параметры режимов при заданном гипотетическом воздействии на неё в отдельных подсистемах и в СЭЭС в целом. Состояние системы и качество жизни населения региона оценивалось для 5 классов: I — высокое; II — выше среднего; III — среднее; IV — ниже среднего; V — низкое.

Поясним, что в данном примере близость интегрального показателя к 0,0 свидетельствует о высоком качестве жизни населения: близость к 1,0 — о низком качестве

жизни населения. Интегральный показатель последнего уровня свёртки назван сводным показателем.

Качество жизни населения региона на втором уровне свёртки в 2003 г. характеризовалось значением сводного показателя 0,64 (IV класс, середина); в 2013 г. — 0,57 (граница III–IV классов). На изменение качества жизни населения, как следует из расчётов, сильнее всего повлияла экономика (интегральный показатель по подсистеме уменьшился на 18 %). Вклад социальной подсистемы составил 6,7 %, экологической — 8,9 %. В целом, за период с 2003 по 2013 гг. выявлено улучшение социальных и экологических условий.

Оценка устойчивости СЭЭС показала, что гипотетическое 30 %-е изменение ситуации в одной из подсистем в сторону ухудшения качества жизни относительно 2013 г. приводит к увеличению интегрального показателя по экологической подсистеме на 7,3 %, по социальной подсистеме — на 18,6 %, по экономической подсистеме — на 6,8 %. По величине интегрального показателя при 30 %-ом изменении ситуации по всем подсистемам одновременно отмечается 10,5 %-е увеличение сводного показателя. Эта динамика обусловливает снижение качества жизни населения примерно на половину класса.

Двукратное изменение ситуации в одной из подсистем в сторону ухудшения качества жизни относительно 2013 г. приводит к увеличению интегрального показателя по экологической подсистеме на 17 %, по социальной подсистеме — на 34 %, по экономической подсистеме — на 20 %. По величине сводного показателя при двукратном изменении ситуации по всем подсистемам одновременно отмечается 24 %-е увеличение сводного показателя. Эта динамика обусловливает снижение качества жизни примерно на один класс.

2. <u>Сравнительная оценка качества жизни населения</u>

Этот вид исследования проводился на примере трёх областей — Калининградской, Ленинградской и Сахалинской, трёх краёв — Алтайского, Краснодарского и Приморского. Выявление динамики их развития происходило за период с 2003 до 2015 г.

В данном примере нас интересовала тенденция изменения качества жизни населения в направлении с запада на восток. Расчёты интегральных показателей качества жизни выполнялись для тех же 18 показателей и 5 классов (с равновесными приоритетами) как и в примере 1. Приведём основные черты изменения интегрального показателя качества жизни населения (ИПКЖ) в регионах:

1 — во всех регионах ИПКЖ имеет положительную тенденцию изменения от 2003 к 2013 г. Наибольший рост сводного показателя качества жизни отмечен в Калининградской области (16,7 %), а наименьший — в Приморском крае (7,8 %). В остальных регионах вырисовывается такая картина: в Сахалинской области данный показатель составил 15,2 %, в Ленинградской — 14,3 %, в Краснодарском крае — 13,7 %, в Алтайском крае — 10,3 %;

2 — во всех регионах улучшение качества жизни происходило за счёт роста интегрального показателя экономической подсистемы — от 18,6 % в Калининградской области до 26,5 % в Сахалинской области. При продвижении с запада на восток ИПКЖ экономического блока, как правило, растёт;

3 — минимальные изменения отмечены для интегрального показателя экологической подсистемы (качества среды): от тенденции к ухудшению в двух регионах — Ленинградской области и Приморском крае на 2,6 % и 2,2 % соответственно, к нулевому изменению — Калининградская область и Алтайский край, а далее — до улучшения экологической ситуации в регионе на 2 % в Сахалинской области и 11,8 % в Краснодарском крае;

4 — изменения в социальной подсистеме подавляющей части регионов (кроме Приморского края) имеют тенденцию к улучшению от 3,8 % (Краснодарский край) до

24,7 % в Калининградской области. В Приморском крае за этот период отмечено ухудшение социальных условий на 2,2 %;

5 — оценка устойчивости СЭЭС рассматриваемых регионов показала, что два региона (Калининградская и Ленинградская области) за это время перешли из IV-го класса в III-й. Остальные регионы сохранили свой класс: Сахалинская область, Алтайский и Приморский края — IV-й класс, Краснодарский край — III-й класс. Для пяти рассмотренных регионов (кроме Краснодарского края) основным фактором улучшения качества жизни является улучшение качества среды, а для Краснодарского края — улучшение социальных условий.

3. <u>Оценка состояния СЭЭС северных регионов РФ и их устойчивости к гипотетическому изменению состояния подсистем</u>

В экологическую, экономическую, социальную подсистемы включены те же параметры оценивания, что и в рассмотренных выше примерах. Основной недостаток экспериментов с гипотетическим изменением ситуаций в регионах, рассмотренный в первом примере, состоял в том, что в реальных условиях одновременное изменение нагрузки на 30 %, 50 %, в 2 р. и т.п. внутри одного из блоков или во всех подсистемах одновременно маловероятен. Каждый параметр, выбранный в качестве репрезентативного критерия, имеет свои темпы и направленность изменений. Поэтому необходимо было изучить временное изменение каждого из 18 критериев и получить тренды этих изменений.

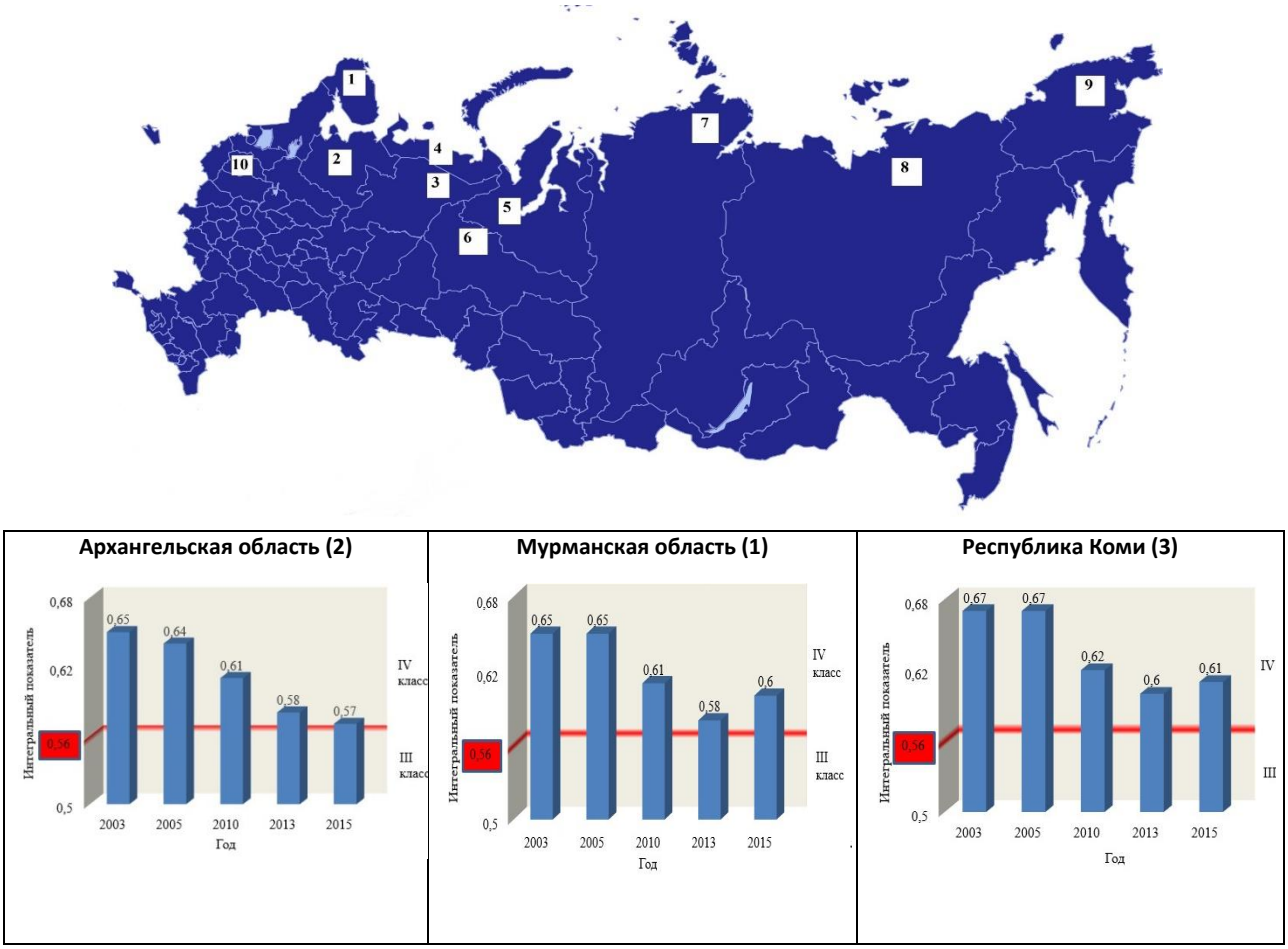


Рис. 1 Примеры классов оценки качества жизни в регионах европейской части РФ
Fig. 1 Examples of classes for assessing the quality of life in the regions of the European part of the Russian Federation

Анализ трендов изменения отдельных характеристик показал, что темпы и направленность изменений разные. Этот вывод использовался в экспериментах с северными регионами (рис. 1), в ходе которых было выявлено, что в 8-ми регионах проявилась тенденция улучшения качества жизни населения. В Мурманской области, Республике Коми, Ханты-Мансийском автономном округе — Югре, Республике Саха (Якутия) произошло улучшение качества жизни населения на 7–10 %. В Архангельской области, Ненецком, Чукотском и Ямало-Ненецком автономных округах установлено улучшение качества жизни населения на 10–12 %. Неизменным осталось качество жизни в Таймырском Долгано-Ненецком муниципальном районе.

4. <u>Оценка личного (индивидуального), общественного здоровья и качества жизни населения северных регионов РФ</u>

В научной литературе вопросам теории и методологии оценки общественного здоровья в специфических северных, в т.ч. арктических условиях, уделяется повышенное внимание [*Алленов, Медведская*, 2012; *Вязьмин и др.,* 2012]. В данном контексте нас интересовали вопросы, связанные как с личным, так и общественным здоровьем; кроме того, важно было выявить факторы, формирующие общественное здоровье и определяющие связь общественного здоровья с качеством жизни населения региона, оценки качества жизни населения с учётом и без учёта личного здоровья (рис. 2).

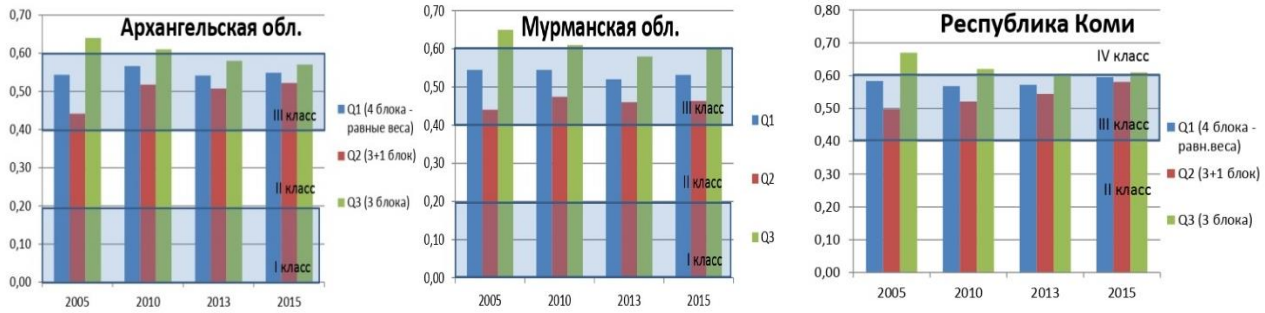


Рис. 2. Примеры факторной оценки качества жизни населения в регионах европейской части РФ
Fig. 2. Examples of factor assessment of the quality of life of the population in the regions European part of the Russian Federation

На основе анализа информации о заболеваемости населения выполнена интегральная оценка личного здоровья в 9 регионах: Мурманской области, Республике Коми, Ханты-Мансийском автономном округе — Югре, Республике Саха (Якутии), Архангельской области, Ненецком, Чукотском, Ямало-Ненецком автономных округах, Тверской области за 2005–2015 гг. Для интегральной оценки было введено 2 группы критериев: 1 — заболеваемость взрослого населения; 2 — заболеваемость детского населения. Состав первой группы: 1 — всего заболевших; 2 — болезни органов дыхания; 3 — болезни системы кровообращения; 4 — болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани. Состав второй группы: 1 — всего заболевших; 2 — болезни органов дыхания; 3 — болезни органов пищеварения; 4 — болезни глаза и его придаточного аппарата. В первом расчётном сценарии использовалось представление о равномерном, прямолинейном изменении параметров по классам заболеваемости (здоровья) населения. Близость интегрального показателя к 0,0 свидетельствовала о минимальной заболеваемости (максимальном уровне здоровья) населения — I класс, близость к 1,0 — о максимальной заболеваемости (минимальном уровне здоровья)

населения — V класс. В итоге получилось, что с 2005 по 2015 гг. уровень здоровья населения регионов в отдельные годы изменялся в целом от I до V классов. По регионам: Мурманская область — II–II, Республика Коми — II–III, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра — I–I, Республика Саха (Якутия) — I–II, Архангельская область — II–III, Ненецкий автономный округ — IV–V–IV, Чукотский автономный округ — II–III–II, Ямало-Ненецкий автономный округ — II–III–II, Тверская область — I–II. Как видим, бóльшая часть рассматриваемых регионов относится ко II–III классам. Выделяются Ненецкий автономный округ, который попадает в IV–V классы, и Ханты-Мансийский автономный округ, относящийся к I классу. Для большинства регионов (за исключением республики Саха (Якутия)) наиболее благоприятные значения показателя отмечены в 2005 г. Эксперименты по изменению весов (приоритетов) оценивания показали, что разная весомость, учитывающая ранжирование приоритетов по видам болезней, не внесла существенных изменений в результаты интегральной оценки.

Ещё в одном примере исследовался системный эффект учёта блока заболеваемости в оценке качества жизни населения регионов наряду с другими блоками: экономики, экологии (качества среды), социального. Для этого использовались результаты, полученные ранее в выполненных расчётах (см. пп. 3, 4). Варианты расчётов учитывали разные возможности выполнения второго уровня свёртки (между блоками): по типу «1» — интегральная оценка по 4 блокам с равными весами для каждого блока (0,25); по типу «2» — интегральная оценка для 3-х блоков + 1 блок (здоровье населения) с равными весами (0,5 и 0,5) (рис.2).

В целом интегральная оценка качества жизни в период с 2005 по 2015 гг. по типу «1» дала следующие результаты: Мурманская область — III–III, Республика Коми — III–IV–IV, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра — III–III, Республика Саха (Якутия) — III–III, Архангельская область — III–III, Ненецкий автономный округ — IV–IV, Чукотский автономный округ — III–III, Ямало-Ненецкий автономный округ — III–IV–III.

Свёртка показателей по типу «2» дала следующие результаты: Мурманская область — III–III, Республика Коми — III–III–IV, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра — I–II, Республика Саха (Якутия) — II–III, Архангельская область — II–III, Ненецкий автономный округ — IV–IV, Чукотский автономный округ — III–III, Ямало-Ненецкий автономный округ — III–III. Сравнение результатов по типам «1» и «2» позволило выявить незначительные различия в сводной оценке по регионам. Важным выводом является необходимость учёта блока заболеваемости населения и его оценочного приоритета при интегральной оценке качества жизни населения.

5. <u>Картографическое моделирование общественного здоровья</u>

Картографирование здоровья опирается на общую методологию географического картографирования [*Берлянт,* 1978] и математико-географического моделирования в социально-экономическом картографировании [*Черепанова и др.,* 2017]. Использование таких карт при обосновании пространственного развития и территориального планирования в последние годы стало типичным явлением [*Малхазова,* 2001]. Можно выделить карты эволюции нозоареалов, компонентов окружающей среды для выявления причинно-следственных связей в распространении заболеваний, урбанизированных и руральных территорий, обусловливающих взаимосвязь нозоареалов с природными и социально-экономическими условиями среды обитания населения. Возросла роль космофотоснимков и геоинформационных систем (ГИС) и технологий в разработке документов пространственного развития и градостроительного проектирования [*Скатерщиков*, 2007]. Основываясь на привлечении таких технологий, вырабатываются рекомендации по формированию систем расселения, по организации территориального здравоохранения в экстремальных природных условиях, по прогнозированию возможных последствий для здоровья мигрантов, по проведению территориально-

дифференцированных профилактических мероприятий, направленных на оздоровление окружающей среды.

Современное картографирование вбирает в себя 3 типа карт, отображающих природу и общество в связях и отношении со здоровьем населения. Первый тип — это карты, отражающие влияние на здоровье населения свойств окружающей среды. Второй тип — геомедицинские карты (карты нозоареалов). Третий тип — карты объектов здоровьесбережения. В этом отношении показательны примеры медико-географического картографирования территорий Молдавии [*Фельдман*, 1977] и Украины [*Шевченко*, 1994; *Поспелов*, 1970], которые были выполнены в рамках методологии медико-географической научной школы, созданной в СССР [*Игнатьев,* 1968; *Прохоров*, 1968; *Поспелов*, 1987; *Келлер*, 1981].

6. <u>ГИС-технологии в территориальной организации системы здравоохранения</u>

Современные ГИС-технологии реализуют цифровые виды моделирования общественного здоровья. Если ГИС нацелены на научно-познавательный процесс, то ГИС-технологии — на инженерно-технический процесс [*Скатерщиков, Тясто,* 2007]. При последнем внимание исследователей сосредоточено на использовании ГИС в качестве программного инструмента для ввода, хранения, манипулирования, анализа, отображения и передачи информации как в картографическом виде, так и в виде таблиц, графиков и текстов. При использовании ГИС-технологий преодолеваются недостатки обычных карт с их статичностью, ограниченной ёмкостью, сложностью восприятия.

На основе ГИС-технологий возможно выявление взаимосвязей в экологическом состоянии среды обитания и заболеваемости людей, динамики состояния общественного здоровья. Это даёт ключ к диагностике заболеваний, выбору вариантов в лечебно-профилактической практике. Главная задача, решаемая с помощью ГИС-технологий, состоит в автоматизированном создании карт с применением различных способов изображения.

В наших исследованиях с использованием ГИС-технологии неоднократно поднимался вопрос об оценке эмерджентных свойств (устойчивость, благополучие и др.) сложных систем. При этом учитывалось, что воздействия на систему могут быть детерминированными или случайными, касаться изменений в одной, нескольких или всех подсистемах (социальной, экологической, экономической, здоровьесберегающей) одновременно [*Огурцов, Дмитриев*, 2019; *Dmitriev et al.*, 2020; *Chistobaev et al.*, 2019].

ГИС-технологии в управлении здравоохранением. Наличие информации ещё не есть гарант повышения эффективности функционирования системы территориального здравоохранения — нужны механизмы и инструментарии управления здоровьесбережением. Для того чтобы это стало возможным, необходима продуманная технология сбора и предоставления аналитических данных. Иначе говоря, речь идёт о создании медико-географической экспертизы, медико-географическом мониторинге, моделей-классификаций уровней заболеваемостей [*Семёнова,* 2019]. Всё это должно охватывать все уровни управления здравоохранением — от страны в целом до городских и сельских поселений, причём в разрезе всех объектов — госпиталей и больниц, медицинских центров и поликлиник, фельдшерско-акушерских и травматологических пунктов. Мало того, информация должна быть привязана к типам местности — ландшафтам, урбанизированным и руральным территориям. В решении этих вопросов без использования ГИС-технологий невозможно сформировать стратегии и программы развития здравоохранения на всех уровнях его организации. В совокупности всё сказанное направлено на создание медико-географического менеджмента как специфической

системы управления здоровьесбережением[1]. Таким образом, медицинская география приобретает новые функции, которые ранее не были присущи этой междисциплинарной науке.

ВЫВОДЫ

В ходе проводимых нами исследований по созданию теории и методологии интегральной оценки общественного здоровья в изменяющихся природных, медико-экологических и социально-экономических условиях жизни получены следующие выводы:

1. Общественное здоровье является одним из индикаторов качества жизни, раскрывает динамическое состояние социума, представляет собой ресурс продуктивной жизнедеятельности. Для выявления меры влияния здоровья на качество жизни необходимо установить параметры состояния СЭЭС. Эта целевая установка может быть достигнута на основе использования моделей изменения эмерджентных свойств, характеризующих систему в целом.

2. Основная задача интегральной оценки общественного здоровья состоит в измерении совокупности свойств СЭЭС, обеспечивающих в той или иной степени динамику состояния здоровья людей. Методология такой оценки базируется на многоуровневых и многокритериальных моделях. Апробация таких моделей осуществлялась в ходе выполнения следующих видов оценок:

- состояния СЭЭС региона и её устойчивости к гипотетическому изменению;
- качества жизни населения в субъектах РФ, расположенных в западных и восточных частях страны;
- состояния СЭЭС северных регионов РФ и их устойчивости к гипотетическому изменению состояния подсистем;
- личного (индивидуального), общественного здоровья и качества жизни населения северных регионов РФ.

Для всех видов оценок подтверждена эффективность предложенных нами методологии и методики интегральной оценки общественного здоровья.

3. Полученные результаты по названным выше видам оценок могут послужить основой картографического моделирования общественного здоровья, использования ГИС-технологий в территориальной организации сферы здравоохранения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по гранту № 18-05-00328.

ACKNOWLEDGEMENTS

The reported study was funded by RFBR according to the research project No 18-05-00328.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алленов А.М., Медведская Д.Р.* Опыт применения математического моделирования в управлении общественным здоровьем. Российская академия медицинских наук. Бюллетень Национального научно-исследовательского института общественного здоровья, 2012. № 4. С. 8−10.

[1] *Семёнова З.А.* Медико-географический менеджмент: предпосылки становления и развития. Актуальные проблемы современной экономической, социальной и политической географии. Материалы XXVII сессии экон.-геогр. секции МАРС. М.: МГПУ, 2011. С. 211–214

2. *Берлянт А.М.* Картографический метод исследования. М.: Издательство Московского университета, 1978. 257 с.
3. *Бобылёв С.Н.* Индикаторы устойчивого развития: региональное измерение. Пособие по региональной экологической политике. М.: Акрополь, ЦЭПР, 2007. 60 с.
4. *Вязьмин А.М., Санников А.Л., Мордовский Э.А.* Ведущие детерминанты общественного здоровья приарктических территорий европейского севера России. Арктика и Север, 2012. № 7. С. 97–112.
5. *Душкова Д.О. Тикунов В.С., Черешня О.Ю.* Методика оценки общественного здоровья на уровне муниципальных образований на примере Архангельской области. География и природные ресурсы, 2019. № 1. С. 127–136. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(127-136).
6. *Жукова Н.В.* Индикаторы социального развития как инструмент социального программирования: зарубежный опыт. Социология, 1994. № 3–4. С. 110–153.
7. *Игнатьев Е.И.* Узловые вопросы медико-географического картографирования. Принципы и методы медико-географического картографирования. Иркутск: ИГС и ДВ, 1968. С. 5–28.
8. *Келлер А.А.* Опыт составления комплексных карт распространения заразных болезней. Медико-географическое районирование и прогнозирование здоровья популяций. Новосибирск: Наука, 1981. С. 81–84.
9. *Малхазова С.М.* Медико-географический анализ территорий: картографирование, оценка, прогноз. М.: Научный мир, 2001. 240 с.
10. *Найговзина Н.Б., Филатов В.Б.* Оценка уровня общественного здоровья населения. Советник бухгалтера в здравоохранении, 2008. № 3.
11. *Огурцов А.Н., Дмитриев В.В.* Интегральная оценка и геоинформационный анализ социальных детерминант здоровья населения крайнего севера европейской части Российской Федерации. ИнтерКарто.ИнтерГИС-2019. Геоинформационное и картографическое обеспечение экологических, экономических и социальных аспектов устойчивого развития: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. № 1. С. 23–34. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-23-34.
12. *Поспелов В.П.* Ландшафтно-эпидемиологический атлас Европейской части РСФРС, Урала и Крымской области УССР. М.: Главное управление геодезии и картографии, 1987. 162 с.
13. *Поспелов В.П.* Медико-географический атлас Красноярского края. Красноярск: Главное управление геодезии и картографии, 1970. 41 с.
14. Проблемы здравоохранения и социального развития Арктической зоны России. М.: Paulsen, 2011. 472 с.
15. *Прохоров Б.Б.* Принципы и методы составления карт комплексной медико-географической оценки территорий. Принципы и методы медико-географического картографирования. Иркутск: ИГС и ДВ, 1968. С. 154–184.
16. *Прохоров Б.Б., Тикунов В.С.* Общественное здоровье в регионах России. География и природные ресурсы, 2005. № 2. С. 26–33.
17. *Рамонов А.В.* Анализ статуса здоровья населения России с использованием интегральных показателей. Социальные исследования, 2012. Т. 335. № 3. С. 104–116.
18. *Семёнова З.А.* Мониторинг, экспертная оценка и классификация показателей состояния общественного здоровья в регионе. Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов, 2019. № 8. С. 96–105.
19. *Семёнова З.А., Чистобаев А.И.* Медицинская география и здоровье населения. Монография. СПб.: СПБ НЦ РАН, СПбГУ, Издательство «Европейский Дом», 2015. 252 с.
20. *Скатерщиков С.В.* 15 лет использования ГИС-технологий в разработке документов территориального планирования. Управление развитием территории, 2007. № 1. С. 23–28.

21. *Скатерщиков С.В., Тясто С.Я.* Информационное обеспечение разработки документации территориального планирования субъекта РФ. ArcReview, 2007. № 4. С. 5–8.
22. *Фельдман Е.С.* Медико-географическое исследование территории Молдавии. Кишинёв: Штиинца, 1977. 169 с.
23. *Черепанова Е.С., Киселёва Е.С., Перминов С.И., Тарасов А.В.* Математико-картографическое моделирование в социально-экономическом картографировании: особенности визуализации данных. Географический вестник, 2017. № 2 (41). С. 137–147. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-137-147.
24. *Чистобаев А.И., Семёнова З.А.* Эволюция научных представлений о качестве жизни населения. Общество. Среда. Развитие, 2013. № 3. С. 247–254.
25. *Шевченко В.А.* Медико-географическое картографирование территории Украины. Киев: Наукова думка, 1994. 158 с.
26. *Biggeri M., Mauro V.* Towards a more ‘Sustainable’ human development index: integrating the environment and freedom. Ecological Indicators, 2018. V. 91. P. 220–231. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.03.045.
27. *Brousmichea D., Occellia F., Geninb M., Cunya D., Derama A., Laniera C.* Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: Meeting the challenge of selecting relevant variables. Ecological Indicators, 2020. V. 111. 106023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106023.
28. *Chistobaev A.I., Semenova Z.A., Grudtcyn N.A.* Dynamics and strategic directions of public health preservation in Russian Federation. Entrepreneurship and Sustainability Issues, 2019. Iss. 6 (3). P. 1380–1392. DOI: 10.9770/jesi.2019.6.3(23).
29. *Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N., Hovanov N.V., Osipov G.K., Kulesh V.P., Sergeyev Yu.N., Fedorova I.V.* Integral assessment of condition and sustainability of socio-ecological-economic systems. Landscape modelling and decision support. Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 48–79. DOI: 10.1007/978-3-030-37421-1_4.
30. *Wilson I.D., Ware J.M., Ware J.A.* A genetic algorithm approach to cartographic map generalization. Computers in Industry, 2003. V. 52. Iss. 3. P. 291–304.
31. Leading indicators for healthy people: Final report. Washington DC: National Academy of Sciences, 2010. 80 p.
32. WHO – World Health Organization. The global burden of disease: 2004 update. Geneva: WHD, 2008. 160 p.

REFERENCES

1. *Allenov A.M., Medvedskaya D.R.* The experience of using mathematical modeling in public health management. Russian Academy of Medical Sciences. Bulletin of the National Public Health Research Institute, 2012. No 4. P. 8–10 (in Russian).
2. *Berlyant A.M.* Cartographic research method. Moscow: Moscow University Press, 1978. 257 p. (in Russian).
3. *Biggeri M., Mauro V.* Towards a more ‘Sustainable’ Human Development Index: integrating the environment and freedom. Ecological Indicators, 2018. V. 91. P. 220−231. DOI: 10.1016 / j.ecolind.2018.03.045.
4. *Bobylev S.N.* Sustainable development indicators: A regional dimension. Manual on regional environmental policy. Moscow: Acropolis, CEPR, 2007. 60 p. (in Russian).
5. *Brousmichea D., Occellia F., Geninb M., Cunya D., Derama A., Laniera C.* Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: Meeting the challenge of selecting relevant variables. Ecological Indicators, 2020 V. 111. April. 106023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106023.

6. *Cherepanova E.S., Kiseleva E.S., Perminov S.I., Tarasov A.V.* Mathematical-cartographic modeling in socioeconomic mapping: peculiarities of data visualization. Geographical Bulletin, 2017. No 2 (41). P. 137–147. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-137-147 (in Russian).
7. *Chistobaev A.I., Semenova Z.A.* The evolution of scientific ideas about the quality of life of the population. Society. Environment. Development, 2013. No 3. P. 247–254 (in Russian).
8. *Chistobaev A.I., Semenova Z.A., Grudtcyn N.A.* Dynamics and strategic directions of public health preservation in Russian Federation. Entrepreneurship and Sustainability Issues, 2019. Iss. 6 (3). P. 1380–1392. DOI: 10.9770/jesi.2019.6.3(23).
9. *Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N., Hovanov N.V., Osipov G.K., Kulesh V.P., Sergeyev Yu.N., Fedorova I.V.* Integral assessment of condition and sustainability of socio-ecological-economic systems. Landscape modelling and secisions. Cham: Springer International Publishing, 2020. P. 48–79. DOI: 10.1007/978-3-030-37421-1_4.
10. *Dushkova D.O. Tikunov V.S., Chereshnya O.Yu.* Methodology for assessing public health at the level of municipalities on the example of the Arkhangelsk region. Geography and Natural Resources, 2019. No 1. P. 127–136. DOI: 10.21782 / GIPR0206-1619-2019-1(127–136) (in Russian).
11. *Feldman E.S.* Medical and geographical research of the territory of Moldova. Chisinau: Shtiintsa, 1977. 169 p. (in Russian).
12. *Ignatiev E.I.* Nodal issues of medical-geographical mapping. Principles and methods of medical-geographical mapping. Irkutsk: IGS and DV, 1968. P. 5–28 (in Russian).
13. *Keller A.A.* Experience in compiling comprehensive maps of the spread of infectious diseases. Medical-geographical zoning and population health forecasting. Novosibirsk: Nauka, 1981. P. 81–84 (in Russian).
14. Leading indicators for Healthy people: Final Report. Washington DC: National Academy of Sciences, 2010. 80 p.
15. *Malkhazova S.M.* Medical-geographical analysis of territories: mapping, assessment, forecast. Moscow: Scientific World, 2001. 240 p. (in Russian).
16. *Naygovzina N.B., Filatov V.B.* Assessment of the level of public health of the population. Healthcare Accountant Advisor, 2008. No 3 (in Russian).
17. *Ogurtsov A.N., Dmitriev V.V.* Integral assessment and geoinformation analysis of social determinants of the health of the population of the far north of the European part of the Russian Federation. InterCarto. InterGIS. GI support of environmental, economic and social aspects of sustainable development: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. No 1. P. 23–34. DOI: 10.35595 / 2414-9179-2019-1-25-23-34 (in Russian).
18. Problems of health and social development of the Arctic zone of Russia. Moscow: Paulsen, 2011. 472 p. (in Russian).
19. *Pospelov V.P.* Landscape epidemiological atlas of the European part of the RSFRS, the Urals and the Crimean region of the Ukrainian SSR. Moscow: GUGK, 1987. 162 p. (in Russian).
20. *Pospelov V.P.* Medical geographical atlas of the Krasnoyarsk Territory. Krasnoyarsk: GUGK, 1970. 41 p. (in Russian).
21. *Prokhorov B.B.* Principles and methods of compiling maps of a comprehensive medical and geographical assessment of territories. Principles and methods of medical and geographical mapping. Irkutsk: IGS and DV, 1968. P. 154–184 (in Russian).
22. *Prokhorov B.B., Tikunov V.S.* Public health in the regions of Russia. Geography and Resources, 2005. No 2. P. 26–33 (in Russian).
23. *Ramonov A.V.* Analysis of the health status of the population of Russia using integrated indicators. Journal of Social Research, 2012. V. 335. No 3. P. 104–116 (in Russian).
24. *Semenova Z.A.* Monitoring, expert assessment and classification of indicators of public health in the region. Socio-economic geography. Bulletin of the Association of Russian Geographers Social Scientists, 2019. No 8. P. 96–105 (in Russian).

25. *Semenova Z.A., Chistobaev A.I.* Medical geography and public health. Monograph. St. Petersburg: St. Petersburg Scientific Center, RAS, St. Petersburg State University, Publishing house “European House”, 2015. 252 p. (in Russian).
26. *Skaterschikov S.V.* 15 years of using GIS technology in the development of territorial planning documents. Territory Development Management, 2007. No 1. P. 23–28 (in Russian).
27. *Skaterschikov S.V., Tyasto S.Ya*. Information support for the development of territorial planning documentation of a subject of the Russian Federation. ArcReview, 2007. No 4. P. 5–8. (in Russian).
28. *Shevchenko V.A.* Medical-geographical mapping of the territory of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 1994. 158 p. (in Russian).
29. *Vyazmin A.M., Sannikov A.L., Mordovsky E.A.* Leading determinants of public health in the Arctic territories of the European north of Russia. Arctic and North, 2012. No 7. P. 97−112 (in Russian).
30. WHO – World Health Organization. The global Burden of disease: 2004 update. Geneva: WHD, 2008. 160 p.
31. *Wilson I.D., Ware J.M., Ware J. A.* A genetic algorithm approach to cartographic map generalization. Computers in Industry, 2003. V. 52. Iss. 3. 2003. P. 291–304.
32. *Zhukova N.V.* Indicators of social development as a tool for social programming: foreign experience. Sociology, 1994. No 3–4. P. 110–153 (in Russian).

УДК: 502.22:574.614.1 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-105-123**

О.Е. Архипова[1] , Е.А. Черногубова[1], Т.Т. Тарасова[1]

АНАЛИЗ МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ РАЗВИТИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ АЗОВСКОГО МОРЯ

АННОТАЦИЯ

Прибрежные зоны являются целостной природной и социально-экономической территориально-акваториальной системой, объединённой сложной структурой взаимодействий. Прибрежные геосистемы отличаются уникальностью, богатством природных ресурсов, что определяет их привлекательность для производственных и селитебных, рекреационных, транспортных и других видов деятельности, но и делает экологически уязвимыми.

Область интересов исследования — прибрежная зона Азовского моря (Ростовская область). Предмет исследования — состояние медико-экологической безопасности территорий. Цель исследования — анализ медико-экологических и социально-демографических факторов как основы устойчивого развития прибрежной зоны Азовского моря.

Реализован системный подход к оценке устойчивого развития прибрежной зоны и разработке методов анализа и интеграции разнородных данных. Изменения прибрежной зоны оценивали на основе сравнительного анализа многозональных космических съёмок в сочетании с наземными исследованиями, данными тематических карт. Для анализа медико-экологической безопасности использована авторская методика, сочетающая традиционные методы и геоинформационные технологии на базе ArcGis Desktop*. Показатель качества среды рассматривался с точки зрения влияния на здоровье человека. Оценка демографической безопасности проводилась на основе коэффициента демографического благополучия/неблагополучия территории. Уровень заболеваемости злокачественными новообразованиями рассматривался как высокоинформативный и социально значимый показатель состояния здоровья популяции в целом. Для анализа использованы базы данных ЮНЦ РАН за 2006–2016 гг.

Комплексный анализ факторов развития прибрежной зоны Азовского моря показал наличие существенных проблем в исследуемом регионе. Наиболее привлекательные с точки зрения развития инфраструктуры районы береговой зоны Азовского моря подвержены изменениям вследствие действия опасных природных явлений. Анализ демографических показателей подтвердил наличие неблагоприятных демографических процессов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прибрежная зона Азовского моря, пространственно-временной анализ, медико-экологические факторы устойчивого развития, социально-демографические факторы

[1] Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
Просп. Чехова, д. 41, 344006, Ростов-на-Дону, Россия;
e-mail: **arkhipova@ssc-ras.ru, eachernogubova@mail.ru, tarasova_tt@mail.ru**

Olga E. Arkhipova[1], Elena A. Chernogubova[1], Tamara T. Tarasova[1]

ANALYSIS OF MEDICAL-ECOLOGICAL AND SOCIO-DEMOGRAPHIC FACTORS OF DEVELOPMENT OF THE COASTAL ZONE OF THE SEA OF AZOV

ABSTRACT

Coastal zones are integral natural and socio-economic territorial-water system, combined by a complex structure of interactions. Coastal geosystems are unique, rich in natural resources, which determines their attractiveness for industrial and residential, recreational, transport and other activities, but also makes them environmentally vulnerable. Sustainable development of the coastal zone is determined by the economic, social, and environmental components.

The research area of interest is the coastal zone of the Sea of Azov (Rostov Region). The subject of the study is the state of medical and environmental safety of the territories. The purpose of the study is the analysis of medical-ecological and socio-demographic factors as the basis for sustainable development of the coastal zone of the Sea of Azov.

A systematic approach has been implemented to assess the sustainable development of the coastal zone and to develop methods for analyzing and integrating heterogeneous data. Changes in the coastal zone were evaluated based on a comparative analysis of multizone satellite imagery with ground-based studies, data from thematic maps. For the analysis of medical and environmental safety, an author's technique was used, combining traditional methods and geoinformation technologies based on ArcGis Desktop*. The environmental quality indicator was considered in terms of the impact on human health. Assessment of demographic security was carried out based on the coefficient of demographic well-being / prosperity of the territory. The incidence rate of malignant neoplasms was considered as a highly informative and socially significant indicator of the health status of the population. For analysis, we used the SSC RAS database for 2006−2016.

A comprehensive analysis of the development factors of the coastal zone of the Sea of Azov showed significant problems in the studied region. The most attractive areas of the coastal zone of the Sea of Azov from the point of view of infrastructure development are at the same time subject to changes due to dangerous natural phenomena. Analysis of demographic indicators confirmed the presence of adverse demographic processes.

KEYWORDS: coastal zone of the Sea of Azov, spatial-temporal analysis, medical and environmental factors of sustainable development, socio-demographic factors

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежная зона представляет собой целостную природную и социально-экономическую территориально-акваториальную систему, объединённую сложной структурой взаимодействий. Изучению прибрежных зон придаётся особое значение, поскольку они в силу своего благоприятного для социально-экономического развития расположения характеризуются интенсивной хозяйственной деятельностью и, соответственно, подвержены значительной антропогенной нагрузке. И, хотя эти территории играют важную роль в мировой экономике, именно они сталкиваются с высокими рисками и уязвимостью к стихийным бедствиям из-за своего особого расположения и высокой плотности населения.

[1] Federal Research Centre The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Chekhov Ave, 41, 344006, Rostov-on-Don, Russia;
e-mail: **arkhipova@ssc-ras.ru, eachernogubova@mail.ru, tarasova_tt@mail.ru**

Прибрежная зона Таганрогского залива обладает богатыми природными ресурсами, является объектом культурно-исторического наследия и частью рекреационной зоны «Европейский Юг России», специализирующейся на лечебно-оздоровительной рекреации и познавательном туризме. Большому рекреационно-туристическому потенциалу способствует благоприятный климат и удобное географическое положение. Азовское море, в том числе Таганрогский залив, является самым доступным по стоимости местом отдыха для многих граждан России. В то же время, берега Таганрогского залива подвержены абразивным и оползневым процессам, достаточно часты опасные гидрометеорологические явления. В «Стратегии сохранения окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области на период до 2020 года» отмечается, что разрушение берегов, вызванное природными явлениями и усилениями антропогенной нагрузки на водоёмы, является одной из важнейших проблем для Ростовской области, в частности, для Таганрогского залива.

Устойчивое развитие региона необходимо рассматривать как динамический процесс последовательных положительных изменений, обеспечивающих сбалансированность экономических, социальных и экологических факторов, обладающий конкурентоспособностью и отвечающий потребностям общества в настоящем и в будущем [*Цыдыпова*, 2016].

В цивилизованном обществе здоровье человека — это определяющий, системообразующий фактор государственной экономической и социальной политики. Именно категория здоровья рассматривается в настоящее время как индикатор соответствия экологических характеристик и научно-технического прогресса. Здоровье населения в пределах биологической нормы является функцией экономических, социальных и экологических условий, может рассматриваться как основной биоиндикатор экологического риска и важная составляющая экологического мониторинга. Формированию такого научно-методического подхода способствует как развитие фундаментальных медико-географических исследований, экологии человека [*Агаджанян*, 2008; *Howe*, 1976], так и накопление разнообразных сведений об экологической обусловленности многих заболеваний [*Гичев,* 2003; *Мирзонов, Журихина*, 2008; *Бобров*, 2010; *Макаров и др*., 2000].

Ранее нами было показано, что для объективной оценки уровня медико-экологической безопасности территорий необходимо использование комплексных показателей, для этого разработаны научно-методические основы анализа медико-экологической безопасности территорий на основе оценки встречаемости онкологических заболеваний как индикатора воздействия на население природных, социально-экономических и техногенных изменений окружающей среды [*Архипова и др*., 2014 (б)]. На основе методологии системного подхода были определены причинно-следственные связи в системе «среда обитания — онкологические заболевания» при мультифакторном воздействии среды.

Установлено, что, несмотря на сложный, опосредованный и инерционный характер воздействия экологических факторов на показатели здоровья, внутри региональная дифференциация уровня первичной выявляемости онкологических заболеваний в значительной степени соответствует пространственному распределению показателей фонового загрязнения [там же]. К числу факторов, оказывающих прямое или опосредованное влияние на динамику и структуру заболеваемости злокачественными новообразованиями, следует отнести как факторы окружающей среды, в числе которых можно выделить природные, антропогенные, так и социально-экономические и демографические факторы [*Гичев*, 2003; *Ревич и др*., 2004].

Этапом формирования стратегии устойчивого развития территорий является также оценка состояния и доминирующих тенденций демографического, экологического и социального развития в целом. Анализ отечественной научной литературы показал, что

использование демографического и социологического подходов для социально-экономической оценки устойчивого развития территорий, применяется довольно редко. В современных социологических исследованиях, проведённых в ряде российских регионов, акцент делается либо на социальный (рассматривается социальная стратификация региона, города), либо на социально-экономический аспект (уделяется внимание развитию бизнес-деятельности), тогда как социально-демографический аспект региональных проблем часто выпадает [*Антонова*, 2013].

В связи с этим приоритетное значение для прибрежной зоны Азовского моря приобретает анализ медико-экологических и социально-демографических факторов.

Предмет исследования — состояние здоровья населения и среды обитания, их анализ и оценка. Область интересов охватывает территорию прибрежной зоны Азовского моря (Таганрогский залив), к которой относятся Неклиновский, Матвеево-Курганский, Азовский, Кагальницкий районы Ростовской области.

Основная цель исследования — анализ медико-экологических и социально-демографических факторов развития как основы устойчивого развития прибрежной зоны Азовского моря.

Объективные данные о зависимости заболеваемости населения от условий окружающей среды в настоящее время позволяют получить, прежде всего, количественные подходы, опирающиеся на современные информационные технологии. Все шире внедряются методы моделирования и многомерной статистики в медико-географические исследования. Они позволяют оценить вклад отдельных факторов в заболеваемости населения при комплексном воздействии, провести математико-картографическую дифференциацию территории по благоприятности медико-географической обстановки [*Беннет*, 1981; *Славин*, 1989; *Куролап*, 2006].

К настоящему времени уже накоплен большой массив общих и тематических данных. В то же время для последующих принятий решений территориальными органами управления здравоохранением все более необходимыми и актуальными этапами становятся всесторонняя обработка этих данных в цифровом виде и оперативное представление результатов их анализа, моделирования и прогноза не только в виде традиционных таблиц, графиков и диаграмм, но и в картографическом виде — с привязкой к пространственным (географическим) координатам и шкале времени. Предлагаемые ГИС — мощные средства интеграции разнородных данных, их пространственного анализа, моделирования и наглядной визуализации — помогают обеспечить комплексную поддержку решаемых задач, расширить круг выполняемых исследований и обследований, представить их результаты в удобном для дальнейшей работы и понимания картографическом виде. Таким образом, одним из перспективных направлений здесь является применение геоинформационных систем (ГИС) и развитых средств работы с пространственно-распределёнными данными.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу методологических подходов и прикладных методов оценки устойчивого развития территории и картографирования применительно к условиям Азовского побережья положена авторская методика, опирающаяся на методы системного анализа, математического моделирования, ГИС-технологий [*Архипова и др.*, 2014 (а)]. Одной из главных задач являлась проверка гипотезы о пространственной зависимости уровня заболеваемости злокачественными новообразованиями от природных и антропогенных факторов. Согласно принятой классификации экологически значимых заболеваний, наиболее высокую степень зависимости состояния здоровья от загрязнения окружающей среды имеет индикаторная экологическая патология [Здоровье..., 2010]. Злокачественные новообразования являются индикаторной экологической патологией с высокой степенью зависимости от качества среды обитания, именно поэтому уровень онкологической

заболеваемости рассматривается как чувствительный маркёр экологического риска и экологического неблагополучия территорий [*Мусина и др.,* 2012]. Такой подход позволяет получать максимум экологически значимой информации при минимуме оцениваемых показателей. Уровень онкологических заболеваний рассматривается как индикатор воздействия на население природных, социально-экономических и техногенных изменений окружающей среды, и, как следствие, является информативным индикатором устойчивого развития прибрежных территорий.

Анализ «медико-экологической обстановки» связан, прежде всего, с техногенными факторами риска, а «эколого-гигиеническая ситуация» рассматривается в связи с воздействием на состояние здоровья населения факторов загрязнения среды (воздушной, водной, почвенной) с учётом гигиенических нормативов (рис. 1).

Рис.1. Факторы, влияющие на здоровье населения
Fig. 1. Factors affecting public health

Усовершенствованный метод оценки и прогнозирования медико-экологической обстановки базируется на сочетании традиционных методов исследования онкологической заболеваемости и использовании геоинформационных технологий на базе современного программного обеспечения ArcGis Desktop* [*Архипова и др.*, 2014 (а)]. Систематизация основных показателей проводится по принципу административно-территориального деления: субъекты Российской Федерации — районы — урбанизированные (городские) территории. Принцип территориально-административного деления использован в связи с общепринятым видом статистической отчётности и агрегированием информации в рамках административно-территориальных единиц. Согласно принятому подходу, используется также единая картографическая основа для Российской Федерации, что позволяет провести сравнение полученных аналитических и

синтетических карт. Математико-картографическая модель оценки и прогнозирования медико-экологической обстановки региона представляет собой интерактивную среду, состоящую из геоинформационной системы, реализованной в виде проекта ArcGis Desktop и модельного блока, встроенного в проект, разработанного с использованием модуля визуального программирования Model Builder и языка Phyton. Основное назначение геоинформационной модели — построение аналитических и синтетических карт оценки уровня медико-экологической безопасности региона. Первый этап выполнения модели — стандартизация данных, полученных в результате обследования онкологических больных. Второй этап выполнения модели — анализ распространения известных или предполагаемых экологических факторов риска либо их комплексов. Для построения карт оценки экологических рисков используются показатели комплексной антропотехногенной нагрузки. Третий этап — анализ демографических процессов в прибрежной зоне, а также выявленных различий в пространственном распределении высоких и низких уровней заболеваемости раком.

Экологические показатели

В качестве ключевых экологических индикаторов выбраны: качество окружающей среды, ландшафтное разнообразие, опасность возникновения природных явлений [*Бобылёв*, 2007].

Состояние природной среды территорий рассматривается с точки зрения возможности обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, исключения угрозы возникновения зон экологического бедствия и чрезвычайных ситуаций в соответствии с действующими гигиеническими нормативно-методическими документами Российской федерации. Прогнозирование влияния комплекса факторов окружающей среды на здоровье населения проводится на основе анализа качества атмосферного воздуха, почвы, питьевой воды[1]. Комплексный показатель качества окружающей среды рассчитывается как среднее от суммы всех факторов. В качестве исходных данных использованы данные Федеральной службы государственной статистики и Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ростовской области (Роспотребнадзор РО), приведённые в сборниках Государственных докладов о санитарно-эпидемиологической обстановке[2] и взятые из открытых Интернет-источников.

В качестве комплексного показателя используется стандартный показатель — степень напряжения санитарно-гигиенической ситуации:

$$К_Н = \frac{К_{вода}+К_{воздух}+К_{почва}+К_{шум}}{4},$$

где в числителе — агрегированные показатели качества среды.

Согласно методике, используемой в Роспотребнадзоре, была выбрана шкала оценки по одной из 5-ти категорий:

- удовлетворительная категория — определяет полную и неограниченную пригодность использования среды обитания, её экологическую безопасность использования и безвредность для здоровья населения. Соответственно, при этом не наблюдается экологически обусловленных изменений показателей здоровья по сравнению с «фоновым» для данной территории или «региональным» уровнем;

[1] Методические рекомендации по проведению социально-гигиенического мониторинга №2001/83. Электронный ресурс: http://docs.cntd.ru/document/901921859

[2] Государственный доклад о санитарно-эпидемиологической обстановке в Ростовской области в 2016 году и мерах по её стабилизации. Электронный ресурс: http://www.61.rospotrebnadzor.ru
State report on the sanitary and epidemiological situation in the Rostov region in 2016 and measures to stabilize it. Web resource: http://www.61.rospotrebnadzor.ru (in Russian)

- относительно напряжённая ситуация — свидетельствует о некоторой (наименьшей, но регистрируемой) степени опасности для населения оцениваемых вредных факторов среды обитания. При этом могут развиваться начальные изменения в состоянии здоровья (преимущественно в виде роста числа функциональных нарушений и предпатологии) наиболее восприимчивой части населения (новорождённых, детей раннего возраста, беременных женщин и др. групп);
- существенно напряжённая ситуация — характеризуется значительными уровнями загрязнения среды обитания, ростом заболеваемости и др. патологии у наиболее восприимчивой части населения, а также достоверным ростом предположительно эколого-зависимых «индикаторных» болезней среди детей и взрослых, некоторым увеличением детской и общей заболеваемости;
- критическая или чрезвычайная медико-экологическая ситуация — соответствует «высокой» степени загрязнения среды обитания, представляющей безусловную опасность использования населением тех или иных её объектов. О реализации потенциальной опасности вредных факторов для населения свидетельствует доказанное экологически обусловленное развитие генетических и иммунологических нарушений среди популяции, значительно растущая общая и детская заболеваемость, появление у населения симптомов хронической интоксикации, обусловленных воздействием токсикантов, загрязняющих отдельные звенья экосистем, появление «специфических», экологически обусловленных заболеваний, существенное повышение перинатальной, младенческой, детской и общей смертности;
- катастрофическая медико-экологическая ситуация характеризуется ещё большими (в сравнении с «критической» ситуацией) количественными показателями загрязнения среды обитания и экологически обусловленными изменениями состояния здоровья населения.

Методика выявления и мониторинга существующих тенденций и оценки изменения прибрежной зоны опирается на серию космических снимков с необходимыми временными и техническими характеристиками и последующее дешифрирование снимков с целью выделения изменённых участков береговой зоны с последующим отображением полученных результатов в ГИС.

При выполнении работ, исходя из требований к точности получаемых картографических данных и точности определения наземных объектов, выбираются наборы данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), отвечающие следующим критериям:

- пространственное разрешение;
- зона покрытия исследуемой территории;
- периодичность получения новых данных;
- наличие архивной информации.

Для установления фактов сокращения или увеличения площади ранее выявленных изменений эффективно применение разновременных изображений. На таких результирующих изображениях очень контрастно выделяются именно изменившиеся объекты. Сопоставление снимков одной и той же территории требует относительной схожести природных и технических условий съёмки: погодных, сезонных и, в идеале, суточных. Для определения многолетней изменчивости применяются снимки сопоставимого пространственного разрешения (от 0,6 до 2 м), во временном отношении близкие к одной фенологической фазе (разброс 1−2 декады). Для оценки многолетний изменчивости существующих объектов можно воспользоваться открытым web-приложением Google Earth. Функционал приложения Google Earth позволяет просматривать изображения того или иного объекта во времени. Оно может быть использовано для визуального дешифрирования, т.к. для большинства территорий

содержит «мозаику» на основе снимков высокого разрешения. Чтобы оценить, насколько прибрежная полоса подвержена разрушению, рассматриваются исторические снимки высокого разрешения с источника Google Earth исследуемой прибрежной территории абразивных и оползневых участков за 2006 и 2016 год. Снимки предварительно географически привязываются, параметры системы координат: WGS84, UTM, Zone 61N и далее проводится визуальное дешифрирование участков береговой зоны.

Для выбора таких участков были изучены новостные статьи в сети Интернет, в которых описывалась катастрофическая ситуация в нескольких посёлках на побережье Неклиновского и Азовского районов, а также для выявления существующих тенденций и оценки изменения прибрежной зоны использованы архивные материалы базы данных ЮНЦ РАН за период 2006–2016 гг. Использование мультиспектральных, мультивременных космических снимков в сочетании с полевыми исследованиями ЮНЦ РАН позволяют получить наиболее объективную информацию о современном состоянии местности и произошедших изменениях.

Демографические факторы

К рассматриваемым социальным факторам относятся медико-демографические и социально-демографические показатели, в т.ч. динамика смертности, рождаемости, продолжительности жизни, естественного и миграционного прироста, демографическое благополучие/неблагополучие территории, оценка демографической безопасности, уровни заболеваемости и смертности [*Тарасова*, 2018]. В исследовании были использованы демографические данные по муниципальным образованиям Азовского, Неклиновского, Матвеево-Курганского, Кагальницкого районов за период с 2007 по 2016 гг.

Оценка демографической безопасности проводится на основе расчёта коэффициента демографического благополучия/неблагополучия территории и половозрастной структуры населения. В индексе демографического неблагополучия учитывается влияние основных количественных компонент (рождаемости, смертности и миграции) на характер демографической ситуации. Индекс ($К_д$) (модифицированный индекс жизненности) представляет собой отношение общего коэффициента рождаемости (n) к общему коэффициенту смертности (m), скорректированное на поправочный коэффициент миграционного прироста ($К_м$) [*Рыбаковский*, 2008].

$$К_д = \frac{m}{n} К_м$$

Необходимо отметить, что индексы демографического неблагополучия той или иной территории дают лишь интегральное представление о характере демографических и миграционных процессов, причём лишь на фоне общей совокупности регионов [*Рыбаковский*, 2008].

Для оценки возрастной структуры населения рассчитывается отношение численности населения группы старше трудоспособного возраста ($Р_{ств}$) к общей численности населения ($Р_о$):

$$Д_{ств} = \frac{Р_{ств}}{Р_о}.$$

Показатели заболеваемости

Данные по онкологической заболеваемости по основным локациям рака исследовались за период с 2006 по 2016 гг. В качестве индикаторов рассматривались показатели пространственного распределения частоты заболеваемости раком молочной железы, раком лёгких, раком ободочной кишки и предстательной железы на основе статистических данных по онкологической заболеваемости населения, полученных на основе Формы № 35, представляемой организационно-методическими отделами

онкологических институтов и диспансеров, а также нормативной базы данных, построенной на основе статистической отчётности по уровню онкологической заболеваемости в муниципальных образованиях Ростовской области.

В исследовании использован Углублённый анализ пространственно-временных закономерностей ArcGis Desktop, который опирается на статистические инструменты для анализа распределения данных и выявления закономерностей в контексте пространства-времени. Углублённый анализ включает в себя две основные процедуры — «Построение куба «пространство-время»» и «Анализ горячих точек». Задачей анализа повторяемости является проведение анализа исторического ряда наблюдений (в нашем случае за период с 2006 по 2016 гг.) за переменными (уровень заболеваемости различными локациями рака) для оценивания вероятности повторения тех или иных значений выбранных переменных. Основные требования к данным:

- используемые при анализе данные необходимо оценивать с точки зрения исходных задач, продолжительности и полноты рядов имеющихся наблюдений;
- они должны удовлетворять таким статистическим критериям, как случайность, независимость, однородность и стационарность.

Анализ повторяемости выполняется с использованием картографических данных: точечных, региональных или обоих видов данных. Источниками неопределённости анализа повторяемости могут являться репрезентативность аналитического подхода, выбор вероятностного распределения и метод оценивания параметров.

Одним из факторов, ограничивающих применение критериев, основанных на предположении нормальности, является объём выборки. Однако, если выборка мала, эти критерии следует использовать только при наличии уверенности, что переменная действительно имеет нормальное распределение. Использование критериев, основанных на предположении нормальности, кроме того, ограничено шкалой измерений. Тест Манна-Кендалла — это основанная на ранжировании непараметрическая проверка оценивания значимости тренда. Статистика Манна-Кендалла (S) подразумевает ранговый корреляционный анализ количества точек или значений и их временных периодов. Анализ тренда по алгоритму Манна-Кендалла выполняется для каждого местоположения с данными как независимый анализ бинов временного ряда. Значение бина первого интервала сравнивается со значением бина в следующем. Если первое значение было меньше второго — результат равен +1. Если первое значение было больше второго — результат равен -1. Если два значения совпадают — результат равен 0. Результаты каждой пары временных периодов сравниваются и суммируются. Ожидаемое значение суммы равно 0 и свидетельствует об отсутствии тренда в значениях во времени. Нулевая гипотеза H0 заключается в том, что выборка хронологически упорядочена, независима и однозначно распределена. Статистика S имеет следующий вид [*Mann,* 1945; *Kendall,* 1990; *Hamed,* 2009]:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sgn(x_j - x_i),$$

где

$$sgn(x) = \begin{cases} 1, \text{если } x > 0 \\ 0, \text{если } x = 0 \\ -1, \text{если } x < 0 \end{cases}$$

Структуру анализируемых данных можно представить в виде трёхмерного куба, который состоит из пространственно-временных бинов, где x, y-измерения представляют пространство, а t-измерение представляет время. Строки и столбцы определяют пространственный экстент куба (в нашем случае пространственное распределение по

районам), а временные шаги определяют временной экстент (рассматриваемый период 2006–2016). При помощи моделей ArcGis построена трёхмерная кубическая структура (в формате netCDF) для последующего анализа. Пространственно-временной куб объединяет точечные объекты в группы пространства−времени.

Анализ возникновения горячих точек использует этот куб в качестве входных данных и на основе него выявляет статистически значимые тренды горячих и холодных точек во времени. Для значений бинов выполняется подсчёт количества точек, вычисляется статистика и определяется наличие трендов во времени в каждом местоположении с использованием статистики Манна-Кенделла. Анализ возникающих горячих точек выявляет тренды в исследуемых данных. Он определяет, в частности, новые, возрастающие, убывающие и спорадические горячие точки. После завершения анализа горячих точек каждому бину во входном кубе NetCDF присваивается связанная с ним оценка z, значение p и классификационная категория горячей точки. Далее тренды горячих и холодных точек также оцениваются с использованием статистики Манна-Кендалла.

Результатом классификации муниципальных образований по уровню заболеваемости является ранжирование исследуемых территорий на три основных кластера:

- холодная точка — районы и муниципальные образования, в которых уровень заболеваемости ниже среднего уровня по области;
- горячая точка — районы и муниципальные образования, в которых уровень заболеваемости выше среднего уровня по области;
- группа «нейтральная» — не отличающиеся от средних по области (статистически не значимо).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экологические показатели

Исследование мультиспектральных космических снимков Landsat-8 прибрежной зоны Азовского моря (Очаковской косы, Чумбурской косы, Порта Катона, Керченского пролива, Таманского п-ова) выявило, что в береговой зоне шириной 10 км наблюдается процесс развития рекреационной и транспортной инфраструктуры, пляжи подвержены значительной абразии под влиянием природных факторов и хозяйственной деятельности человека. На рис. 2 отчётливо видны последствия абразии берега возле с. Вознесенского. На снимке 2016 г. (Источник Google Earth) красной линией отмечено положение границы берега в июле 2006 г.

В результате анализа было выявлено, что побережье в высокой степени подвержено эрозии, вызванной природными и антропогенными факторами, такими как ведение сельского хозяйства, выпас скота, распашка полей, которые запрещены в водоохранных зонах морей. В целом, отрицательные последствия техногенного воздействия на окружающую среду в Приазовье Ростовской области проявляются в истощении природных ресурсов, загрязнении природной среды газообразными, жидкими и твёрдыми отходами производства и жизнедеятельности, нарушении естественного состояния экосистем и природных процессов [*Сухинин*, 2016].

Для оценки санитарно-гигиенических показателей, характеризующих качество среды, в пространственную базу геоданных были загружены сведения об административном делении региона, данные Центра гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора по Ростовской области и ранжированы согласно табл. 1.

На рис. 3 показано, что в большинстве прибрежных регионов Азовского моря отмечена неудовлетворительная санитарно-гигиеническая ситуация. Исключение составили Матвеево-Курганский район Ростовской области, где отмечена относительно

удовлетворительная экологическая ситуация. Напряженная санитарно-гигиеническая ситуация отмечена в городах Таганроге и Азове.

Рис. 2. Абразивные процессы на побережье Таганрогского залива (сравнение снимков 2006 и 2016 гг.). Красная линия — состояние берега по данным 2006 г.
Fig 2. Abrasive processes on the coast of the Gulf of Taganrog (comparing images of 2006 and 2016). The red line is the state of the coast according in 2006 year

Табл. 1 Степень напряжения санитарно-гигиенической ситуации[1]
Table 1. The degree of stress of the sanitary situation[1]

Города Ростовской области	К вода	К воздух	К почва	К шум	К сумм	КН	ранг	Степень напряжения санитарно-гигиенической ситуации
Азов	2,71	2,10	2,46	5,15	12,42	3,1	4	напряжённая
Аксай	6,6	0,58	0,59	11,04	18,81	4,71	1	напряженная
Батайск	3,25	2,36	2,34	2,44	10,34	2,6	6	напряжённая
Донецк	2,58	0,42	1,028	0,97	4,0	1,2	17	неудовлетворительная
Ростов-на-Дону	1,1	5,13	2,2	4,85	13,28	3,32	2	напряжённая
Сальск	3,65	1,35	0,55	2,32	7,87	1,97	14	неудовлетворительная
Таганрог	6,1	0,6	4,3	1,8	12,8	3,21	3	напряжённая
Шахты	2,02	0,12	0,53	0,13	2,8	0,7	18	относительно удовлетворительная

Примечание: Ранг определяет степень напряжения санитарно-гигиенической ситуации.
Агрегированные показатели предоставляются в Роспотребнадзор РО муниципальными образованиями

[1] *Государственный доклад о санитарно-эпидемиологической обстановке в Ростовской области в 2016 году и мерах по её стабилизации. Электронный ресурс: http://www.61.rospotrebnadzor.ru*
[1] *State report on the sanitary and epidemiological situation in the Rostov region in 2016 and measures to stabilize it. Web resource: http://www.61.rospotrebnadzor.ru (in Russian)*

Рис. 3. Степень напряжения санитарно-гигиенической ситуации в прибрежных районах Ростовской области
Fig. 3. The degree of environmental stress in the coastal areas of the Rostov Region

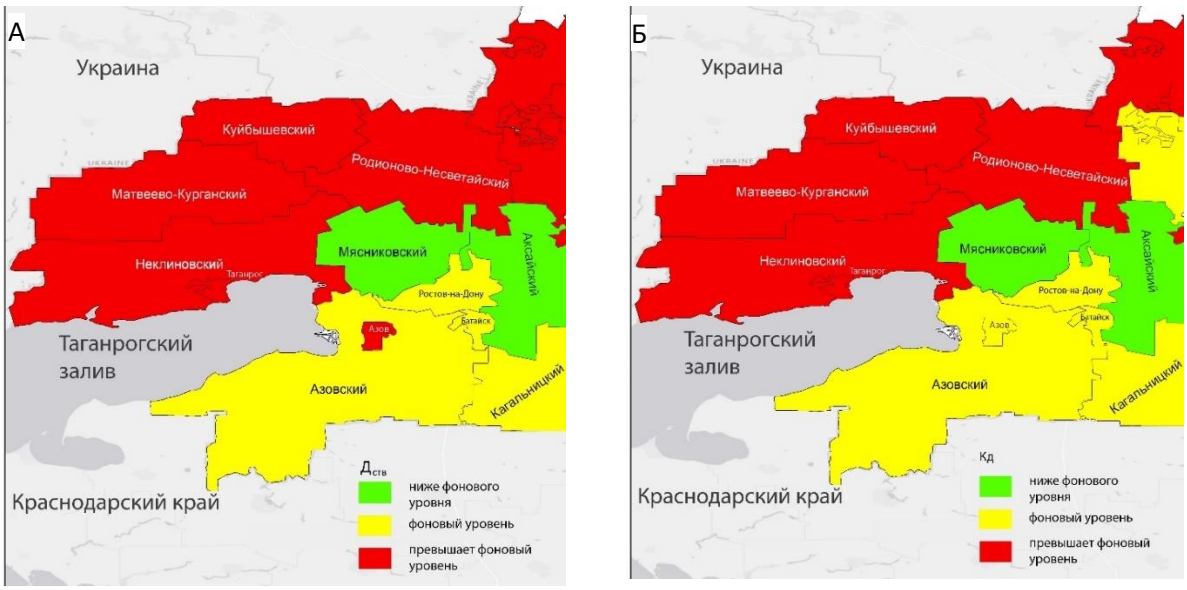
Демографические факторы

Оценка современного уровня демографической безопасности муниципальных образований Ростовской области проведена на основе сравнения основных показателей демографической безопасности с фоновым показателем по Ростовской области (среднеобластным) (табл. 2). Для этого использовали следующую систему показателей: общий коэффициент рождаемости (m), общий коэффициент смертности (n), общий коэффициент миграционного прироста (убыли) ($К_м$), индекс демографического благополучия/неблагополучия ($К_д$), долю лиц старше трудоспособного возраста (% в общей численности населения) ($Д_{ств}$).

Результаты анализа демографического благополучия/неблагополучия территорий в прибрежных районах Азовского моря показали, что благополучные в демографическом отношении регионы локализуются на южном побережье Азовского моря (Азовский р-н Ростовской обл.) (рис. 4Б). Наиболее неблагополучные в демографическом отношении районы Ростовской области локализуются на северном побережье Азовского моря, где отмечена естественная и миграционная убыль населения.

Табл. 2. Оценка уровня демографической безопасности муниципальных образований Ростовской области (2016 г.)
Table 2. Assessment of the level of demographic security of municipalities in the Rostov region (2016)

	n	m	$К_м$	$К_д$	$Д_{ств}$
Фоновый показатель по региону	**11,6**	**13,9**	**1,2**	***0,83***	**26,7**
Городские округа					
Ростов-на-Дону	12,5	11,8 (0,94)	4,1	*1,06*	25,0
Азов	12,5	14,7 (1,18)	-4,2	*0,85*	28,4
Таганрог	12,8	16,6 (1,3)	0,7	*0,77*	29,8
Муниципальные районы					
Азовский	11,7	13,6	4,1	*0,86*	25,4
Матвеево-Курганский	11,4	16,6	-2,5	*0,69*	27,6
Мясниковский	13,3	11,6	21,1	*1,15*	23,8
Неклиновский	9,8	15,4	2,3	*0,64*	29,6
Родионово-Несветайский	11,6	14,5	-9,8	*0,80*	27,6
Куйбышевский	9,2	15,2	3,1	0,60	28,8
Октябрьский	9,7	12,5	-7,7	*0,78*	23,9
Аксайский	12,7	11,1	23,6	*1,1*	23,7
Багаевский	14,4	13,8	1,7	*1,04*	25,7
Зерноградский	13,3	15,8	1,5	*0,84*	26,8
Кагальницкий	13,1	17,0	-13,0	*0,77*	25,9
Егорлыкский	11,5	14,0	-6,8	*0,82*	26,0



А В

Рис. 4. Анализ демографической ситуации территорий в прибрежных районах Азовского моря: А — доля населения старше трудоспособного возраста ($Д_{ств}$); Б — коэффициент демографического благополучия/неблагополучия ($К_d$)
Fig. 4. The analysis of the demographic situation in the coastal areas of the territories of the Azov Sea: A — percentage of the population older than working age ($Д_{ств}$); B — coefficient of demographic distress ($К_d$)

Пространственно-временной анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями

Пространственно-временной анализ данных за период с 2006 по 2016 гг. выявил основные закономерности в уровне заболеваемости наиболее часто встречающимися в России и мире формами злокачественных новообразований: рак лёгких (РЛ), рак молочной железы (РМЖ), рак предстательной железы (РПЖ) и рак ободочной кишки (РОК) (рис. 5). В прибрежной зоне Азовского моря локализуются преимущественно «холодные точки» — пространственные кластеры низкой заболеваемости раком лёгких, молочной железы, раком предстательной железы. Исключение составили Аксайский район, где отмечена «горячая точка» заболеваемости раком молочной железы, Азовский и Кагальницкий районы, где отмечен высокий риск развития рака ободочной кишки.

Крайне неблагоприятная онкоэпидемиологическая обстановка сложилась в Таганроге, где отмечены «горячие точки» по заболеваемости всеми анализируемыми формами рака. Необходимо отметить, что и по уровню смертности от онкологических заболеваний Таганрог занимает 2-е место в Ростовской области на протяжении последних лет. Первые два ранговых места по значениям факторных нагрузок в Таганроге занимают: проживание на селитебных территориях с относительно высокими уровнями антропотехногенной нагрузки на атмосферный воздух за счёт выбросов автомобильного транспорта (0,777), проживание в зоне интенсивного воздействия выбросов от стационарных источников промышленных предприятий (0,647). Третий потенциальный фактор риска — специфическая профессиональная вредность (0,531) [*Айдинов и др.,* 2017 (б)]. Установлена высокая степень загрязнения почв города Таганрога 3,4-бенз(а)пиреном. Данный поллютант обладает высокой стабильностью, способностью к аккумуляции в природных экологических системах и включению в трофические цепи. Доказано его канцерогенное, мутагенное и тератогенное воздействие на человека [*Айдинов и др.,* 2017 (а)].

Прирост заболеваемости злокачественными новообразованиями в Ростовской области в значительной мере определён неблагоприятным направлением демографических процессов, обусловившим «постарение» населения. Надо отметить, что рассматриваемые районы не являются исключением. На начало 2017 г. все муниципальные образования Ростовской области имели регрессивную возрастно-половую структуру населения, когда доля лиц старше трудоспособного возраста в общей численности населения превышает долю лиц моложе трудоспособного возраста[1]. Главная угроза демографической безопасности Ростовской области — депопуляция населения, проявляющаяся в разной степени в подавляющем большинстве городских округов и муниципальных районов донского региона (рис. 4А, табл. 2) [*Тарасова,* 2018].

Уровень заболеваемости злокачественными новообразованиями, по-видимому, является следствием аддитивного действия комплекса экологических и медико-социальных факторов на данной территории в течение длительного периода времени.

[1]Аналитическая записка о возрастно-половом составе населения Ростовской области на 01.01.2017. Электронный ресурс: www.donland.ru/Data/Sites/1/media/file/2018/2018_0221_vozrost-pol.pdf (дата доступа 12.12.2018)
Analytical note on the age and sex composition of the population of the Rostov Region as of 01.01.2017. Web resource: www.donland.ru/Data/Sites/1/media/file/2018/2018_0221_ vozrost-pol.pdf (accessed December 12, 2018 (in Russian)

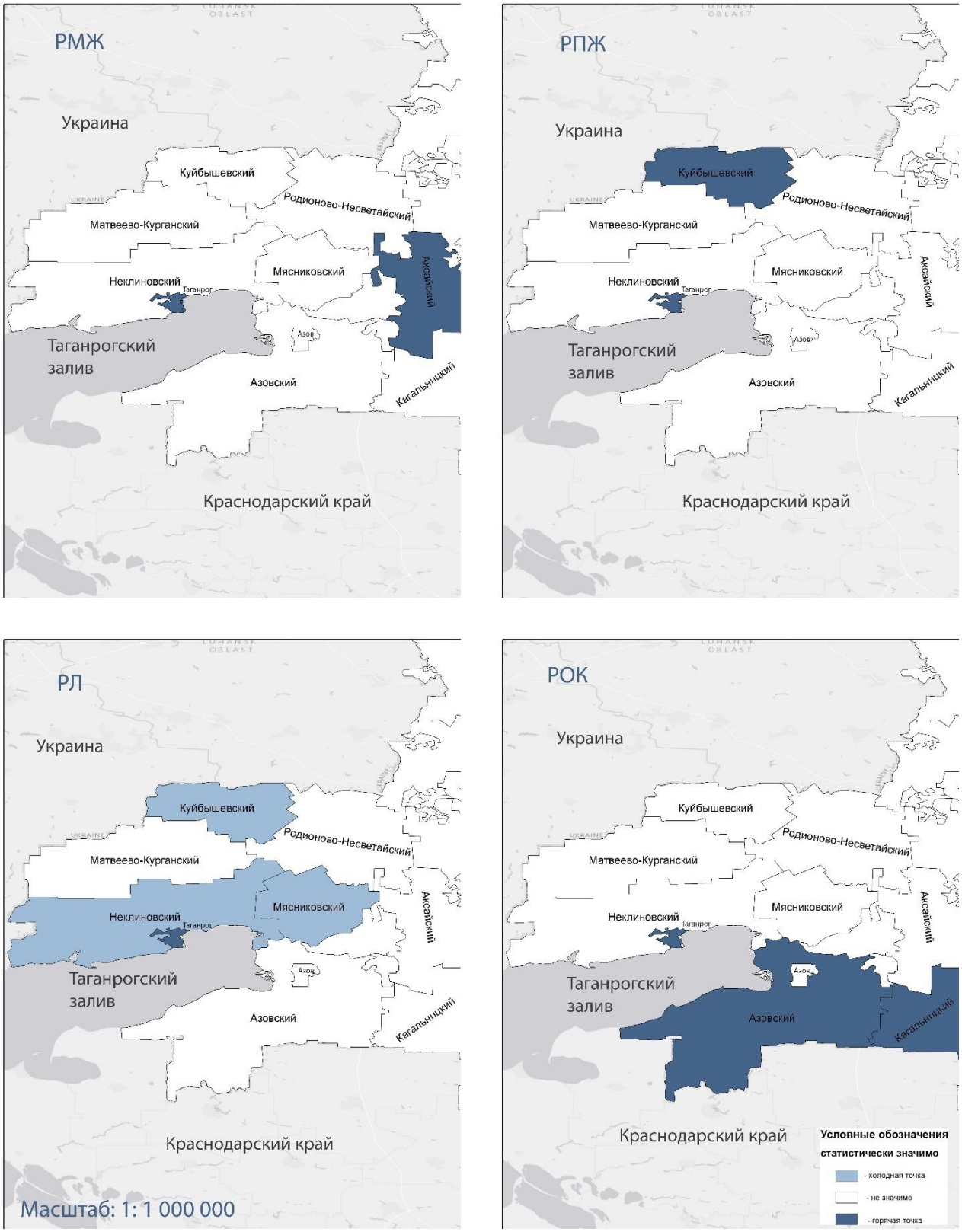


Рис. 5. Пространственно-временные кластеры заболеваемости раком молочной железы (РМЖ), раком предстательной железы (РПЖ), раком лёгких (РЛ) и раком ободочной кишки (РОК) в прибрежных районах Азовского моря с 2006 по 2016 гг.
Fig. 5. Spatio-temporal clusters of the incidence of lung cancer (RL), breast cancer (BC), colon cancer (RC) and prostate cancer (PC) in the coastal areas of the Sea of Azov from 2006 to 2016

ВЫВОДЫ

Использование ГИС-технологий позволило провести пространственно-временной анализ имеющихся и постоянно обновляющихся данных, напрямую или опосредованно связанных с областью исследования.

В результате исследований был проведён анализ факторов устойчивого развития прибрежной зоны, в основу которого положены пространственные модели распределения экологической, медико-социальной обстановки. Анализ показал наличие существенных проблем в исследуемом регионе, связанных как с экологическими, так и медико-демографическими факторами несмотря на то, что исследуемый регион является частью рекреационной зоны. При благоприятных природных условиях берега Таганрогского залива подвержены абразивным и оползневым процессам, что затрудняет развитие рекреационных комплексов.

Уровень загрязнения окружающей среды остаётся напряженным за счёт выбросов автомобильного транспорта, наличия зон интенсивного воздействия выбросов от стационарных источников промышленных предприятий. Существенной проблемой является качество питьевой воды.

Главная угроза демографической безопасности Ростовской области — депопуляция населения — также присуща приморским регионам, что также оказывает влияние на уровень заболеваемости.

Анализ медико-экологических и социально-демографических факторов развития прибрежной зоны Азовского моря подтвердил результаты наших многолетних исследований на примере других территориальных образований. Показано, что уровень заболеваемости злокачественными новообразованиями, по-видимому, является следствием аддитивного действия комплекса экологических и медико-социальных факторов на данной территории в течение длительного периода времени и может рассматриваться как информативный индикатор устойчивого развития прибрежных территорий Азовского моря, а его оценка может стать основой для принятия аргументированных управленческих решений на любом уровне.

БЛАГОДАРНОСТИ

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН; гр. проект № 01201363188.

ACKNOWLEDGEMENTS

This publication was prepared as part of the GZ SSC RAS; grant project No 01201363188.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агаджанян Н.А.* Экология человека в изменяющемся мире. 2-е изд., доп. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 569 с.

2. *Айдинов Г.Т., Марченко Б.И., Дерябкина Л.А., Синельникова Ю.А.* Химическое загрязнение почв города Таганрога как фактор риска для здоровья населения. Анализ риска здоровью, 2017 (а). № 1, С. 13−20. DOI: 10.21668/health.risk/2017.1.02.

3. *Айдинов Г.Т., Марченко Б.И., Синельникова Ю.А.* Многомерный анализ структуры и долевого вклада потенциальных факторов риска при злокачественных новообразованиях трахеи, бронхов и лёгкого. Анализ риска здоровью, 2017 (б). № 1. С. 47−55. DOI: 10.21668/health.risk/2017.1.06.

4. *Антонова М.А.* Теоретико-методологические основы изучения устойчивого развития регионов. Региональная экономика и управление: электронный научный журнал, 2013. № 4 (36). Электронный ресурс: http://eee-region.ru/article/3604/ (дата обращения 10.09.2018).

5. *Архипова О.Е., Черногубова Е.А., Лихтанская Н.В.* Пространственно-временной анализ встречаемости онкологических заболеваний как индикатора медико-экологической безопасности. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного научного центра РАН, 2014 (а). 224 с.
6. *Архипова О.Е., Черногубова Е.А., Лихтанская Н.В., Тарасов В.А., Матишов Д.Г.* География и динамика онкологических заболеваний в аграрных регионах Южного федерального округа. Вестник Южного научного центра РАН, 2014 (б). Т. 10. № 4. С. 96−103.
7. *Беннет А.Е.* Медицина окружающей среды. М.: Медицина, 1981. 150 с.
8. *Бобров А.А.* Влияние факторов окружающей среды на заболеваемость злокачественными опухолями населения Ярославской области. Экологозависимые заболевания: Материалы Второй науч.-практич. конф. «Влияние антропогенного загрязнения окружающей природной среды на здоровье населения». Ярославль: ВВО РЭА, 2010. С. 25–27.
9. *Бобылёв С.Н.* Индикаторы устойчивого развития: региональное измерение. Пособие по региональной экологической политике. М.: Акрополь, ЦЭПР, 2007. 60 с.
10. *Гичев Ю.П.* Загрязнение окружающей среды и экологическая обусловленность патологии человека: Аналит. обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2003. Вып. 68. 138 с.
11. Здоровье населения региона и приоритеты здравоохранения М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. 384 с.
12. *Куролап С.А.* Окружающая среда и здоровье. Земля Воронежская. Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2006. С. 369–406.
13. *Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н.* Эколого-географическое картографирование городов. М.: Научный мир, 2000. 176 с.
14. *Мирзонов В.А., Журихина И.А.* Изучение влияния техногенного загрязнения и социальных условий среды обитания на здоровье населения. Здравоохранение Рос. Федерации, 2008. № 5. С. 47–49.
15. *Мусина А.А., Сулейменова Р. К., Баймолдинов Е.С., Тогузбаева К.К., Ниязбекова Л.С.* Зависимость регрессионной модели от факторов окружающей среды и состояния здоровья взрослого контингента урбанизированных территорий. Гигиена, эпидемиология и иммунобиология, 2012. № 4 (54). С. 26−28.
16. *Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И.* Экологическая эпидемиология. М.: «Академия», 2004. 384 с.
17. *Рыбаковский Л.Л.* Сравнительная оценка демографического неблагополучия регионов России. Социологические исследования, 2008. № 10. С. 81–87.
18. *Славин М.Б.* Методы системного анализа в медицинских исследованиях. М.: Медицина, 1989. 304 с.
19. *Сухинин С. А.* Особенности экологической ситуации и проблемы природопользования в приграничнo-периферийных районах Ростовской области. Записки Забайкальского отделения русского географического общества, 2016. С. 76−82.
20. *Тарасова Т. Т.* Особенности демографической ситуации... муниципальных образований Ростовской области. Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем, 2018. Т. 1. № 3. С. 323−328.
21. *Цыдыпова Э.С.* Критерии устойчивого развития региона. Наука вчера, сегодня, завтра: сб. ст. по матер. XXXI междунар. науч.-практ. конф. № 2 (24). Ч. II. Новосибирск: СибАК, 2016.
22. *Hamed K.H.* Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data in Journal of Hydrology, 2009. P. 86–94.
23. *Howe J.A., Loraine L.* Environmental medicine Heinemann, 1976. 271 p.
24. *Jemal A., Bray F., Center M.M., Ferlay J., Ward E., Forman D.* Global cancer statistics. Cancer Journal for Clinicians, 2011. V. 1. No 2. P. 69–90.
25. *Kendall M. G., Gibbons J. D.* Rank correlation methods. 5th ed. London: Griffin, 1990.

26. *Mann H.B.* Nonparametric tests against trend. Econometrica, 1945. V. 13. P. 245–259.
27. *Muir C.S.* Etiology of cancer. Accomplishments in cancer research. Philadelphia, 2006. V. 11. P. 108−121.

REFERENCES

1. *Agadzhanyan N.A.* Human ecology in a changing world. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008. 569 p. (in Russian).
2. *Aidinov G.T., Marchenko B.I., Deryabkina L.A., Sinelnikova Yu.A.* Chemical pollution of soils of the city of Taganrog as a risk factor for public health. Health Risk Analysis, 2017. No 1. P. 13–20. DOI: 10.21668 / health.risk / 2017.1.02 (in Russian).
3. *Aidinov G.T., Marchenko B.I., Sinelnikova Yu.A.* Multivariate analysis of the structure and contribution of potential risk factors for malignant neoplasms of the trachea, bronchi, and lung. Health Risk Analysis, 2017. No 1. P. 47–55. DOI: 10.21668 / health.risk / 2017.1.06 (in Russian).
4. *Antonova M.A.* Theoretical and methodological foundations of the study of sustainable development of regions. Regional Economics and Management: An Electronic Scientific Journal, 2013. No 4 (36). Web resource: http://eee-region.ru/article/3604/ (accessed September 10, 2018) (in Russian).
5. *Arkhipova O.E., Chernogubova E.A., Likhtanskaya N.V.* Spatiotemporal analysis of the occurrence of oncologic diseases as of the indicator of the medical & environmental safety. Rostov-on-Don: UNTS RAN, 2014. 224 p. (in Russian).
6. *Arkhipova O.E., Chernogubova EA, Likhtanskaya N.V., Tarasov V.A., Matishov D.G.* The geography and dynamics of oncological diseases in the agricultural regions of the Southern Federal District. Bulletin of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2014. V. 10. No 4. P. 96–103 (in Russian).
7. *Bennet A.E.* Environmental medicine. Moscow: Medicine, 1981. 150 p. (in Russian).
8. *Bobrov A.A.* The influence of environmental factors on the incidence of malignant tumors in the population of the Yaroslavl region. Environmental-dependent diseases: Proceedings of Second scientific-practical. conf. “The impact of anthropogenic pollution of the environment on the health of the population”. Yaroslavl: BBO REA, 2010. P. 25–27 (in Russian).
9. *Bobylev S.N.* Sustainable development indicators: A regional dimension. Manual on regional environmental policy. Moscow: Acropolis, CEPR, 2007. 60 p. (in Russian).
10. *Gichev Yu.P.* Environmental pollution and ecological conditionality of human pathology: Analit. overview. Novosibirsk: SPSL SB RAS, 2003. Iss. 68. 138 p. (in Russian).
11. *Hamed K.H.* Exact distribution of the Mann-Kendall trend test statistic for persistent data in Journal of Hydrology, 2009. P. 86–94.
12. *Howe J.A., Loraine L.* Environmental medicine Heinemann. 1976. 271 p.
13. *Jemal A., Bray F., Center M.M., Ferlay J., Ward E., Forman D.* Global cancer statistics. Cancer Journal for Clinicians, 2011. V. 1. No 2. P. 69–90.
14. *Kendall M.G., Gibbons J.D.* Rank correlation methods. 5th ed. London: Griffin, 1990.
15. *Kurolap S.A.* Environment and health. Land Voronezh. Voronezh: Voronezh State University, 2006. P. 369–406 (in Russian).
16. *Makarov V.Z., Novakovsky B.A., Chumachenko A.N.* Ecological and geographical mapping of cities. Moscow: Scientific World, 2000. 176 p. (in Russian).
17. *Mann H.B.* Nonparametric tests against trend. Econometrica, 1945. V. 13. P. 245–259.
18. *Mirzonov V.A., Zhurikhina I.A.* Studying the effect of industrial pollution and social environmental conditions on public health. Health Russian Federation, 2008. No 5. P. 47–49 (in Russian).
19. *Muir C.S.* Etiology of cancer. Accomplishments in cancer research. Philadelphia, 2006. V. 11. P. 108−121.

20. *Musina A.A., Suleimenova R.K., Baimoldinov E.S., K.K. Toguzbaeva, Niyazbekova L.S.* Dependence of the regression model on environmental factors and the health status of the adult population of urbanized territories. Hygiene, epidemiology and immunobiology, 2012. No 4 (54). P. 26–28 (in Russian).
21. *Revich B.A., Avaliani S.L., Tikhonova G.I.* Environmental epidemiology. Moscow: Academy, 2004. 384 p. (in Russian).
22. *Rybakovsky L.L.* Comparative assessment of the demographic distress of the regions of Russia. Sociological Studies, 2008. No 10. P. 81–87 (in Russian).
23. *Slavin M.B.* System analysis methods in medical research. Moscow: Medicine, 1989. 304 p. (in Russian).
24. *Sukhinin S.A.* The peculiarities of the environmental situation and environmental problems in the border-peripheral regions of the Rostov region. Notes of the Trans-Baikal Branch of the Russian Geographical Society, 2016. P. 76–82 (in Russian).
25. *Tarasova T.T.* The peculiarities of the demographic situation of municipalities of the Rostov region. Ecology. Economy. Informatics. System analysis and mathematical modeling of ecological and economic systems. Rostov on Don, 2018. V. 1. No 3. P. 96–103. DOI:10.23885/2500-395x-2018-1-3-323-328 (in Russian).
26. The health of the population of the region and the priorities of healthcare. GEOTAR-Media, 2010. 384 p. (in Russian).
27. *Tsydypova E.S.* Criteria for sustainable development of the region Science yesterday, today, tomorrow. Proceedings of XXXI Int. scientific-practical conf. No 2 (24). Part II. Novosibirsk: SibAK, 2016 (in Russian).

КАРТЫ И ГИС В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ

MAPS AND GIS IN AGRICULTURE AND LAND USE

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-124-131

Giovanni Nico[1,2], Lyubov N. Trofimetz[3], Olimpia Masci[4]

SENTINEL-1 SAR INTERFEROMETRY FOR AGRICULTURE: DESCRIPTION OF AN EXPERIMENT IN ORYOL, RUSSIA

ABSTRACT

In this work we describe an experiment to be carried out in the basin of Suhaya Orlitsa river (Oryol region, central part of European Russia) to compare in-situ measurements of soil moisture with estimates obtained using Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. The Sentinel-1 mission of the European Space Agency (ESA), acquiring C-band SAR images regularly over all Earth regions since 2014 with a mean revisiting time of 6 days, is used. In-situ measurements of soil moisture are planned in a time interval of 3 hours in coincidence of each Sentinel-1 passage, using a temporal sampling of 15 minutes. Test measurements are planned at the end of the month of April, when the soil accumulates water. The aim of the experiment is to demonstrate the feasibility of using Sentinel-1 images to densify the network of in-situ measurements of soil moisture on the territory of Russia. The application of SAR interferometry is investigated as it requires less in-situ measurements than methods based on the use of radar cross-section and the inversion of models of electromagnetic scattering from natural surfaces. Examples of

[1] Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Applicazioni del Calcolo, Via Amendola, 122/O, 70126, Bari, Italy; *e-mail:* **g.nico@ba.iac.cnr.it**
[2] Saint Petersburg State University, Earth Institute, Department of Cartography and Geoinformatics, 10th line VI, 33, 199178, Saint Peterburg, Russia; *e-mail:* **g.nico@spbu.ru**
[3] Oryol State University, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Department of Geography, Ecology and General Biology, Komsomolskaya str., 95, 302026, Oryol, Russia; *e-mail:* **trofimetc_l_n@mail.ru**
[4] DIAN s.r.l., Via Ferruccio Parri, 44, 75100, Matera, Italy; *e-mail:* **o.masci@dianalysis.eu**

interferometric coherence and phase images obtained by processing Sentinel-1 images acquired on 20th September 2019 and 2nd October 2019 over the study area are shown.

KEYWORDS: Synthetic Aperture Radar (SAR), SAR Interferometry (InSAR), soil moisture, Sentinel-1

INTRODUCTION

The measurement of soil moisture by traditional techniques is carried out at a few selected locations in agricultural field where samples are collected. So traditional techniques are significantly time consuming and require the involvement of a number of specialists. Current applications in agriculture need almost real-time measurements and a knowledge of the spatial distribution of soil moisture instead of point-like measurement at a few sites.

Since the beginning of remote sensing, Synthetic Aperture Radar (SAR) was used to provide a possible solution to the problem of accurate soil moisture maps in agriculture. A recent publication describes the advantages in agriculture of products based on SAR remote sensing [*Liu et al.,* 2019]. The first approaches were based on the study electromagnetic scattering from natural surfaces to disentangle the effects of surface roughness and soil moisture on the radar cross-section [*Tsang et al.,* 2001 (a; b)]. Many papers have published providing approximate solutions to the problem of electromagnetic scattering from natural surfaces [*Fung,* 1994; *Chen, Fung,* 1995] and studying the importance of scale factor of scattering from fractal surfaces [*Franceschetti et al.,* 1999; *Mattia, Le Toan,* 1999]. Examples of application of L and C-band SAR images in agriculture have been published in the last twenty years [*Mattia et al.,* 2003; *Zhou et al.,* 2017; *Ouellette et al.,* 2017; *Khabbazan et al.,* 2019]. Recently, an interesting paper on the estimated of soil moisture from the radar cross-section of C-band SAR images has been published [*Beale et al.,* 2019].

However, all the above methods based on the use radar cross-section require many in-situ measurements of both soil moisture, as well as knowledge of its roughness properties and vegetation cover, to invert the scattering model and estimate soil moisture.

Recently, SAR interferometry (InSAR) has been proposed as an alternative technique to get estimates of soil moisture [*Zwieback et al.,* 2015; 2017; *Pichierri et al.,* 2018]. The main problem of this approach is the need to separate the different contributions to the interferometric phase, mainly terrain displacement and propagation delay in atmosphere. A way to get rid off of the problem to disentangle the above contributions and estimate soil moisture, consisting in processing of a set of three interferograms obtained by a sequence of three coherent SAR images acquired along the same orbit at different times, has been proposed [*De Zan et al.,* 2014; 2015; 2018; *Gruber et al.,* 2016]. In both cases, the main advantage of approaches based on SAR interferometry with respect to those using radar cross section is the reduction of the need collecting many in-situ data to invert a scattering model.

The launch of the European Space Agency (ESA) Sentinel-1 mission and the huge amount of C-band SAR data acquired regularly over all Earth regions with a mean revisiting time of 6 days and the interest raised by InSAR methods led to the organization of measurement campaigns to validate InSAR estimates of soil moisture [*Conde et al.,* 2018 (a; b); 2019].

In this paper we present a few preliminary results of an experiment to compare Sentinel-1 InSAR products with in-situ measurements of soil moisture. The basin of Suhaya Orlitsa river (Oryol region, central part of European Russia) was selected. A few studies on soil runoff, soil pollutants migration and microrelief structures detection and mapping on the arable slopes were previously conducted in this study area using in-situ data collected on the arable slopes [*Panidi et al.,* 2016; *Trofimetz et al.,* 2019]. High resolution maps of soil moisture can be used as a marker of microrelief structures and as a parameter of soil runoff model. For this reason, the same test area is used to validate the InSAR estimates of soil moisture.

There are few studies conducted in Russia on the comparisons of satellite measurements of soil moisture with in-situ measurements due to the lack of synchronous in-situ measurements

of soil moisture for the territory of Russia [*Borodina et al.*, 2014]. A reason for this work is the need to demonstrate the application of Sentinel-1 data as a means to provide estimates of soil moisture over Russia, where the density of ground observation network has decreased dramatically since the late 1980's.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

In this section we describe the study area and the plan for in-situ measurements of soil measurements. Furthermore, we provide a short introduction to SAR interferometry and its use to estimate soil moisture.

The first experimental soil moisture data have to be collected at two locations on the arable slope (fig. 1), which are the down part of thalweg of the plowed ravine (center point — 53°00'02.33"N 35°57'32,93"E), and the arable watershed surface (52°59'53.94"N 35°56'59.69"E). The catchment area value at the point #2 is 220000 m^2 approx., distance between the sampling locations is 660 m. Measurement of soil moisture is planned in every 15 minutes at the number of points within 1 m radius around the central points of measurement locations, so the number of measurements during 3-hour period (centered at the satellite measurement time) at each point will be 12. Measurements of soil moisture in the arable horizon (0–20 cm) of thalweg of the ravine on May of 2010 showed that the soil moisture was varied in the within 7–25 % (the field was plowed). In the sub-arable horizon (20–40 cm layer), moisture was varied within 8–33 %. These data suggest that the test measurements should be made at the end of April, when the soil accumulates water.

Fig. 1. Ground test area; markers show planned soil sampling locations:
1 — down part of thalweg, 2 — watershed surface; satellite image — May 16, 2003;
image © — Maxar Technologies / Google Earth

SAR interferometry relies on the processing of two coherence SAR images of the same area acquired along the same orbit but at different acquisition times t_1 and t_2, named master and slave acquisition times, respectively. These two images are co-registered and used to compute the interferometric coherence γ_{12}

$$\gamma_{1,2} = \frac{\left|\left\langle S_1 \cdot conj(S_2)\right\rangle\right|}{\sqrt{\left\langle \left|S_1\right|^2 \right\rangle \cdot \left\langle \left|S_2\right|^2 \right\rangle}}, \quad (1)$$

and the interferometric phase $\Delta\varphi_{12}$

$$\Delta\varphi_{1,2} = \mathrm{atan}\left\langle S_2 \cdot conj(S_1)\right\rangle \quad (2),$$

where <·> denotes the spatial average operator and S_1 and S_2 are the two coherent complex-values SAR images acquired at times t_1 and t_2, respectively [*Massonnet, Feigl*, 2018]. The main application of SAR interferometry has been the measurement of terrain displacements. The Line-of-Sight (LoS) displacement $D_{1,2}$ of a point P in the scene, occurred in the time interval [t_1, t_2] is related to the interferometric phase $\Delta\varphi_{1,2}$ by the relationship:

$$D_{1,2} = \frac{\lambda}{4\pi}\Delta\varphi_{1,2} \quad (3),$$

where λ is the radar wavelength. However, the interferometric phase $\Delta\varphi_{12}$ contains also contribution due to the temporal variations of propagation delay of SAR signal in the atmosphere and of soil moisture. In this work we will process coherent SAR images with a temporal baseline of six days to neglect the contribution of terrain displacements to the interferometric phase. Furthermore, the different spatial scales of phase variations due to propagation in the atmosphere and soil moisture are used to identify the phase contribution due to soil moisture at the scale of the field. A few natural scatterers, e.g. building or any other surface, not characterized by temporal changes of soil moisture are used to locally correct for phase contribution to due to propagation in the atmosphere.

RESULTS OF RESEARCH AND THEIR DISCUSSION

In this section we report the first results obtained by processing Sentinel-1 data over the study area. The aim is to start accumulating knowledge on the interferometric properties of the test area and the surrounding agricultural fields. An interferometric couple of Sentinel-1 images, acquired on 20th September 2019 and 2nd October 2019 was selected to consider a case of shortest temporal baseline of six days and avoiding the winter season to reduce the impact of possible decorrelation effects due to snow cover.

As first step, fig. 2 displays the coherence map and compares it with a ©Google Earth image to identify specific targets on the earth surface such as the Oryol city, the river and the agricultural fields. It worth noting the interferometric products, both coherence and interferogram, are displayed in SAR geometry using pixel. The validation of InSAR results with in-situ measurements will require the further step of geolocation of Sentinel-1 results. The test area where in-situ measurement will be collected is within the red rectangle reported on both the ©Google Earth image and Sentinel-1 coherence map. The inspection of the coherence map shows that a few fields with a high coherence ($\gamma > 0.8$) are present and could be of interest to install in-situ sensors to measure soil moisture. The selected test area within the red rectangle seem to include terrain patches with both high and low coherence differently from other agricultural fields characterized by a spatially homogeneous high interferometric coherence.

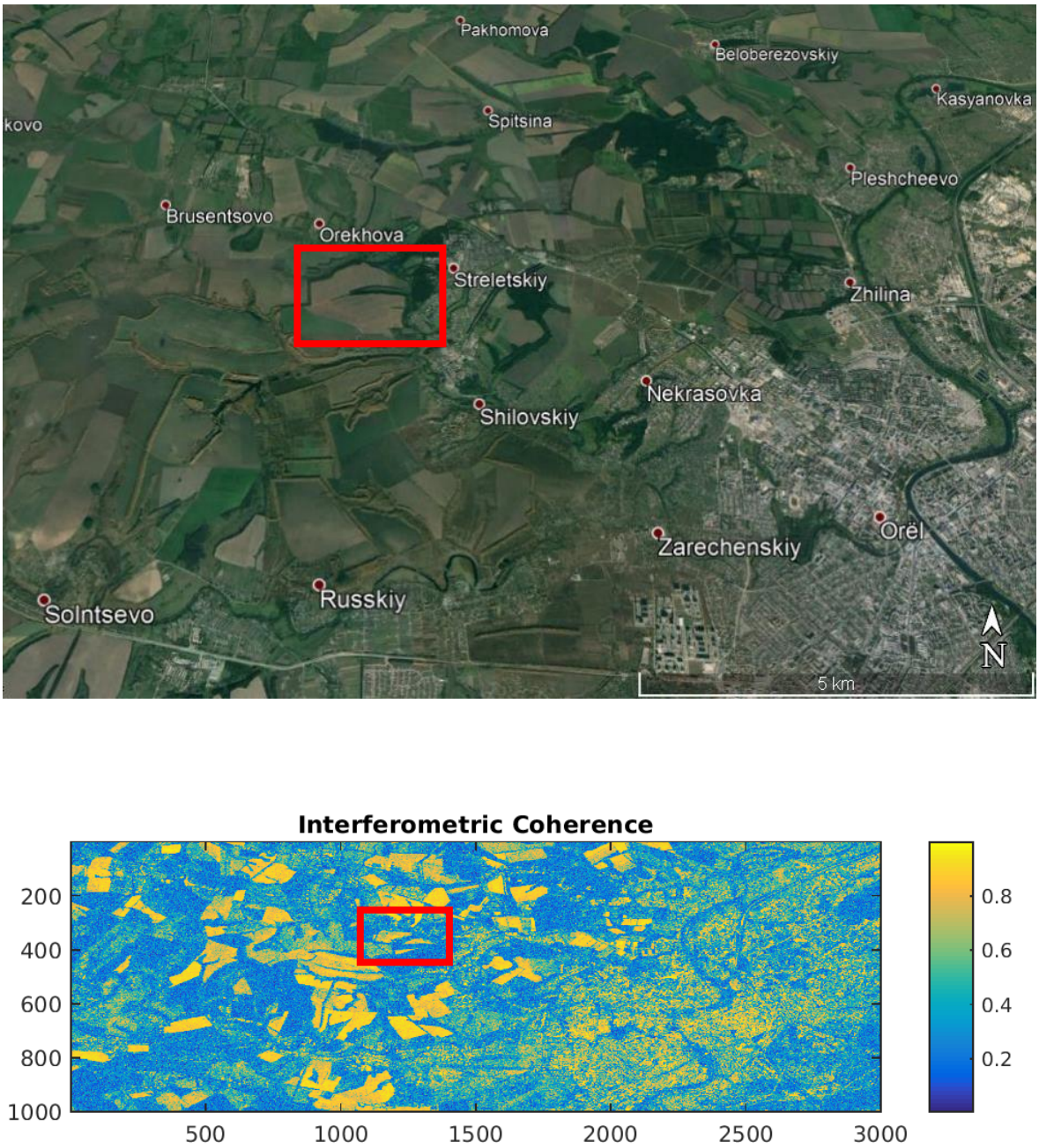


Fig. 2. (top) Google Earth image of the study area;
(bottom) corresponding Sentinel-1 coherence map in azimuth/range pixels. Sentinel-1 images were acquired on 20th September 2019 and 02 October 2019 along the descending orbit 65. The ground test area reported fig. 1 is shown within the red rectangle

As second step, fig. 3 shows in more detail around the test area both the coherence map of fig. 2 and the corresponding interferogram. A 10x10 multilook window was used to reduce the phase noise. A phase fringe can be observed due to the temporal change of propagation delay in atmosphere of SAR signal at the master and slave acquisition times. The mitigation of this effect will be needed to provide accurate estimates of soil moisture. A practical solution could be provided by the identification of few buildings or other targets different from agricultural fields where temporal changes of soil moisture are not expected. These targets will be used to disentangle the phase contribution due to soil moisture and propagation delay in atmosphere.

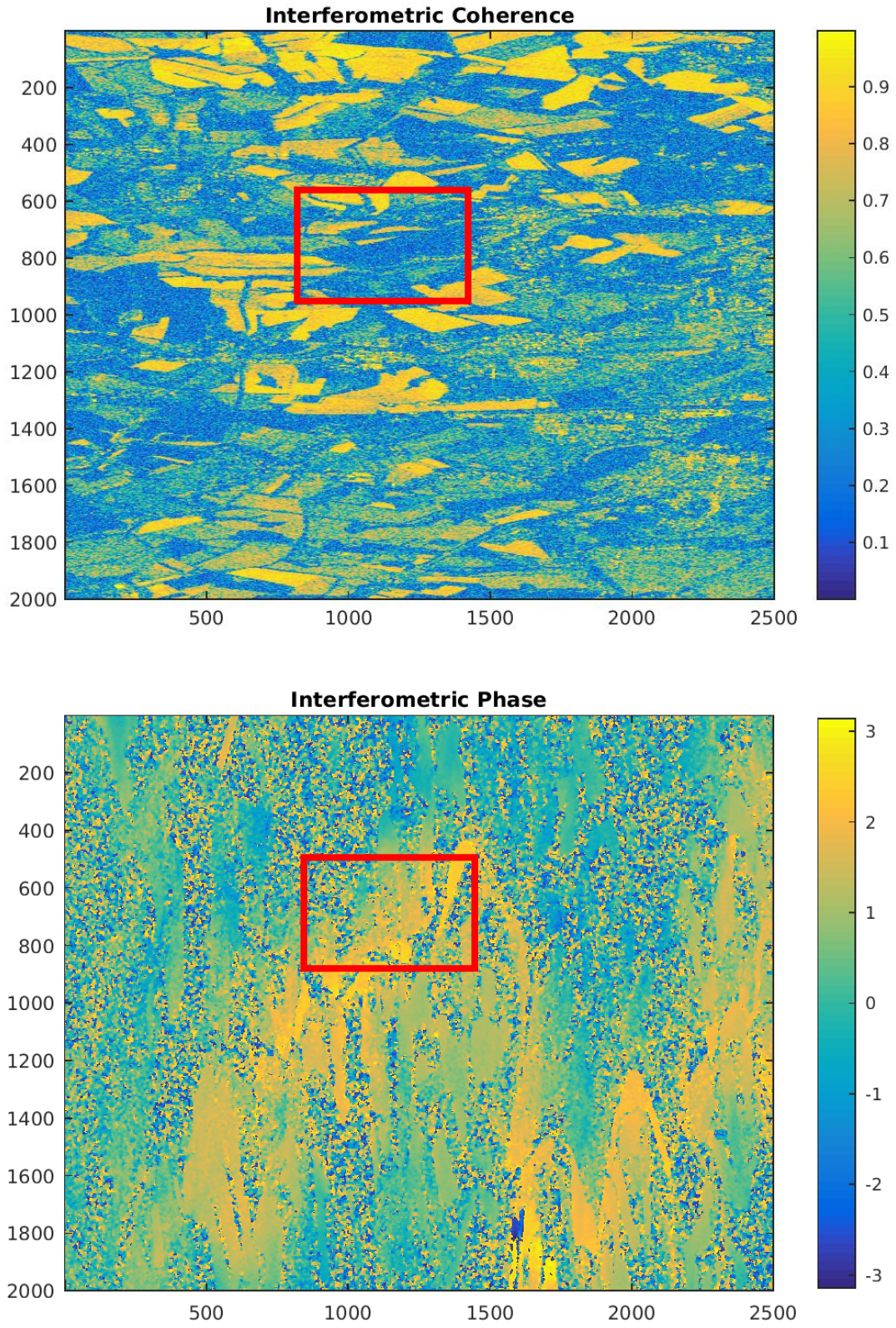


Fig. 3. (top) Detail of coherence map in fig. 2;
(bottom) corresponding interferogram. Both are in azimuth/range pixels.
The ground test area reported fig. 1 is shown within the red rectangle

CONCLUSIONS

In this work we described an experiment that will be carried out in the basin of Suhaya Orlitsa river (Oryol region, central part of European Russia) to compare in-situ measurements of soil moisture with estimates obtained using Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. As first results, we show examples of interferometric coherence and phase images obtained by processing Sentinel-1 images acquired on 20th September 2019 and 2nd October 2019 over the study area are shown.

REFERENCES

1. *Beale J., Snapir B., Waine T., Evans J., Corstanje R.* The significance of soil properties to the estimation of soil moisture from C-band synthetic aperture radar. Hydrology and Earth system sciences, 2019. V. 294. P. 1–32. DOI: 10.5194/hess-2019-294.

2. *Borodina I.A., Kizhner L.I., Bogoslovskiy N.N., Erin S.I., Rudikov D.S.* Defining characteristics of soil moisture from meteorological satellites. Tomsk State University Journal, 2014. No 380. P. 181–184 (in Russian).

3. *Chen K.S., Fung A.K.* A comparison of backscattering models for rough surfaces. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1995. V. 33. Iss. 1. P. 195–200. DOI: 10.1109/36.368209.

4. *Conde V., Catalão J., Nico G.* Field observations of temporal variations of surface soil moisture: comparison with InSAR Sentinel-1 data. Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2018. Art. No 8517510. P. 6131–6134. DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8517510.

5. *Conde V., Catalão J., Nico G., Benevides P.* High resolution mapping of soil moisture in agriculture based on Sentinel-1 interferometric data. Proceedings of SPIE — the International Society for Optical Engineering, 2018. 10783. Art. No 107831U. DOI: 10.1117/12.2325709.

6. *Conde V., Nico G., Catalao J.* Comparison of in-field measurements and InSAR estimates of soil moisture: inversion strategies of interferometric data. Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing symposium (IGARSS), 2019. Art. No 8899855. P. 6186–6189. DOI: 10.1109/IGARSS.2019.8899855.

7. *De Zan F., Parizzi A., Prats-Iraola P., López-Dekker P.* A SAR Interferometric model for soil moisture. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014. V. 52. Iss. 1. P. 418–425. DOI: 10.1109/TGRS.2013.2241069.

8. *De Zan F., Zonno M., López-Dekker P.* Phase inconsistencies and multiple scattering in SAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015. V. 53. Iss. 12. P. 6608–6616. DOI: 10.1109/TGRS.2015.2444431.

9. *De Zan F., Gomba G.* Vegetation and soil moisture inversion from SAR closure phases: first experiments and results. Remote Sensing of Environment, 2018. V. 217. P. 562–572. DOI: 10.1016/j.rse.2018.08.034.

10. *Franceschetti G., Iodice A., Migliaccio M., Riccio D.* Fractals and the small perturbation scattering model. Radio Science, 1999. V. 34. Iss. 5. P. 1043–1054. DOI: 10.1029/1999RS900053.

11. *Fung A.K.* Microwave Scattering and emission models and their applications. Norwood, MA: Arthech House, 1994.

12. *Gruber A., Zwieback S., Crow W., Dorigo W., Wagner W.* Recent advances in (soil moisture) triple collocation analysis. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016. V. 45. P. 200–211. DOI: 10.1016/j.jag.2015.09.002.

13. *Khabbazan S., Vermunt P., Steele-Dunne S., Arntz L.R., Marinetti C., van der Valk D., Iannini L., Molijn R., Westerdijk K., van der Sande C.* Crop monitoring using Sentinel-1 data: A case study from The Netherlands. Remote Sensing, 2019. V. 11. P. 1887. DOI: 10.3390/rs11161887.

14. *Liu C., Chen Shao Y., Chen J., Tuya H., Pan H.* Research advances of SAR remote sensing for agriculture applications: a review. Journal of Integrative Agriculture, 2019. V. 18. Iss. 3. P. 506–525. DOI: 10.1016/S2095-3119(18)62016-7.

15. *Massonnet D., Feigl K.L.* Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. Review of Geophysics, 1998. V. 36. Iss. 4. P. 441–500. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-217-231.
16. *Mattia F., Le Toan T.* Backscattering properties of multi-scale rough surface, Journal of Electromagnetic Waves Applications, 1999. V. 13. Iss. 4. P. 491–526. DOI: 10.1163/156939399X00240.
17. *Mattia F., Le Toan T., Picard G., Posa F., D'Alessio A., Notarnicola C., Gatti A.M., Rinaldi M., Satalino G., Pasquariello G.* Multitemporal C-band radar measurements on wheat fields. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003. V. 41. Iss. 7. P. 1551–1560. DOI: 10.1109/TGRS.2003.813531.
18. *Ouellette J.D., Johnson J.T., Balenzano A., Mattia F., Satalino G., Kim S.B., Scott R., Colliander A., Cosh M.H., Caldwell T.G., Walker J.P., Berg A.A.* A time-series approach to estimating soil moisture from vegetated surfaces using L-band radar backscatter. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 2017. V. 55. Iss. 6. P. 3186–3193. DOI: 10.1109/TGRS.2017.2663768.
19. *Pichierri M., Hajnsek I., Zwieback S., Rabus B.* On the potential of polarimetric SAR interferometry to characterize the biomass, moisture and structure of agricultural crops at L-, C-and X-Bands. Remote Sensing of Environment, 2018. V. 204. P. 596–616. DOI: 10.1016/j.rse.2017.09.039.
20. *Panidi E., Trofimetz L., Sokolova J.* Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2016. V. 34. Iss. 1. Art. No 012024. DOI:10.1088/1755-1315/34/1/012024.
21. *Trofimetz L.N., Panidi E.A., Chaadaeva N.N., Sankova E.A., Ivaneha T.L., Petelko A.I.* Estimation of soil loss in the thalwegs of natural-anthropogenic streams generated by heavy rainfall on arable slopes: application of satellite imagery, GIS and radiocaesium method. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 217–231. DOI:10.35595/2414-9179-2019-2-25-217-231 (in Russian, abs English).
22. *Tsang L., Kong J.A., Ding K.H.* Scattering of electromagnetic waves: theory and applications, New York: John Wiley and Sons, 2001(a).
23. *Tsang L., Kong J.A., Ding K.H.* Scattering of electromagnetic waves: theory and applications, JNew York: John Wiley and Sons, 2001 (b).
24. *Zhou T., Pan J., Zhang P., Wei S., Han T.* Mapping winter wheat with multi-temporal SAR and optical images in an urban agricultural region. Sensors, 2017. V. 17. Art. No 1210. DOI: 10.3390/s17061210.
25. *Zwieback S., Hensley S., Hajnsek I.* Assessment of soil moisture effects on L-band radar interferometry. Remote Sensing of Environment, 2015. V. 164. P. 77–89. DOI: 10.1016/j.rse.2015.04.012.
26. *Zwieback S., Hensley S., Hajnsek I.* Soil moisture estimation using differential radar interferometry: toward separating soil moisture and displacements. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2017. V. 55. Iss. 9. P. 5069–5083. DOI: 10.1109/TGRS.2017.2702099.

УДК: 910.3: 528.94:338.436.33 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-132-146**

А.М. Носонов[1]

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ АГРОХОЛДИНГОВ В РОССИИ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются возможности применения геоинформационных технологий при изучении вертикально интегрированных структур в сельском хозяйстве России как важного фактора инновационного развития аграрной сферы на современном этапе. Применение ГИС-технологий является эффективным инструментом выявления пространственных закономерностей размещения крупнейших вертикально интегрированных образований (агрохолдингов) и уровня их территориальной концентрации по регионам России. Геоинформационные технологии являются также эффективным методом исследования территориальной и функциональной структуры крупных агрохолдингов на региональном (мезо-) уровне. Проанализировано стратегическое значение крупных вертикально интегрированных структур в обеспечении продовольственной безопасности страны. Отмечается важная роль агрохолдингов в обеспечении инновационной модернизации сельского хозяйства и в обеспечении коммерциализации инноваций в результате совершенствования материально-технической базы АПК и применения новых технологий: эффективных технологий обработки почвы, информационных технологии управления производственными процессами, сельскохозяйственной робототехники и более широкого использования ГИС-технологий для агроменеджмента и обеспечения агротехнических операций. Для выявления и исследования пространственно-временных закономерностей территориальной организации агрохолдингов были определены возможные варианты и разработаны тематические базы данных для ГИС ArcView GIS, которые являются основой для геоинформационного моделирования и картографирования различных аспектов размещения вертикально интегрированных структур. Рассмотрена функциональная и организационно-управленческая структура агрохолдингов. Выявлены и проанализированы факторы формирования и территориальной дифференциации агрохолдингов в различных регионах России, выявлены крупнейшие землепользователи и приведён рейтинг наиболее крупных вертикально интегрированных структур по выручке. Проведён пространственный анализ закономерностей формирования и развития агрохолдингов, выявлены позитивные и негативные последствия их функционирования. Детально изучена территориальная и отраслевая структура крупного регионального агрохолдинга на территории Республики Мордовия, выявлены главные факторы функционирования и развития этой формы организационно-управленческих инноваций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИС-технологии, агрохолдинг, сельское хозяйство, продовольственное импортозамещение, инновационное развитие

[1] Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, Географический факультет, ул. Советская, д. 24, 430005, Саранск, Россия; *e-mail:* **artno@mail.ru**

Arthur M. Nosonov[1]

GIS-TECHNOLOGIES OF RESEARCH OF TERRITORIAL DIFFERENTIATION AND EFFICIENCY OF AGROHOLDINGS IN RUSSIA

ABSTRACT

The article considers the possibilities of using geoinformation technologies in studying vertically integrated structures in agriculture of Russia as an important factor of innovative development of the agrarian sphere at the present stage. The use of GIS technologies is an effective tool for identifying spatial patterns of placement of the largest vertically integrated formations (agroholding) and the level of their territorial concentration by regions of Russia. Geo-information technologies are also an effective method of exploring the territorial and functional structure of large agroholdings at the regional (meso-) level. The strategic importance of large vertically integrated structures in ensuring the food security of the country was analysed. The important role of agroholdings is noted in ensuring innovative modernization of agriculture and in ensuring commercialization of innovation as a result of improvement of the material and technical base of agro-industrial complex and application of new technologies: efficient soil processing technologies, information technology of production process management, agricultural robotics and wider use of GIS-technologies for agro-management and support of agrotechnical operations. In order to identify and investigate spatial and temporal regularity of territorial organization of agroholdings, possible options were identified and thematic databases for GIS ArcView GIS were developed, which are the basis for geographic information modeling and mapping of various aspects of placement of vertically integrated structures. Functional and organizational-management structure of agroholdings is considered. Factors of formation and territorial differentiation of agroholdings in different regions of Russia have been identified and analyzed, the largest land users have been identified and the rating of the largest vertically integrated structures by revenue has been given. Spatial analysis of patterns of formation and development of agroholdings was carried out, positive and negative consequences of their functioning were revealed. The territorial and sectoral structure of a large regional agroholding in the Republic of Mordovia was studied in detail, the main factors of the functioning and development of this form of organizational and managerial innovations were identified.

KEYWORDS: GIS technologies, agroholding, agriculture, food import substitution, innovative development

ВВЕДЕНИЕ

Важной предпосылкой развития сельского хозяйства России на современном этапе является эффективное использование природных и социально-экономических ресурсов территории на основе стратегии инновационной модернизации. До конца 1950-х гг. сельское хозяйство страны развивалось экстенсивно преимущественно за счёт расширения посевных площадей в южных регионах Западной и Восточной Сибири и освоения целинных земель на севере Казахстана и в степных районах Европейской России. В дальнейшем весь рост производства сельскохозяйственной продукции достигался благодаря применению интенсивных способов организации аграрной сферы, в результате совершенствования технико-технологических основ, широкого использования новейших достижений селекции, генетики и генной инженерии, расширения площадей мелиорированных земель и увеличения количества вносимых минеральных и органических удобрений, а также в результате применения инноваций в области организации и управления производством, повышения

[1] National Research Mordovia State University, Faculty of Geography, Sovetskaya str., 24, 430005, Saransk, Russia; *e-mail:* **artno@mail.ru**

уровня квалификации трудовых ресурсов в аграрной сфере. Вследствие этого продуктивность современного сельского хозяйства по отдельным видам продукции за последние 50 лет возросла в 3–5 р. В последние годы произошло существенное изменение аграрной политики государства. Это связано с введением эмбарго на поставку продовольствия в отношении стран, присоединившихся к санкциям против экономического и финансового секторов России. Возникла необходимость корректировки всей аграрной политики для гарантированного производства отечественного продовольствия путём импортозамещения на основе более широкого применения инноваций и изменения в соответствии с этим территориальной и отраслевой структуры сельского хозяйства России [*Filimonova et al., Ozerova, Ermakova,* 2019; *Rada et al.,* 2020]. Осуществление политики продовольственного импортозамещения основано на увеличении государственной финансовой поддержки аграрного сектора и повышения объёмов частного инвестирования, прежде всего, в агрохолдинги для качественного улучшения сельскохозяйственных техники и технологий, на диверсификацию и совершенствование производственной и социальной инфраструктуры, роста уровня квалификации трудовых ресурсов в аграрном секторе.

Реализация федеральной программы импортозамещения продовольствия в течение последних шести лет позволила значительно повысить продовольственную безопасность страны, которая по ряду позиций была близка к критической[1]. К настоящему времени по основным видам продуктов питания Россия вышла на уровень обеспечения необходимых нормативов продовольственной безопасности в соответствии с принятой Доктриной. За период с 2013 по 2018 гг. в торговом балансе произошло изменение пропорций экспорта и импорта сельскохозяйственной продукции[2]. За этот период экспорт продовольствия увеличился с 16 млрд. долл. в 2013 г. до 25 млрд. долл. в 2018 г.; показатель импорта этой продукции снизился с 43 млрд. долл. в 2013 г. до 30 млрд. долл. в 2018 г.[2,3]

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В современных отечественных и зарубежных исследованиях большое внимание уделяется рассмотрению различных аспектов функционирования и развития агрохолдингов на постсоветском пространстве. Под агрохолдингами или мегафермами зарубежные авторы понимают горизонтально или вертикально интегрированные организации с размерами сельскохозяйственных угодий от 100 000 га и более [*Hermans et al.,* 2017]. Отмечается, что наибольшее количество крупных агрохолдингов сформировались в России, Украине и Казахстане [*Kuns et al.,* 2016; *Gagalyuk,* 2017; *Gagalyuk, Valentinov,* 2019; *Davydova, Franks,* 2015]. При их изучении используется сравнительный анализ создания крупных вертикально и горизонтально интегрированных структур в Латинской Америке [*Chaddad, Valentinov,* 2017]. F. Hermans [2017] отмечает слабую изученность данной проблемы вследствие её междисциплинарного характера и низкого уровня взаимодействия исследователей данной тематики. Он приводит следующие направления исследования проблемы изучения крупных сельскохозяйственных компаний: земельные рынки и конкуренция, корпоративные финансы и управление человеческим капиталом, а также социальные и этические аспекты крупномасштабного сельского хозяйства в экономически развитых странах и государствах с переходной экономикой.

Значительная часть исследований посвящена сравнительной характеристике организации сельскохозяйственного производства в России и зарубежных странах, прежде всего США [*Мансуров и др.,* 2017; *Иншаков,* 2018]. Авторы отмечают, что и в экономически

---

[1] Агропромышленный комплекс России в 2017 году: стат. сб. Минсельхоз России, 2018. 549 с.
[2] Регионы России. Социально-экономические показатели. 2019: стат. сб. Росстат. М., 2019. 1204 с.
[3] Федеральная служба государственной статистики. Электронный ресурс: http://www.gks.ru/ (дата обращения: 18.10.2019)

развитых странах (США, Австралия, Канада и др.) есть объединения со сходной с российскими агрохолдингами функциональной и организационной структурой. Так, в США в соответствии с классификацией фермерских хозяйств по объёму валового дохода выделяют крупномасштабные семейные фермы (с объемом валового дохода более 1 млн долл.), которые по своей территориальной и функциональной организации сходны с агрохолдингами. Они включают большие площади сельскохозяйственных земель, перерабатывающие, комбикормовые предприятия, а также собственные сбытовые структуры. Крупные сельскохозяйственные предприятия, имеющие холдинговую структуру широко распространены в Австралии — Kidman & Co Ltd (8 млн га сельскохозяйственных земель), Australian Agricultural Company (7 млн га), The North Australian Pastoral (6 млн га), США — John Malone (930 тыс. га), Китае — Beidahuang Group (около 5 млн га), Бразилии — El Tejar, (более 1 млн га), Украине — Kernel (около 600 тыс. га), UkrLandFarming (570 тыс. га), Агропросперис (400 тыс. га), Казахстане — КазЭкспортАстык (1,2 млн га) и др. В России крупнейшим землепользователем является агрохолдинг «Мираторг» с площадью сельскохозяйственных земель более 1 млн га.

В результате проведения аграрной реформы в 1990-е гг. произошло разрушение отечественной организационной структуры сельского хозяйства, основанной на государственной (совхозы) и кооперативной (колхозы) собственности на землю, и появились многочисленные новые организационно-правовые формы хозяйствования — крестьянские (фермерские) хозяйства, сельскохозяйственные кооперативы, общества с ограниченной ответственностью, акционерные общества и др. Предполагалась, что подобная многоукладность будет способствовать динамичному развитию сельского хозяйства [*Davydova, Franks*, 2015]. Однако основной результат аграрной реформы 1990-х гг. XX в. — резкое уменьшение объёмов производства сельскохозяйственной продукции, снижение производительности труда и замещение отечественного продовольствия импортным. Это вызвало необходимость поиска новых путей восстановления аграрной отрасли. Одним из таких направлений явилось появление в России крупных интегрированных образований (агрохолдингов), формированию которых способствовал экономический кризис 1998 г. Значительное ослабления курса рубля существенно повысило стоимость импортного продовольствия; в результате этого у отечественных сельскохозяйственных товаропроизводителей сложились исключительно благоприятные условия для привлечения больших объёмов частных инвестиций из финансовой и промышленной сфер, собственники которых и инициировали формировании первых агрохолдингов. Это способствовало развитию интеграционных процессов в АПК, что проявилось в создании в главных земледельческих районах страны крупных вертикально и горизонтально интегрированных структур, которые в настоящее время являются эффективной формой организационно-управленческих инноваций в АПК. Данный вид интеграции сельскохозяйственных и промышленных производителей явился важным фактором роста объёма производства продовольствия и сельскохозяйственного сырья. Агропромышленные образования, функционирующие как холдинги, оказались эффективным способом организации производства за счёт наличия полного производственного жизненного цикла, высокой финансовой устойчивости и приоритетным получением долгосрочных государственных кредитов, что позволяет им производить значительные объёмы сельскохозяйственной продукции и доминировать на продовольственном рынке страны [*Ефремова, Опарин*, 2013; Инновационный потенциал…, 2019; *Rada et al.*, 2020].

Современные процессы агропромышленной интеграции протекают в направлении объединения самостоятельных хозяйственных образований (сельскохозяйственных организаций, предприятий пищевой промышленности, логистических, маркетинговых и сбытовых служб) в единую структуру с целью получения кластерного эффекта в результате концентрации труда, капитала и производственной инфраструктуры. Это необходимо для диверсификации и увеличения объёмов сельскохозяйственного производства, расширения аграрных рынков сбыта, повышения экономической эффективности и производительности труда

в АПК [*Davydova, Franks*, 2015].

В современном АПК России сложилась преимущественно вертикальная интеграция, представленная агрохолдингами. Под агрохолдингом понимается такая управленческая форма интеграции в АПК, которая основана на долгосрочном партнерстве головной и дочерних компаний, когда предприятие инициатор интеграции является собственником всего или большей части уставного капитала как головной компании, так и других структурных подразделений холдинга. Как в любой холдинговой структуре в агрохолдингах представлены все стадии производственного и сбытового процесса — от возделывания сельскохозяйственных культур до реализации готовой продукции [*Косинский, Вирко*, 2019]. Таким образом, основными критериями выделения агрохолдингов является наличие в их составе следующих компонентов: сельскохозяйственных земель (преимущественно обрабатываемых), животноводческих комплексов, комбикормовых заводов, а также сельскохозяйственной и автомобильной техники, ремонтных мастерских, предприятий пищевой промышленности, магазинов и торговых домов, предприятий производственной, социальной и экологической инфраструктуры, научно-технических подразделений и др. (рис. 1).

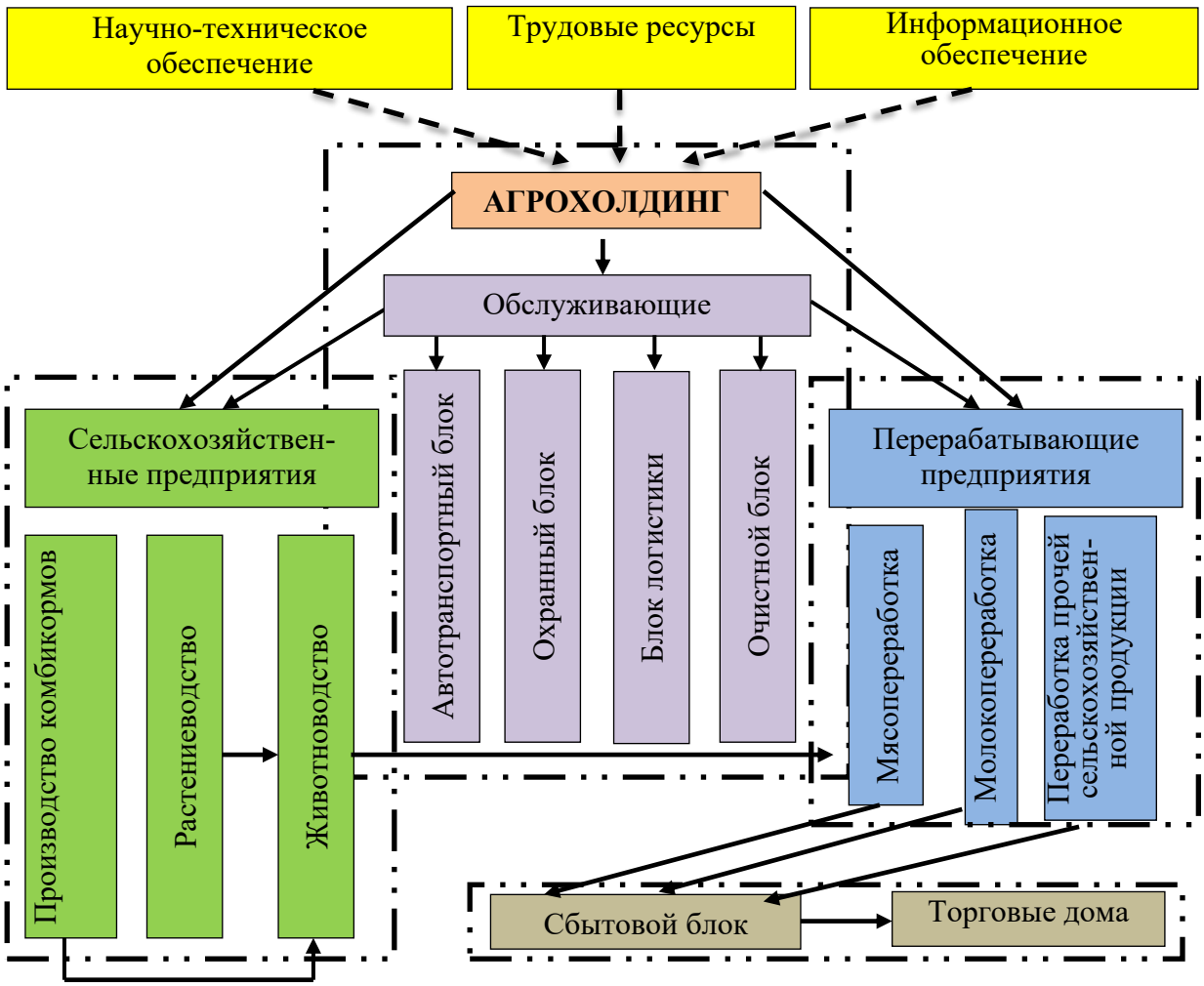


Рис. 1. Функциональная структура агрохолдинга
Fig. 1. Functional structure of the agroholding

В исследовании вертикально интегрированных структур недостаточно используются ГИС-технологии, которые являются эффективным методом решения следующих задач в этой области:

- на региональном уровне — для визуализации территориальной дифференциации и концентрации крупных агропромышленных объединений по регионам (рис. 2, 3);
- на мезоуровне — для отображения всех компонентов территориальной и функциональной структуры агрохолдингов (рис. 4).

ГИС-технологии необходимы для выявления природных (агроклиматические и земельные ресурсы, геоморфологические, гидрологические условия и др.) и социально-экономических (плотность населения, наличие крупных городских агломераций, инфраструктуры и др.) факторов территориальной дифференциации вертикально интегрированных образований путём сопоставления тематических физико- и экономико-географических карт и картограмм, характеризующих локализацию агрохолдингов в разных регионах России.

Таким образом, использование ГИС-технологий для исследования вертикально интегрированных структур в сельском хозяйстве России позволяет выявить пространственные факторы функционирования этих образований и является необходимым инструментом пространственного анализа современного сельского хозяйства страны на разных иерархических уровнях.

В настоящее время для анализа социально-экономических процессов при помощи геоинформационных технологий и формирования территориально распределённой системы моделирования существует два варианта использования ГИС-технологий:

- применение программного обеспечения ГИС как вспомогательного элемента геоинформационной модели исследуемого процесса;
- полное объединение ГИС с базисной моделью объекта, процесса, явления на основе собственного программного обеспечения ГИС [*Капралов и др.*, 2008; *Лурье*, 2008; *Тесленок и др.*, 2014].

Классификация субъектов России по количеству крупных агрохолдингов по регионам России, территориальной концентрации крупнейших агрохолдингов и представление полученных результатов в виде картограмм были выполнены с использованием редактора легенды ГИС ArcView GIS и типа легенды «цветовая шкала», когда изменение значений атрибутивных данных объекты темы представлено диапазоном спектра одной цветовой шкалы с начальным и конечным цветами. Базовые возможности ArcView GIS позволяют производить ручную и автоматическую классификацию картографируемых объектов с использованием типа легенды «цветовая шкала» 4-мя способами (естественных границ, равных интервалов, квантилей, стандартных отклонений) по числовому атрибуту — полю с анализируемым показателем. В данном исследовании интервалы были определены пользователем в соответствии со смысловой нагрузкой параметра. Для лучшей визуализации и удобства использования при анализе результатов классификации территориальной концентрации агрохолдингов были подобраны цвета интервалов значений каждого класса и получена шкала изменения цвета с переходом от светлых тонов одной гаммы, соответствующих низкому уровню показателя до тёмных, обозначающего высокий уровень параметра [*Тесленок и др.*, 2014].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время в 45 регионах России расположено около 200 крупных агрохолдингов. В качестве критериев выделения крупных агрохолдингов аналитический центр «Эксперт» использует следующие показатели: объём реализации продукции (млн руб.), прибыль (до налогообложения и чистая, млн руб.) и размеры земельного банка (тыс. га). Вертикально интегрированные структуры оказывают существенное влияние на развитие АПК как в стране, так и в регионах. На агрохолдинги приходится более половины выручки и прибыли (до налогообложения) всех сельскохозяйственных предприятий. За 10 лет (2006–2016 гг.) их доля выросла в выручке в 1,7 р., в прибыли — в 3 р. Аналитическая компания INFOLine подготовила рейтинг крупнейших агрохолдингов России по выручке в 2018 г. Из

него следует, что совокупный оборот ТОП-10 участников в прошлом году увеличился на 4,7 % — до 645,8 млрд руб. без учёта НДС[1]. Число сельскохозяйственных организаций внутри агрохолдингов за 10 лет сократилось, что свидетельствует об их укрупнении. Агрохолдинги занимают доминирующее положение в птицеводстве — около 62 % мяса птицы, свиноводстве — около 59 % и свекловодстве — около 60 % объёма производства от всех категорий хозяйств. Наибольшее количество работников, активов и выручки сконцентрировано в агрохолдингах со специализацией на свиноводстве и птицеводстве. В то же время доля агрохолдингов минимальна в овощеводстве и картофелеводстве, в мясном и молочном скотоводстве, а также в производстве зерна, подсолнечника и яиц. В производстве этой продукции решающую роль играют личные подсобные хозяйства и крестьянские (фермерские) хозяйства. Площадь сельскохозяйственных земель агрохолдингов увеличивается, и в настоящее время под их контролем находится 27 % сельскохозяйственных угодий. В отдельных регионах Чернозёмного центра (Белгородская область) и Северного Кавказа (Краснодарский край) доля агрохолдингов в производстве сельскохозяйственной продукции, по оценкам экспертов, составляет 70–85 % [*Минаев*, 2018]. В настоящее время отсутствует официальная статистика, которая показывает роль агрохолдингов в валовом производстве продукции сельского хозяйства, пищевой промышленности как на федеральном, так и региональном уровне. Оценку вклада агрохолдингов в производство сельскохозяйственной продукции отдельных регионов затрудняет также то, что они, как правило, работают и имеют посевные площади сразу в нескольких регионах России (табл. 1). Так, холдинг «Продимекс» функционирует сразу в 8 регионах страны, группа компаний «Черкизово» — в 6, агрохолдинг «Русагро» — в 5. Сельскохозяйственные угодья группы «Русагро» размещены в Белгородской (50 % всех земель), Тамбовской, Воронежской (в сумме около 26 %), Курской (около 4 %), Орловской (около 7 %) областях, а также в Приморском крае (около 13 %) [*Минаев,* 2018]. С другой стороны, в одном регионе могут функционировать несколько крупнейших агрохолдингов, например, в Белгородской, Воронежской и Курской областях. Тем не менее косвенно в некоторых случаях можно оценить вклад агрохолдингов в производство отдельных видов продукции сельского хозяйства. Например, на группу компаний «Талина» (Республика Мордовия) приходится около 88 % поголовья и 94 % объёмов реализации свинины в регионе, в Белгородской области вся свинина реализуется агрохолдингами «Мираторг», «Агро-Белогорье» и «Русагро» (Рейтинг ТОП-10 агрохолдингов России 2019 г., 2020; Регионы России, 2019); [*Минаев,* 2018].

На рис. 2 и 3 представлены картограммы, характеризующие количественное распределение крупнейших агрохолдингов по регионам России и уровень их территориальной концентрации, т.е. средний размер сельскохозяйственных угодий у расположенных в субъекте Федерации агрохолдингов. Эти взаимосвязанные и взаимодополняющие, но различные по содержанию показатели.

На рис. 2 показана численность крупнейших агрохолдингов по субъектам Российской Федерации. К крупнейшим относят агрохолдинги с выручкой более 10 млрд руб. в год. По их количеству лидируют регионы Чернозёмного центра — Белгородская, Воронежская и Курская область (до 10 агрохолдингов в регионе) [*Растопчина и др.,* 2016; *Минаев,* 2018] (рис. 2). Значительное число агрохолдингов (от 5 до 6 ед.) расположено в Республике Татарстан и Краснодарском крае, а также в Московской и Волгоградских областях, т.е. в регионах, развитых в социально-экономическом отношении, и в субъектах Федерации с высокой численностью и плотностью населения как основного потребителя продуктов питания.

[1] Рейтинг ТОП-10 агрохолдингов России в 2019 г. Электронный ресурс: https://meatinfo.ru/news/reyting-agro-holdingov-rossii-ot-infoline-400174 (дата обращения: 08.01.2020)

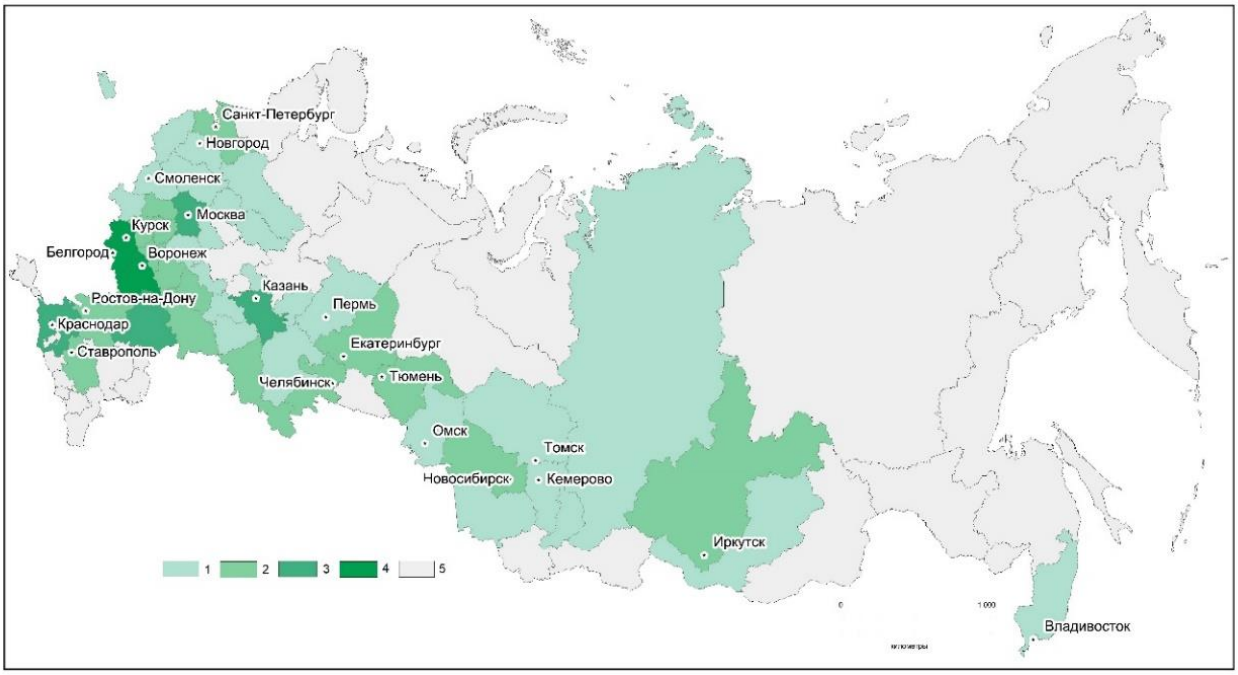


Рис. 2. Количество крупнейших агрохолдингов по регионам России, единиц:
1 — 1–2; 2 — 3–4; 3 — 5–6; 4 — 7–10; 5 — крупные агрохолдинги отсутствуют
[Растопчина и др., 2016; Минаев, 2018]
Fig. 2. Number of the largest agroholdings by regions of Russia, units:
1 — 1–2; 2 — 3–4; 3 — 5–6; 4 — 7–10; 5 — there are no large agricultural holdings
[Rastopchina et al., 2016; Minaev, 2018]

Другой показатель территориальной концентрации агрохолдингов — это площадь сельскохозяйственных угодий субъектов Российской Федерации, приходящихся в среднем на один крупный агрохолдинг. Данный показатель показывает, какая доля сельскохозяйственных угодий в регионе приходится на 1 крупный агрохолдинг. По этому показателю доминируют регионы, расположенные вблизи крупных агломераций, ориентируясь на их емкие агропродовольственные рынки. Значительна территориальная концентрация крупных агропромышленных компаний в центрально-чернозёмных регионах, в которых благоприятно сочетаются и природные, и социально-экономические факторы сельскохозяйственного производства (рис. 3). В восточной части России наибольшая территориальная концентрация агрохолдингов характерна для Свердловской, Тюменской, Томской, Иркутской областей, Бурятии и Хакассии. В регионах страны с неблагоприятными агроклиматическими, почвенными условиями и невысокой плотностью населения крупные вертикально интегрированные структуры в АПК отсутствуют [Инновационный потенциал…, 2019].

Как правило, крупные компании агропромышленного комплекса владеют наибольшими площадями сельскохозяйственных земель. Согласно ежегодному исследованию аудиторско-консалтинговой компании BEFL, в число самых крупных землевладельцев по данным на 2019 г. вошли 56 крупнейших компаний АПК, на которые приходится более 14 млн га сельскохозяйственных земель. Самые крупные агрохолдинги — «Мираторг», «Продимекс+Агрокультура», «Русагро», «Агрокомплекс», «ЭкоНива-АПК» владеют

около 3 млн га земель сельскохозяйственного назначения[1].

Показатели экономической эффективности, специализация, локализация и размеры земельного банка 5 крупнейших агрохолдингов России представлены в табл. 1 (Рейтинг крупнейших компаний …, 2018[2], Рейтинг ТОП-10 агрохолдингов России 2019 г., 2020).

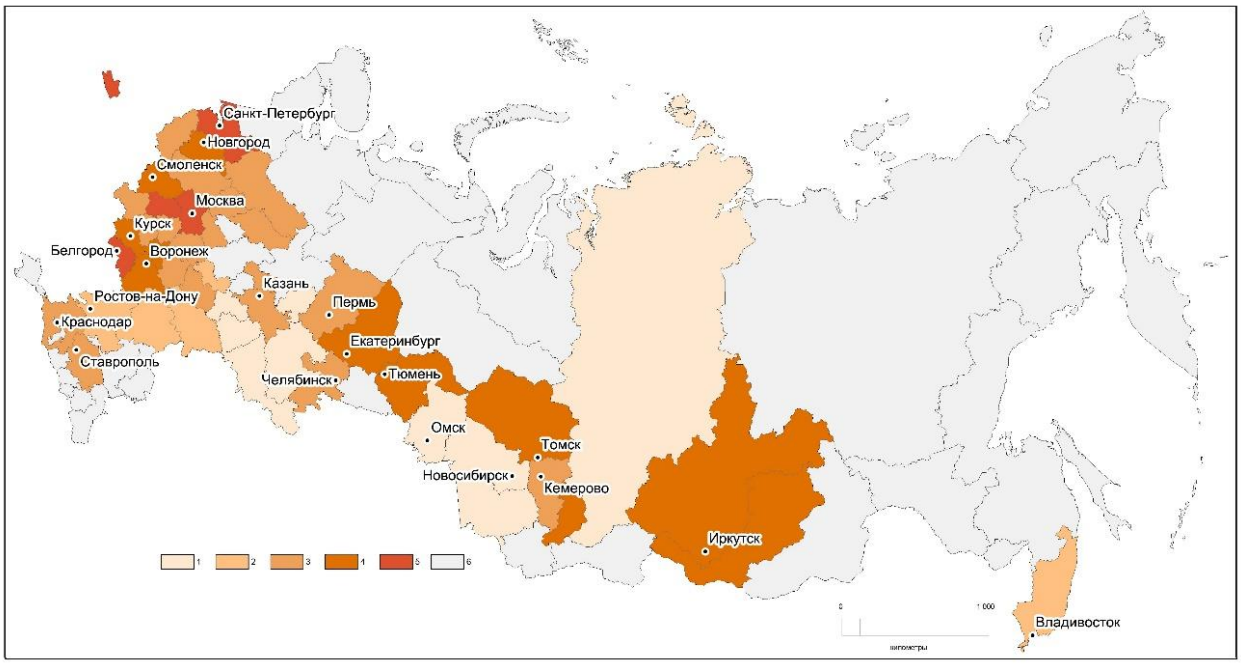


Рис. 3. Территориальная концентрация крупнейших агрохолдингов (площадь сельскохозяйственных земель, тыс. га на количество крупнейших агрохолдингов), тыс. га/единиц: 1 — более 1500; 2 — 1000–1500; 3 — 500–1000; 4 —250–500; 5 — менее 250; 6 — крупные агрохолдинги отсутствуют [Растопчина и др., 2016; Минаев, 2018]

Fig. 3. Territorial concentration of the largest agroholdings (agricultural land area, thousands of hectares per number of largest agroholdings): 1 — more 1500; 2 — 1000–1500; 3 — 500–1000; 4 —250–500; 5 — less than 250; 6 — no large agricultural holdings [Rastopchina et al., 2016; Minaev, 2018]

Геоинформационные технологии были использованы для выявления особенностей территориальной и функциональной структуры крупнейшего регионального агрохолдинга, расположенного преимущественно на территории Республики Мордовии — группы компаний «Талина» (рис. 4). Это вертикально и горизонтально интегрированное образование, которое специализируется на свиноводстве, мясопереработке, племенном животноводстве и производстве комбикормов. Холдинг по объёмам производства колбасных изделий занимает 5-е место среди подобных фирм страны и является одним из самых крупных производителей свинины. Агрохолдинг был основан в 2003 г. на базе низкодоходных и убыточных аграрных предприятий и мясоперерабатывающего комплекса с физически и морально

[1] Крупнейшие владельцы сельскохозяйственной земли в России на 2019 год. Электронный ресурс: http://www.befl.ru/upload/iblock/652/652a8fa5f787bfb0da685bd8793b875c.pdf (дата обращения: 18.10.2019)

[2] Рейтинг крупнейших компаний агропромышленного комплекса России по итогам 2017 года. Электронный ресурс: https://expert.ru/ratings/rejting-krupnejshih-kompanij-agropromyishlennogo-kompleksa-rossii-po-itogam-2017-goda/ (дата обращения 18.10.2019)

устаревшими основными средствами производства. В настоящее время ведущее предприятие агрохолдинга «Талина» — группа компаний «Мордовский бекон». В состав этой структуры входит более 30-ти подразделений, в т.ч. сельскохозяйственные предприятия в пределах республики и Ульяновской области, площадь сельскохозяйственных угодий которых превышает более 100 тыс. га, крупные свиноводческие комплексы с поголовьем более 100 000 животных, несколько мясоперерабатывающих предприятий и комбикормовый завод. Кроме того, «Талина» имеет ряд вспомогательных и обслуживающих производств — автотранспортные, логистические и маркетинговые службы, станции техобслуживания, развитую сбытовую структуру и собственные торговые дома в крупных городах России. Агрохолдинг располагает научно-исследовательскими подразделениями — центром селекции и генетики, станцией искусственного осеменения, опытным растениеводческим хозяйством, научно-производственными лабораториями, профильным учебным центром. Широко используются научные разработки и инновации в аграрной отрасли, разработанные учёными Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарёва.

Табл. 1. Рейтинг крупнейших агрохолдингов России по выручке в 2018 г.
Table 1. Rating of the largest companies in the agro-industrial complex of Russia in 2018

Место	Агрохолдинг	Выручка, млрд руб.	Земельный банк, тыс. га	Специализация	Локализация
1	ООО «АХ Мираторг»	111,6	1000	многоотраслевой (животноводство и зерновое хозяйство, полуфабрикаты, мясопереработка)	Белгородская Брянская, Орловская, Курская области
2	Группа компаний «Черкизово»	102,6	287	свиноводство, птицеводство, переработка, производство мясной продукции и комбикормов	Воронежская, Курская, Липецкая, Тамбовская, Пензенская, Тульская, Московская области
3	Группа компаний «Русагро»	83,0	650	производство сахара, свинины, масложировой продукции, растениеводство	Тамбовская, Белгородская, Воронежская, Самарская области, Приморский край.
4	Группа компаний «Агро-Белогорье»	75,0	111	промышленное свиноводство и мясопереработка, молочное животноводство, зерновое хозяйство и кормопроизводство	Белгородская область
5	ООО «Продимекс»	57,5	865	свекловодство, зерновое хозяйство, молочное скотоводство, производство сахара	Воронежская, Белгородская, Курская, Тамбовская и Пензенская области, Краснодарский и Ставропольском края, Республике Башкортостан

Составлено по (Рейтинг крупнейших компаний агропромышленного комплекса, 2018; Рейтинг ТОП-10 агрохолдингов России 2019 г., 2020)

Агрохолдинг «Талина» в рейтинге крупнейших предприятий АПК страны в 2018 г. занимал 23 место со следующими показателями эффективности: объём реализации продукции — 31,6 млрд руб., чистая прибыль — около 2 млрд руб. (Рейтинг крупнейших компаний агропромышленного комплекса, 2018). Агрохолдинг имеет полный производственный цикл производства, включающий все стадии производства и сбыта свинины, комбикормов

и племенных животных. Он располагает значительным земельным фондом (более 100 тыс. га) преимущественно обрабатываемых земель, на которых возделываются зерновые, зернобобовые культуры, соя и сахарная свекла. Для обработки пашни используется современная техника и системы спутниковой навигации ГЛОНАСС и GPS.

Агрохолдинг реализует масштабные инвестиционные проекты. Наиболее значимый из них — строительство свиноводческого комплекса на более чем 70 тыс. голов на территории республики с объёмом производства свинины более 12 000 т в год. Создаваемые свиноводческие комплексы используют новейшие европейские технологии производства свинины с незначительной долей сала, соответствующие мировым стандартам качества (международная сертификация ISO). Готовая продукция продаётся как в живом весе, так и в виде охлаждённых полуфабрикатов. Племенные животные, кроме собственного производства, реализуются в качестве племенного материала.

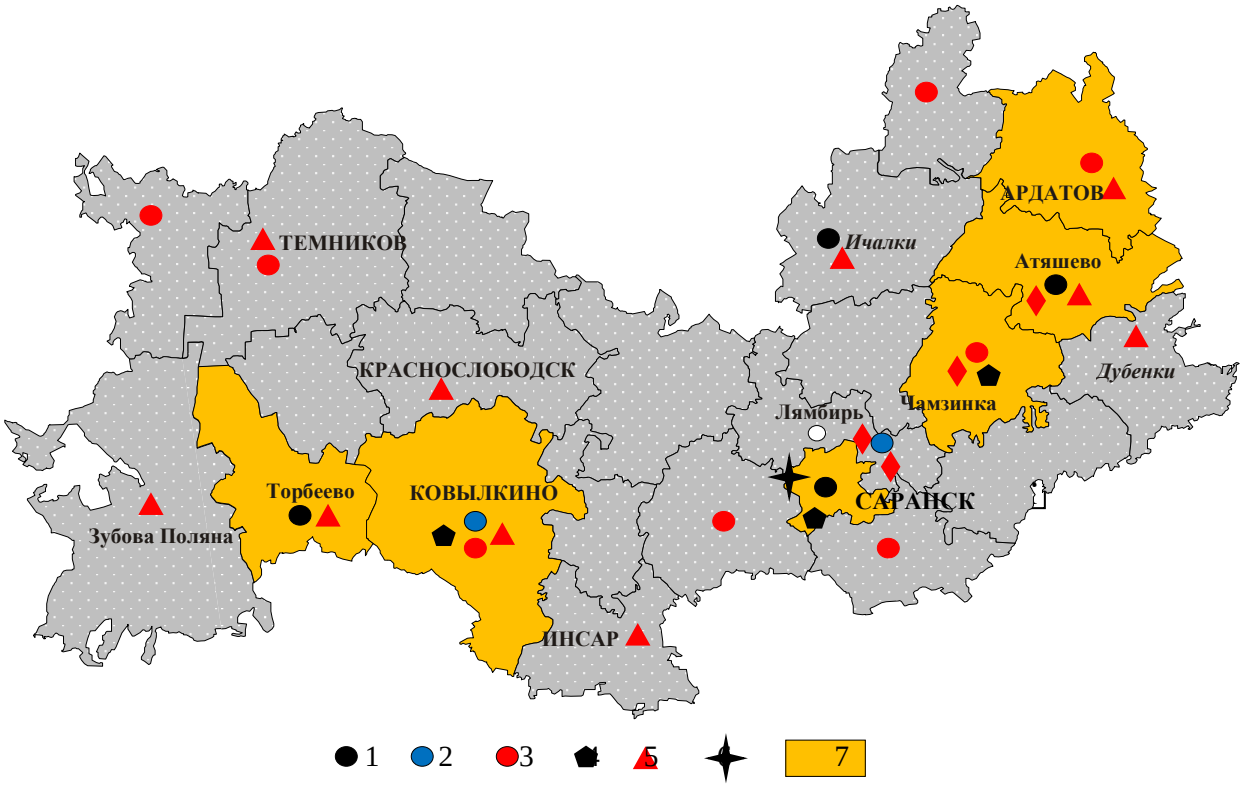


Рис. 4. Территориальная и функциональная структура агрохолдинга «Талина»: 1 — мясоперерабатывающие заводы; 2 — комбикормовые предприятия; 3 — крупные свиноводческие комплексы; 4 — предприятия производственной инфраструктуры; 5 — сельскохозяйственные учреждения среднего профессионального образования; 6 — высшие учебные заведения, имеющие подразделения сельскохозяйственного профиля; 7 – районы размещения сельскохозяйственных земель

Fig. 4. Territorial and functional structure of agroholdings «Talina»: 1 — meat-processing plants; 2 — feed mills; 3 — large pig-breeding complexes; 4 — enterprises of production infrastructure; 5 — agricultural institutions of secondary vocational education; 6 — higher education institutions with agricultural units; 7 — agricultural land areas

Дальнейшие инвестиционные проекты агрохолдинга предусматривают вовлечение в сельскохозяйственное производство территории пограничных областей (Ульяновской и Нижегородской областей). В этих регионах предполагается реконструкция и создание новых крупных свиноводческих комплексов, использующих новейшие инновационные технологии производства свинины, а также строительство крупного мясоперерабатывающего предприятия и комбикормового производства.

ВЫВОДЫ

1. Геоинформационные технологии являются эффективным методом исследования пространственных закономерностей размещения и выявления факторов территориальной дифференциации вертикально интегрированных образований на региональном и локальном уровнях.

2. На основе применения ГИС-технологий выявлены следующие пространственные закономерности размещения агрохолдингов. Во-первых, высокая территориальная концентрация агрохолдингов наблюдается в районах с высокой плотностью населения как основных потребителей продовольствия (Московская область, регионы Чернозёмного Центра, Республика Татарстан); во-вторых, значительное количество крупнейших агрохолдингов сосредоточено в районах с наиболее благоприятными для развития сельского хозяйства природными и социально-экономическими условиями (земледельческие регионы Северного Кавказа и Среднего Поволжья).

3. Система агрохолдингов, сформировавшаяся в России, представляет собой довольно целостное сбалансированное образование, обеспечивающее продовольственную безопасность страны. В случае снижения уровня эффективности производства или банкротства одного и даже нескольких агрохолдингов их сельскохозяйственные угодья и производственная инфраструктура перераспределяются между другими участниками этой единой системы, что обеспечивает её устойчивость.

4. Функционирование вертикально интегрированных структур в России оказывает как положительное, так и негативное воздействие на социально-экономическое развитие АПК и страны в целом. Главным позитивным аспектом функционирования агрохолдингов является их определяющий вклад в обеспечение населения страны достаточным количеством продовольствия и формирование благоприятных предпосылок для внедрения новейших достижений научно-технического прогресса. Основной отрицательной чертой развития агрохолдингов является вытеснение с аграрных рынков более мелких производителей, которые не выдерживают конкуренции. Однако сформировалось своеобразное разделение труда между агрохолдингами и личными подсобными и крестьянскими (фермерскими) хозяйствами. Первые занимают ведущее место в птицеводстве, свиноводстве и свекловодстве, вторые доминируют в мясном и молочном скотоводстве, производстве зерна, подсолнечника, овощей, картофеля и яиц.

5. Крупные сельскохозяйственные предприятия являются главной движущей силой реализации инноваций в сельском хозяйстве, что достигается совершенствованием технических и технологических основ производства в АПК и необходимостью постоянного применения инноваций для поддержания конкурентоспособности на аграрном рынке. В агрохолдингах, располагающих значительными финансовыми ресурсами, имеется возможность использовать:

- передовые технологий обработки пашни (безотвальная, «нулевая» обработка почвы, точное земледелие с использованием ГИС-технологий и др.);
- беспилотные летательные аппараты для сельскохозяйственного мониторинга;
- медленные и комплексные удобрения, созданные на основе нанотехнологий и наноматериалов;
- генную инженерию и селекцию;
- когнитивные технологии управления с-х производством и др.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 19-05-00066.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 19-05-00066.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефремова М.В., Опарин Д.Ю.* Анализ предпосылок развития вертикально интегрированных структур в сельском хозяйстве. Экономический анализ: теория и практика. 2013. № 38 (341). С. 59−64.
2. Инновационный потенциал сельского хозяйства России: Монография. Саранск: Изд-во Мордов. университета, 2019. 220 с.
3. *Иншаков А.А.* Роль фермерских хозяйств в аграрном комплексе США и России (сравнительный анализ). Региональная экономика и управление: электронный научный журнал, 2018. № 2 (54). Электронный ресурс: https://eee-region.ru/article/5412/ (дата обращения 09.01.2020).
4. *Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С.* и др. Геоинформатика: в 2 кн. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 384 с.
5. *Косинский Г.М., Вирко Г.П.* Интегрированные структуры в АПК и сельском хозяйстве: экономические проблемы формирования. Экономика и социум, 2019. № 2 (57). С. 188−193.
6. *Лурье И.К.* Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. М.: КДУ, 2008. 424 с.
7. *Мансуров А.П., Федотова О.И., Зубренкова О.А.* Зарубежный опыт развития крестьянских (фермерских) хозяйств. Вестник НГИЭИ, 2017. № 9 (76). С. 135–146.
8. *Минаев В.Н.* Роль агрохолдингов в развитии экономик регионов России. Научный вестник Южного института менеджмента, 2018. № 2. С. 74−81.
9. *Растопчина Ю.Л., Быканова Н.И., Шапошник Е.Н.* Роль и масштабы интегрированных агропромышленных холдингов в экономике региона. Современная экономика: проблемы и решения, 2016. № 39 (81). С. 92−101.
10. *Тесленок С.А., Носонов А.М., Тесленок К.С.* Геоинформационное моделирование диффузии инноваций. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение. Белгород, 2014. Т. 20. С. 159−169. DOI: https://doi.org/10.24057/2414-9179-2014-1-20-159-169.
11. *Chaddad F., Valentinov V.* Agency costs and organizational architecture of large corporate farms: evidence from Brazil. International Food and Agribusiness Management. Review 20, 2017. P. 201−219.
12. *Davydova I., Franks J.R.* The rise and rise of large farms: Why agroholdings dominate Russia's agricultural sector. Journal of the National Research University Higher School of Economics, 2015. No 24 (3). P. 133−159.
13. *Filimonova N.G., Ozerova M.G., Ermakova I.N.* The features of formation of Russian agriculture's sectoral structure. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering, 2019. V. 13. No 1. P. 10−14.
14. *Gagalyuk T.* Strategic role of corporate transparency: the case of Ukrainian agroholdings. International Food and Agribusiness Management. Review 20, 2017. P. 257−277.
15. *Gagalyuk T., Valentinov V.* Agroholdings, turbulence, and resilience: The case of Ukraine. Journal of East European Management Studies, Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2019. V. 24 (3). P. 484−496.
16. *Hermans F., Chaddad F., Gagalyuk T., Senesi S., Balmann A.* The emergence and proliferation of agroholdings and mega farms in a global context. International Food and Agribusiness

Management Review. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2017. V. 20. Iss. 2. P. 175−186.
17. *Kuns B., Visser O., Wästfelt A.* The stock market and the steppe: the challenges faced by stock-market financed, Nordic farming ventures in Russia and Ukraine. Journal of Rural Studies 45, 2016. P. 199−217.
18. *Rada N., Liefert W., Liefert O.* Evaluating Agricultural Productivity and Policy in Russia. Journal of Agricultural Economics, 2020. V. 71. Iss. 1. P. 96−117.

REFERENCES

1. *Chaddad F., Valentinov V.* Agency costs and organizational architecture of large corporate farms: evidence from Brazil. International Food and Agribusiness Management. Review 20, 2017. P. 201−219.
2. *Davydova I., Franks J.R.* The rise and rise of large farms: Why agroholdings dominate Russia's agricultural sector. Journal of the National Research University Higher School of Economics, 2015. No 24 (3). P. 133−159.
3. *Efremova M.V., Oparin D.Yu.* Analysis of the prerequisites for the development of vertically integrated structures in agriculture. Economic Analysis: Theory and Practice, 2013. No 38 (341). 59−64 (in Russian).
4. *Filimonova N.G., Ozerova M.G., Ermakova I.N.* The features of formation of Russian agriculture's sectoral structure. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering, 2019. V. 13. No 1. P. 10−14.
5. *Gagalyuk T.* Strategic role of corporate transparency: the case of Ukrainian agroholdings. International Food and Agribusiness Management. Review 20, 2017. P. 257−277.
6. *Gagalyuk T., Valentinov V.* Agroholdings, turbulence, and resilience: The case of Ukraine. Journal of East European Management Studies, Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, 2019. V. 24 (3). P. 484−496.
7. *Hermans F., Chaddad F., Gagalyuk T., Senesi S., Balmann A.* The emergence and proliferation of agroholdings and mega farms in a global context. International Food and Agribusiness Management Review. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2017. V. 20. Iss. 2. P. 175−186.
8. Innovative potential of agriculture in Russia: Monograph. Saransk: Publishing House of Mordovian University, 2019. 220 p. (in Russian).
9. *Inshakov A. A.* The role of farms in Agricultural sector of the USA and Russia (comparative analysis). Regional Economy and Management: Electronic Scientific Journal. No 2 (54). Web resource: https://eee-region.ru/article/5412/ (accessed 09.01.2020) (in Russian).
10. *Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Tikunov V.S. et al.* Geoinformatics. Moscow: Academy, 2008. 384 p. (in Russian).
11. *Kosinsky G.M., Virko G.P.* Integrated structures in agriculture and agriculture: economic problems of formation. Economy and Society, 2019. No 2 (57). P. 188−193 (in Russian).
12. *Kuns B., Visser O., Wästfelt A.* The stock market and the steppe: the challenges faced by stock-market financed, Nordic farming ventures in Russia and Ukraine. Journal of Rural Studies 45, 2016. P. 199−217.
13. *Lurie I.K.* GIS mapping. Methods of Geoinformatics and digital processing of satellite images. Moscow: KDU, 2008. 424 p. (in Russian).
14. *Mansurov A.P., Zubrenkova O.A., Fedotova O.I.* Foreign experience of development of peasant (farmer) farms. Bulletin of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, 2017. No 9 (76). P. 135−146 (in Russian).
15. *Minaev V.N.* The role of agroholdings in the development of the economies of the regions of Russia. Scientific Bulletin of the Southern Institute of Management, 2018. No 2. P. 74−81. Web resource: https://doi. org/10.31775/2305-3100-2018-2-74-81 (accessed 09.01.2020) (in Russian).
16. *Rada N., Liefert W., Liefert O.* Evaluating agricultural productivity and policy in Russia.

Journal of Agricultural Economics, 2020. V. 71. Iss. 1. P. 96−117.
17. *Rastopchina Yu.L., Bykanova N.I., Shaposhnik E.N.* The role and scale of integrated agro-industrial holdings in the regional economy. Modern Economy: Problems and Solutions, 2016. No 39 (81). P. 92−101 (in Russian).
18. *Teslenok S.A., Nosonov A.M., Teslenok K.S.* Geoinformation modeling of the diffusion of innovations. InterCarto. InterGIS. Sustainable development of territories: Cartographic and geoinformation support. Belgorod, 2014. V. 20. P. 159−169. DOI: https://doi.org/10. 24057/2414-9179-2014-1-20-159-169 (in Russian).

УДК: 528.94:004:004.9: 004.94:33:330:338:332.12: 332.146:001.895:005.591.6: 338.436.33
DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-147-158

К.С. Тесленок[1], **С.А. Тесленок**[2]

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ДИФФУЗИИ ИННОВАЦИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости процессов распространения инноваций в сельскохозяйственной отрасли Российской Федерации в разрезе субъектов.

Применение группы традиционных и математических методов в процессе исследования при этом дополнено широким использованием возможностей геоинформационных технологий и, в первую очередь, геоинформационно-картографического моделирования.

В процессе проведения исследований были спроектированы и практически реализованы в разных вариантах программного обеспечения соответствующие специализированные базы данных ГИС «Инновации в субъектах Российской Федерации». На их основе выполнены построение и анализ комплекса карт и геоинформационно-картографических моделей, отличающихся степенью сложности, отражающих инновационные процессы, происходящие в сельском хозяйстве всех регионов Российской Федерации.

Каждая из серии полученных аналитических базовых и результирующих карт иллюстрирует различные аспекты инновационного развития сельского хозяйства и диффузии инноваций в разные периоды времени. Результаты геоинформационного картографирования и моделирования также были представлены в виде анимированных карт и картографических анимаций, отражающих особенности территориального распространения инноваций и пространственно-временной динамики их диффузии.

Пространственно-временной геоинформационно-картографический анализ диффузии инноваций позволил выявить некоторые объективные закономерности этого процесса. Прежде всего, отмечено чётко выраженное перемещение инноваций в сельском хозяйстве Российской Федерации в пространственно-временном континууме в направлении от инновационных ядер и субъядер на инновационную субпериферию и периферию и от регионов-доноров сельскохозяйственных инноваций к регионам-реципиентам.

Географически диффузия инноваций в сельском хозяйстве Российской Федерации происходит преимущественно в направлении от крупнейших городов (одновременно являющихся ведущими научно-техническими центрами) и районов размещения интенсивного сельского хозяйства (в первую очередь земледелия) к регионам востока и севера Европейской части, Сибири и Дальнего Востока.

Широкое использование возможностей географических информационных систем и геоинформационных технологий на всех этапах исследования позволило сформировать картографические и атрибутивные базы данных ГИС «Инновации в субъектах Российской Федерации» по основным показателям инновационного развития сельскохозяйственной отрасли на территориальном уровне субъектов Российской Федерации. На их основе было построено и проанализировано значительное число карт и геоинформационно-картографических моделей территориальных инновационных систем сельского хозяйства регионального уровня, происходящих в них процессов диффузии инноваций и выявлены их основные пространственно-временные закономерности.

---

[1] Сурская горно-геологическая компания, ул. Ст. Разина, д. 17а, 430011, Саранск, Россия
[2] Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Географический факультет, ул. Большевистская, д. 68, 430005, Саранск, Россия; *e-mail*: **teslserg@mail.ru.**

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоинформационные технологии, пространственно-временной анализ, инновации, диффузия инноваций, сельское хозяйство

Kirill S. Teslenok[1], **Sergey A. Teslenok**[2]

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF INNOVATIONS DIFFUSION IN THE AGRICULTURE

ABSTRACT

The article presents the results of the analysis of the spatio-temporal variability of the processes of diffusion of innovations in the agricultural sector of the Russian Federation by subjects.

The application of a group of traditional and mathematical methods in the research process is complemented by the widespread use of the capabilities of geoinformation technologies and, first of all, geoinformation-cartographic modeling.

In the process of conducting research, the corresponding specialized GIS databases "Innovations in the Subjects of the Russian Federation" were designed and practically implemented in various software versions. Based on them, the construction and analysis of a complex of geographic information-cartographic models, differing in the degree of complexity, reflecting the innovative processes occurring in agriculture of all regions of the Russian Federation, was performed.

Each of the series of obtained analytical base and resulting maps illustrates various aspects of the innovative development of agriculture and the diffusion of innovations at different time periods. The results of geographic information mapping and modeling were also presented in the form of animated maps and cartographic animations reflecting the features of the territorial distribution of innovations and the spatio-temporal dynamics of their diffusion.

Spatio-temporal geographic information-cartographic analysis of the diffusion of innovations made it possible to identify some objective laws of this process. First of all, there was a marked movement of innovations in the agriculture of the Russian Federation in the space-time continuum in the direction from innovative nuclei and sub-nuclei to innovative sub-periphery and periphery, and from donor regions of agricultural innovations to recipient regions.

Geographically, the diffusion of innovations in agriculture of the Russian Federation occurs mainly in the direction from the largest cities (at the same time being leading scientific and technical centers) and areas of intensive agriculture (primarily farming) to the regions of the east and north of the European part, Siberia and the Far East.

The wide use of the capabilities of geographical information systems and geographic information technologies at all stages of the study allowed the formation of cartographic and attributive databases of the GIS "Innovations in the Subjects of the Russian Federation" according to the main indicators of the innovative development of the agricultural industry at the territorial level of the constituent entities of the Russian Federation. On their basis, a significant number of maps and geoinformation-cartographic models of territorial innovative agricultural systems of regional level, the processes of diffusion of innovations occurring in them were constructed and analyzed, and their main spatio-temporal patterns were revealed.

KEYWORDS: geoinformation technologies, spatio-temporal analysis, innovations, diffusion of innovation, agriculture

---

[1] Sursk Mining and Geological Company, 17A, Stepan Razin str., 17a, 430011, Saransk, Republic of Mordovia, Russia

[2] National Research Ogarev Mordovia State University; Bolshevistskaya str., 68, 430005, Saransk, Republic of Mordovia, Russia; *e-mail*: **teslserg@mail.ru**

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших фундаментальных и актуальных междисциплинарных научных проблем Российской Федерации является необходимость научного обоснования оптимальных вариантов общегосударственной и региональной аграрной политики. Пути её решения связаны с разработкой концептуальных основ и методов исследования циклично-генетических закономерностей формирования и функционирования национальной и региональных сельскохозяйственных систем, механизмов возникновения, развития и распространения инноваций. Необходимо учитывать и тот факт, что проблема обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях может быть решена только на основе инновационного развития [*Носонов*, 2014 (б)].

Под инновацией (нововведением) обычно понимается внедряемое (или уже введённое) в употребление новшество, востребованное рынком, способствующее росту эффективности различных процессов и (или) улучшению качества продукции[1] [Большая…, 2004–2017; *Носонов,* 2014 (а; б)], введение в употребление нового (или существенно улучшенного) продукта, товара, услуги, процесса, метода продаж, маркетинга или организационного метода в деловой практике, организации рабочих мест или во внешних связях[1] [Руководство..., 2010]. Инновация — неизменно результат интеллектуальной деятельности, творчества, открытий, изобретений и рационализации [Большая…, 2004–2017].

Само понятие «инновация» появилось в конце XIX в. и впервые было изучено французским социологом Габриэлем Тардом [Культурология…, 1998; Большая…, 2004–2017], немецкими и австрийскими антропологами Фридрихом Ратцелем [*Ратцель*, 1903; Большая…, 2004–2017; Культурология…, 1998] и Лео Фробениусом [Большая…, 2004–2017; Культурология…, 1998]. В начале XX в. оно получило новую жизнь в трудах Йозефа Шумпетера [*Schumpeter,* 1911; Большая…, 2004–2017; *Базилевич,* 2006; Культурология…, 1998], когда в него стал вкладываться смысл новшества или нововведения, значительно повышающего эффективность действующей системы. Во второй половине XX в. Эверетт Роджерс[2] и Торстен Хагерстранд [*Rogers,* 1962; *Hägerstrand,* 1967; Культурология…, 1998; Большая…, 2004–2017] теоретизировали и популяризовали понятие инновации. В частности, был рассмотрен процесс диффузии социально-экономических явлений (распространения сельскохозяйственной техники) в сельской местности Швеции и осуществлено моделирования с использованием метода Монте-Карло[3] [*Hägerstrand,* 1967].

Инновация была признана названными исследователями особой идеей, практической деятельностью или объектом, воспринимаемый отдельным лицом (или другой единицей внедрения) в качестве чего-то нового. Диффузия инноваций понималась при этом как процесс, обусловливающий передачу и внедрение инноваций (новых сообщений, идей, процессов, товаров, технологий и т.п.) посредством коммуникационных каналов (средств передачи) среди членов социальных систем (отдельных лиц) и организаций в течение определенного времени [*Rogers,* 1962; *Hägerstrand,* 1967]. Диффузия (распространение) инноваций наиболее распространёнными общепринятыми точками зрения определяется как теория, направленная на объяснение причин, сути, направленности и скорости распространения новых идей и технологий через разные культуры. Приведённые сведения обусловливают возможность осуществления анализа пространственно-временной изменчивости процессов распространения инноваций.

Применительно к тематике и проблематике данного исследования, диффузия инноваций в сельском хозяйстве определяется как их перемещение в пространственно-временном континууме. Происходит оно, прежде всего, в направлении от инновационных ядер и

---

[1] Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике» № 254-ФЗ от 21 июля 2011 г.

[2] https://teddykw2.files.wordpress.com/2012/07/everett-m-rogers-diffusion-of-innovations.pdf

[3] https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1538-4632.1969.tb0062
6.x

субъядер на инновационную субпериферию и периферию, из регионов-доноров в регионы-реципиенты [*Носонов*, 2014 (а; б); *Тесленок и др*., 2014].

Исследование стохастических инновационных процессов традиционно основано на привлечении классических статистических и экономико-географических подходов. При этом еще не получили широкого и повсеместного распространения и применения в исследовании инновационных процессов и явлений, инновационного развития сельскохозяйственного производства имитационное и оптимизационное компьютерное моделирование. Они основаны на применении комплекса математических методов (структурная и параметрическая идентификация, двумерные интегральные и интегро-дифференциальные уравнения Фредгольма-Вольтера, спектральный анализ, сплайн-функции, функции Грина, метод Монте-Карло и др.), создании имитационных моделей с учетом влияния различных факторов, использовании клеточных автоматов [*Janszen, Degenaars*, 1998; *Носонов*, 2014 (а; б); *Тесленок и др*., 2014; *Шмидт, Лободина*, 2015 и др.], оригинальных методов математического описания, основанных на различных S-образных кривых (наиболее типична логистическая функция (Р. Ленц, Х. Айзенсон, Л. Гартман и др.), модифицированная экспоненциальная, нормального и логнормального распределения, кривые Гомпертца, Флойда, Шарифа-Кабира и др.)[1].

Ранее проведенные нами исследования [*Тесленок и др*., 2014; *Тесленок, Тесленок*, 2019] показывают, что для решения указанных выше проблем эффективны разработка, создание и практическое применение математического и геоинформационно-картографического моделирования инновационных циклов, процессов диффузии и пространственно-временной динамики инноваций с использованием новых методов математического и геоинформационного моделирования на базе геоинформационных систем и ГИС-технологий [*Тикунов*, 1997; *Тикунов, Цапук*, 1999; *Берлянт*, 2001; *Носонов, Нарежный*, 2002; *Носонов*, 2014 (б); *Тесленок и др*., 2014; 2019].

Они позволяют решать комплекс задач, среди которых, в первую очередь, необходимо отметить выявление особенностей пространственно-временной дифференциации субъектов Российской Федерации по инновационным функциям и инновационному потенциалу сельскохозяйственного производства и их соответствующей динамики, а также типологию регионов по степени восприимчивости к диффузии инноваций [*Носонов*, 2014 (а; б); *Тесленок и др*., 2014]. В этом случае традиционные действия, реализуемые при работе с базами данных (далее БД) (прежде всего поисковые запросы и статистический анализ информации) комплексируются с преимуществами оверлейных операций, полноценной графической визуализации и пространственно-временного анализа полученных результатов [*Тикунов, Цапук*, 1999; *Носонов*, 2014 (а; б); *Тесленок и др*., 2014; 2019; *Тесленок, Тесленок*, 2019].

Преимущества такого подхода в исследовании диффузии инноваций в сельском хозяйстве заключаются в дополнении используемых традиционных и математических методов геоинформационно-картографическим моделированием. В итоге появляется возможность создания серии цифровых, электронных и компьютерных карт, отражающих не только процессы сельскохозяйственного освоения и преобразования исходной ландшафтной структуры территории, формирования, становления и развития сельскохозяйственных территориальных систем различных масштабных и иерархических уровней на разных исторических этапах (сельскохозяйственного ландшафтообразования или агроландшафтогенеза), но и пространственно-временных особенностей и закономерностей их продуктивности на разных этапах их инновационного развития.

При этом графически визуализируются и получают всестороннюю пространственно-временную характеристику процессы диффузии инноваций[2] — их чётко выраженное

[1] http://www.ecoross.ru/files/books2017/Baburin,%202017.pdf
[2] https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/231

перемещение от инновационных ядер и субъядер на инновационную субпериферию и периферию, из регионов-доноров в регионы-реципиенты; осуществляется типологическая классификация субъектов Российской Федерации по степени восприимчивости к инновациям и возможностям их реализации, по инновационным функциям и инновационному потенциалу сельскохозяйственного производства [*Носонов*, 2014 (а; б); *Тесленок и др*., 2014]. При этом появляется возможность прогнозирования процессов диффузии инноваций как в отдельных регионах, так и в стране в целом, в также научного обоснования оптимальных вариантов аграрной управленческой политики, решения комплекса задач повышения эффективности управления природно-социально-производственными системами и обеспечения устойчивости их функционирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель исследования заключалась в обеспечении возможности пространственно-временного анализа диффузии инноваций в сельском хозяйстве субъектов Российской Федерации с использованием возможностей ГИС и геоинформационных технологий и выявление на этой основе региональных геопространственных и хронологических особенностей этих процессов.

В основу работ были положены исследование и анализ особенностей теории и методики разработки и создания специализированных ГИС, геоинформационного картографирования и моделирования разнообразных пространственных объектов, явлений и процессов, специфики их применения в различных отраслях географической науки. Эти аспекты детально представлены в исследованиях, включающих, в том числе, инновационные разработки в области отраслевого тематического и комплексного системного картографирования на базе современных методологических и научно-технических достижений, а также результатов их практического использования [*Тикунов*, 1997; *Тикунов, Цапук*, 1999; *Берлянт*, 2001; *Носонов*, *Нарежный*, 2002; *Тесленок и др*., 2014; 2019 и др.].

Известность получили работы в области объектно-ориентированного анализа и моделирования сложных динамических систем (Г. Буч, Ю.Б. Колесов и др.); использования ГИС в изучении почв и земельных ресурсов, создания почвенных БД и ГИС-анализа структуры землепользования и моделирования её оптимальности (К.С. Тесленок, P.A Burrough, J. Daroussin, M. Jamagne, D. King, C. Le Bas, R.A. McDonnell, M. Ngongo, B. Nicoullaud и др.); моделирования ГИС-сценариев изменения потенциальной продуктивности земель (Е.В. Александрова, Л.Г. Колесникова, Е.Ю. Прудникова, И.Ю. Савин, В.В. Сизов и др.); оптимизационного геоинформационного картографирования (И.В. Бычков, А.Д. Китов, С.И. Мясникова, А.К. Черкашин и др.), выявления по результатам геоморфометрического анализа цифровых моделей рельефа потенциальных мест развития процессов водной и ветровой эрозии, заболачивания, подтопления, суффозии и др. (А.А. Глотов, К.С. Тесленок, С.А. Тесленок и др.); геоинформационного моделирования и картографирования природно-ресурсного потенциала интенсивно развивающихся территорий и др. (В.С. Грузинов, И.Г. Журкин, Л.Н. Чабан и др.).

Если же говорить об инновационном развитии сельскохозяйственного производства, то подавляющая часть работ отечественных учёных в этой области направлена на решение узких региональных проблем и задач аграрной политики. При этом вопросы разработки, создания и практического применения геоинформационно-картографического моделирования инновационных циклов, диффузии и пространственно-временной динамики инноваций, выявления региональной территориальной дифференциации и типологии инновационных функций и инновационного потенциала сельскохозяйственного производства, пространственного анализа региональной неоднородности восприимчивости к диффузии инноваций и т.п. остаются исследованными в недостаточной степени [*Носонов, Нарежный*, 2002; *Носонов*, 2014 (а; б); *Тесленок и др*., 2014].

Главная методическая проблема здесь заключается в отсутствии

специализированной информации по инновационному развитию соответствующей отрасли экономики. А информационная сложность, заключающаяся в необходимости сбора, хранения, обработки и визуализации существенных объёмов пространственно-координированных географических данных, определяет соответствующие роль и значение разработки, внедрения и широкого практического применения специализированных ГИС и геоинформационных технологий, геоинформационного моделирования и картографирования [*Тикунов*, 1997; *Тикунов, Цапук*, 1999; *Тесленок и др*., 2014; 2019].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для осуществления геоинформационнно-картографического моделирования и пространственно-временного геоинформационного анализа диффузии инноваций [*Тесленок и др*., 2014] на начальном этапе исследований были выполнены сбор, первичная обработка специализированной статистической информации и формирование на этой основе атрибутивных и картографических БД специализированной ГИС «Инновации в субъектах Российской Федерации» [*Тесленок и др*., 2014].

Были спроектированы различные варианты и разработана структура БД на основе целевого программного обеспечения ГИС (ArcView GIS, ArcGIS, MapInfo Professional), использованных для геоинформационного картографирования и моделирования различных аспектов инновационного развития сельского хозяйства и выявления региональных пространственно-временных особенностей диффузии инноваций. Суть и специфика исходных статистических данных обусловили количество, общий перечень, параметры и названия полей атрибутивных таблиц БД проектируемой специализированной ГИС.

Затем для инновационных показателей, имеющих наиболее длинные временные ряды, с использованием методов геоинформационного картографирования и моделирования были получены и проанализированы карты и геоинформационно-картографические модели разной степени сложности, отражающие различные аспекты регионального инновационного развития Российской Федерации и происходящие в них инновационные процессы [*Носонов,* 2014 (а); *Тесленок и др*., 2014].

Графическая визуализация информации БД ГИС с использованием соответствующих программных средств, как правило, производится двумя наиболее распространенными способами: в виде электронной карты на видеоэкране монитора компьютера, либо компьютерной карты с печатающего устройства. В связи с этим было подготовлено несколько вариантов картографической визуализации на основе различных картографических изображений и получена серия соответствующих электронных и компьютерных карт. В частности, была осуществлена графическая визуализация ряда показателей инновационного развития сельскохозяйственной отрасли регионов России с использованием способов изолиний (рис. 1), картодиаграмм (рис. 2), картограмм (рис. 3, 4).

На данном этапе исследований наиболее приемлемые результаты были получены при осуществлении классификации регионов и последующем визуальном представлении итогов этого процесса с использованием способа картограмм (рис. 3, 4). Традиционно он понимается как статистический способ картографического изображения средней интенсивности того или иного показателя в пределах отдельных территорий.

Как правило, способ картограмм используется для показа относительных показателей (рис. 3). Главными достоинствами способа картограмм применительно к задачам нашего исследования является лучшее восприятие динамического аспекта отраженной на них информации, например, при создании картографических анимаций.

Программные средства использованных вариантов программного обеспечения ГИС позволяют автоматически осуществлять определение интервалов шкалы распределения картографируемых объектов рядом способов: естественных границ, равных интервалов, квантилей и стандартных отклонений [*Тесленок и др*., 2014].

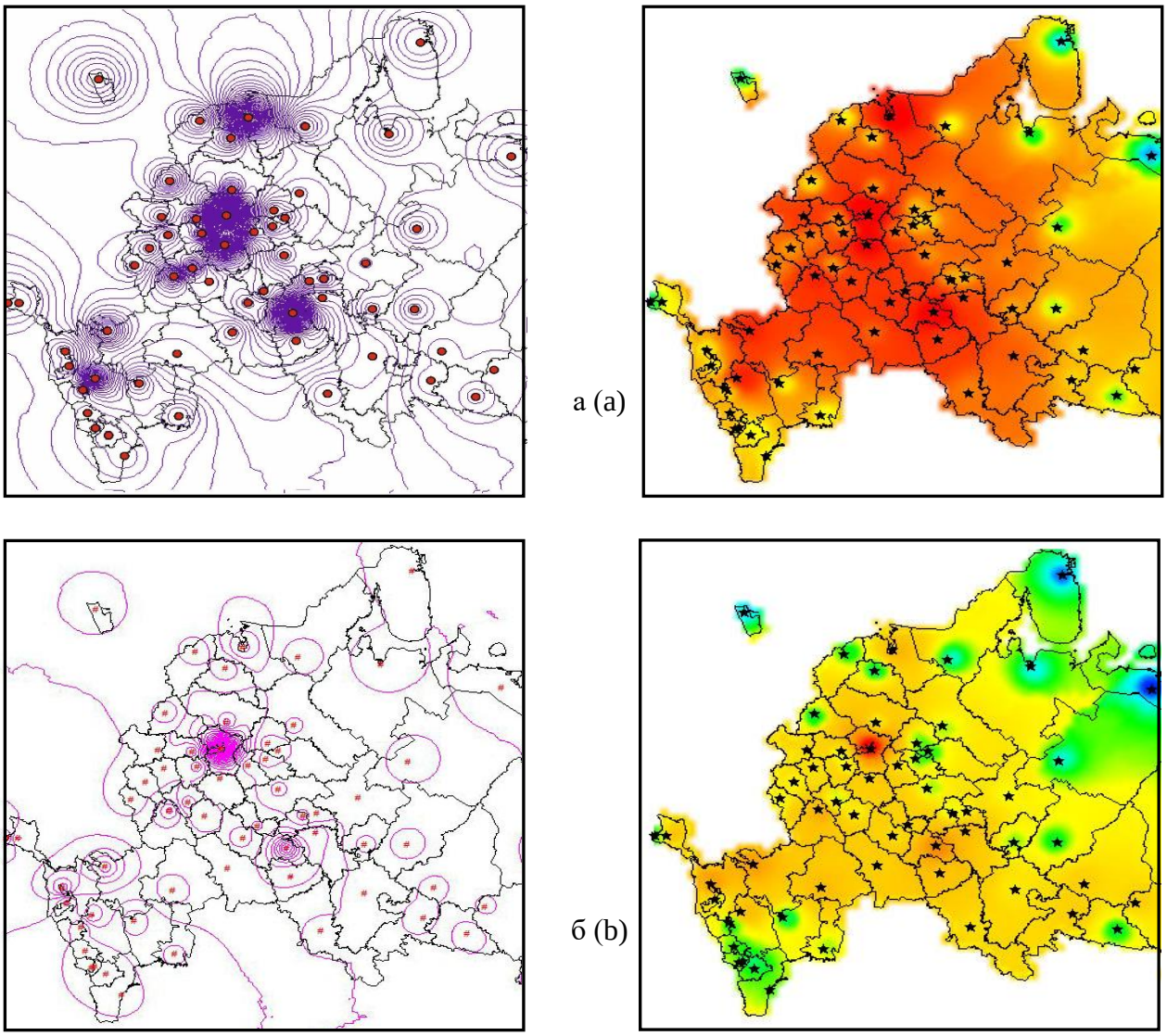
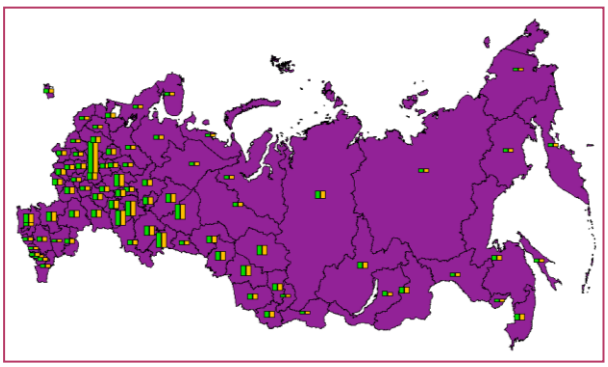


Рис. 1. Пример графической визуализации информации БД ГИС по количеству: а — цитирований; б — патентов в регионах Российской Федерации в сфере сельскохозяйственного производства (способ изолиний)
Fig. 1. An example of graphic visualization of GIS database information by the number: a — of citations; b — of patents in the regions of the Russian Federation in the field of agricultural production (method of isolines)

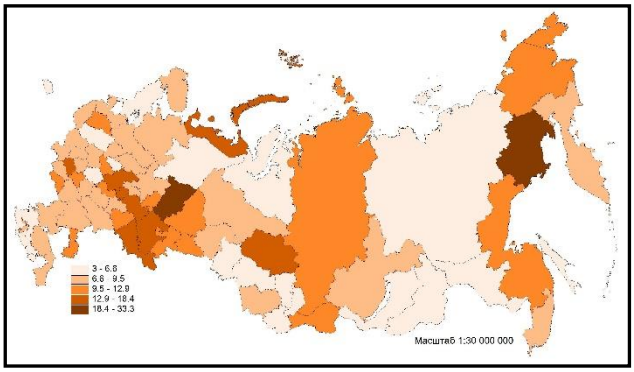
Экспертные оценки показали, что наиболее приемлемые результаты дало использование метода равных интервалов (равнопромежуточного). При этом все значения атрибутов общего диапазона временного ряда анализируемого показателя были распределены на три или пять равных по размеру групп (поддиапазонов), исходя из величины показателей. В случае трёх поддиапазонов — это низкий, средний и высокий уровни; пяти — низкий, ниже среднего, средний, выше среднего и высокий (рис. 3, 4).

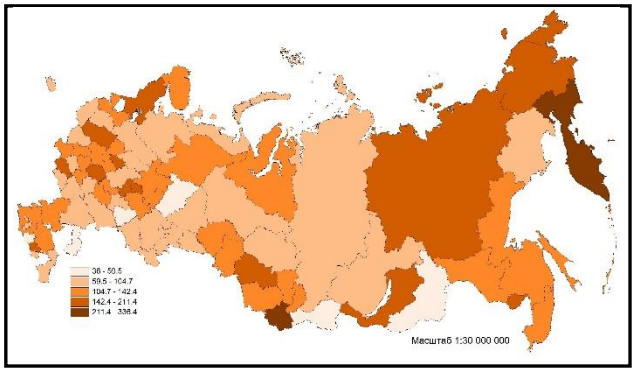


а (a)

б (b)

Рис. 2. Пример графической визуализации информации БД ГИС по количеству: а — поданных патентных заявок; б — выданных патентов в регионах Российской Федерации в сфере сельскохозяйственного производства (способ картодиаграмм)
Fig. 2. An example of graphic visualization of GIS database information by the number: a — of filed patent applications; b – of issued patents in the regions of the Russian Federation in the field of agricultural production (method of cartodiagrams)

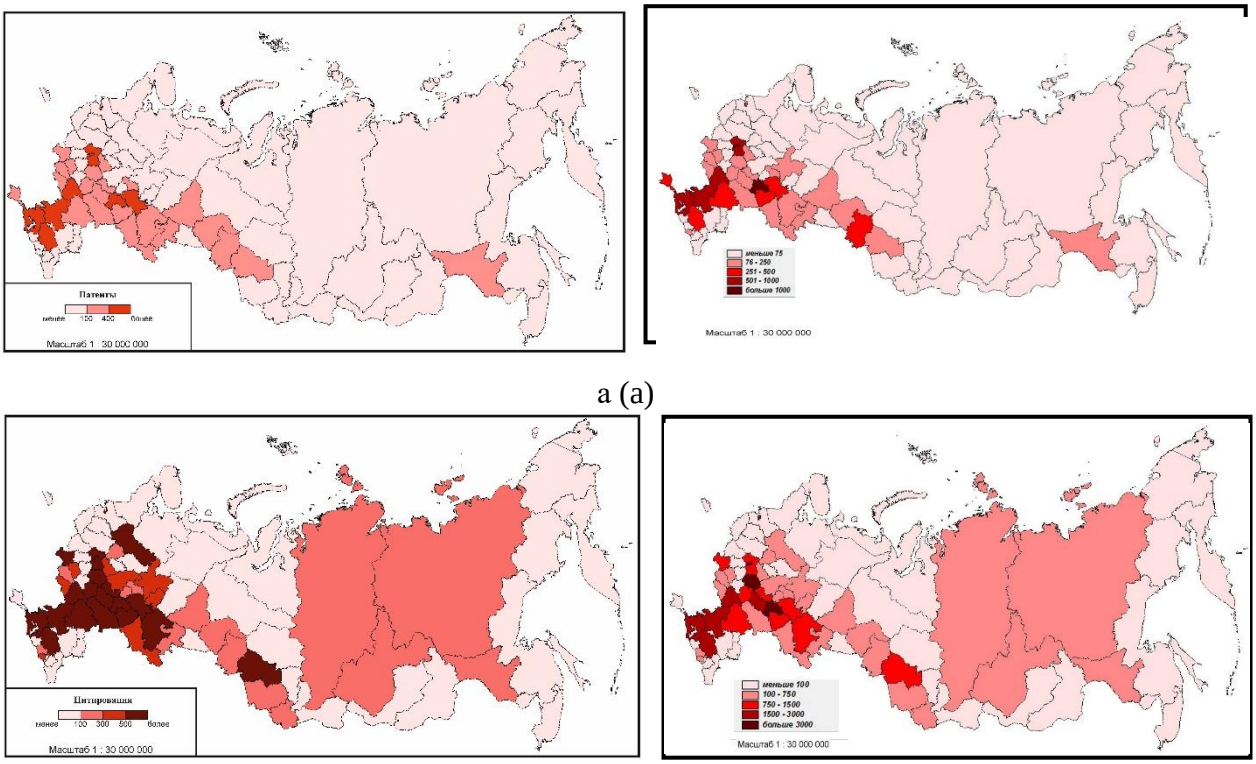




а (a)

б (b)

Рис. 3. Пример графической визуализации информации БД ГИС по показателям: а — инновационной активности организаций (удельному весу организаций, осуществляющих технологические, организационные, маркетинговые инновации); б — изменению инновационной активностив регионах Российской Федерации в сфере сельскохозяйственного производства (способ картограмм)
Fig. 3. An example of graphic visualization of GIS database information by the indicators: a — of the innovation activity of organizations (the proportion of organizations engaged in technological, organizational, marketing innovation); b — of the change in innovation activity in the regions of the Russian Federation in the field of agricultural production (method of cartograms)



а (a)

б (b)

Рис. 4. Пример графической визуализации информации БД ГИС по количеству: а — цитирований; б — патентов регионов Российской Федерации в сфере сельскохозяйственного производства (способ картограмм) для создания картографических анимаций

Fig. 4. Fig. 1. An example of graphic visualization of GIS database information by the number: a — of citations; b — of patents of the regions of the Russian Federation in the field of agricultural production (method of cartograms) for creating cartographic animations

В шкалах легенд получаемых карт последовательность цветов (от начального к конечному) определялась их порядком в непрерывном спектре (красный, оранжевый, желтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый) [*Тесленок и др*., 2014]. Для улучшения визуального восприятия, повышения наглядности и удобства в процессе анализа результатов классификации в ряде случаев применены цвета интервалов значений каждого класса и шкалы изменения цвета (цветовые линейки) с переходами от тёмно-зелёного (высокий уровень показателя), через жёлтый (средний) до тёмно-красного (низкий).

Результатом картографической визуализации информации БД ГИС стала серия базовых аналитических и результирующих карт, отражающих суть и состояние различных показателей, аспектов и собственно изменения инновационной деятельности в пространстве и времени, инновационной активности и инновационного развития аграрной отрасли в субъектах Российской Федерации.

Несмотря на то что картограммы нельзя использовать для показа абсолютных показателей, они часто привлекаются для иллюстрации изменений во времени (в частности, и названных показателей), что и было использовано нами для создания катгафичесих анимаций, наглядно иллюстрирующих различные аспекты и пространственно-временные особенности диффузии инноваций.

Результаты геоинформационного картографирования также были представлены в виде серии анимированных карт и картографических анимаций [*Берлянт*, 2001], отражающих как территориальное распространение инноваций в географическом пространстве

посредством их диффузии, так и ход этого процесса. При картографическом анимировании использовались возможности геоинформационных систем ArcView, MapInfo, ArcGIS, пакета программного обеспечения для работы с графической информацией CorelDraw, стандартной программы операционной системы Windows — Киностудия Windows Lives и специализированных программ Easy GIF Animator и UnFREEz [*Тесленок, Тесленок*, 2019].

При этом были применены и самый распространённый метод создания динамических изображений — путём смены последовательных разновременных карт-кадров, и одна из наиболее распространенных и очень трудоёмких технологий — классическая (традиционная), суть которой заключается в поочередной смене созданных отдельно карт-кадров [*Берлянт*, 2001].

Проведённый средствами ГИС пространственный геоинформационно-картографический анализ географического распределения инноваций, используемых в сельскохозяйственном производстве России, а также направленности процессов их диффузии выявляет ряд объективных закономерностей их распространения.

Главная из них заключается в том, что происходит перемещение инноваций в сельском хозяйстве страны в пространственно-временном континууме в направлении от регионов-доноров к регионам-реципиентам, от инновационных ядер и субъядер на инновационную субпериферию и периферию. Географически это прежде всего в направлении от крупнейших городов и одновременно ведущих научно-технических центров (Санкт-Петербурга, Москвы, Казани, Уфы, Екатеринбурга, Саратова, Барнаула, Новосибирска, и др.), а также районов интенсивного земледелия (Ленинградская, Московская, Воронежская, Ростовская области, Краснодарский край Республики Татарстан и Башкортостан) в направлении преимущественно восточных и северных регионов Европейской части России, Сибири и Дальнего Востока.

Тем самым результатами данного исследования (так же как и анализом соответствующих научных публикаций[1,2] [*Носонов*, 2014 (а; б); *Шмидт, Лободина*, 2015 и др.]) подтверждается полное соответствие общего уровня инновационного развития региона степени развития инноваций в его сельском хозяйстве. Высокоэффективное сельское хозяйство Московской области, Краснодарского края, Республики Татарстан и ряда других регионов страны во многом определяется соответствующим уровнем их инновационного развития.

ВЫВОДЫ

Применение методов геоинформационного картографирования позволило выполнить исследование, результатом которого стали:

- формирование картографических и атрибутивных БД основных показателей инновационного развития регионов России;
- построение и анализ разной степени сложности карт и геоинформационно-картографических моделей территориальных инновационных систем сельского хозяйства регионального уровня, а также происходящих в них процессов распространения инноваций.

Полученные карты и геоинформационно-картографические модели являются базой разработки социально-экономического прогноза инновационного развития региональных сельскохозяйственных систем и различных вариантов их функционирования и перспективного развития [*Носонов*, 2014 (а)]. На их основе ведутся работы по созданию электронного ГИС-атласа «Инновационное развитие регионов России».

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 19-05-00066.

---

[1] http://www.ecoross.ru/files/books2017/Baburin,%202017.pdf
[2] https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/231

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 19-05-00066.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Берлянт А.М.* Виртуальные геоизображения. М.: Научный мир, 2001. 56 с.
2. Большая российская энциклопедия. М.: Большая российская энциклопедия, 2004–2017.
3. Культурология. XX век: Энциклопедия. СПб.: Университетская книга, 1998.
4. *Носонов А.М.* Моделирование экономических и инновационных циклов в сельском хозяйстве. Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 2014 (а). № 1 (238). С. 24–34.
5. *Носонов А.М.* Природные и социально-экономические факторы инновационного развития сельского хозяйства. Известия Смоленского государственного университета, 2014 (б). № 2 (26). С. 306–316.
6. *Носонов А.М., Нарежный В.П.* Методология ГИС-программы поддержки принятия решений «Управление сельским хозяйством Республики Мордовия». Интеркарто. ИнтерГИС. ГИС для устойчивого развития территорий. Спб., 2002. Т. 8. С. 146–150.
7. *Ратцель Ф.* Народоведение. СПб.: Тип. т-ва «Просвещение», 1903.
8. Руководство Осло. Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям. М., 2010. 107 с.
9. *Тесленок С. А., Манухов В.Ф., Тесленок К.С.* Цифровое моделирование рельефа Республики Мордовия. Геодезия и картография, 2019. Т. 80. № 7. С. 30–38. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-949-7-30-38.
10. *Тесленок С.А., Носонов А.М., Тесленок К.С.* Геоинформационное моделирование диффузии инноваций. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение. Белгород, 2014. Т. 20. С. 159−169. DOI: https://doi.org/10.24057/2414-9179-2014-1-20-159-169.
11. *Тесленок С.А., Тесленок К.С.* Программное обеспечение для картографического анимирования диффузии инноваций. Трёшниковские чтения – 2019: Современная географическая картина мира и технологии географического образования: мат-лы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Ульяновск, 2019. С. 210–211.
12. *Тикунов В.С.* Моделирование в картографии: учебник. М.: Изд-во Московского университета, 1997. 405 с.
13. *Тикунов В.С., Цапук Д.А.* Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение. М., Смоленск: Изд-во СГУ, 1999. 176 с.
14. *Шмидт Ю.Д., Лободина О.Н.* О некоторых подходах к моделированию пространственной диффузии инноваций. Пространственная экономика, 2015. № 2. С. 103–115. DOI: 10.14530/se.2015.2.103-115.
15. *Базилевич В.Д.* Неортодаксальна теорія Й.А. Шумпетера. Історія економічних учень: У 2 ч. Київ: Знання, 2006. Т. 2. С. 312–324.
16. *Hägerstrand T.* Innovation Diffusion as a Spatial Process. Chicago: University of Chicago Press, 1967. 334 p.
17. *Janszen F.H.A., Degenaars G.H.* A dynamic analysis of the relations between the structure and the process of national system of innovation using computer simulation: The case of the Dutch biotechnological sector. Research Policy, 1998. V. 27. No 1. P. 37–54. DOI: 10.1016/S0048-7333(98)00023-7.
18. *Rogers E.M.* Diffusion of innovations. New York: The Free Press, 1962. 367 p.
19. *Schumpeter J.A.* Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Laihzig: Verlag von Duncker & Humblot, 1911. 548 p.

REFERENCES

1. *Bazilevich V.D.* The unorthodox theory of J.A. Schumpeter in Institute of Economic Studies: in 2

vol. Kiev: Knowledge, 2006. V. 2. P. 312–324 (in Ukrainian).
2. *Berlyant A.M.* Virtual geoimages. Moscow: Scientific World, 2001. 56 p. (in Russian).
3. Culturology. XX century: Encyclopedia. St. Petersburg: University Book, 1998 (in Russian).
4. *Hägerstrand T.* Innovation Diffusion as a Spatial Process. Chicago: University of Chicago Press, 1967. 333 p.
5. *Janszen F.H.A., Degenaars G.H.* A dynamic analysis of the relations between the structure and the process of national system of innovation using computer simulation: The case of the Dutch biotechnological sector. Research Policy, 1998. V. 27. No 1. P. 37–54. DOI: 10.1016/S0048-7333(98)00023-7.
6. *Nosonov A.M.* Modeling of economic and innovation cycles in agriculture. National interests: priorities and security, 2014 (a). No 1 (238). P. 24–34 (in Russian).
7. *Nosonov A.M.* Natural and socio-economic factors of innovative agricultural development. News of Smolensk State University, 2014 (b). No 2 (26). P. 306–316 (in Russian).
8. *Nosonov A.M., Narezhny V.P.* Methodology of the GIS program for decision-making support "Agricultural management of the Republic of Mordovia". InterCarto. InterGIS. GIS for sustainable development of territories. St. Petersburg, 2002. V. 8. P. 146−150 (in Russian).
9. Oslo Guide. Recommendations for collecting and analyzing data on innovation. Moscow, 2010. 107 p. (in Russian).
10. *Ratzel F.* Ethnography. St. Petersburg, Printing House of the Partnership "Enlightenment", 1903. (in Russian).
11. *Rogers E.M.* Diffusion of innovations. New York: Free Press, 1962. 376 p.
12. *Schumpeter J.A.* Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Laipzig: Verlag von Duncker & Humblot, 1911. 548 p. (in German).
13. *Shmidt Yu.D., Lobodina O.N.* About some approaches to modeling the spatial diffusion of innovations. Spatial Economics, 2015. No 2. P. 103–115. DOI: 10.14530/se.2015.2.103-115 (in Russian).
14. *Teslenok S.A., Manukhov V.F., Teslenok K.S.* Digital elevation modeling of the Republic of Mordovia. Geodesy and Cartography, 2019. V. 80. No 7. P. 31−38. DOI: 10.22389 / 0016-7126-2019-949-7-31-38 (in Russian).
15. *Teslenok S.A., Nosonov A.M., Teslenok K.S.* Geoinformation modeling of diffusion of innovations. InterCarto. InterGIS. Sustainable development of territories: Cartographic and geoinformation support. Belgorod, 2014. V. 20. P. 159−169. DOI: https://doi.org/10.24057/2414-9179-2014-1-20-159-169 (in Russian).
16. *Teslenok S.A., Teslenok K.S.* Software for cartographic animation of diffusion of innovation. Treshnikov Readings-2019: Modern geographical picture of the world and technology of geographical education: materials of the all-Russian scientific and practical conference with International participation. Ul'yanovsk, 2019. P. 210–211 (in Russian).
17. The Great Russian Encyclopedia. Moscow: Great Russian Encyclopedia, 2004−2017 (in Russian).
18. *Tikunov V.S.* Modeling in cartography: a textbook. Moscow: Publishing House "University", 1997. 405 p. (in Russian).
19. *Tikunov V.S., Tsapuk D.A.* Sustainable development of territories: cartographic and geographic information support. Moscow, Smolensk, 1999. 176 p. (in Russian).

УДК: 528.8:631.559 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-159-169**

А.С. Степанов[1], Т.А. Асеева[2], К.Н. Дубровин[3]

ПОСТРОЕНИЕ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

АННОТАЦИЯ

Урожайность сельскохозяйственных культур находится в строгой зависимости от природно-климатических условий региона выращивания, при этом специфичность погодных условий южной части Дальнего Востока обусловливает необходимость анализа большого числа факторов при построении прогнозной регрессионной модели. В статье на примере Черниговского района Приморского края представлены регрессионные модели для оценки среднерайонной урожайности основных сельскохозяйственных культур территории: сои, пшеницы яровой, ячменя и овса. В период с 2012 по 2018 гг. суммарная посевная площадь этих культур составляла от 78 до 86 % общей площади пахотных земель Черниговского района. В качестве независимых переменных регрессионной модели рассматривалось максимальное значение показателя NDVI 2008–2018 гг. (среди 7-дневных композитов индекса NDVI за календарный год, полученные с использованием данных дистанционного зондирования Земли, вычисленных по маске пахотных земель Черниговского района), а также метеорологические характеристики: гидротермический коэффициент Селянинова, длительность вегетационного периода, температура и влажность верхнего слоя почвы, фотосинтетически активная радиация и радиационный индекс Будыко. Климатические характеристики сельскохозяйственных земель, представляющие данные реанализа и сочетающие наземные и дистанционные наблюдения, были получены с использованием сервиса Вега-Science. Для определения среднерайонной урожайности в исследовании использовались данные о посевных площадях и валовом сборе сельскохозяйственных культур в Черниговском районе в период с 2008 по 2018 гг. Установлено, что наиболее вариабельными являлись среднегодовые значения показателя урожайности ячменя: коэффициент вариации был равен 31,5 %. Соответствующий показатель для остальных культур находился в диапазоне от 16 до 18 %. Проведённый анализ точности полученных моделей показал, что средняя ошибка модели, по данным 2008–2017 гг., составила для ячменя 4,1 %, для овса и пшеницы яровой — 5,1 %, для сои — 5,4 %.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сельскохозяйственные культуры, урожайность, климатические характеристики, регрессионная модель, дистанционное зондирование

---

[1] Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, ул. Клубная, д.13, 680521, с. Восточное, Хабаровский край, Россия; *e–mail*: **stepanxx@mail.ru**

[2] Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, ул. Клубная, д.13, 680521, с. Восточное, Хабаровский край, Россия; *e–mail*: **aseeva59@mail.ru**

[3] Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, ул. Ким Ю Чена, д.65, 680000, г. Хабаровск, Россия; *e–mail:* **nob_keeper_93@mail.ru**

Alexey S. Stepanov[1], **Tatiana A. Aseeva**[2], **Konstantin N. Dubrovin**[3]

BUILDING AND PRECISION ASSESSMENT OF REGRESSION MODELS FOR DETERMINING OF CEREALS' AND LEGUMES' CROP YIELD BASED ON EARTH REMOTE SENSING DATA AND CLIMATIC CHARACTERISTICS

ABSTRACT

Crop yields are strictly dependent from natural and climatic conditions of the growing region, in addition specific weather conditions in the southern part of the Far East necessitates the analysis of a large number of factors when building a predictive regression model. The article presents regression models for assessing the average productivity of the main crops in Chernigovsky district of Primorsky region: soybean, spring wheat, barley and oat. Between 2012 and 2018 the sown area of these crops ranged from 78 to 86 % of the total sown area in the Chernigovsky district. We used the indicators obtained from Earth remote sensing data (the maximum weekly NDVI per year, calculated from the mask of arable land in the Chernigovsky district) and meteorological characteristics (from 2008 to 2018): hydrothermal Selyaninov coefficient, the duration of the growing season, temperature and humidity of the upper soil layer, photosynthetically active radiation and the Budyko radiation index. Climatic characteristics of arable land, representing reanalysis data and combining ground based and remote observations, were obtained using the Vega–Science web–service. Also, we used data about sown area and gross crop in the Chernigovsky region from 2008 to 2018. It was found that average annual oat yield has the biggest coefficient of variation (31.5 %). The corresponding indicator for the remaining crops is in range from 16 to 18 %. The accuracy analysis of the obtained models showed that the average error of the model in period from 2008 to 2017 was 4.1 % for barley, 5.1 % for oat and spring wheat, and 5.4 % for soybean.

KEYWORDS: crops, yield, climatic characteristics, regression model, remote sensing

ВВЕДЕНИЕ

Повышение урожайности зерновых и зернобобовых культур является одним из основных факторов устойчивого развития сельскохозяйственных территорий и основой продовольственной безопасности не только Российской Федерации, но и ряда других стран [*Береза и др.,* 2015, *Mkhabela et al*., 2011]. Урожайность является основным показателем эффективности агропромышленного комплекса, предварительные оценки урожайности используются при планировании и регулировании как внутреннего рынка, так и экспортных операций. Урожайность сельскохозяйственных культур находится в строгой зависимости от природно-климатических условий территории выращивания, и в долговременном периоде средняя урожайность культур в регионе возрастает за счёт проведения селекционных работ [*Асеева и др*., 2016]. Для выявления влияния метеорогических факторов на урожайность чаще всего применяются регрессионные модели, при этом в качестве переменных моделей используются в том числе и интегральные характеристики климата [*Балабайкин и др.,* 2014].

[1] Far Eastern Agriculture Research Institute, Klubnaya str., 13, 680521, Vostochnoe, Khabarovsk Region, Russia; *e–mail*: **stepanxx@mail.ru**
[2] Far Eastern Agriculture Research Institute, Klubnaya str., 13, 680521, Vostochnoe, Khabarovsk Region, Russia; *e–mail*: **aseeva59@mail.ru**
[3] Computer Center of Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Kim U Chena str., 65, 680000, Khabarovsk, Russia; *e–mail*: **nob_keeper_93@mail.ru**

В последнее время для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур всё чаще используются данные, полученные методами дистанционного зондирования Земли из космоса [*Якушев и др.,* 2019, *Onojeghuo et al.,* 2018]. В качестве основного показателя модели обычно применяются максимальные значения вегетационного индекса NDVI для отдельных полей или для территории, рассчитанные по маске конкретной культуры [*Спивак и др*., 2015, *Сторчак и др*., 2018, *de la Casaa et al.,* 2018]. Дополнительно в качестве независимых переменных в регрессионную модель обычно включаются климатические характеристики исследуемых территорий [*Панеш и др.,* 2017, *Gaso et al*., 2019, *Iizumi et al*., 2018]. Для обеспечения возможности раннего прогнозирования на начальных этапах вегетационного периода анализируются закономерности годового хода NDVI [*Буховец и др*., 2018; *Степанов*, 2019; *Balaghi et al.,* 2008]. В тоже время, актуальной с практической точки зрения является задача построения модели и прогнозирования урожайности на уровне отдельного муниципального образования. Специфика решения этой задачи обусловлена в том числе отсутствием для многих территорий структурированных данных по посевным площадям для отдельных видов сельскохозяйственных культур. Особенно актуальна эта проблема для южной части российского Дальнего Востока, являющегося одним из стратегических регионов по производству зернобобовых культур. Таким образом, решение задачи прогнозирования урожайности разных сельхозкультур непосредственно связано с оценкой возможности использования в качестве одного из показателей регрессионной модели индекса NDVI, рассчитанного по маске пахотных земель муниципального образования.

Приморский край, наряду с Амурской областью, является ведущим регионом Дальнего Востока по производству зерновых и зернобобовых культур [*Моисеенко и др*., 2014]. Вместе с тем специфичность и динамическая вариативность погодных условий земледельческих районов Приморья обусловливает необходимость анализа большого числа климатических факторов для включения в регрессионную модель. В целом, построение регрессионной модели с достаточным уровнем точности с использованием характеристик, полученных по данным сервиса Вега-Science [*Толпин и др*., 2014], позволит осуществлять оперативное управление посевной кампанией и вносить коррективы в развитие агропромышленного комплекса на районном и региональном уровне.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований нами рассматривались основные сельскохозяйственные культуры Черниговского района Приморского края: соя, пшеница яровая, ячмень яровой и овёс. Как видно из табл. 1, в 2012 г. доля посевов сои составляла 47,0 % общей площади пахотных земель района, к 2018 г. этот показатель возрос практически до 70 %. За этот же период незначительно выросла площадь посевов овса — с 9,5 % до 9,9 %. В то же время можно отметить существенное снижение удельных долей пшеницы яровой и ячменя — соответственно с 13,1 % до 4,9 % и с 8,5 % до 2,4 % в течение последних шести лет.

Для расчётов средней урожайности сельскохозяйственных культур в Черниговском районе Приморского края были использованы данные Росстата, в частности, посевных площадей и валового сбора сои, пшеницы, ячменя и овса по муниципальным образованиям в период с 2008 по 2018 гг.[1] Данные дистанционного зондирования Земли, а также некоторые метеорологические характеристики Черниговского района были получены с использованием информационной системы Вега-Science.

[1] Росстат. База данных показателей муниципальных образований. Электронный ресурс: https://www.gks.ru (дата обращения 15.11.2019)

Табл. 1. Посевная площадь с/х культур в Черниговском районе Приморского края в 2012 и 2018 гг.
Table 1. Sown area of crops in Chernigovsky district of Primorsky Krai in 2012 and 2018

С/х культура	Посевная площадь с/х культуры, га		Доля культуры в общих посевах, %	
	2012	2018	2012	2018
Соя	11271	18341	47,0	69,6
Пшеница яровая	3137	1301	13,1	4,9
Ячмень яровой	2033	639	8,5	2,4
Овёс	2276	2616	9,5	9,9
Σ по 4–м культурам	18717	22897	78,0	86,9
Общая площадь пахотных земель района, га	23994	26346	100,0	100,0

Основные пахотные земли Черниговского района расположены на севере и западе и относятся к территории Приханкайской равнины (рис. 1). В целом Черниговское муниципальное образование, согласно своему географическому положению и климатическим особенностям, можно назвать «типичным» земледельческим районом юго-западной части Приморского края.

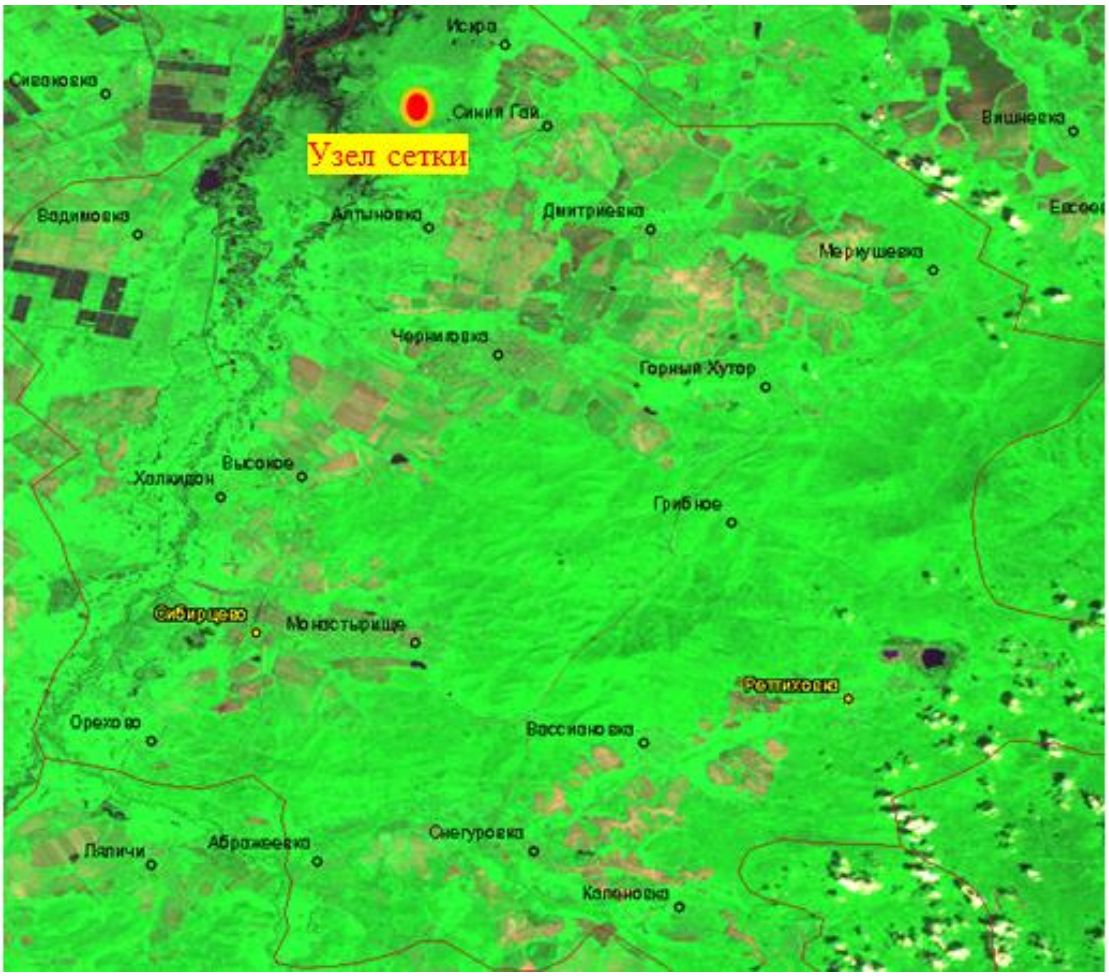


Рис. 1. Пахотные земли Черниговского района Приморского края (2013–2018 гг.)
Fig. 1. Sown areas of Chernigovsky district of Primorsky Krai (2013–2018)

Климатические характеристики Черниговского района, в т.ч. сумма осадков, температура и влажность почвы, а также ряд других показателей, описанных ниже, представляют собой данные реанализа, сочетающие наземные данные и данные дистанционных наблюдений для узла сетки 0,5°×0,5° с координатами 44°30′ с.ш., 132°30′ в.д., расположенного в северной части Черниговского района. Сравнение значений показателей в узле сетки со средними значениями по муниципальному образованию, рассчитанными по интерполированным данным, показало, что относительная разница среднегодовых показателей в период 2008–2018 гг. достигала 10 % (в частности, для численных значений суммы осадков). Преимущественная концентрация сельскохозяйственных земель Черниговского района в Приханкайской равнине (более 80 % от общей площади пахотных земель района) обусловила выбор метеоданных в узле сетки с координатами 44°30′ с.ш., 132°30′ в.д., для построения регрессионной модели в целом по району.

Для количественной оценки фотосинтетически активной растительной биомассы использовались еженедельные значения 7-дневных композитов вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), полученных по данным MODIS. Данный индекс вычисляется по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где *NIR* — отражение в ближней инфракрасной области спектра;
RED — отражение в красной области спектра.

При построении уравнения регрессии были рассмотрены следующие показатели:
y — среднегодовая урожайность с/х культуры в Черниговском районе, ц/га;
x_1 — максимальное значение среди еженедельных композитов вегетационного индекса NDVI по маске пахотных земель Черниговского района;
x_2 — гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), определяемый по формуле:

$$ГТК = \frac{10\sum P_{T>10^\circ}}{\sum T_{>10^\circ}},$$

где $\sum P_{T>10^\circ}$ — сумма осадков (мм) и $\sum T_{>10^\circ}$ — суммарное значение среднесуточных температур приземного слоя воздуха (°С) за период с Т>10°С;
x_3 — индекс биологической эффективности климата (БЭК), вычисляемый при помощи формулы:

$$БЭК = \frac{0{,}01\sum P\sum T_{>10^\circ}}{\sum_{i=1}^{12} 0{,}0018(25+t_i)^2(100-f_i)},$$

где $\sum P$ — суммарное кол-во осадков за год (мм), t_i — среднемесячная температура приземного слоя воздуха, °С, f_i — среднемесячная относительная влажность воздуха, %;
x_4 — продолжительность вегетационного периода в календарном году;
x_5 — индекс сухости Будыко, определяется как:

$$ИС = \frac{0{,}18\sum T_{>10^\circ}}{\sum P};$$

x_6 — суммарная годовая температура почвы (в верхнем слое, 0–10 см), °С;
x_7 — суммарная годовая температура почвы (слой 10–40 см), °С;

x_8 — среднегодовая влажность почвы (в верхнем слое, 0–10 см), %;
x_9 — среднегодовая влажность почвы (слой 10–40 см), %;
x_{10} — радиационный индекс сухости Будыко, находится по формуле:

$$РИСБ = \frac{SF + LF - SR - LR}{L * \Sigma P},$$

где *SF* — суммарная годовая нисходящая коротковолновая радиация (Дж*м^2),

LF — суммарная годовая нисходящая длинноволновая радиация (Дж*м^2),

SR — суммарная годовая восходящая коротковолновая радиация (Дж*м^2),

LR — суммарная годовая восходящая длинноволновая радиация (Дж*м^2),

L — скрытая теплота парообразования воды (2,45 МДж*кг$^{-1}$;

x_{11} — фотосинтетически активная радиация (ГДж*м^2) вычисляется по формуле:

$$ФАР = 0{,}48 \cdot SF \cdot 10^{-9}$$

Многофакторная регрессионная модель может быть представлена в следующем виде:

$$y = b + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 + a_7x_7 + a_8x_8 + a_9x_9 + a_{10}x_{10} + a_{11}x_{11}.$$

В дальнейшем последовательно удалялись взаимно коррелирующие факторы. Для оценки точности модели рассчитывалась MAPE (Mean absolute percentage error), % — средняя абсолютная ошибка модели по данным 2008–2017 гг., выраженная в процентах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для пахотных земель Черниговского района в период с 2008 по 2018 гг. по значениям еженедельных композитов NDVI были определены максимумы для каждого года. На рис. 2 представлено графическое отображение численных значений еженедельных композитов NDVI в 2014–2018 гг. Как видно из рисунка, выраженный максимум приходился на 31–32 календарные недели, что соответствует началу августа. В 2008–2013 гг. максимум NDVI пахотных земель Черниговского района также приходился на 30–32 календарные недели.

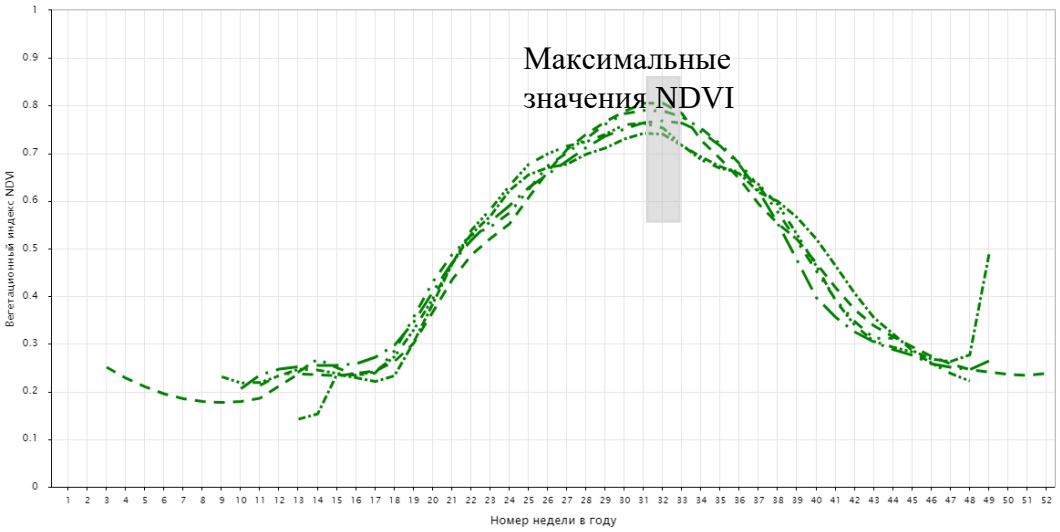


Рис. 2. Динамика NDVI пахотных земель Черниговского района (2014–2018 гг.)
Fig. 2. Dynamic of NDVI of sown areas of Chernigovsky District (2014–2018)

В табл. 2 представлены численные значения коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Как видно из таблицы, некоторые независимые переменные модели находятся в достаточно высокой корреляционной зависимости. Индекс сухости Будыко находится в обратной корреляционной зависимости с ГТК и БЭК, поэтому в качестве интегрального климатического показателя в модели целесообразно оставить только x_2. Численные значения коэффициентов корреляции между показателями x_7 и x_6, а также x_8 и x_9, составляют соответственно 0,82 и 0,85. Таким образом, в регрессионную модель были включены суммарная годовая температура и относительная влажность в верхнем слое почвы и исключены характеристики почвы на глубине 10–40 см.

Как видно из табл. 3, минимальное значение ГТК за период исследования составило 1,31, максимальное — 2,31. ГТК является самым вариабельным показателем, включенным в модель. Средняя продолжительность вегетационного периода в Черниговском районе в 2008–2018 гг. составляла 156 дней, а среднегодовая сумма температур верхнего слоя почвы колебалась в диапазоне от 1381°С до 1960°С. Вариабельность максимума NDVI и ФАР не превышала 6 %.

Табл. 2. Матрица корреляций независимых переменных регрессионной модели
Table 2. Correlation matrix for independent variables of regression model

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
x_1	1,00	0,02	0,03	0,23	–0,25	–0,19	–0,01	–0,37	–0,49	–0,53	–0,29
x_2	0,02	1,00	*0,75*	–0,20	*–0,89*	*–0,75*	*–0,79*	*0,72*	*0,70*	–0,53	–0,15
x_3	0,03	*0,75*	1,00	–0,33	*–0,90*	*–0,93*	*–0,80*	0,65	0,42	*–0,78*	–0,45
x_4	0,23	–0,20	–0,33	1,00	0,25	0,28	0,18	–0,55	–0,46	0,09	*0,81*
x_5	–0,25	*–0,89*	*–0,90*	0,25	1,00	*0,93*	*0,83*	–0,68	–0,50	*0,79*	0,39
x_6	–0,19	*–0,75*	*–0,93*	0,28	*0,93*	1,00	*0,82*	–0,67	–0,45	0,*85*	0,45
x_7	–0,01	*–0,79*	*–0,80*	0,18	*0,83*	*0,82*	1,00	*–0,78*	–0,54	*0,71*	0,23
x_8	–0,37	*0,72*	0,65	–0,55	–0,68	–0,67	*–0,78*	1,00	*0,85*	–0,33	–0,30
x_9	–0,49	*0,70*	0,42	–0,46	–0,50	–0,45	–0,54	*0,85*	1,00	0,02	–0,10
x_{10}	–0,53	–0,53	*–0,78*	0,09	*0,79*	*0,85*	*0,71*	–0,33	0,02	1,00	0,44
x_{11}	–0,29	–0,15	–0,45	*0,81*	0,39	0,45	0,23	–0,30	–0,10	0,44	1,00

Табл. 3. Статистические характеристики независимых переменных регрессионной модели (по данным 2008–2018 гг.)
Table 3. Statistical characteristics of independent variables of regression model (2008–2018)

Статистические характеристики	x_1	x_2	x_4	x_6	x_8	x_{10}	x_{11}
Мин.	0,742	1,31	147	1380,9	24,6	0,88	1,37
Макс.	0,805	2,31	172	1959,5	36,1	1,42	1,63
$X_{ср}$	0,778	1,89	155,8	1559,6	32,3	1,11	1,48
σ	0,021	0,36	7,3	175,5	3,2	0,16	0,08
V, %	2,7	18,8	4,7	11,3	10,0	14,7	5,7

В рассматриваемом периоде коэффициенты вариации урожайности сои, пшеницы и овса составляли соответственно 16,1 %, 17,3 % и 18,0 % (табл. 4). В течение 2008–2018 гг. среднегодовая урожайность ячменя колебалась в пределах 7,0–19,1 %, при этом вариабельность урожайности культуры превышала 30 %.

Табл. 4. Статистические характеристики урожайности сельскохозяйственных культур (по данным 2008–2018 гг.)
Table 4. Statistical characteristics of crops' yield (2008–2018)

Статистические характеристики	Соя	Пшеница яровая	Ячмень яровой	Овёс
Мин.	7,3	8,9	7,0	12,4
Макс.	12,9	17,5	19,1	20,8
$X_{ср}$	10,4	13,4	13,0	15,6
σ	1,7	2,3	4,1	2,8
V, %	16,1	17,3	31,5	18,0

В качестве примера, уравнение множественной регрессии, характеризующее зависимость урожайности сои в Черниговском районе от включенных в модель переменных, построенное по данным 2008–2017 гг., выглядит следующим образом:

$$y = -101{,}0 + 94{,}8x_1 - 0{,}5x_2 - 0{,}79x_4 + 0{,}03x_6 + 0{,}89x_8 - 22{,}9x_{10} + 0{,}75x_{11},$$

коэффициент детерминации равен 0,56.

На рис. 3 представлены фактические значения среднегодовой урожайности сои в Черниговском районе в 2008–2018 гг., модельные значения в период 2007–2017 гг., а также прогнозная урожайность в 2018 г. (11,4 ц/га).

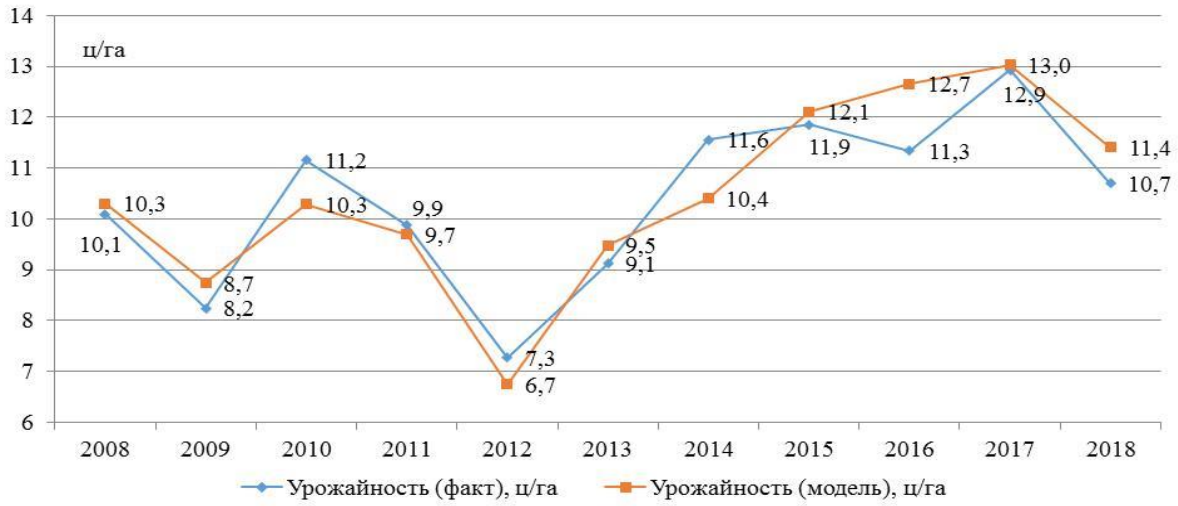


Рис. 3. Фактическая и смоделированная урожайность сои (ц/га) в Черниговском районе в период с 2008 по 2018 гг.
Fig. 3. Fact and model soybean yield (c/ha) in Chernigovsky district, 2008–2018

Проведённая оценка точности регрессионной модели показала, что средняя абсолютная ошибка находилась на уровне 5,4 %, а ошибка прогнозирования урожайности сои в 2018 г. с использованием регрессионной модели составила 6,6 %.

В табл. 5 представлены коэффициенты регрессионных моделей для основных сельскохозяйственных культур Черниговского района. Коэффициенты детерминации для

пшеницы, ячменя и овса были соответственно равны 0,92, 0,98 и 0,94, а MAPE модели — 5,1 %, 4,1 % и 5,1 %.

Табл. 5. Значения коэффициентов регрессионной модели для разных сельскохозяйственных культур Черниговского района (по данным 2008–2017 гг.)
Table 5. Regression model's coefficients values for different crops in Chernigovsky District (2008–2017)

С/х культура	b	a_1	a_2	a_4	a_6	a_8	a_{10}	a_{11}	R^2	MAPE, %
Соя	–101,0	94,8	–0,5	–0,79	0,03	0,89	–22,9	0,75	0,86	5,4
Пшеница яровая	–48,1	77,2	3,8	–0,04	–0,03	–0,3	33,7	0,133	0,92	5,1
Ячмень яровой	–168,8	184,8	9,2	0,01	–0,04	–0,28	50,4	0,231	0,98	4,1
Овёс	5,9	89,9	8,4	–0,36	–0,05	–1,5	43,1	0,343	0,94	5,1

Таким образом, рассчитанная точность предложенной регрессионной модели с использованием данных дистанционного зондирования Земли является вполне удовлетворительной для оценки степени влияния NDVI и совокупности климатических факторов на урожайность сельхозкультур на районном уровне. Методика может быть использована для получения предварительных прогнозных значений урожайности.

ВЫВОДЫ

В ходе исследования была предложена и проведена оценка точности регресионной модели для прогнозирования среднегодовой урожайности сельскохозяйственных культур в период 2008–2018 гг. В качестве независимых переменных в модель были включены максимальные значения еженедельных композитов NDVI по маске пахотных земель территории, ГТК, продолжительность вегетационного периода, среднегодовая сумма температур и влажность почвы, радиационный индекс Будыко, а также фотосинтетически активная радиация. Было установлено, что точность моделей для пшеницы яровой, сои, ячменя ярового и овса находится в диапазоне 4,1–5,4 %. Применение доступных данных веб-сервиса Вега-Science для расчета климатических показателей, включённых в модель, обеспечивает возможность тестирования модели для разных регионов и практического её использования. Представленный подход к прогнозированию урожайности зерновых и зернобобовых культур может быть востребован как агропромышленными предприятиями, так и департаментами сельского хозяйства разного уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Асеева Т.А., Карачева Г.С., Ломакина И.В., Рубан З.С.* Влияние погодных условий на формирование урожая и качество зерна яровой пшеницы в Среднем Приамурье. Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2016. № 2. С. 64–70.
2. *Балабайкин В.Ф., Ёлкин К.В.* Влияние изменения климата на урожайность зерновых в Костанайской области. Аграрный вестник Урала, 2014. № 11. С. 54–59.
3. *Береза О.В., Страшная А.И., Лупян Е.А.* О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2015. Т. 12. № 1. С. 18–30.
4. *Буховец А.Г., Семин Е.А., Костенко Е.И., Яблоновская С.И.* Моделирование динамики вегетационного индекса NDVI озимой пшеницы в условиях ЦФО. Вестник Воронежского

государственного аграрного университета, 2018. Т. 11. № 2. С. 186–199. DOI: 10.17238/issn2071–2243.2018.2.186.
5. *Моисеенко Л.М., Клыков А.Г., Богдан П.М., Тимошинова О.В.* Пути увеличения производства зерна пшеницы в условиях Приморского края. Зерновое хозяйство России, 2014. № 3. С. 41–46.
6. *Панеш А.Х., Цалов Г.В.* Прогнозирование урожайности озимой пшеницы на основе сервисов геоинформационных систем. Вестник АГУ, 2017. № 4. С. 175–180.
7. *Спивак Л.Ф., Витковская И.С., Батырбаева М.Ж., Кауазов А.М.* Анализ результатов прогнозирования урожайности яровой пшеницы на основе временных рядов статистических данных и интегральных индексов вегетации. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: Институт космических исследований Российской академии наук, 2015. Т. 12. № 2. С. 173–182.
8. *Степанов А.С.* Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования Земли (на примере сои). Вычислительные технологии, 2019. Т. 24. № 6. С. 126–134. DOI: 10.25743/ ICT.2019.24.6.015.
9. *Сторчак И.Г., Шестакова Е.О., Ерошенко Ф.В.* Связь урожайности посевов озимой пшеницы с NDVI для отдельных полей. Аграрный вестник Урала, 2018. № 6. С. 64–68. DOI: 10.25930/awm3–sw92.
10. *Толпин В.А., Лупян Е.А., Барталев С.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М.* Возможности анализа состояния сельскохозяйственной растительности с использованием спутникового сервиса «ВЕГА». Оптика атмосферы и океана, 2014. Т. 27. № 7. С. 581–586.
11. *Якушев В.П., Дубенок Н.Н., Лупян Е.А.* Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования Земли для сельского хозяйства. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019. Т. 16. № 3. С. 11–23. DOI: 10.21046/2070–7401–2019–16–3–11–23.
12. *Balaghi R., Tychon B., Eerens H., Jlibene M.* Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2008. V. 10. Iss. 4. P. 438–452.
13. *de la Casaa A., Ovandoa G.G., Bressanini L.* Soybean crop coverage estimation from NDVI images with different spatial resolution to evaluate yield variability in a plot. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2018. V. 146. P. 531–547.
14. *Gaso D.V., Berger A.B., Ciganda V.S.* Predicting wheat grain yield and spatial variability at field scale using a simple regression or a crop model in conjunction with Landsat images. Computers and Electronics in Agriculture, 2019. V. 159. P. 75–83. DOI: 10.1016/j.compag.2019.02.026.
15. *Iizumi T., Shin Y., Kim W.* Global crop yield forecasting using seasonal climate information from a multi–model ensemble. Climate Services, 2018. V. 11. P. 13–23. DOI: 10.1016/j.cliser.2018.06.003.
16. *Mkhabela M.S., Bullock P., Raj S., Wang S., Yang Y.* Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. Agricultural and Forest Meteorology, 2011. V. 151. P. 385–393. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.11.012.
17. *Onojeghuo A.O., Blackburn G.A., Huang J.* Applications of satellite ‘hyper–sensing’ in Chinese agriculture: Challenges and opportunities. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018. V. 64. P. 62–86.

REFERENCES

1. *Aseeva T.A., Karacheva G.S., Lomakina I.V., Ruban Z.S.* The influence of weather conditions on wheat crop and corn quality in the Middle Amur River Region. Herald of the FEB RAS, 2016. No 2. P. 64–70 (in Russian).
2. *Balabaykin V.F., Elkin K.V.* Effects of climate change on grain productivity in Kostanay region. Agrarian Bulletin of the Urals, 2014. No 11. P. 54–59 (in Russian).

3. *Balaghi R., Tychon B., Eerens H., Jlibene M.* Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2008. V. 10. Iss. 4. P. 438–452.
4. *Bereza O.V., Strashnaya A.I., Loupian E.A.* On the possibility to predict the yield of winter wheat in the Middle Volga region on the basis of integration of land and satellite data. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 2015. V. 12. No 1. P. 18–30 (in Russian).
5. *Bukhovets A.G., Semin E.A., Kostenko E.I., Iablonovskaya S.I.* Simulation of the dynamics of the NDVI of winter wheat in the conditions of the Central Federal district. Herald of Voronezh State Agrarian University, 2018. V. 11. No 2. P. 186–199. DOI: 10.17238/issn2071–2243.2018.2.186 (in Russian).
6. *de la Casaa A., Ovandoa G.G., Bressanini L.* Soybean crop coverage estimation from NDVI images with different spatial resolution to evaluate yield variability in a plot. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2018. V. 146. P. 531–547.
7. *Gaso D.V., Berger A.B., Ciganda V.S.* Predicting wheat grain yield and spatial variability at field scale using a simple regression or a crop model in conjunction with Landsat images. Computers and Electronics in Agriculture, 2019. V. 159. P. 75–83. DOI: 10.1016/j.compag.2019.02.026.
8. *Iizumi T., Shin Y., Kim W.* Global crop yield forecasting using seasonal climate information from a multi–model ensemble. Climate Services, 2018. V. 11. P. 13–23. DOI: 10.1016/j.cliser.2018.06.003.
9. *Mkhabela M.S., Bullock P., Raj S., Wang S., Yang Y.* Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. Agricultural and Forest Meteorology, 2011. V. 151. Iss. 3. P. 385–393. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.11.012.
10. *Moiseenko L.M., Klykov A.G., Bogdan P.M.* The ways of increase of wheat production in the conditions of Primorsky Krai. Grain Economy of Russia, 2014. No 3. P. 41–46.
11. *Onojeghuo A.O., Blackburn G.A., Huang J.* Applications of satellite ‘hyper-sensing’ in Chinese agriculture: Challenges and opportunities. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018. V. 64. P. 62–86.
12. *Panesh A.K., Tsalov G.V.* Prediction of winter wheat productivity on the basis of geographic information system services. The Bulletin of the Adyghe State University, 2017. No 4. P. 175–180 (in Russian).
13. *Spivak L.F., Vitkovskaya I.S., Batyrbaeva M.J., Kauazov A.M.* Analysis of spring wheat yield forecasts based on time series of statistical data and integrated vegetation indices. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 2015. V. 12. No 2. P. 173–182 (in Russian).
14. *Stepanov A.S.* Forecasting of crop yields based on Earth remote sensing data (using soybeans as an example). Computational Technologies, 2019. V. 24. No 6. P. 126–134. DOI: 10.25743/ICT.2019.24.6.015 (in Russian).
15. *Storchak I.G., Shestakova E.O., Eroshenko F.V.* Influence of elements of technology on crop productivity and NDVI of wheat sowings. Agrarian Bulletin of the Urals, 2018. No 6. P. 64–68. DOI: 10.25930/awm3–sw92 (in Russian).
16. *Tolpin V.A., Loupian E.A., Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Matveev A.M.* Possibilities of agricultural vegetation condition analysis with the “VEGA” satellite service. Atmospheric and Oceanic Optics, 2014. V. 27. No 7. P. 581–586 (in Russian).
17. *Yakushev V.P., Dubenok N.N., Loupian E.A.* Earth remote sensing technologies for agriculture: application experience and development prospects. Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space, 2019. V. 16. No 3. P. 11–23. DOI: 10.21046/2070–7401–2019–16–3–11–23 (in Russian).

УДК: 551.4.03:528.067.4 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-170-183**

Л.Н. Трофимец[1], Е.А. Паниди[2], Н.Н. Чаадаева[3] , Е.А. Санкова[4], Т.Л. Иванеха[5], А.П. Тяпкина[6], А.И. Петелько[7], А.П. Александрова[8], Г.Г. Ладнова[9]

УСТАНОВЛЕНИЕ ОПОРНОГО ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЦЕЗИЯ-137 НА РАСПАХИВАЕМЫХ СКЛОНАХ В ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ОКИ: ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ, ГИС И АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЫ

АННОТАЦИЯ

В статье обсуждаются вопросы определения опорного значения удельной активности цезия-137 чернобыльского происхождения при применении радиоцезиевого метода к оценке потерь серой лесной почвы в районах распространения микрорельефа палеокриогенного происхождения в перигляциальной области бассейна верхней Оки. Палеокриогенный микрорельеф распознаётся на весенних космических снимках, доступных в Google Earth^{TM}. Обосновывается необходимость выбора опорной площадки для конкретного поля, отличающегося по микрорельефу, экспозиции, характеру обработки почвы. Анализируются авторские данные, полученные в ходе полевых исследований в 2016−2019 гг. на 3-х сельскохозяйственных полях, расположенных на склонах северной и южной экспозиции в бассейне верхней Оки в пределах Орловского района Орловской области. Послойный отбор проб почвы на блочных повышениях в пределах опорных площадок, расположенных на водораздельных поверхностях, гамма-спектрометрический и агрохимический анализы образцов почвы позволили сделать следующие выводы. Первый — опорное значение радиоцезия в пахотном слое следует устанавливать в пределах блочных повышений на водораздельной поверхности склона или на межложбинных микроводоразделах на приводораздельной поверхности (в случае невозможности выбора опорной площадки на водораздельной поверхности). Второй — размеры опорных площадок определяются размерами блочных повышений (размеры блоков на изучаемом участке — 10−20 м). Третий — опорное значение

[1] Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Институт естественных наук и биотехнологии, кафедра географии, экологии и биотехнологии, ул. Комсомольская, д. 95, 302026, Орёл, Россия, *e-mail*: **trofimetc_l_n@mail.ru**

[2] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра картографии и геоинформатики, 10 линия ВО, д. 33, 199178, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: **panidi@ya.ru, e.panidi@spbu.ru**

[3] Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Институт естественных наук и биотехнологии, кафедра географии, экологии и биотехнологии, ул. Комсомольская, д. 95, 302026, Орёл, Россия; *e-mail*: n_chaadaeva**@list.ru**

[4] Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Институт естественных наук и биотехнологии, кафедра географии, экологии и биотехнологии, ул. Комсомольская, д. 95, 302026, Орёл, Россия; *e-mail*: **alena7orel@yandex.ru**

[5] Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии «Орловский», ул. Молодёжная, д. 7, 302502, Орловский район, пос. Стрелецкий, Россия; *e-mail*: **ivaneha.taras@gmail.com**

[6] Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Институт естественных наук и биотехнологии, кафедра зоологии, ул. Комсомольская, д. 95, 302026, Орёл, Россия; *e-mail*: **angelikpt@mail.ru**

[7] Новосильская ЗАГЛОС, улица Семашко, 2а, 303035, Мценск, Россия; *e-mail*: **zaglos@mail.ru**

[8] Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Институт иностранных языков, кафедра английской филологии, ул. Комсомольская, д. 95, 302026, Орёл, Россия; *e-mail*: **angelica.p.alexandrova@yandex.ru**

[9] Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Институт естественных наук и биотехнологии, кафедра географии, экологии и биотехнологии, ул. Комсомольская, д. 95, 302026, Орёл, Россия; *e-mail*: **gladnova@yandex.ru**

радиоцезия следует определять индивидуально для каждого поля, отличающегося по экспозиции и по характеру обработки почвы. На экспериментальном участке опорное значение удельной активности цезия-137 возрастает в следующем порядке: поле, расположенное на приводораздельной поверхности склона северной экспозиции с зерновым севооборотом, с регулярным внесением удобрений (130,5 Бк/кг) — поле, расположенное на водораздельной поверхности эродированного склона южной экспозиции (174,7 Бк/кг) — поле, расположенное на приводораздельной поверхности менее удобренного и менее эродированного склона северной экспозиции (180 Бк/кг).

Результаты исследования показывают, что применение радиоцезиевого метода в перигляциальных областях требует апробации принципиально нового подхода к его реализации: на этапе определения опорного значения радиоцезия необходимо учитывать полигонально-блочное строение водораздельных поверхностей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полигонально-блочный микрорельеф, удельная активность цезия-137, опорные площадки, спутниковые снимки, подвижный фосфор

Lyubov N. Trofimetz[1], Evgeny A. Panidi[2], Natalia N. Chaadaeva[3], Elena A. Sankova[4], Taras L. Ivaneha[5], Angela P. Tyapkina[6], Anatoly I. Petelko[7], Angelica P. Alexandrova[8], Galina G. Ladnova[9]

DETERMING THE REFERENCE VALUE OF CESIUM-137 SPECIFIC ACTIVITY ON ARABLE SLOPES IN THE PERIGLACIAL AREA OF THE UPPER OKA BASIN: APPLICATION OF SATELLITE IMAGES, GIS AND SOIL AGROCHEMICAL INDICATORS

ABSTRACT

The paper deals with the issues of determining the reference value of specific activity of cesium-137 of Chernobyl origin when applying the radiocesium method to assess the loss of gray forest soil in the areas of spread of the microrelief of paleocryogenic origin in the periglacial region of the upper Oka basin. Paleocryogenic microrelief is recognized in spring satellite imagery available on Google EarthTM. The necessity of choosing a reference plot for a specific field that differs in microrelief, exposure, and the nature of soil cultivation is substantiated. The authors analyze the data, which they obtained during the field research in 2016−2019, on three agricultural fields located on the arable slopes of the northern and southern exposure in the upper Oka basin within the Orel district of the Orel Region. Three experimental plots, selected in close proximity to one

[1] Orel State University, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Department of Geography, Ecology and General Biology, Komsomolskaya str., 95, 302026, Orel, Russia; *e-mail*: **trofimetc_l_n@mail.ru**
[2] Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Cartography and Geoinformatics, 10th line VI, 33, 199178, St. Petersburg, Russia; *e-mail*: **panidi@ya.ru, e.panidi@spbu.ru**
[3] Orel State University, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Department of Geography, Ecology and General Biology, Komsomolskaya str., 95, 302026, Orel, Russia; *e-mail*: **n_chaadaeva@list.ru**
[4] Orel State University, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Department of Geography, Ecology and General Biology, Komsomolskaya str., 95, 302026, Orel, Russia; *e-mail*: **alena7orel@yandex.ru**
[5] Center for Chemicalization and Agricultural Radiology "Orlovsky", Molodezhnaya str., 7, 302502, Orel District, village Streletsky, Russia; *e-mail*: **ivaneha.taras@gmail.com**
[6] Orel State University, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Department of Geography, Ecology and General Biology, Komsomolskaya str., 95, 302026, Orel, Russia; *e-mail*: **angelikpt@mail.ru**
[7] Novosilskaya ZAGLOS, Semashko str., 2a, 303035, Mtsensk, Russia; *e-mail*: **zaglos@mail.ru**
[8] Orel State University, Institute of Foreign Languages, Department of English Philology, Komsomolskaya str., 95, 302026, Orel, Russia; *e-mail*: **angelica.p.alexandrova@yandex.ru**
[9] Orel State University, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Department of Geography, Ecology and General Biology, Komsomolskaya str., 95, 302026, Orel, Russia; *e-mail*: **gladnova@yandex.ru**

another, differed both in exposure and in the content of humus, labile phosphorus and radiocaesium in the arable layer. Layer-by-layer soil sampling at block elevations within the reference plots located on watershed surfaces, gamma-spectrometric and agrochemical analyzes of soil samples allowed us to draw a number of systematically important conclusions. The first is that the reference value of radiocaesium in the arable layer should be determined within block elevations on the watershed surface of the slope or on inter-valley micro-water divisions on the water-divide surface (if it is not possible to select a reference plot on the watershed surface). The second is that the dimensions of the reference plots are determined by the size of the block elevations (the sizes of blocks in the area under study are 10−20 m). The third is that the reference value of radiocaesium should be determined individually for each field that differs in exposure and in the nature of the soil treatment. In the experimental plot, the reference value of the specific activity of cesium-137 increases in the following order: a field located on the water-divide surface of the northern exposure slope, with a grain rotation, with regular fertilizing (130.5 Bq / kg) — a field located on the watershed surface of the eroded slope southern exposure (174.7 Bq / kg) — a field located on the water-divide surface of a less fertilized and less eroded slope of the northern exposure (180 Bq / kg).

The results of the study show that the use of the radiocaesium method in periglacial areas requires testing a fundamentally new approach to its implementation: at the stage of determining the reference value of radiocaesium, it is necessary to take into account the polygonal-block structure of the watershed surfaces.

KEYWORDS: polygon-block microrelief, specific activity of cesium-137, reference plots, satellite images, labile phosphorus

ВВЕДЕНИЕ

Распахиваемые склоны рассматриваемой части бассейна верхней Оки расположены в перигляциальной зоне Восточно-Европейской равнины, в области распространения серых лесных тяжёлосуглинистых почв. На территории встречаются элементы полигонально-блочного микрорельефа палеокриогенного происхождения. Особенности микрорельефа следует учитывать на этапе выбора опорных площадок (при применении радиоцезиевого метода для изучения потерь почвы). Необходимость корректного назначения местоположения опорных площадок продиктована тем обстоятельством, что при точечном изучении потерь почвы радиоцезиевым методом ошибки в установлении опорного значения радиоактивности почвы могут приводить к существенному искажению рассчитанных потерь почвы.

Содержание радиоцезия в почве зависит от того, сколько его выносится за пределы участка со смытой почвой и с урожаем высеваемых культур. Особенности микрорельефа обусловливают интенсивность смыва почвы с возвышенных участков и переотложение её в понижениях рельефа. Урожайность напрямую зависит от температурного режима и режима увлажнения почвы в пределах элементов микрорельефа, а также от качества обработки почвы. Поэтому следует считать оправданным не статистический подход к определению опорного значения радиоцезия, а подход, учитывающий как особенности латерального распределения радиоцезия в почве в зависимости от микрорельефа водораздельных поверхностей, обусловленного палеокриогенезом, так и характер обработки почвы в пределах конкретных полей.

На необходимость учёта в земледелии «реликтовой криогенной морфоскульптуры» указывали в своей монографии А.А. Величко, Т.Д. Морозова и др. [1996]. Авторы подчёркивали особую важность учёта реликтовой криогенной морфоскульптуры как при составлении карт эрозионной опасности, так и при проведении «механической планации» на территориях с такими формами рельефа. Обработка почвы на территориях с палеокриогенным

микрорельефом, подчёркивали авторы, может привести к «сдиранию» маломощного гумусового горизонта на блоках с появлением на поверхности горизонта A_2.

О том, что микроповышения на полях глубже пашутся, лучше разделываются бороной, высев семян происходит на бóльшую глубину, и урожай на микроповышениях более высокий, говорили Н.Н. Долгополова [1948], В.М. Фридланд [1976] и др.

В аспекте нашего исследования следует подчеркнуть, что, во-первых, по-разному будут происходить потери почвы на микроповышениях и в микропонижениях, во-вторых, вынос радиоцезия с урожаем из почв микроповышений и микропонижений также будет различным. Поэтому при применении радиоцезиевого метода [*Walling, He,* 1999; *Голосов,* 2003 и др.] особое значение имеет изучение поведения цезия-137 в элементах микрорельефа палеокриогенного происхождения, а также изучение влияния характера обработки почвы на вынос радиоцезия с урожаем.

Для установления эталонного значения радиоизотопа рекомендуется [*Маркелов,* 2004; *Жукова,* 2010 и др.] отбирать несколько проб в пределах опорного участка, рассчитывать эталонный запас радиоизотопа по выборке с небольшим коэффициентом его вариации (0,1−0,2) и рекомендовать к расчёту статистически достоверный запас радиоцезия.

Однако, как было показано выше, в условиях палеокриогенного микрорельефа говорить о статистической однородности можно, видимо, только в отношении выборки, состоящей из точек, расположенных или в пределах одного или нескольких блочных повышений или же в пределах нескольких межблочных понижений. Принятие к расчёту точек пробоотбора в пределах блочных повышений и межблочных понижений нарушает однородность выборки и увеличивает вариабельность запаса радиоцезия. Формировать выборку из точек, расположенных в пределах блочных повышений, предпочтительнее. Блочные повышения — это участки дивергенции, следовательно, завышения значения эталонного запаса радиоцезия случиться не должно. Принятие же к расчёту участков микропонижений может привести или к занижению запаса (в случае попадания точек в тальвеги понижений) или к завышению (в случае попадания точек пробоотбора в зону аккумуляции). При небольшом значении коэффициента вариации выборки, составленной из точек, расположенных на блоках и в понижениях, можно сделать вывод о том, что или микрорельеф участка не обеспечивает значимых различий в латеральном распределении радиоцезия, или при проведении полевых работ точки пробоотбора оказались в пределах однородных форм микрорельефа. Это может наблюдаться, например, если размеры площадки небольшие, а расстояние между точками пробоотбора на опорной площадке меньше, чем расстояние между элементами микрорельефа палеокриогенного происхождения (блочными повышениями и межблочными понижениями). В работе Жуковой [2010] приводится характеристика обследованных автором опорных площадок. Площадь отбора проб почвы, как видно из приведённых автором данных, составляла 50−200 м^2. Опорные площадки были приурочены к плакорам или пологим приводораздельным участкам склона. Лишь на одном участке в бассейне р. Локны (Тульская обл.) была выбрана опорная площадка площадью 3000 м ^{2} с местными западинами. Можно предположить, что именно эта опорная площадка была выбрана автором в пределах участка с проявлениями в рельефе элементов полигонально-блочного микрорельефа. Именно этим, видимо, объясняется большая площадь отбора проб почвы, т.к. размеры блочных повышений достаточно велики, а соблюдение требований к объёму выборки заставили автора работать с большой площадью.

На космическом снимке нашего участка (рис. 1) можно видеть, что для того, чтобы «набрать» 8−10 точек в пределах опорной площадки (как рекомендуется в работе М.В. Маркелова [2004], и при этом достичь низкой вариабельности удельной активности радиоцезия (0,1−0,2) нужно, чтоб на этой площадке «уместились» несколько блочных повышений. Блочные повышения в южном Подмосковье, по данным В.М. Алифанова, Л.А. Гугалинской, А.Ю. Овчинникова [2010], имеют размеры 15−40 м в поперечнике. Если учесть, что размеры блочных повышений и на нашем участке составляют 10−20 и более м (что хорошо

видно на весенних космических снимках (рис.1)), то площадь опорной площадки должна быть не менее 3000–4000 м^2. Коэффициент вариации удельной активности цезия-137 будет зависеть от того, попали точки пробоотбора на генетически однородные элементы микрорельефа (т.е. на блоки) или на разнородные (на блочные повышения и межблочные понижения). В нашем случае из всего набора точек мы отбирали только те, которые располагались в пределах блочных повышений. Площади участков отбора проб почвы для опорных площадок составили 0,038–0,044 км^2.

Помимо исследования влияния микрорельефа на величину опорного значения радиоцезия, авторы статьи изучали влияние экспозиции склона и характера обработки почвы. Авторами установлено, что даже рядом расположенные поля, вследствие различий в урожайности зерновых культур (из-за неодинаковой обработки и неодинакового внесения удобрений), существенно отличаются по запасу радиоцезия в пахотном горизонте (из-за выноса радиоцезия с урожаем). В настоящей статье обсуждается целесообразность учёта всех перечисленных факторов.

Основная цель работы — показать, что в условиях полигонально-блочного строения водораздельных поверхностей и неодинакового характера обработки сельскохозяйственных полей установление эталонного значения активности цезия-137 на опорных площадках (при применении радиоцезиевого метода) должно осуществляться, во-первых, в пределах блочных повышений, а во-вторых, для конкретных полей, отличающихся экспозицией, а также характером обработки почвы и, соответственно, урожайностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основу настоящего исследования составили экспериментальные исследования на распахиваемых склонах южной и северной экспозиции в бассейне верхней Оки (водосборная поверхность р. Сухая Орлица в Орловском районе Орловской области). Особенности пространственной организации полигонально-блочного микрорельефа устанавливались по данным космических снимков и уточнялись визуально в поле. В работе анализировались данные дистанционного зондирования Земли (снимки, доступные в Google Earth^{TM}). Гамма-спектрометрический и агрохимический анализы проб серой лесной почвы осуществлялись в Центре химизации и сельскохозяйственной радиологии «Орловский».

Задача, поставленная в исследовании — при применении радиоцезиевого метода для оценки потерь почвы вследствие эрозии выработать рекомендации по назначению опорных площадок, которые бы наиболее правильно отражали фоновое (эталонное) значение удельной активности (запаса) цезия-137 для исследуемых полей. Иначе говоря, в работе авторы постарались показать целесообразность выбора локальных опорных площадок для каждого из полей, расположенных на склонах разной экспозиции и отличающихся разным характером обработки почвы.

Методы исследования, использованные в работе, следующие. В основу работы положены авторские результаты экспериментального изучения как латерального, так и по глубине распределения удельной активности цезия-137 в серых лесных тяжёлосуглинистых почвах трёх сельскохозяйственных полей (рис. 1). Одно поле (№ 3) расположено на склоне южной экспозиции. Два других (№ 1 и № 2) расположены на склоне северной экспозиции. Отличаются поля № 1 и № 2 уклонами и характером обработки почвы. Поле № 1 практически полностью лежит в пределах водораздельной поверхности с уклонами не более 1°. Поле № 2 расположено на склоне балки, уклоны в его пределах изменяются от 1 до 3°. Поле № 1 отличается от соседнего поля № 2 повышенной продуктивностью почвы. Оценка продуктивности почвы проводилась по результатам агрохимического анализа пахотного слоя.

Удельная активность цезия-137 чернобыльского происхождения в почвенных образцах пахотного слоя на порядок (и более) превышает удельную активность цезия-137 «бомбового» происхождения. По данным Центра «Орловский» максимальное значение активности радиоцезия в пахотном слое до аварии на ЧАЭС (в 1984 г.) составляло 10 Бк/кг. Это

позволяет считать, что, применяя радиоцезиевый метод на полях, на которых удельная активность цезия-137 достигает 100-200 Бк/кг и более, мы «работаем» с цезием-137 чернобыльского происхождения.

Помимо визуальной оценки приуроченности точек пробоотбора к блочным повышениям, по результатам анализа глубины распространения удельной активности цезия-137 осуществлялось уточнение факта «попадания» точки пробоотбора на блочные повышения. Как упоминалось выше, Долгополов, Фриндланд и др. [1974] указывали, что микроповышения на полях глубже пашутся. В связи с этим, авторы считали, что глубина проникновения цезия-137 служит косвенным подтверждением «попадания» точки в зону блочного повышения, если она превышает 20−22 см. Но это предположение, как выяснили авторы статьи, справедливо для поля с высокой продуктивностью почвы, т.е. для поля № 1 на склоне северной экспозиции. При сравнении диаграмм послойного распределения удельной активности цезия-137 более глубокое его проникновение в почву поля № 1 на склоне северной экспозиции служило доказательством «попадания» точки пробоотбора на блочное повышение (рис. 2, табл. 1).

На поле № 1 дополнительно проводился послойный анализ содержания в пахотном горизонте подвижного фосфора. Он принимался за «индикатор» качества обработки почвы. Участок поля, в почве которого содержание P_2O_5 в пахотном горизонте составляло 17−20 мг/100г, авторы считали за участок с достаточно высоким качеством обработки почвы. Кроме того, глубина проникновения подвижного фосфора в указанном диапазоне хорошо «помечает» глубину обработки почвы. Она совпадает, как выяснили авторы, с глубиной распространения удельной активности цезия-137 (равномерно распределившейся в период чернобыльских выпадений по пахотному горизонту). На полях, где в пахотном горизонте было менее 10 мг/100г, очевидно, качество обработки почвы было невысоким.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ послойного распределения радиоцезия по глубине в точках пробоотбора на водораздельной поверхности поля № 1 (рис.1) подтвердили вышеприведённое высказывание о том, что блочные повышения глубже пашутся: удельная активность цезия-137 резко снижалась на глубине 22 см в области понижений, и на глубине более 25 см — в области блочных повышений (рис. 2). Точки для установления опорного значения цезия-137 на блочных повышениях поэтому выбирались в два этапа. На первом этапе анализировались космические снимки. Анализ космических снимков (рис. 1) позволял обнаруживать блочные повышения (светлые пятна округлой формы размером 10−25 и более м). Светлый тон снимка в области блочных повышений свидетельствует о более сухой почве.

На рис. 1 видно, что на водораздельных (приводораздельных) поверхностях имеет место вариабельность удельной активности цезия-137. На поле № 1 диапазон изменения удельной активности цезия-137 (площадь участка отбора проб почвы 0,038 км^2) 99−143,5 Бк/кг; на поле № 2 (площадь участка отбора проб почвы 0,044 км ^{2}) — 174−186,6 и более Бк/кг; на поле № 3 (площадь участка отбора проб почвы 0,044 км ^{2}) — 177,1−171,2 и менее Бк/кг. Видно, что поле № 1 отличается как большей вариабельностью удельной активности цезия-137 в пределах опорной площадки, так и малыми значениями удельной активности цезия-137.

На втором этапе, в полевых условиях, в ходе нивелирования (рис. 3) или в ходе визуального обследования участка, местоположение точек пробообора уточнялось. В выбранных точках послойно (через 2 см) отбирались пробы почвы по глубине и отправлялись на гамма-спектрометрический и агрохимический анализы.

На рис. 3 (слева) показан поперечный профиль приводораздельного участка поля № 3 на склоне южной экспозиции, построенный по результатам нивелирования. Рисунок наглядно показывает, что вариабельность удельной активности цезия-137 на водораздельной поверхности объясняется «попаданием» точек пробоотбора в тальвеги микроложбин

(где радиоактивность почвы снижена вследствие смыва), на микроводоразделы этих ложбин или на участки блочных повышений.

В условиях полигонально-блочного рельефа в бассейне верхней Оки найти опорный участок, лишённый неровностей, крайне сложно, а вероятнее всего вообще невозможно.

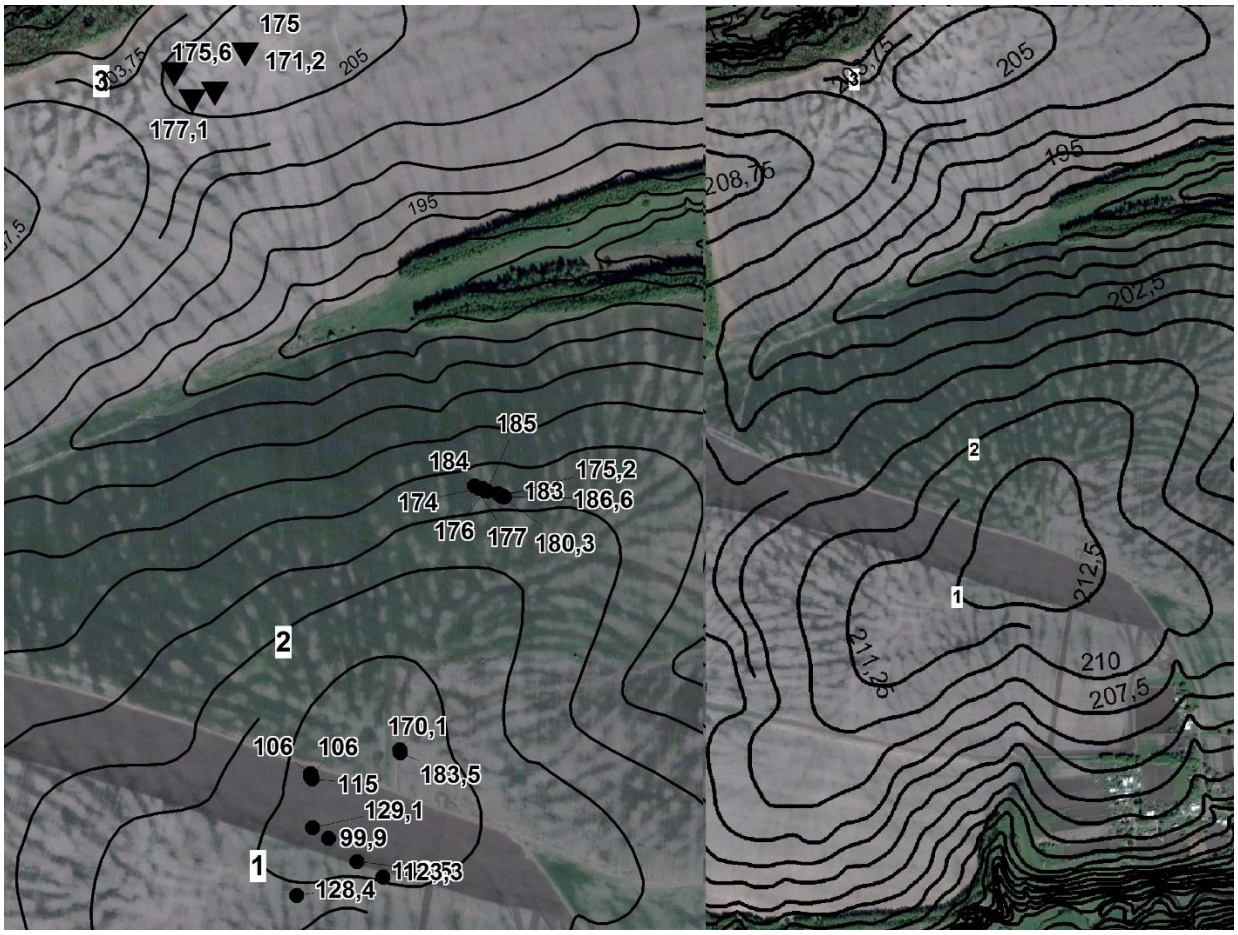


Рис. 1. Фрагменты космического снимка (снимок 16 мая 2003 г.) полей №№ 1, 2, 3. На правом фрагменте космического снимка (в нижней его части, рядом с полем № 1) — деревня Киреевка. Поля № 1 и № 2 разделяет просёлочная дорога. На фрагменте космического снимка (слева) пунсоны — удельная активность цезия-137 в пределах участков, выбранных для назначения опорных площадок. Масштаб 1: 10 000

Fig. 1. Fragments of a satellite image (image May 16, 2003) of fields NoNo 1, 2, 3. On the right fragment of the satellite image (in its lower part, next to field No 1) is the village of Kireyevka. Fields No 1 and No 2 are separated by a country road. In the fragment of the satellite image (left), the markers show cesium-137 specific activity within the areas selected for the designation of reference plots. Scale 1: 10 000

Авторы статьи, как упоминалось выше, считают, что опорное значение радиоактивности почвы в этих условиях следует устанавливать по результатам послойного отбора проб почвы на водораздельных поверхностях, и, по-возможности, для каждого из изучаемых полей. При этом в расчётах опорного значения следует учитывать значения удельной активности почвы только на блочных повышениях (или на водоразделах микроложбин). Блочные повышения характеризуются относительной стабильностью в плане развития эрозии (относительно плоский характер поверхности с небольшими уклонами).

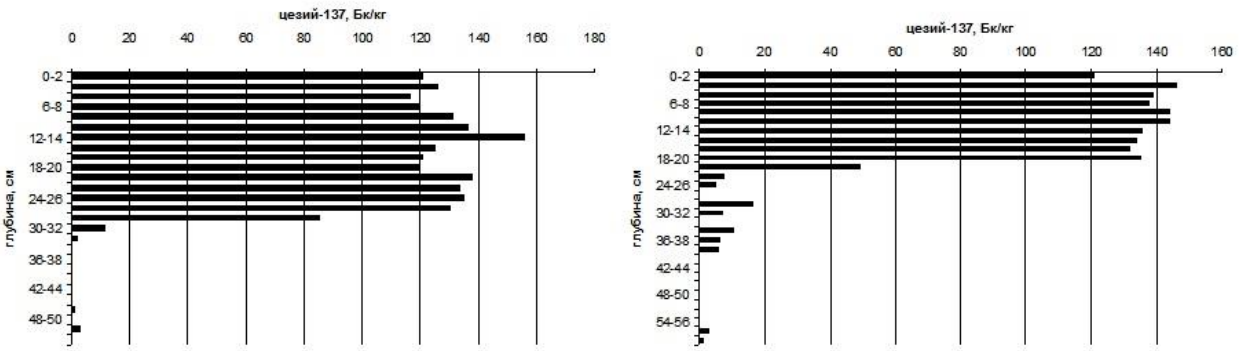


Рис. 2. Слева — диаграмма распределения цезия-137 по глубине в области блочного повышения (точка 219187) на поле № 1 северной экспозиции, справа — в области межблочного понижения на том же поле (точка 219181)
Fig. 2. On the left is the depth distribution diagram of cesium-137 in the area of block increase (point 219187) in field No 1 of the northern exposure, on the right is in the area of interblock decrease in the same field (point 219181)

Согласно рекомендациям [*Маркелов,* 2004], при C_v = 0,11-0,12 достаточно 4-х точек пробоотбора для установления опорного значения радиоактивности. Авторы статьи, как уже упоминалось, считают, что не статистический анализ должен «определять» условия для выбора опорного значения радиоактивности в условиях полигонально-блочного микрорельефа, а учёт генезиса развития рельефа.

Точек желательно отбирать не менее 8-ми. В табл. 1 приведены данные анализа удельной активности цезия-137 в пробах почвы, послойно отобранных по глубине на опорной площадке № 1 (расположенной у дер. Киреевки). Пробы почвы отбирались как в области блочных повышений, так в межблочных понижениях. Для расчёта опорного значения должны быть приняты точки, расположенные в пределах блочных повышений. Обращает на себя внимание тот факт, что глубина проникновения радиоцезия на блочных повышениях больше, чем в межблочных понижениях. Это можно объяснить, как уже упоминалось, тем, что блочные повышения глубже пашутся (глубина пахотного слоя на блочных повышениях составила 26−34 см, в отличие от межблочных понижений, где глубина вспашки оценена в пределах 20–22 см). Глубину, на которой отмечалось резкое снижение удельной активности цезия-137 (примерно в 2 р.), авторы статьи считали относительной границей пахотного слоя (рис. 2). Выбирались те точки, в которых резкое уменьшение удельной активности цезия-137 по глубине (оно свидетельствовало о припахивании из глубины слоя почвы, не загрязнённого радиоцезием) отмечалось на глубине более 25 см (рис. 2, табл. 1). Точки, в которых глубина проникновения радиоцезия составляла 20−22 см и менее (если точка пробоотбора попадала в тальвег понижения со смытыми почвами), были отнесены на поле № 1 к межблочным понижениям (рис. 2). Они к расчёту опорного значения радиоцезия не принимались.

Данные табл. 1 позволяют утверждать, что «недоучёт» запаса радиоцезия глубже пахотного горизонта (на блочных повышениях поля № 1 глубже 26−34 см, в области межблочных понижений — глубже 20 см) оказался незначительным (5,3−13,3 %). Исходя из этого, авторы считают, что отбирать пробы почвы до глубины максимального проникновения радиоцезия (до 50 см и более) нецелесообразно. Можно ограничиться пахотным горизонтом.

На этапе анализа распределения удельной активности цезия-137 по глубине (рис. 2, 4), окончательно выбирались точки, которые наиболее корректно могли идентифицировать опорное значение радиоцезия на блочных повышениях. В ходе анализа авторами также

было отмечено, что глубина пахоты на блочных повышениях на поле № 1 северной экспозиции больше, чем на блочных повышениях поля № 3 склона южной экспозиции (рис. 4). На поле № 3 на склоне южной экспозиции глубина пахоты на блочных повышениях не превышала 20−22 см.

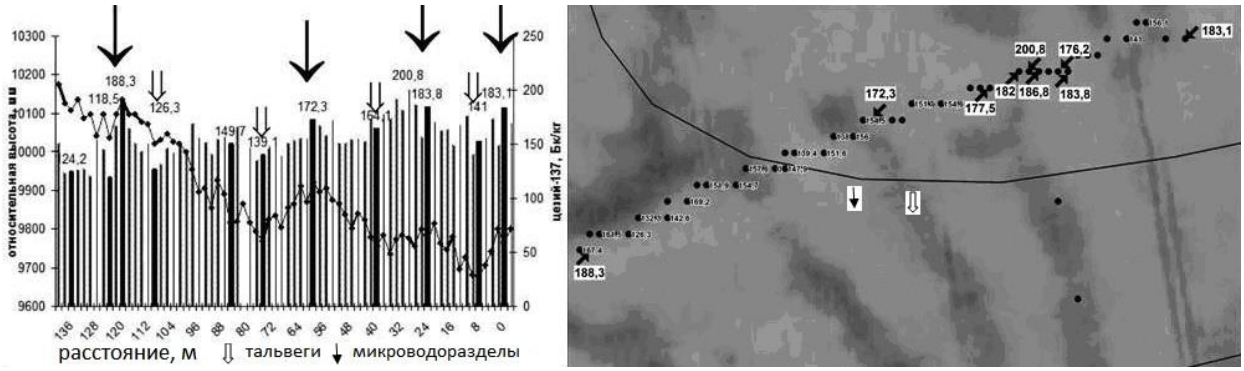


Рис. 3 Фрагмент космического снимка (справа) и поперечный профиль склона, построенный по результатам нивелирования приводораздельной части склона южной экспозиции (в пределах поля № 3) — слева. Видно, что в области межложбинных водоразделов удельная активность цезия-137 выше, нежели в тальвегах ложбин
Fig. 3. Fragment of a satellite image (right) and the transverse profile of the slope, constructed according to the results of leveling the water-divide part of the slope of the southern exposure (within the field No 3). It can be seen that in the area of inter-valley watersheds, cesium-137 specific activity is higher than in the talwegs of hollows

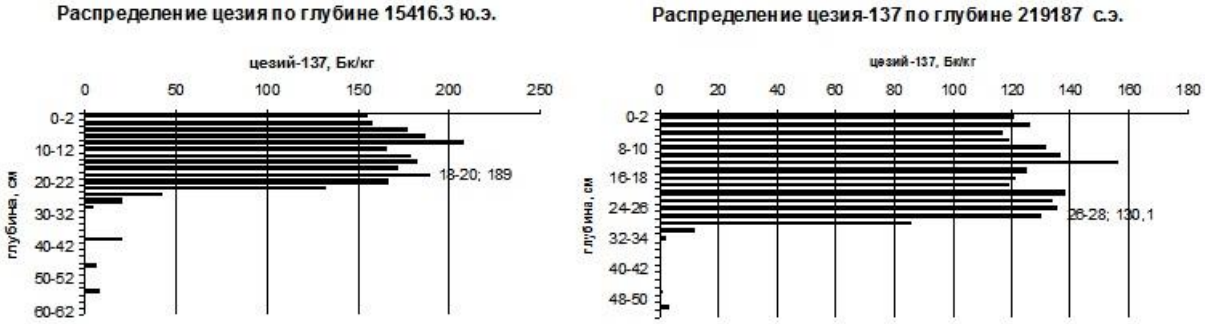


Рис. 4. Диаграммы распределения цезия-137 по глубине на блочных повышениях опорных площадок (на поле № 3 склона ю.э. (слева) и на поле № 2 с.э. (справа))
Fig. 4. Diagrams of depth distribution of cesium-137 at block elevations of reference plots (in field No 3 of the slope of S.E. (left) and in field No 2 of N.E. (right))

Сравнение удельной активности цезия-137 на блочных повышениях опорных площадок полей № 1−3 показало следующее. Наименьшая эталонная удельная активность цезия-137 (130,5 Бк/кг) была измерена на опорной площадке поля № 1. На поле № 2 эталонное значение удельной активности цезия-137 составило 180 Бк/кг, на поле № 3 — 174,7 Бк/кг.

Если различия эталонных значений активности цезия-137 на полях № 2 и № 3 могут быть объяснены разной интенсивностью протекания эрозионных процессов на склонах северной (поле № 2) и южной (поле № 3) экспозиции, то аномально низкая удельная активность цезия-137 на поле № 1 потребовала привлечения дополнительно результатов

агрохимического анализа. Аномально низкое значение удельной активности цезия-137 в пределах опорной площадки поля № 1 может быть объяснено или особенностями локальных выпадений радионуклида цезия-137 в 1986 г. или интенсивным выносом радиоцезия с урожаем озимой пшеницы (основной культуры, высеваемой на полях № 1−3).

Табл. 1. Удельная активность цезия-137 в точках опорной площадки (поле № 1 у деревни Киреевки)
Table 1. Cesium-137 specific activity at the points of the reference plot (field No 1 near the village of Kireyevka)

№ точки	Глубина послойного отбора проб почвы (через 2 см по глубине), см	Глубина вспашки, см	Блок/понижение	% запаса цезия-137 (глубже пахотного слоя)	Удельная активность цезия-137 в пахотном слое
219181	60	20	понижение	7,5%	136,9
219182	60	26	блок	7,2%	125,1
219183	60	28	блок	8,8%	126,4
219184	56	34	блок	10,6%	143,5
219185	52	20	понижение	8,5%	109,2
219186	44	20	понижение	13,3	99,9
219187	52	28	блок	5,3%	129,1
219188	52	32	блок	10,4	128,4

Может сложиться впечатление, что на поле № 1 мы имеем дело с особенностями локальных (аномально низких) выпадений цезия-137 во время аварии на ЧАЭС в 1986 г. Тем более, что на удалении 100 м (через дорогу), на поле № 2 (на рис. 1) видны две точки пробоотбора, в которых удельная активность цезия-137 равна 170,1 и 183,5 Бк/кг (существенно выше, чем на поле № 1). По-видимому, это обстоятельство должно быть исследовано особо, но не в настоящей статье. Мы не будет обсуждать вопрос, каким образом сегодня можно установить траекторию выпадения радиоактивных осадков в 1986 г.

В настоящей статье мы рассмотрим характер обработки почвы как одну из причин низких значений радиоактивности почвы в пределах пахотного горизонта поля № 1. Авторы предположили, что характер обработки почвы, возможно, обусловил большую урожайность и, вследствие выноса с урожаем части радионуклида, обусловил меньшую удельную активность цезия-137 в пахотном горизонте на этом поле. К сожалению, ежегодных сведений об урожайности озимой пшеницы найти не удалось. Однако авторы привлекли данные Центра «Орловский» и проанализировали содержание в почве изучаемых полей некоторых агрохимических показателей. Анализировалось содержание в почве подвижного фосфора, гумуса, K_2O, pH (рис. 5, табл. 2). На рис. 5 приведены карты распределения подвижного фосфора (карты построены по результатам авторских полевых исследований) в пределах анализируемых полей.

Из рис. 5 становится очевидным, что на поле № 1, подвижного фосфора в почве в 2−3 р. больше, чем на поле № 3 и в 2−4 р. больше, чем на поле № 2.

Этот рисунок подтверждает вывод о том, что обнаруженная разница в удельной активности цезия-137 на поле № 1 и на полях № 2 и 3 в определённой степени может быть обусловлена выносом радиоцезия с урожаем озимой пшеницы. Известно, что вынос радиоцезия тем выше, чем выше урожайность. Например, при урожайности 30 ц/га вынос радиоцезия (если считать, что на поле № 1 в 1986 г. удельная активность цезия-137 в пахотном слое составляла от 200 до 300 Бк/кг) изменялся от 0,03 Бк/кг (в настоящее время) до 7 Бк/кг (в 1986−1987 гг.), т.е. в первые годы после аварии с урожаем могло быть вынесено

примерно 40−50 Бк/кг. Разница удельной активности цезия-137 на полях № 1 и № 2 сегодня составляет 40 Бк/кг, что вполне «укладывается» в пределы рассчитанного объёма, вынесенного с урожаем радиоцезия.

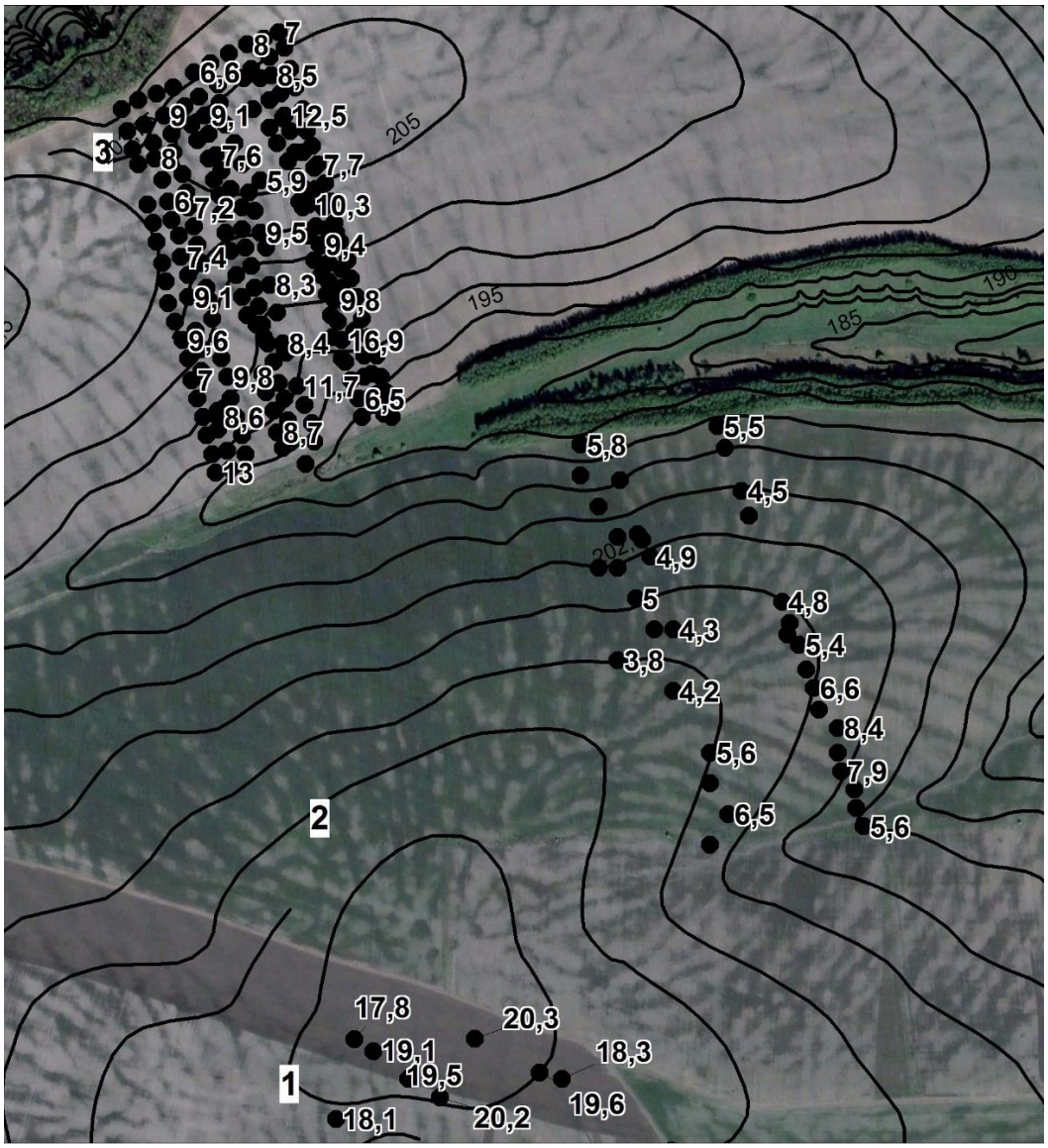


Рис. 5. Содержание подвижного фосфора в пахотном горизонте полей № 1, 2, 3
Fig. 5. The content of labile phosphorus in the arable horizon of fields No 1, 2, 3

На рис. 5 видно, что меньше всего подвижного фосфора в почвах поля № 2. Это естественно, т.к. подъезд к полю не так удобен, как подъезд к полю № 3 и тем более к полю № 1 (вблизи деревни). Вариабельность подвижного фосфора в пахотном горизонте поля № 1 составила 17,8–20,3 мг/100г; в почвах поля № 2 — 4,2−8,4; в почвах поля № 3 — 5,9−12,5 мг/100г. Такая вариабельность может свидетельствовать о влиянии микрорельефа на распределение агрохимических показателей почвы (что должно быть исследовано дополнительно).

Для подтверждения авторских выводов о влиянии качества обработки почвы на содержание радиоцезия в почвах блочных повышений опорных площадок было проведено

сравнение авторских данных агрохимического и гамма-спектрометрического анализа проб почвы с данными Центра «Орловский». Несмотря на то, что оценка радиологического и агрохимического состояния рассматриваемых полей Центром проводилась по выделам площадью 10 га, выводы наши совпали (табл. 2).

Табл. 2. Агрохимические показатели почвы полей № 1, 2, 3
(культура — пшеница озимая, почва — серая лесная тяжёлосуглинистая)
(по данным Центра «Орловский»[1])
Table 2. Agrochemical indicators of soil in fields No 1, 2, 3
(crop — winter wheat, soil — gray forest heavy loam)
(according to the Orlovsky Center[2])

Агрохимический показатель	Поле № 1	Поле № 2	Поле № 3
гумус	5,4	3,5	4
P2O5	13,6	8,9	8,8
K2O	8,2	9,8	13,7
pH	5,4	4,9	4,9
Опорное значение удельной активности цезия-137, установленное для блочных повышений, Бк/кг	130,5	180	174,7

По данным Центра, почвы поля № 1 характеризуются большим содержанием гумуса, подвижного фосфора, самым низким уровнем кислотности. Следовательно, вынос радиоцезия с урожаем на поле № 1, вероятнее всего, был выше, чем на двух других полях. Следует отметить, что в настоящее время на сети мониторинга Центров химизации и сельскохозяйственной радиологии не учитывается влияние микрорельефа на радиологические и агрохимические свойства почв. При сравнении, например, содержания P_2O_5 на поле № 3 по данным Центра (8,8 мг/100г) и по данным авторов статьи (5,9−12,5 мг/100 г), можно заключить, что вариабельность P_2O_5, обнаруженная авторами [*Трофимец,* 2018], свидетельствует о необходимости изучения влиянии микрорельефа палеокриогенного происхождения на показатели продуктивности почвы.

В том случае, если удастся выяснить, каков был уровень радиоактивного загрязнения почв поля № 1 в 1986 г., появится возможность установить, не попало ли это поле в зону локального минимума радиоактивных выпадений. В настоящей статье эта проблема не рассматривается.

ВЫВОДЫ

Проведённое исследование показало, что опорное значение радиоцезия целесообразно определять для конкретных полей, если последние различаются по экспозиции и по характеру обработки почвы. Установлено, что на поле северной экспозиции с зерновым севооборотом, на которое регулярно вносились удобрения, которое отличалось повышенным содержанием гумуса, подвижного фосфора, низкой кислотностью почвы, высокой урожайностью, обусловливающей большой вынос радиоцезия с урожаем, опорное значение

[1] Материалы агрохимического обследования земель ФКП «Орловская Биофабрика». ФГБУ Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии «Орловский», 2015. 25 с.
[2] Materials of the agrochemical inspection of the land of the Federal State Enterprise “Orel Biofactory”. FSBI Center for Chemicalization and Agricultural Radiology “Orlovsky”, 2015. 25 p. (in Russian)

радиоцезия существенно ниже (более чем на 20 %) опорного значения радиоцезия на соседних полях с менее плодородной почвой.

Опорные площадки при применении радиоцезиевого метода следует назначать с учётом экспозиции склоновой поверхности и характера обработки почвы. Устанавливать опорное значение на территориях, расположенных в перигляциальной зоне бассейна верхней Оки следует на блочных повышениях. Размеры площадок будут определяться размерами блоков. Площади участков для выбора опорных площадок в условиях размеров блочных повышений от 10 м до 20 м и более (при принятии 8−10 точек послойного пробоотбора) составляют около 0,04 км ^{2}.

Вариабельность удельной активности цезия-137, обусловленная чередованием межложбинных водоразделов (в приводораздельной зоне) или блочных повышений (на водораздельной поверхности) и тальвегов микроложбин, указывает на то, что изучение влияния микрорельефа палеокриогенного происхождения на распределение показателей продуктивности почв и её радиоактивное загрязнение является своевременным и актуальным. Учёт полигонально-блочного строения водораздельных поверхностей при установлении опорного значения цезия-137 позволит снизить погрешность оценки потерь почвы радиоцезиевым методом до 20 % и более.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество».

ACKNOWLEDGEMENTS

The research is funded by Russian Geographical Society.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю.* Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. М.: ГЕОС, 2010. 160 с.
2. *Величко А.А., Морозова Т.Д., Нечаев В.Б., Порожнякова О.М.* Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие: Монография. М.: Наука, 1996. 150 с.
3. *Голосов В.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в верхних звеньях флювиальной сети освоенных равнин умеренного пояса. Автореферат дисс. на соискан. уч. степ. докт. геогр. наук. М., 2003, 45 с.
4. *Долгополова Н.Н.* Физическая и агрохимическая характеристика почв в условиях Центрально-чернозёмного государственного заповедника. Труды ЦЧГЗ, 1948. Вып. 2. С. 14−19.
5. *Жукова О.М.* Динамика эрозионно-аккумулятивных процессов центра Русской равнины на основе применения радиоизотопных методов. Диссертация канд. геогр. наук. Москва, 2010. 175 с.
6. *Маркелов М.В.* Современные эрозионно-аккумулятивные процессы в верхних звеньях гидрографической сети лесной и лесостепной зон. Автореферат канд. дисс. Москва, 2004. 26 с.
7. *Трофимец Л.Н., Паниди Е.А.* Особенности применения радиоцезиевого метода при изучении эрозионных процессов на антропогенно преобразованных склонах, осложнённых ложбинным микрорельефом. Теория и методы современной геоморфологии: Материалы XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН, Симферополь, 3−8 октября 2016 г. Т. I. С. 365−369.
8. *Трофимец Л.Н., Паниди Е.А., Кочуров Б.И., Иванеха Т.Л., Петелько А.И.* Оценка возможностей цезия-137 чернобыльского происхождения идентифицировать потери почвой питательных веществ (подвижного фосфора) вследствие эрозии. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы междунар.

конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. Т. 24. Ч. 1. С.450−461. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-110-120.
9. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1976. 423 с.
10. *Walling D.E., He Q.* Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. J. Environ. Qual., 1999. V. 28. No 2. P. 611−622.

REFERENCES

1. *Alifanov V.M., Gugalinskaya L.A., Ovchinnikov A.Yu.* Paleocryogenesis and soil diversity in the center of the East European Plain. Moscow: GEOS, 2010. 160 p. (in Russian).
2. *Dolgopolova N.N.* Physical and agrochemical characteristics of soils in the conditions of the Central Black Earth State Reserve. Proceedings of CBESR, 1948. V. 2. P. 14−19 (in Russian).
3. *Friedland V.M.* The structure of the soil cover. Moscow: Mysl', 1976. 423 p. (in Russian).
4. *Golosov V.N.* Erosion-accumulative processes in the upper links of the fluvial network of developed plains of the temperate zone. Author's abstract, Doctor of Geography. Moscow, 2003. 45 p. (in Russian).
5. *Markelov M.V.* Modern erosion-accumulative processes in the upper links of the hydrographic network of forest and forest-steppe zones. Author's abstract, candidate dissertation. Moscow, 2004. 26 p. (in Russian).
6. *Trofimets L.N., Panidi E.A.* Features of the use of the radiocaesium method in the study of erosion processes on anthropogenically transformed slopes complicated by a hollow microrelief. Theory and Methods of Modern Geomorphology: Proceedings of the XXXV Plenum of the Geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences, Simferopol, October 3–8, 2016. V. I. P. 365−369 (in Russian).
7. *Trofimets L.N., Panidi E.A., Kochurov B.I., Ivaneha T.L., Petelko A.I.* Evaluation of the potential of cesium-137 of Chernobyl origin to identify soil loss of nutrients (labile phosphorus) due to erosion. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2018. V. 24. Part 1. P. 450−461. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-110-120 (in Russian).
8. *Velichko A.A., Morozova T.D., Nechaev V.B., Porozhnyakova O.M.* Paleocryogenesis, soil cover and agriculture: Monograph. Moscow: Nauka, 1996. 150 p. (in Russian).
9. *Walling D.E., He Q.* Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. J. Environ. Qual., 1999. V. 28. No 2. P. 611−622.
10. *Zhukova O.M.* The dynamics of erosion-accumulation processes in the center of the Russian Plain based on the use of radioisotope methods. Candidate dissertation on geographical sciences. Moscow, 2010. 175 p. (in Russian).

УДК: 912.43 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-184-198**

К.С. Алсынбаев[1], В.М. Брыксин[2], Л.Ф. Жегалина[3], А.В. Козлов[4], И.В. Назаров[5]

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ГЕОДАННЫХ МЕЛИОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

АННОТАЦИЯ

В статье изложен опыт создания базы геоданных мелиоративной системы Калининградской области для интеграции в автоматизированную систему управления сельскохозяйственными землями. Уникальность этой мелиоративной системы заключается в масштабности мелиоративных объектов, созданных во времена Восточной Пруссии и советский период. Приведена характеристика современного состояния объектов мелиоративных систем Калининградской области. Освещены актуальные проблемы и потенциальные угрозы в условиях изменения климата. Обоснована актуальность цифровизации в сфере государственного управления мелиоративным хозяйством области и в аспекте трансграничного сотрудничества.

Рассмотрена первичная модель данных, структура картографических слоев и состав атрибутивной информации. Описаны особенности исходной информации и проблемы их подготовки. Разработана технология ввода разрозненных, слабо формализованных данных с применением авторских сервисных программ контроля геометрии, топологии и автоматизации операций, позволяющая на порядок увеличить производительность и корректность ввода данных, по сравнению со штатными средствами базовых геоинформационных систем.

Приведены примеры разработки тематических карт как информационной основы ведения мониторинга осушаемых земель Калининградской области для принятия обоснованных эколого-экономических управленческих решений. Предложены перспективные направления применения и развития созданной базы геоданных: проект геопортала на основе серверного хранилища данных с привлечения спутниковой информации, проект гидрологического моделирования опасных и катастрофических явлений в различных мелиоративных подсистемах.

Созданная база геоданных позволяет повысить оперативность обработки и анализа информации о мелиоративных системах в локальном и региональном масштабах, даёт возможность географической визуализации актуальной информации о состоянии мелиоративных систем, позволяет повысить качество и сократить сроки подготовки принятия решений органов исполнительной власти по вопросам управления мелиорацией.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: база геоданных, мелиоративная система, польдер, осушение, ГИС

---

[1] Балтийский федеральный университет имени И. Канта, ул. Пролетарская, д. 131, 236029, Калининград, Россия; *e-mail:* **KAlsynbaev@kantiana.ru**
[2] Балтийский федеральный университет имени И. Канта, ул. Пролетарская, д. 131, 236029, Калининград, Россия; *e-mail:* **VBryksin@kantiana.ru**
[3] Балтийский федеральный университет имени И. Канта, ул. Пролетарская, д. 131, 236029, Калининград, Россия; *e-mail:* **LZhegalina@kantiana.ru**
[4] Балтийский федеральный университет имени И. Канта, ул. Пролетарская, д. 131, 236029, Калининград, Россия; *e-mail:* **AnKozlov@kantiana.ru**
[5] Балтийский федеральный университет имени И. Канта, ул. Пролетарская, д. 131, 236029, Калининград, Россия; *e-mail:* **INazarov@kantiana.ru**

Kamil S. Alsynbaev[1], Vitaly M. Bryksin[2], Lilia F. Zhegalina[3], Anton V. Kozlov[4], Igor V. Nazarov[5]

CREATING OF GEODATABASE OF MELIORATION SYSTEM OF THE KALININGRAD REGION

ABSTRACT

The article describes the experience of creating a geodatabase of the melioration system of the Kaliningrad region for integration into an agriculture management automated system. The uniqueness of this melioration system is the scale of drainage facilities created during East Prussia time and Soviet period. The characteristic of the current condition of melioration system facilities is given. Actual problems and potential risks in the context of climate change are highlighted. The relevance of digitalization in melioration sector of public administration and in in the context of transboundary cooperation is explained.

The primary data model, the structure of cartographic layers, and the composition of attribute information are considered. The features of the initial data and the problems of their preparation are described. The technology of inputting poorly formalized data has been developed. Authors used own service programs for geometry control, topology, and automation of operations, which allows increasing the productivity and accuracy of data input in comparison with standard means of basic geographic information systems.

Thematic maps, examples of which are given, are the information basis for monitoring of drained lands of the Kaliningrad region to make environmental and economic management decisions. Promising areas of application of the geodatabase are proposed: geoportal project based on server data storage with using satellite information; project for hydrological modelling of hazardous and catastrophic occurrence in various melioration subsystems.

The created geodatabase allows increasing the efficiency of processing and analysis of information about melioration systems on a local and regional scale enables the geographic visualization, helps in melioration management making-decisions.

KEYWORDS: geodatabase, melioration**,** drainage system, polder, GIS

ВВЕДЕНИЕ

Калининградская область обладает рядом особенностей, по сравнению с большинством субъектов Российской Федерации, в частности, обширными низинными территориями. В области располагаются более 70 % польдерных земель России. Значительная часть территории расположена ниже уровня моря (до -1,6 м). При этом сельскохозяйственные земли региона имеют высокий потенциал. Большая часть польдерных земель находится в Неманской низменности (территории Славского и Полесского районов).

Мелиоративная система Восточной Пруссии по своей сложности и оснащённости относилась к одной из лучших в Европе. Как в немецкий период, так и в советское время

[1] Immanuel Kant Baltic Federal University, Proletarskaya str., 131, 236029, Kaliningrad, Russia;
e-mail: **KAlsynbaev@kantiana.ru**
[2] Immanuel Kant Baltic Federal University, Proletarskaya str., 131, 236029, Kaliningrad, Russia;
e-mail: **VBryksin@kantiana.ru**
[3] Immanuel Kant Baltic Federal University, Proletarskaya str., 131, 236029, Kaliningrad, Russia;
e-mail: **LZhegalina@kantiana.ru**
[4] Immanuel Kant Baltic Federal University, Proletarskaya str., 131, 236029, Kaliningrad, Russia;
e-mail: **AnKozlov@kantiana.ru**
[5] Immanuel Kant Baltic Federal University, Proletarskaya str., 131, 236029, Kaliningrad, Russia;
e-mail: **INazarov@kantiana.ru**

были сделаны огромные вложения в создание, развитие и поддержание мелиоративной системы. В Калининградской области осушительная мелиорация сельскохозяйственных, лесных и селитебных земель охватывает территорию общей площадью порядка 10,5 тыс. км^2 (около 80 % территории) и обеспечивает возможность эффективной хозяйственной деятельности, а в значительной части региона и возможность проживания населения. Суммарная протяжённость осушительной сети области составляет свыше 5 тыс. км. Многие речные системы, особенно в дельте Немана, долине р. Преголи и на побережьях Куршского и Калининградского заливов, используются в качестве водоприёмников откачиваемых с польдерных земель вод.

Годы после распада Советского Союза, смена экономической формации, отчуждение сельхозземель по частным собственникам при сохранении федеральной и региональной собственности на объекты капитального строительства мелиоративных систем, многократное снижение финансирования мелиоративных хозяйственных организаций нанесли катастрофический удар по состоянию мелиоративной системы Калининградской области. Большая часть мелиоративного хозяйства пришла в упадок, водотоки заросли кустарником, заилились. Многие дамбы находятся в полуразрушенном состоянии. Фактически были потеряны данные о подземном дренаже.

Ситуация несколько улучшилась в последние 5–10 лет благодаря федеральным и региональным программам, а также участию крупных сельхозпредприятий, таких как «Залесский фермер», «Долгов Групп», «Романовски Агро» и др.

В настоящее время осушается свыше 94 % из общей площади сельскохозяйственных угодий Калининградской области (8,2 тыс. км^2). Обвалованные территории дренируются с помощью механического подъёма вод; 92 автоматизированные насосные станции общей производительностью в 132,2 м^3/с перекачивают ежегодно от 700–800 млн м^3 до 1 км^3 воды.[1] Однако около одной трети сельскохозяйственных земель находятся в неудовлетворительном мелиоративном состоянии.

Мелиорация земель в зоне избыточного увлажнения на основе дренажа и орошения в сочетании с высокой культурой земледелия и применением инновационных технологий в сельском хозяйстве — необходимое условие для получения достойного урожая в сложных климатических условиях. Как показывает опыт Нидерландов, в условиях стабильности закупочных цен на сельхозпродукцию, дренаж должен окупаться за счёт увеличения урожайности за 3–4 года [*Lambert и др.*, 2011].

Опыт прибалтийских республик Литвы, Латвии и Эстонии показывает, что по данным на 2015 г. износ дренажных систем составил 64,5 %, а площади с неработающим дренажем достигли 222 тыс. га. За период с 2008 г. значительно сократились субсидии Евросоюза на мелиоративные работы [*Исаева и др.*, 2019].

Последние два года для прибалтийских республик были неблагоприятны по климатическим условиям: 2017 г. — экстремально высокое количество осадков, принесшее ущерб в размере порядка 40 млн. евро из-за несвоевременного сбора урожая, в 2018 г. — засуха.

На протяжении более 20 лет в прибрежных областях Польши систематически повторяются городские наводнения, вызванные атмосферными осадками. Недавно принятый Закон о водных ресурсах учитывает проблемы управления рисками наводнений и противодействия последствиям засухи [*Suligowski и др.*, 2018].

С учётом происходящих климатических изменений, Калининградская область неминуемо будет сталкиваться с экологическими и экономическими рисками, связанными

[1] www.nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex-use-and-protection-of-water-resources-in-the-neman-river-basin-and-rivers-of-baltic-sea-basin-russian-part-in-the-kaliningrad-region/

прежде всего с наводнениями и подтоплениями, которые могут проявляться гораздо более остро и внезапно, чем в других субъектах РФ.

Практически ежегодно в результате сезонных паводков и затяжных дождей происходит подтопление больших площадей сельскохозяйственных и лесных земель, дорог, а зачастую и территорий населённых пунктов, что приводит к значительному материальному ущербу, убыткам в сельском и коммунальном хозяйствах.

Подъёмы уровня воды в реках в основном связаны с прохождением половодья, а также ветровыми нагонами с Куршского и Калининградского заливов. Паводками и половодьями высокой обеспеченности затопляются территории, расположенные на побережье Калининградского и Куршского заливов и неодамбованные участки пойм рр. Неман, Преголя, Дейма. Суммарная площадь затопления половодьями и паводками 1 % обеспеченности составляет 1858 км^2, 10 % — 590,3 км^2.

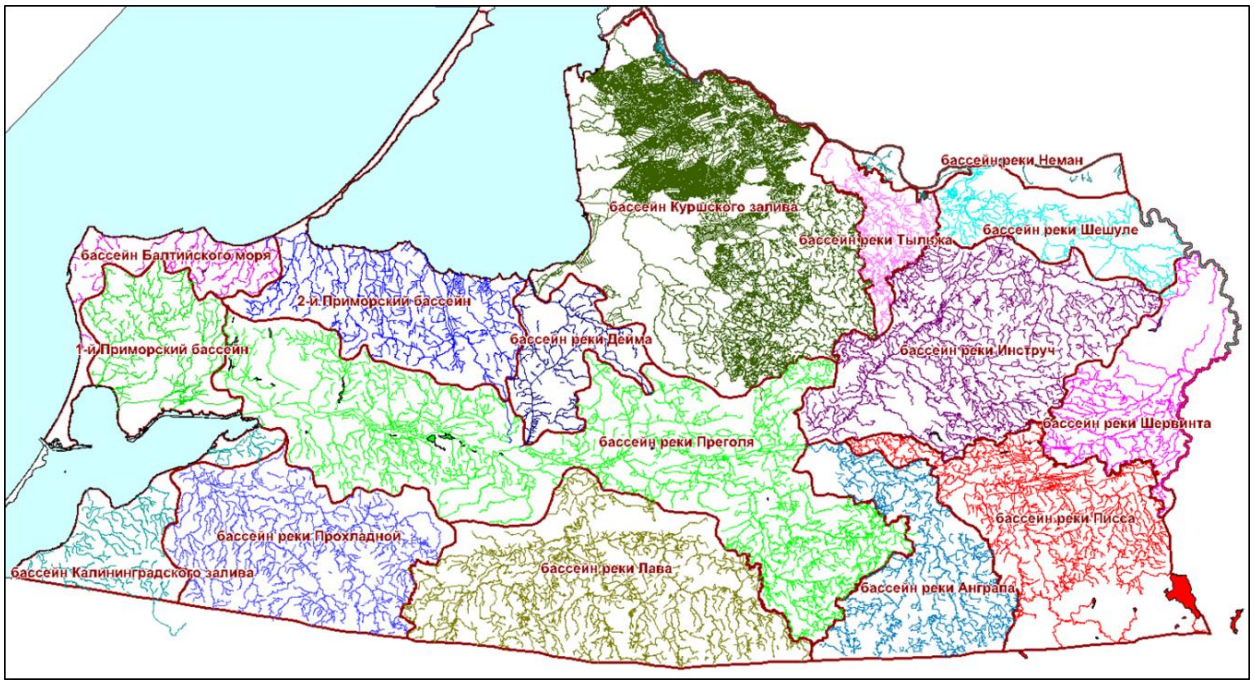


Рис. 1. Распределение водотоков по гидрологическим бассейнам Калининградской области
Fig. 1. Distribution of rivers in hydrological basins in Kaliningrad region

Наиболее подвержены затоплениям Полесский и Славский административные районы. Затопления населённых пунктов, промышленных объектов, сельскохозяйственных угодий, линий электропередач, дорог и мостов местного значения наносят большой ущерб экономике Калининградской области. Экологический ущерб связан с размывом берегов, смывом почвенного покрова с сельхозугодий, загрязнением водных объектов.

По данным Невско-Ладожского БВУ, площадь подтопления городских территорий Калининграда грунтовыми водами составляет более 20 км^2, что приносит большой ущерб городскому хозяйству. Существенной причиной подтопления селитебных районов является износ и неудовлетворительное функционирование осушительных систем, насосных станций, водоприёмников. По состоянию межхозяйственных ГТС, находящихся в ведении Калиниградмелиоводхоз, из 45 осушительных систем, действующих на территории

Калининградской области, в 29 системах более половины каналов имеют технический износ более 80 %, реконструкции и ремонта требуют 85 % защитных дамб и 90 % насосных станций[1].

Особый статус Калининградской области заключается в её геополитическом положении. Крупные реки региона являются пограничными и трансграничными водными объектами. Бассейн реки Неман расположен на территории 4-х государств (Беларусь, Литва, Польша, Россия). Часть водосбора р. Преголя и рек бассейна Калининградского залива расположены на территории Польши.

Следует отметить, что в настоящий момент не существует действующего соглашения между странами, использующими водные ресурсы трансграничных и пограничных водных объектов. Поэтому так важно обеспечить возможность последующей интеграции в единую систему согласованного управления трансграничными водными объектами и предупреждения рисков.

В странах Европейского союза на основе ГИС-технологий и баз данных разработаны автоматизированные системы, которые обеспечивают ведение государственного учёта мелиоративных систем и гидротехнических сооружений. В Нидерландах цифровая система управления и мониторинга мелиоративных систем, позволяет в онлайн-режиме отслеживать состояние объектов мелиоративных систем, оперативно корректировать их работу, тем самым экономить человеческие и финансовые ресурсы. Автоматизированная система государственного учёта мелиоративных систем GISMELIO GOSUCHET также действует в Республике Беларусь.

Говоря о перспективах развития мелиоративного хозяйства области в условиях изменения климата, возрастает актуальность создания сценариев адаптации мелиоративных систем с переходом от стратегии быстрого отвода излишней воды к стратегии непрерывного мониторинга уровня вод и создания систем контролируемого дренажа индивидуально для условий каждого сельскохозяйственного участка. Такие системы контролируемого дренажа разрабатываются в Нидерландах, Польше [*Ritzema et al.,* 2015; *Sojka et al.,* 2019].

Цифровая трансформация российской экономики определена «Стратегией развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» и программой «Цифровая экономика Российской Федерации» [*Халин и др.,* 2018]. В области мелиорации цифровизация должна стать базой управления государственным имуществом, контрольно-надзорной деятельности, планирования, мониторинга и оценки результатов деятельности органов власти.

К моменту создания базы геоданных мелиоративных систем Калининградской области существующая Автоматизированная система управления сельскохозяйственными землями представляла собой базу данных, содержащую табличную и отчётную информацию, включая ограниченные сведения о мелиорируемых землях. Блок визуализации геопространственных данных и представления картографических материалов отсутствовал.

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика исходных данных

Мелиоративное хозяйство Калининградской области включает в себя государственные гидромелиоративные системы и отдельно расположенные гидротехнические сооружения, находящиеся в Федеральной собственности.

Перечень информации об объектах мелиорации определен на основе официальных информационных ресурсов Минприроды России и Минсельхоза России [*Бубер и др.,* 2018].

[1] www.nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex-use-and-protection-of-water-resources-in-the-neman-river-basin-and-rivers-of-baltic-sea-basin-russian-part-in-the-kaliningrad-region/

Всего в структуру 45 гидромелиоративных систем входит 1590 гидротехнических сооружений, в т.ч. 1256 каналов, 22 регулятора, 92 насосных станции, 115 дамб и 105 отрегулированных водоприёмников.

При создании базы геоданных мелиоративных систем Калининградской области полученные исходные материалы представляли собой разновременные и разномасштабные ветхие бумажные карты и план-схемы без проекции и привязки, слабо формализованные таблицы Калининградмелиорации, множество чертежей, корректурных планов, схемы объектов капитального строительства на мелиоративных сетях, топографические карты масштаба 1: 10 000 (табл. 1).

Таблица 1. Объём обработанных материалов
Table 1. Quantity of processed materials

Растр	**Кол-во**
Корректурные и мелиоративные планы (м-б 1: 10 000) (листов)	361
Чертежи инвентаризации (м-б 1:10 000)	128
План-схемы реконструкции (листов) (м-б 1: 2 000, 5 000, 10 000)	230
Мелиоративные планы (пластик, листов) (м-б 1: 10 000)	178
Вектор	
Водотоки (водоприёмники, каналы распределительной сети, каналы внутрихозяйственных и соединительных сетей)	22 300
Объекты капитального строительства на мелиоративных сетях (мосты, трубопереезды, дюкеры, насосные, шлюзы, дамбы обвалования)	4 000
Устья дренажных систем (дрен)	30 100
Участки сданных мелиоративных систем	2 100
Участки земель по типу осушения/орошения (необходимость реконструкции)	4 700
Сводные атрибутивные таблицы объектов мелиоративных сетей различных форм собственности	27

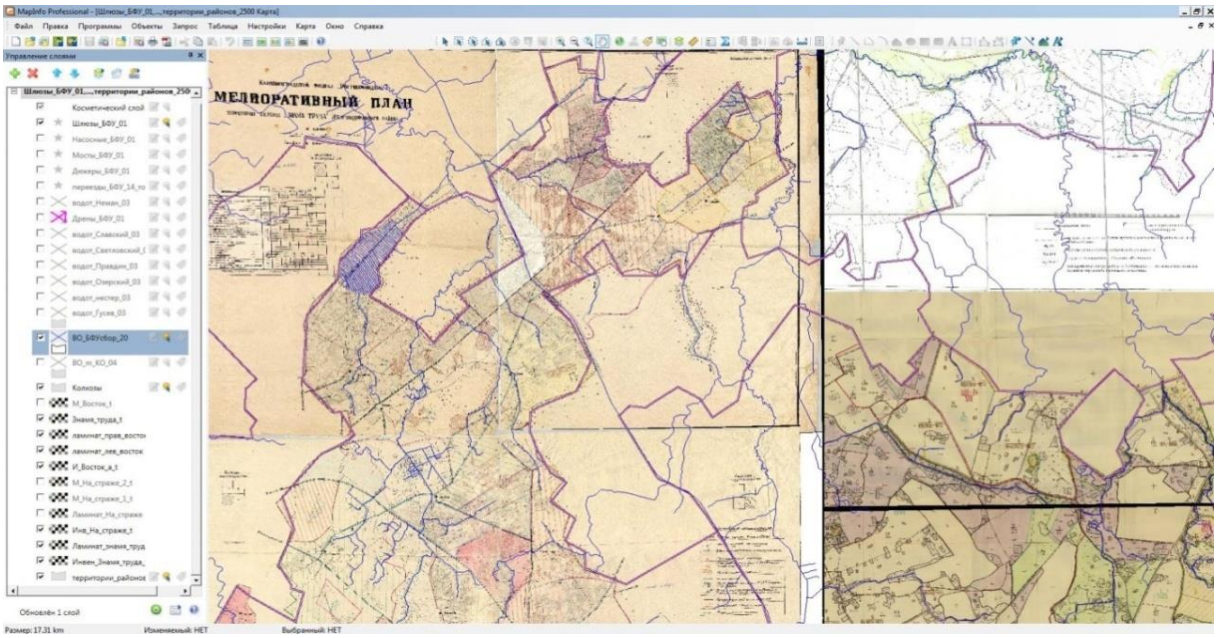


Рис. 2. Растровые изображения исходных мелиоративных планов
Fig. 2. Raster images of original land melioration plans

В ходе работ по цифровизации мелиоративных систем было произведено сканирование и геопривязка растров в МСК-39, составление мозаик. Суммарно обработано 897 растров различных масштабов. Оцифрованы мелиоративные и корректурные планы, чертежи инвентаризации м-ба 1: 10 000 (рис. 2). Работа проведена с использованием ПО MapInfo, ArcGIS, Easy Trace.

Модель первой очереди базы геоданных

Первичная модель данных в целом была определена «НПЦ «ИКС» (г. Санкт-Петербург) для использования в Автоматизированной системе управления сельскохозяйственными землями Калининградской области.

Среди основных слоёв геобазы — «Водотоки», «Участки мелиорации», «Мосты, трубопереезды и регуляторы», «Дренажные устья», «Дамбы», «Насосные станции». Важнейший слоем является линейный слой «Водотоки». Данный слой включает все поверхностные водотоки: реки, каналы, все виды водоприёмников, является самым объёмным и содержит сведения обо всех водных объектах области. Объекты слоя образуют многоуровневую структуру, соответствующую иерархии водных объектов (водоприёмник старше по иерархии входящего в него водотока), направление линейных объектов соответствует направлению течения. Каждый объект в качестве одного из идентификаторов имеет шифр водотока, который соответствует системе, разработанной в 1960–1980-е гг. Шифр формируется из слогов, при этом каждый родительский шифр целиком входит в шифр потомка. Иерархия объектов также отражается в атрибутивной части слоя. Слой «водотоки» должен был также топологически интегрировать остальные слои мелиоративной системы: мосты, трубопереезды и т.д.

Технология ввода данных

Ввод и формирование данных должно было обеспечивать топологическую и объектовую корректность данных, согласование слоёв на топографической основе, которую представляла цифровая карта м-ба 1: 10 000. Каждый оператор работал с тремя видами входной информации:

- топографическая карта масштаба 1: 10 000;
- сканированные бумажные мелиоративные карты;
- excel-таблицы с атрибутивными данными по объектам мелиоративной системы.

Оператор должен был на основе этих данных составить корректный слой геобазы, включая атрибутивную и геометрическую компоненты.

Наибольшую сложность для ввода геометрической компоненты представлял слой «Водотоки».

Разработка технологии ввода и формирования базы геоданных должна была учитывать множество проблем и сложностей, в частности:

- топографическая цифровая карта м-ба 1: 10 000 не поддерживала топологической корректности; возможны были многочисленные наложения, недовведённые линии, в одном слое могли быть объекты как линейных, так и точечных и площадных типов, в некоторых слоях («Сооружения») собраны объекты различных типов (мосты, могилы, остановки, плотины и др.). Атрибутивная информация могла содержать картографический класс (например, «река, канал в одну линию»), но атрибутика мелиоративной сети полностью отсутствовала и содержалась только в бумажных картах и Excel-таблицах;
- исходные бумажные карты, как правило, состояли из фрагментов, имели многочисленные дефекты и деформации, зачастую были составлены «экспертным» путём, не были пригодны для точной геопривязки;
- Excel-таблицы не обладали структурированностью, присущей даже простейшим, плоским базам данных. Шифры водных объектов в Excel-таблицах могли повторяться для различных районов и не были пригодны в качестве идентификаторов объектов. Зачастую они были ориентированы на визуальное восприятие, например, буквенные

составляющие шифров, такие как «М», «К», «С», могли воспроизводиться как на кириллице, так и на латинице.

Таким образом, оператор при вводе должен был решать задачу формализации атрибутивных данных, обеспечения требуемой геометрической точности и топологической корректности. Такая работа трудоёмка и порождает огромное количество ошибок, которые нужно каким-то образом выявлять и исправлять. Актуальной становилась задача разработки технологии для производительного ввода данных в этом проекте.

В работе использовались две системы — AcrGIS и MapINFO. Созданная технология частично опиралась на широкие возможности ArcGIS, другие проблемы решались путём создания специализированных функций для MapINFO на языке MapBasic.

В первую очередь была осуществлена «чистка» необходимых слоёв электронной топографической карты: объекты разнесены по слоям, функциями ArcGIS проведена первичная топографическая корректировка, прежде всего удалены наложения объектов гидросети.

Геопривязка бумажных карт к топооснове осуществлялась средствами ArcGIS с использованием функций нелинейных преобразований, как правило, сплайнов («резиновая поверхность»). На первом шаге создавались четыре точки для рамки, затем определялось необходимое число точек привязки, чтобы погрешность привязки растра позволяла однозначно идентифицировать объект гидросети на топокарте согласно обозначениям бумажной карты.

Далее в MapInfo были созданы целевые слои с необходимой плоской таблицей атрибутов, пригодной для дальнейшей реляционной связки с базой данных системы. Оконный интерфейс геоинформационной системы содержал геопривязанные растровые мелиоративные карты, необходимый слой модифицированной топокарты м-ба 1: 10 000 и результирующий редактируемый слой. Создание геометрических слоёв осуществлялось путём копирования из модифицированной топокарты нужной коллекции для каждого объекта с последующим их объединением в один линейный объект. Таким образом, линейные объекты мелиорации составлялись из фрагментов объектов топографической карты, обеспечивая точность масштаба.

Поскольку геоданные системы мелиорации имеют многоуровневую иерархическую структуру и сложную геометрию, задача оператора заключалась в обеспечении корректного ввода множества её свойств. Для оптимизации работы созданы и интегрированы в MapInfo сервисные программы контроля геометрии, топологии и автоматизации некоторых операций (рис. 3), в т.ч.:

- расстановка шифров водотоков-водоприёмников;
- проверка корректности шифров;
- поиск составных полилиний;
- проверка примыканий линейных объектов;
- проверка истинности атрибутики указанного водотока-водоприёмника путём анализа геометрических и топологических свойств;
- формирование шифра водотока и пикетажа;
- геокодирование шифра водотока и пикетажа;
- автоматическое формирование шифра водотока по близости водотока-водоприёмника;
- исправление ошибок латинских наименований;
- автоматическое назначение водотокам принадлежности к бассейнам;
- поиск повторов шифров в списках и слоях.

Для повышения корректности ввода с помощью дополнительных функций созданы классификаторы возможных значений, кодов и их слогов в атрибутивной части геоданных.

Экспертные оценки показали, что скорость ввода корректных данных при использовании разработанных функций возрастает на порядок по сравнению с традиционными способами с использованием штатных функций ГИС.

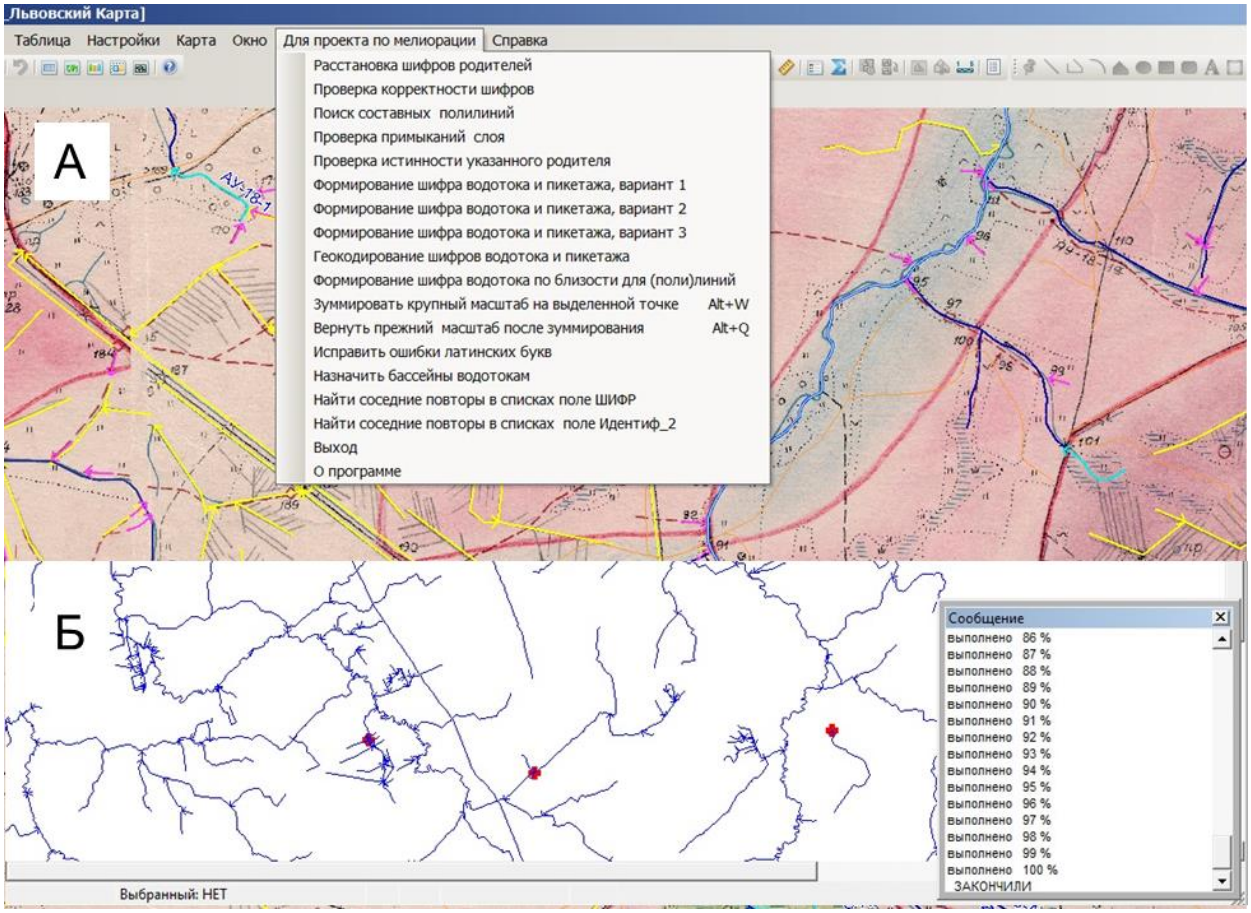


Рис. 3. Примеры интерфейсов работы по вводу и коррекции данных. Сервисные программы контроля геометрии, топологии и автоматизации некоторых операций:
А — выбор специализированной функции при вводе и использование растровой подложки;
Б — выявление участков некорректного примыкания водотоков к водоприёмникам
Fig. 3. Examples of data entry and correction work interfaces. Service programs for geometry and topology control and automation of certain operations:
A — selection of a specialized function when entering and using raster layers;
B — identification of areas of incorrect connecting of watercourses to water-inlet headers

Тематические карты на основе базы геоданных

Таким образом, в электронную базу данных мелиоративных систем Калининградской области были внесены сведения об объектах мелиоративной сети муниципальных образований: Гусевский муниципальный район, Неманский муниципальный район, Нестеровский район, Правдинский район, Озерский район, Славский муниципальный район, Светловский городской округ.

По окончании этапа сканирования и геопривязки инвентаризационных планов, растры были корректно совмещены со слоем векторной гидрографии, по которому осуществлялась привязка границ участков.

Все границы мелиоративных участков векторизованы полилиниями, сделана проверка топологии и преобразование в полигоны. Границы полигонов по каждому хозяйству (листу карты) согласованы и объединены в границах административных районов (рис. 4).

Всё множество полигонов распределено по тематическим слоям векторных объектов. Каждому участку каждого слоя присвоена своя атрибутивная информация, объединённая в таблицы атрибутов по целевому слою. Для каждого района сформировано от 6 до 8 векторных слоёв, которые были скомпонованы и оформлены в тематические карты проектов MapInfo.

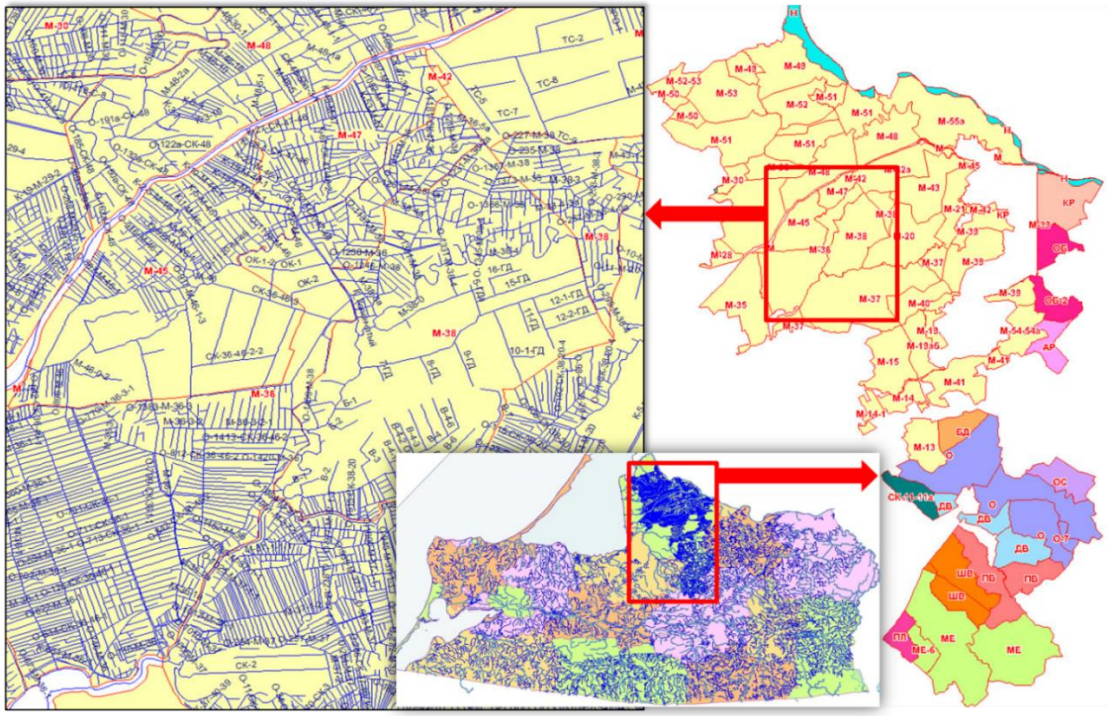


Рис. 4. Фрагмент карты мелиоративных систем Славского района
Fig. 4. Fragment of Slavsky district melioration systems map

Мелиоративные системы объединены по водосборам рек 2–3 порядка и распределены по гидрологическим бассейнам Калининградской области в границах районов выполнения работ (рис. 5).

Участки мелиоративных систем в границах административных районов распределены по типам осушения (рис. 6).

Атрибутивные данные по каждому слою содержат номер участка, тип осушения, к какой мелиоративной системе относится участок, его площадь и на территории какого хозяйства находится этот участок (рис. 7).

Компоновка карты участков мелиоративных систем и гидротехнических сооружений, подлежащих реконструкции и восстановлению, сформирована наложением слоя «Участки реконструкции» на карту земель по типам осушения. В атрибутике — номер участка, принадлежность к мелиоративной системе, площадь участка реконструкции, на территории какого хозяйства проведена реконструкция.

Карты мелиоративных систем и участков мелиорации по типам осушения в компоновке со слоем «Участки сданных мелиорированных земель» дают возможность делать количественный и качественный анализ объема и динамики возврата земель сельскохозяйственного назначения в действующий фонд. В атрибутивной таблице — номер, год ввода земель в эксплуатацию, площадь, принадлежность хозяйству и мелиоративной системе (рис. 8).

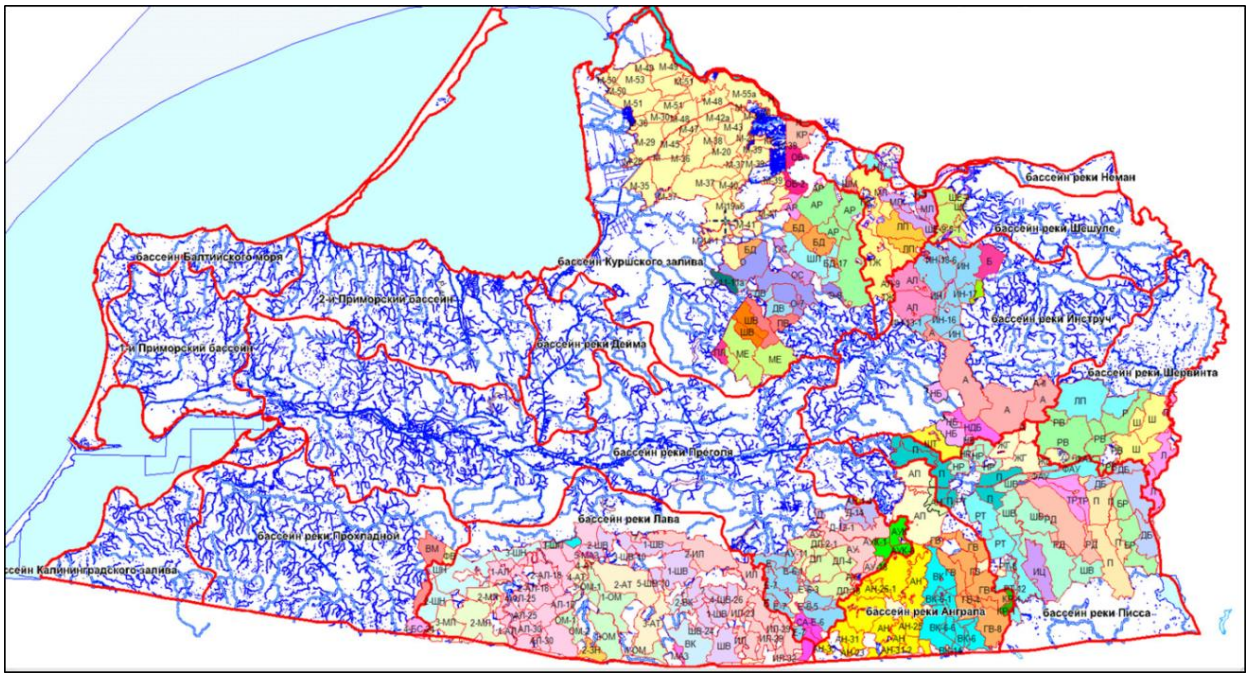


Рис. 5. Распределение мелиоративных систем по гидрологическим бассейнам в границах территории выполнения работ
Fig. 5. Distribution of meliorative systems in hydrological basins within of the work area

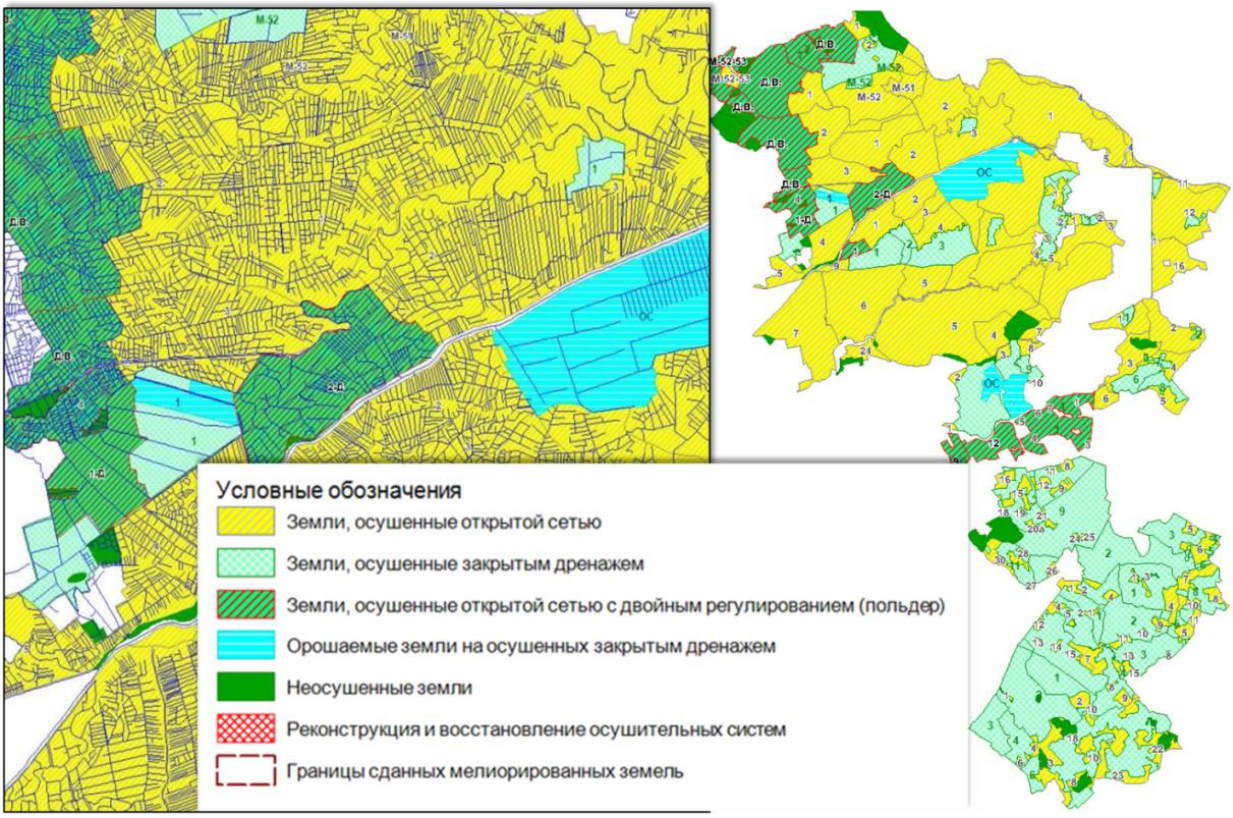


Рис. 6. Участки мелиоративных систем по типам осушения
Fig. 6. Meliorative plots by a drainage type

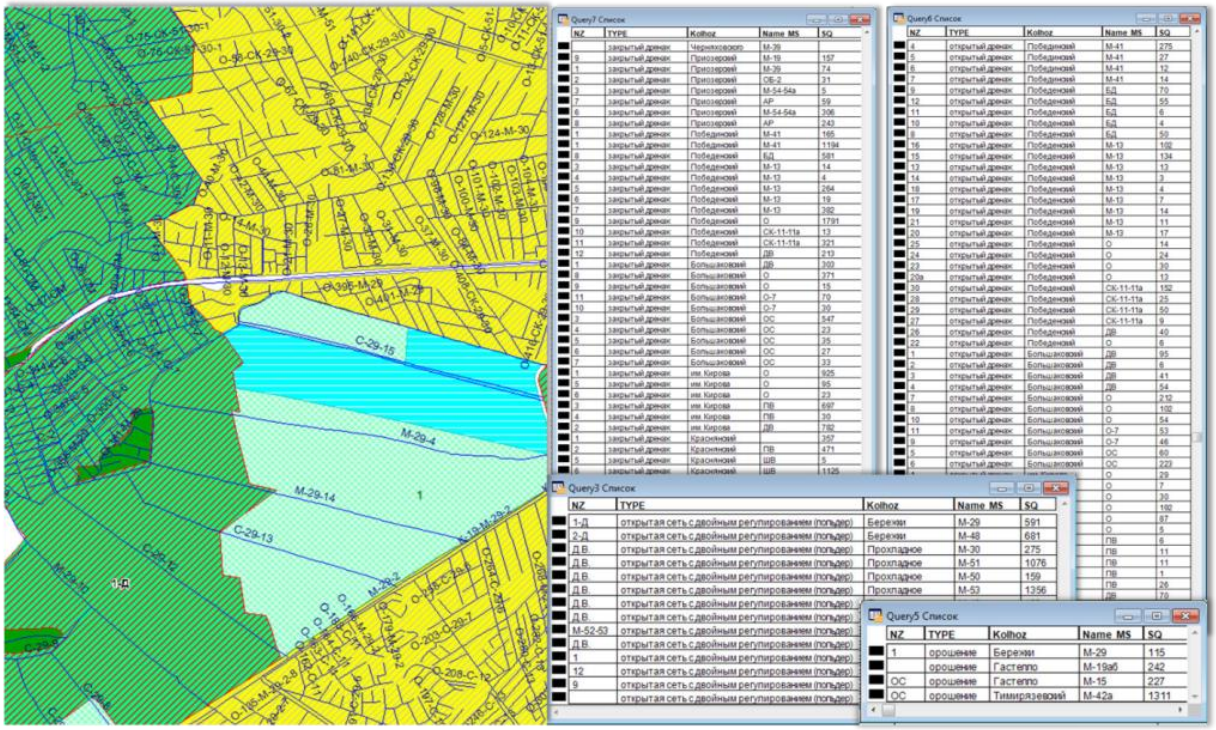


Рис. 7. Атрибутивные данные участков мелиоративных систем
Fig. 7. Attribute data of meliorative plots

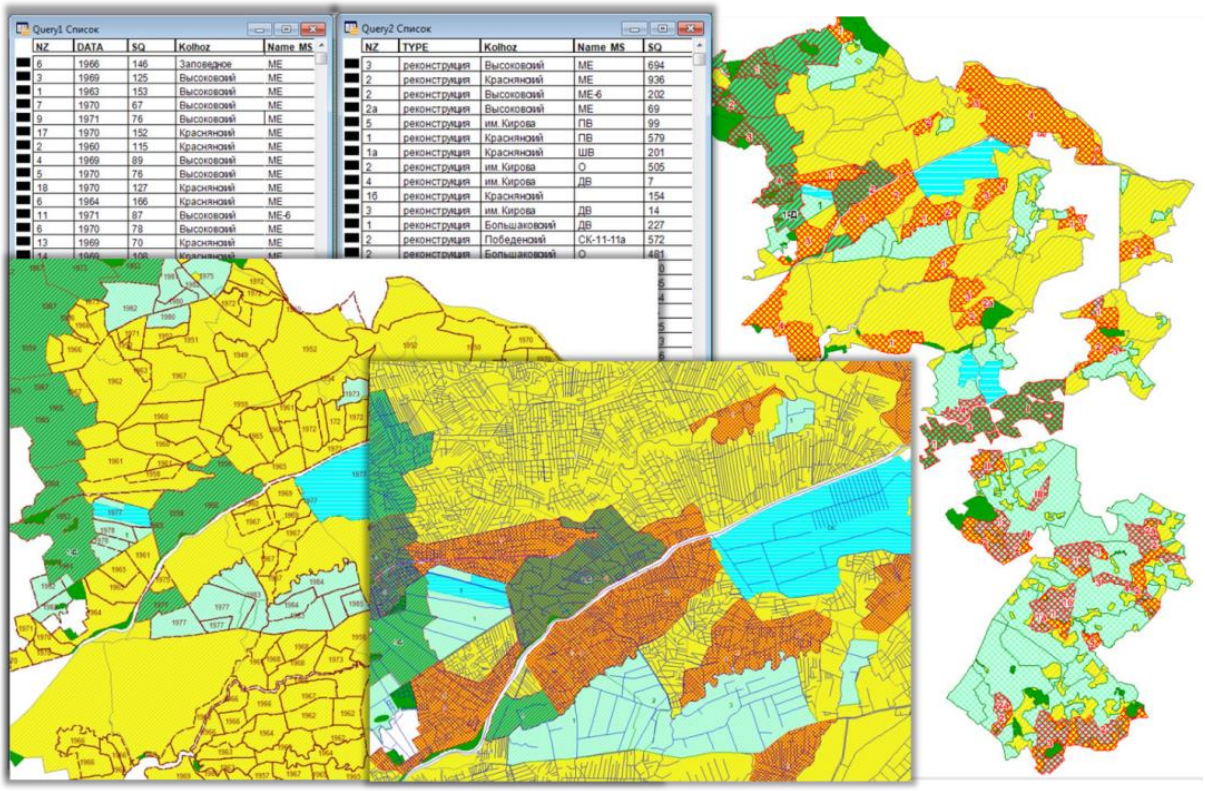


Рис. 8. Участки сданных мелиорированных земель.
Реконструкция и восстановление осушительных систем
Fig. 8. Returned plots of meliorated land.
Reconstruction and restoration of drainage systems

Отдельными слоями в геобазу внесены объекты капитального строительства мелиоративных систем и гидротехнические сооружения (дамбы, насосные станции, мосты, трубопереезды и регуляторы, дренажные устья и пр.) с соответствующей атрибутивной информацией. Для всех водотоков обозначено направление течения.

Пространственные данные и нормализованные перечни объектов имущества мелиоративных систем в границах выполнения работ подготовлены для внесения в АСУ сельскохозяйственных земель Калининградской области.

Для целевого пользователя АСУ сформирован следующий набор тематических карт в масштабе 1: 10 000:

- мелиоративные системы в границах административных округов муниципальных образований;
- мелиоративные системы в границах гидрологических бассейнов;
- участки мелиоративных систем по типам осушения;
- участки мелиоративных систем и гидротехнические сооружения, подлежащие реконструкции и восстановлению;
- участки сданных мелиорированных земель.

Тематические карты являются информационной основой ведения мониторинга осушенных земель и создания Дежурной карты мелиорации Калининградской области для принятия обоснованных эколого-экономических управленческих решений.

На основе введённых данных как на этапе формирования, так при дальнейшем использовании развивалась объединяющая их геобаза. Корректная форма организации позволила гибко формировать и развивать базы данных георeляционного, постреляционного и серверного характера для различных целей, а также для разработки перспективных систем. Первым вариантом была СУБД для АСУ СХЗ КО (АСУ «Сельское хозяйство Калининградской области») для обеспечения функций и бизнес-процессов целевой системы. На основе этой структуры было разработано хранилище геоданных (Geoserver), которое позволило создать Web-ресурс (геопортал «Мелиорация Калининградской области») с возможностью формирования по запросу тематических карт и аналитических сводок, с привлечением спутниковых снимков для актуализации информации. Пример обращения к геопорталу приведён на рис. 9.

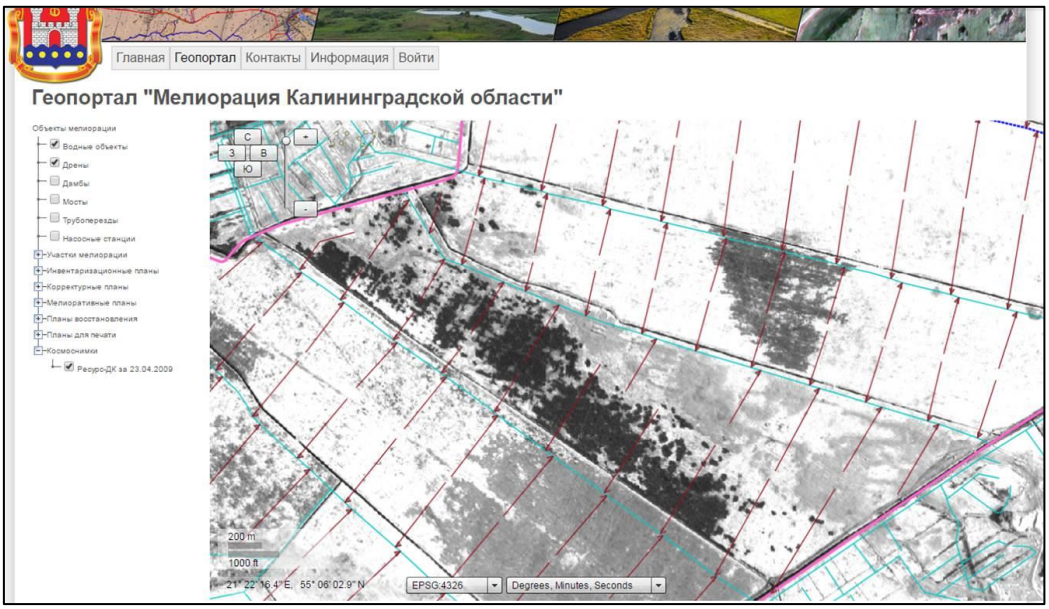


Рис. 9. Пример интерфейса геопортала «Мелиорация Калининградской области»
Fig. 9. Example of geoportal interface "Melioration of the Kaliningrad region"

Рассматривается проект гидрологического моделирования опасных и катастрофических явлений в различных мелиоративных подсистемах с поэтапной разработкой на основе MIKE FLOOD. Такая система предполагает введение детальных характеристик (батиметрию) каждого участка водотока, сбор которых для столь объёмной системы, как Калининградская, является чрезвычайно затратным. Но техногенный характер объектов сети даёт возможность с определённой погрешностью типизировать водотоки и их отдельные участки. Это позволит в относительно короткие сроки подготовить гидрологическую модель и осуществить первичное воспроизведение опасных и катастрофических происшествий. Такое моделирование позволит выявить критические зоны, где необходимо проводить более детальные исследования.

ВЫВОДЫ

Создание базы геоданных мелиоративных систем Калининградской области позволяет решить следующие задачи:

- формализовать и стандартизировать форматы исходных картографических и атрибутивных данных для внесения их в единую базу геоданных;
- повысить оперативность обработки и анализа информации о мелиоративных системах в локальном и региональном масштабах;
- осуществить возможность географической визуализации актуальной информации о состоянии мелиоративных систем;
- организовать единое информационное пространство в сфере управления мелиоративными системами Калининградской области;
- повысить качество и сократить сроки подготовки и принятия решений органов исполнительной власти по вопросам управления мелиорацией.
- провести поэтапные работы по моделированию опасных и катастрофических происшествий на основе гидрологического моделирования.

Для дальнейшего развития существующих автоматизированных систем и создания новых реализовано привлечение материалов дистанционного зондирования земной поверхности в целях мониторинга состояния мелиоративных систем, определения площадей и границ зон затоплений и подтоплений, контроля землепользования.

Необходимость трансграничного сотрудничества в области использования водных ресурсов и мелиоративных систем является решением проблемы согласованного управления такими объектами. Интеграция баз данных, создание единой системы оповещения об опасных природных явлениях, предупреждение экологических рисков, совместные программы по улучшению экологического состояния позволят избежать негативных последствий хозяйственной деятельности в бассейнах трансграничных рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бубер В.Б., Енакаева В.Р., Попова Н.М.* Создание цифровой базы данных (ЦБД) объектов мелиорации Нижней Волги. Мелиорация земель — неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации. Материалы международной научно-практической конференции 24–25 октября 2018 г. М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2019. С. 435−441.

2. *Исаева С.Д., Бондарик И.Г.* Использование опыта эксплуатации дренажа в странах Балтии для развития Нечернозёмной зоны России. Мелиорация земель — неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечернозёмной зоны Российской Федерации. Материалы международной научно-практической конференции 24−25 октября 2018 г. М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2019. С. 66−69.

3. *Халин В.Г., Чернова Г.В.* Цифровизация и её влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски. Власть и экономика. Управленческое консультирование, 2018. № 10. С. 46−63. DOI 10.22394/1726-1139-2018-10-46-63.

4. *Ritzema H.P., Stuyt L.C.P.M.* Land drainage strategies to cope with climate change in the Netherlands. Acta Agriculturae Scandinavica. Section B. Soil & Plant Science, 2015. V. 65. Sup1. P. 80−92. DOI: 10.1080/09064710.2014.994557.
5. *Smedema L.K.* Drainage development: Driving forces, conducive conditions and development trajectories. Irrigation and Drainage, 2011. No 60. P. 654−659.
6. *Sojka M., Kozłowski M., Stasik R., Napierała M., Kesicka B., Wrózynski R., Jaskuła J., Liberacki D., Bykowski J.* Sustainable water management in agriculture — The impact of drainage water management on groundwater table dynamics and subsurface outflow. Sustainability, 2019. No 11. P. 4201. DOI: 10.3390/su11154201.
7. *Suligowski Z., Nawrot N.* The consequences of applying a new Polish Water Law Act for protection against urban flooding. Infraeko 2018, E3S Web of Conferences, 2018. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184500093.

REFERENCES

1. *Buber V.B., Enakaeva V.R., Popova N.M.* Creation of a digital database (CDB) of objects of melioration of the Lower Volga. Land melioration is an integral part of the restoration and development of the agro-industrial complex of the Non-Black Earth zone of the Russian Federation. Proceedings of the International scientific-practical conference, October 24−25 2018. Moscow: Publishing House of Russian Research Institute of Hydrotechnics and Melioration, 2019. P. 435−441 (in Russian).
2. *Isayeva S.D., Bondarik I.G.* Using the experience of operating drainage in the Baltic countries for the development of the Non-Black Earth Zone of Russia. Land melioration is an integral part of the restoration and development of the agro-industrial complex of the Non-Black Earth zone of the Russian Federation. Proceedings of the International scientific-practical conference, October 24−25 2018. Moscow: Publishing House of Russian Research Institute of Hydrotechnics and Melioration, 2019. P. 66−69 (in Russian).
3. *Khalin V.G., Chernova G.V.* Digitalization and its impact on the Russian economy and society: advantages, challenges, threats and risks. Power and Economics. Management consulting, 2018. No 10. P. 46−63. DOI 10.22394/1726-1139-2018-10-46-63 (in Russian).
4. *Ritzema H.P., Stuyt L.C.P.M.* Land drainage strategies to cope with climate change in the Netherlands. Acta Agriculturae Scandinavica. Section B. Soil & Plant Science, 2015. V. 65. Sup1. P. 80−92. DOI: 10.1080/09064710.2014.994557.
5. *Smedema L.K.* Drainage development: Driving forces, conducive conditions and development trajectories. Irrigation and Drainage, 2011. No 60. P. 654−659.
6. *Sojka M., Kozłowski M., Stasik R., Napierała M., Kesicka B., Wrózynski R., Jaskuła J., Liberacki D., Bykowski J.* Sustainable water management in agriculture — The impact of drainage water management on groundwater table dynamics and subsurface outflow. Sustainability, 2019. No 11. P. 4201. DOI: 10.3390/su11154201.
7. *Suligowski Z., Nawrot N.* The consequences of applying a new Polish Water Law Act for protection against urban flooding. Infraeko 2018, E3S Web of Conferences, 2018. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184500093.

УДК: 633.11«324»:581.144:581.131.1(470.63) **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-199-209**

Ф.В. Ерошенко[1], И.Г. Сторчак[2], И.В. Энговатова[3], А.А. Лиховид[4]

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА В РАСТЕНИЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ФАЗЕ КОЛОШЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

Изучена возможность использования данных дистанционного зондирования Земли (RED, NIR, NDVI) для мониторинга содержания азота в растениях озимой пшеницы в условиях производственных посевов. Исследование проведено в два этапа: 1) анализ корреляционной связи показателей NDVI и содержания азота на производственных посевах ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»; 2) сравнительный анализ корреляционной связи содержания азота и данных ДЗЗ в условиях сельхозпредприятия «Родина» Шпаковского района Ставропольского края.

Отборы растительных образцов (сноповой материал) проводили по общепринятой методике. Повторность — 4-кратная. Определение химического состава органов растений проводили по методике В.Т. Куркаева с соавторами, а содержание хлорофилла — по методу Я.И. Милаёвой и Н.П. Примак. В работе использованы данные дистанционного зондирования Земли, полученные сканирующим спектрорадиометром Modis ипредоставленные спутником Terra.

На первом этапе изучена взаимосвязь содержания азота в растениях озимой пшеницы и значений нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Доказано наличие высокой корреляции между этими показателями на ранних этапах роста и развития растений озимой пшеницы. Коэффициент корреляции в среднем по полям в 2012 г. был равен -0,89, а в 2013 и 2014 гг. — -0,82. В более поздние фазы роста и развития растений озимой пшеницы такая связь не выявлена.

На втором этапе установлена целесообразность применения показателя отражения в красной области спектра (RED) для оценки содержания азота в фазе колошения на локальном уровне (отдельное сельхозпредприятие). В этих условиях наблюдалась устойчивая обратная корреляционная связь, величина которой составила -0,71 (в среднем по трём годам исследований). При использовании в анализе других показателей ДЗЗ (NDVI и NIR) связи либо отсутствуют, либо проявляются в меньшей степени.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вегетационный индекс, динамика NDVI, озимая пшеница, содержание азота, Terra (Modis)

---

[1] ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: **yer-sniish@mail.ru**
[2] ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: **sniish.storchak@gmail.com**
[3] ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: **chernova_skfu@mail.ru**
[4] ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», ул. Пушкина, д. 1, 355000, Ставропольский край, Ставрополь, Россия; *e-mail*: **ALikhovid@mail.ru**

Fedor V. Eroshenko[1], **Irina G. Storchak**[2], **Irina V. Engovatova**[3], **Andrey A. Likhovid**[4]

POSSIBILITY OF DETERMINING THE NITROGEN CONTENT IN WINTER WHEAT PLANTS DURING THE EARING PHASE USING REMOTE SENSING DATA

ABSTRACT

The study examined the possibility of using remote sensing Data (RED, NIR, NDVI) for monitoring winter wheat crops in production conditions for nitrogen content in plants. This work is divided into two stages: 1) analysis of the correlation between NDVI indicators and nitrogen content on production crops of the North-Caucasian FNAC; 2) comparative analysis of the correlation between nitrogen content and remote sensing data in the conditions of the "Rodina" agricultural enterprise in the Shpakovsky district of the Stavropol territory.

Selection of plant samples (sheaf material) was carried out according to the generally accepted method. Repeatability — 4-fold. The chemical composition of plant organs was determined using the method of V.T. Kurkaev and co-authors, and the chlorophyll content was determined by Y.I. Milaeva and N.P. Primak. We used the earth remote sensing data provided by the Terra satellite and obtained by the Modis scanning Spectroradiometer.

At the first stage, the relationships between the nitrogen content in winter wheat plants and the values of the normalized difference vegetation index (NDVI) were studied. At the early stages of growth and development of winter wheat plants, high correlation coefficients between these indicators were obtained. Thus, the correlation coefficient on average for the fields in 2012 was equal to -0.89, and in 2013 and 2014 — -0.82. In later phases of growth and development of winter wheat plants, this relationship was not observed.

At the second stage, it was found that it is advisable to use the red reflection index to assess the nitrogen content at the local level (a separate agricultural enterprise) in the earing phase. In this case, there is a stable inverse correlation — the average for three years of research was -0.71. When other remote sensing indicators (NDVI and NIR) are used in the analysis, the links are either absent or less apparent.

KEYWORDS: vegetation index, NDVI dynamics, winter wheat, nitrogen content, Terra (Modis)

ВВЕДЕНИЕ

Азот является одним из важнейших элементов минерального питания зерновых культур. Его недостаток приводит к снижению урожайности и качества зерна озимой пшеницы. Существенное влияние на качество урожая оказывает некорневая азотная подкормка в фазе колошения. Так, в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края применение азотной подкормки на VIII этапе органогенеза озимой пшеницы способствовало повышению урожайности на 3,1 ц/га и улучшению качества зерна, за счёт увеличения содержания сырой клейковины на 2,5 % [*Ерошенко и др.*, 2014]. Поэтому контроль азотного питания на протяжении всего периода роста и развития, в том числе в колошение озимой пшеницы, позволяет оценить потребность в азотных подкормках и является одной из важнейших

[1] North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonova str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: **yer-sniish@mail.ru**
[2] North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonova str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail:* **sniish.storchak@gmail.com**
[3] North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonova str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: **chernova_skfu@mail.ru**
[4] Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "North Caucasian Federal University", Pushkin str., 1, 355000, Stavropol Territory, Stavropol, Russia; *e-mail*: **Likhovid@mail.ru**

задач аграрной науки. Необходимость применения некорневых азотных подкормок в фазе колошения определяется по результатам листовой диагностики, основанной на определении содержания азота в трёх верхних листьях растений.

С другой стороны, диагностика и контроль азотного питания сельскохозяйственных культур является наиболее сложной и недостаточно решённой проблемой в системе агроценозов [*Гамзиков*, 2018]. Причина этого — высокая мобильность минеральных соединений азота в почве [*Завалин и др*., 2018], тогда как методы определения содержания азота в растениях основаны на очень трудоёмких и длительных по времени лабораторных анализах.

В современной науке проблему оценки растений озимой пшеницы на предмет содержания азота целесообразно решать быстрыми и надёжными методами, основанными на использовании данных ДЗЗ. Поскольку оптические свойства посевов связаны с условиями минерального питания [*Магомедов*, 2008], то диагностику содержания азота в растениях озимой пшеницы возможно проводить на основе коэффициентов спектральных яркостей. Так, в красной области спектра фотосинтетически активной радиации (RED) находится один из максимумов поглощения света молекулой хлорофилла, а в инфракрасной (NIR) — область максимального отражения клеточных структур растений. В свою очередь, содержание хлорофилла высоко коррелирует с содержанием азота в растении и с продуктивностью растений озимой пшеницы [*Андрианова, Тарчевский,* 2000].

В связи с этим NDVI, значение которого рассчитывается исходя из указанных коэффициентов, является технологически удобным параметром для оценки состояния растений в течение их роста и развития.

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющих спектральные каналы в красном (0,55–0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75–1,0 мкм). Алгоритм расчёта NDVI встроен практически во все распространенные пакеты программного обеспечения, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования:

$$\mathrm{NDVI} = (\mathrm{NIR} - \mathrm{RED})/\ (\mathrm{NIR} + \mathrm{RED})$$

Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, обычно от 0,2 до 0,8. Отрицательные значения принимает в зоне облачности, снега или льда.

В научной литературе встречаются отдельные работы, свидетельствующие о том, что содержание азота в растениях оказывает влияние на данные дистанционного зондирования Земли [*Ерошенко*, 2017; *Малышевский*, 2018]. К сожалению, таких исследований крайне мало, а для производственных условий они не проводились вовсе. Поскольку Ставрополье является одним из лидеров в Российской Федерации по производству высококачественного зерна пшеницы, разработка методов объективного контроля условий азотного питания посевов для этого региона приобретает особую актуальность.

В связи с вышесказанным целью нашей работы было установить возможность использования коэффициентов спектральной яркости (RED и NIR), а также NDVI для оценки содержания азота в растениях озимой пшеницы на производственных посевах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнялась с 2012 по 2014 гг. в ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» на производственных посевах различных сортов озимой пшеницы (рис. 1) [*Доспехов*, 2014]. В работе анализировали данные, полученные в фазы весеннего кущения, трубкования, колошения, налива зерна. Отборы растительных образцов (сноповой материал) проводили по общепринятой методике. Повторность — 4-кратная. Кроме того, в 2013, 2014 и 2015 гг. в ООО СХП «Родина» Шпаковского района Ставропольского края на производственных посевах озимой пшеницы в рамках НИОКР проводили исследования по состоянию растений в фазе колошения.

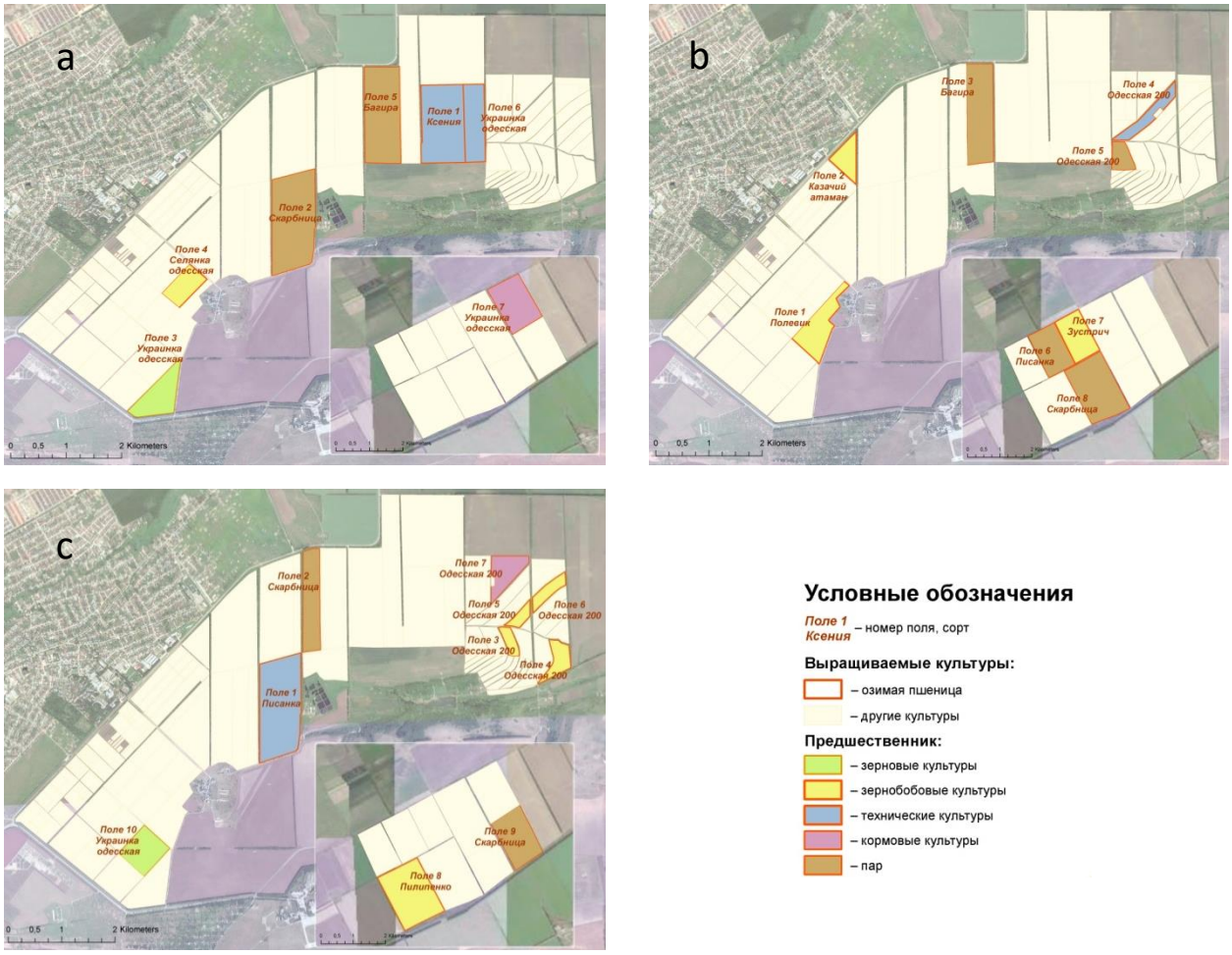


Рис. 1. Размещение посевов озимой пшеницы: a — 2012 г., b — 2013 г., c — 2014 г.
Fig. 1. Placement of winter wheat crops: a — 2012, b — 2013, c — 2014

Определение химического состава органов растений озимой пшеницы проводилось согласно методике В.Т. Куркаева с соавторами, а содержание хлорофилла — по методу Я.И. Милаёвой и Н.П. Примак.

В качестве базового геоинформационного программного обеспечения использовалась платформа Quantum GIS 2.18, математическая и статистическая обработка данных проводилась в табличном редакторе Microsoft Excel 2010. Источником данных дистанционного зондирования производственных посевов послужил сервис ВЕГА-Science (sci-vega.ru) Института космических исследований РАН. Данный спутниковый сервис решает задачи сбора, хранения, предварительной обработки спутниковых данных и их тематического анализа. Архивы данных Веги представляют собой космические изображения различного пространственного разрешения (поступают более чем с 15 космических аппаратов с 2000 г.), прошедшие атмосферную коррекцию. Сервис позволяет анализировать с использованием временных рядов вегетационных индексов состояние растительного покрова (например, посевов сельскохозяйственных культур и лесов), его сезонную и многолетнюю динамику для любого заданного пользователем полигона (поля, лесного выдела и т.п.) [*Ёлкина и др.*, 2017].

Нами были использованы данные спутника Terra, полученные сканирующим спектрорадиометром Modis. Приборы датчика фиксируют данные в 36 спектральных диапазонах длин волн от 0,4 мкм до 14,4 мкм и при различных пространственных разрешениях

(2 полосы на 250 М, 5 полос на 500 м и 29 полос на 1 км). Использовались спектральные каналы в красном (0,55–0,75 мкм) и инфракрасном диапазонах (0,75–1,0 мкм) с пространственным разрешением 250 м. Частота съёмки — 1–2 дня.

Каждому полю присваивалось среднее значение коэффициентов спектральной яркости в границах поля. В дальнейшем по ним рассчитывался коэффициент корреляции.

Почвы исследуемых полей представлены чернозёмом обыкновенным среднемощным малогумусным тяжелосуглинистым. Реакция почвенных образцов пахотного слоя почвы слабощелочная и нейтральная. Содержание гумуса в слое 0–20 см почвы за весь период наблюдения у всех полей было низкое и находилось в пределах 3,17–3,77 %. В среднем по полям содержание подвижного фосфора в пахотном слое было в пределах 23–27 мг/кг, азота — 0,2–0,23 %, подвижного калия варьировалось от 140 мг/кг до 470 мг/кг.

В 2011–2012 сельскохозяйственном году наблюдалось раннее прекращение осенней и позднее возобновление весенней вегетации на фоне повышенного температурного режима и значительного недобора осадков в весенне-летний период. В начале 2012–2013 сельскохозяйственного года (сентябрь, октябрь) отмечалась сильная засуха, которая в значительной степени компенсировалась благоприятными условиями ноября и декабря; кроме того, отмечалось раннее возобновление весенней вегетации и своевременное выпадение осадков в репродуктивный период. Наиболее благоприятным как по температурному режиму, так и по количеству осадков был 2013–2014 сельскохозяйственный год, что положительно повлияло на рост и развитие растений озимой пшеницы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение содержания азота в растениях на основе данных ДЗЗ связано с использованием оптических характеристик посевов. Так, отражение в красной области спектра зависит от содержания хлорофилла в растениях озимой пшеницы. В свою очередь динамика содержания хлорофилла параллельна динамике концентрации азота в растениях.

Проведено исследование изменения содержания азота в растениях озимой пшеницы различных сортов в течение вегетации (табл. 1). В 2012 г. в фазе кущения опытные образцы имели достаточно высокие показатели относительного содержания азота в растениях. Среди них выделяется поле 6 (4,16 %), которое даже в период налива зерна имело более высокое значение данного показателя (1,45 %) по сравнению с другими образцами. Наименьшее содержание азота в фазе кущения наблюдалось на 4-ом поле — 3,58 %, но к фазе налива зерна разрыв в показателях сократился и составил 1,12 %, что превышало среднее значение по всем полям (1,06 %). В целом в 2012 г. доля азота в растениях озимой пшеницы значительно превышала показатели 2013 и 2014 гг., особенно в периоды колошения и налива зерна.

Результаты растительной диагностики в фазе кущения в 2013 году показали более низкие значения содержания азота в растениях на всех опытных полях по сравнению с 2012 и 2014 гг. (3,08 % от 3,84 % и 3,86 % соответственно). На поле 7 оно было самым низким — 2,67 %. В последующие фазы различия по годам были менее выражены. Так, в период налива зерна средняя величина содержания азота в растениях на опытных полях в 2013 г. составила 0,88 %, что выше показателя 2014 г. на 0,06 %.

Анализ относительного содержания азота в растениях озимой пшеницы в 2014 г. показал, что существенное изменение этого показателя связано с резким снижением концентрации азота при переходе от фазы кущения к фазе трубкования, вызванного, видимо, недобором осадков в этот период. Так, на 4-м опытном поле относительное содержание азота сократилось с 4,4 % до 1,53 %. В среднем по полям этот показатель составил 1,71 %, что значительно меньше, чем в 2012 и 2013 гг. (2,41 % и 2,42 % соответственно). К фазе налива зерна разрыв значений по годам сократился и составил 0,82 %.

Табл. 1. Динамика относительного содержания азота в растениях озимой пшеницы
Table 1. Dynamics of relative nitrogen content in winter wheat plants

Год	№ поля	Содержание азота, %			
		кущение	трубкование	колошение	налив зерна
2012	Поле 1	3,95±0,14	2,38±0,08	1,75±0,06	0,96±0,03
	Поле 2	3,78±0,13	2,24±0,08	1,67±0,06	0,86±,03
	Поле 3	4,01±0,14	2,59±0,09	1,83±0,06	0,98±0,03
	Поле 4	3,58±0,13	2,79±0,10	1,76±0,06	1,12±0,04
	Поле 5	3,67±0,13	2,16±0,08	1,89±0,07	0,93±0,03
	Поле 6	4,16±0,15	2,45±0,09	1,97±0,07	1,45±0,05
	Поле 7	3,76±0,13	2,24±0,08	1,85±0,06	1,15±0,04
Среднее		**3,84±0,13**	**2,41±0,08**	**1,79±0,06**	**1,06±0,04**
2013	Поле 1	2,77±0,10	2,46±0,09	0,92±0,03	0,82±0,03
	Поле 2	3±0,11	2,24±0,08	0,71±0,02	0,93±0,03
	Поле 3	2,88±0,10	2,33±0,08	1,02±0,04	0,49±0,02
	Поле 4	3,89±0,14	2,71±0,09	1,57±0,05	1,14±0,04
	Поле 5	3,32±0,12	2,36±0,08	1,2±0,04	1,06±0,04
	Поле 6	3,15±0,11	2,29±0,08	1,07±0,04	0,9±0,03
	Поле 7	2,67±0,09	2,06±0,07	0,72±0,03	0,77±0,03
	Поле 8	2,96±0,10	2,95±0,10	0,86±0,03	0,92±0,03
Среднее		**3,08±0,11**	**2,42±0,08**	**1,01±0,04**	**0,88±0,03**
2014	Поле 1	3,78±0,13	1,95±0,07	1,48±0,05	0,92±0,03
	Поле 2	3,98±0,14	1,91±0,07	1,8±0,06	0,99±0,03
	Поле 3	3,47±0,12	1,45±0,05	1,34±0,05	0,86±0,03
	Поле 4	4,4±0,15	1,53±0,05	1,52±0,05	0,99±0,03
	Поле 5	3,69±0,13	2,03±0,07	1,53±0,05	0,97±0,03
	Поле 6	4,01±0,14	1,86±0,07	1,45±0,05	0,7±0,02
	Поле 7	4,05±0,14	1,74±0,06	1,37±0,05	0,65±0,02
	Поле 8	3,69±0,13	1,41±0,05	0,9±0,03	0,46±0,02
	Поле 9	3,99±0,14	1,59±0,06	1,21±0,04	1±0,04
	Поле 10	3,56±0,12	1,6±0,06	1,07±0,04	0,68±0,02
Среднее		**3,86±0,14**	**1,71±0,06**	**1,37±0,05**	**0,82±0,03**

Проведён анализ связи между содержанием азота в растениях озимой пшеницы и значениями вегетационного индекса NDVI рассматриваемых полей. Установлена корреляция между этими показателями только в начальный период роста и развития растений озимой пшеницы (коэффициент корреляции в среднем по полям в 2012 г. был равен -0,89 и -0,82 в 2013 и 2014 гг.). В более поздних фазах роста и развития растений озимой пшеницы такая связь не наблюдалась, что может быть связано с проявлением сортовых и технологических особенностей накопления биомассы и хлорофилла, а также морфофизиологических признаков.

В целях установления возможности использования данных ДЗЗ в производственных условиях для оценки содержания азота в растениях в фазе колошения проанализированы данные обследования полей в СХП «Родина» Шпаковского района, проведённого сотрудниками отдела физиологии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в рамках выполнения хоздоговорных работ по научному обеспечению возделывания озимой пшеницы (2013, 2014 и 2015 г.). Данное предприятие расположено в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края.

Нами выполнена оцифровка всех полей с озимой пшеницей в каждый год исследований. С помощью сервиса ВЕГА Института космических исследований РАН получены данные дистанционного зондирования Земли соответствующих полей в даты, близкие к датам проведения отборов растительных образцов. В качестве данных ДЗЗ использованы коэффициенты спектральной яркости в инфракрасной и красной областях спектра электромагнитных волн (RED и NIR) и вегетационный индекс NDVI.

Анализ полученных данных в фазе колошения (рис. 2) показал достаточно высокий уровень сопряжения между показателем отражения в красной области спектра (RED) и содержанием азота в растениях озимой пшеницы. Так, в 2013 г. коэффициент корреляции был значимый для p=0,05 (-0,60), в 2014 — для p=0,05 (-0,60), а в 2015 — для p=0,01 (-0,70).

Кроме того, связь между значениями RED и содержанием азота в растениях озимой пшеницы в фазе колошения за все три года исследований проявляется ещё более явно (для p=0,01) — коэффициент корреляции составляет -0,71.

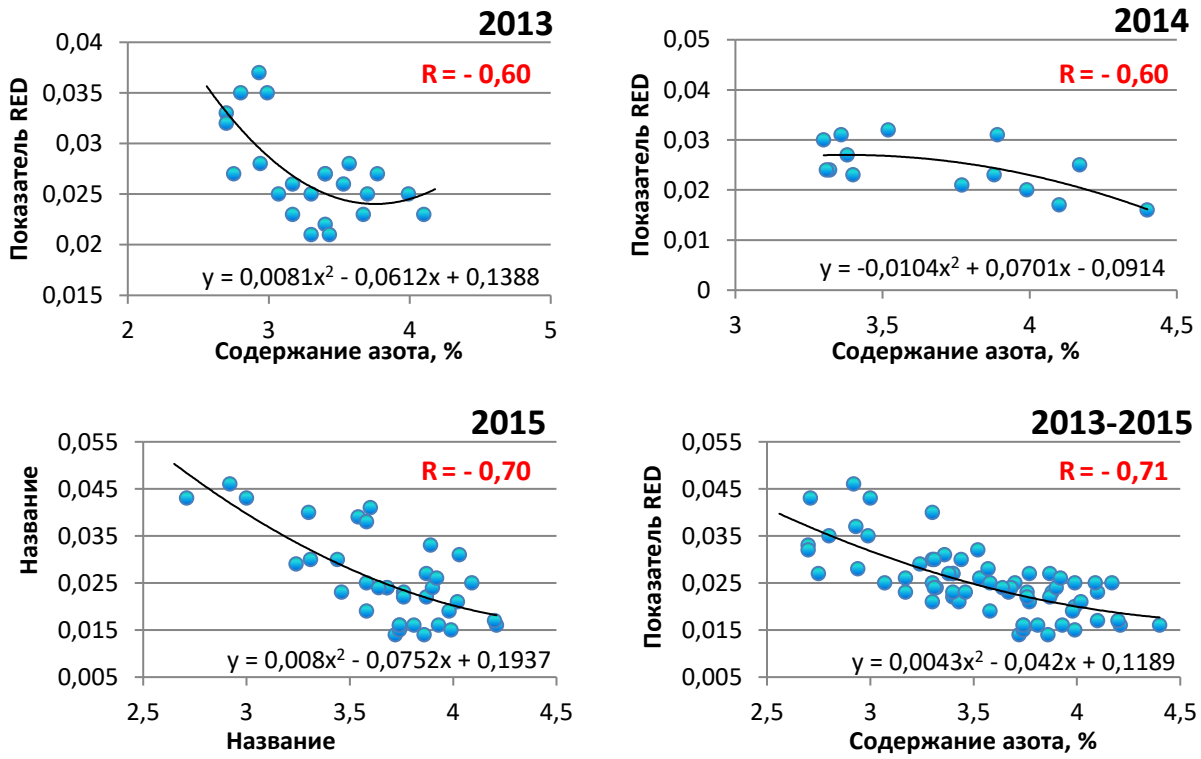


Рис. 2. Зависимость показателей отражения посевов в красной области спектра от содержания азота в растениях озимой пшеницы ООО СХП «Родина»

Fig. 2. Dependence of crop reflection indicators in the red region of the spectrum on the nitrogen content in winter wheat plants of the "Rodina" agricultural complex

Поскольку величина RED зависит от количества хлорофилла в растениях (максимумом поглощения зелёных пигментов находится в красной области спектра), онтогенетическое изменение которого параллельно динамике содержания азота, то полученные значения коэффициентов корреляции были ожидаемо высокими.

Связь NDVI с относительным содержанием азота в фазе колошения нами не выявлена. Так, в 2013 г. коэффициент корреляции между содержанием азота и NDVI составил 0,61, в то время как в 2014 и в 2015 гг. — всего 0,28 и 0,33 соответственно (рис. 3).

Такая же закономерность установлена и в случае с коэффициентом спектральной яркости в инфракрасной области спектра (NIR) (рис. 4), что объясняется отсутствием устойчивой зависимости между объёмом биомассы и количеством азота в растениях.

Таким образом, наши исследования показали, что для оценки содержания азота в растениях озимой пшеницы в период колошения, в т.ч. в производственных условиях, могут быть использованы данные дистанционного зондирования Земли. Для этой цели следует применять значения спектральной яркости в красной области спектра (RED).

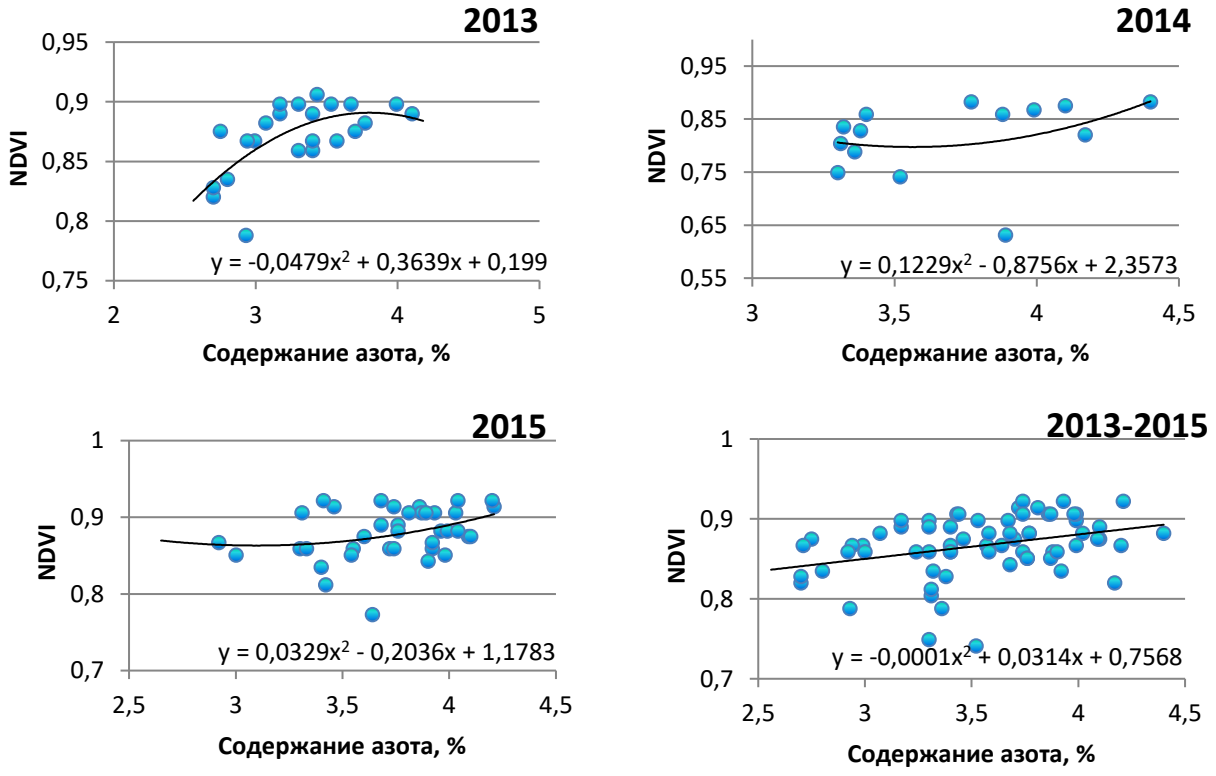


Рис. 3. Зависимость NDVI от содержания азота в растениях озимой пшеницы ООО СХП «Родина»
Fig. 3. Dependence of NDVI on the nitrogen content in winter wheat plants of the "Rodina" agricultural complex

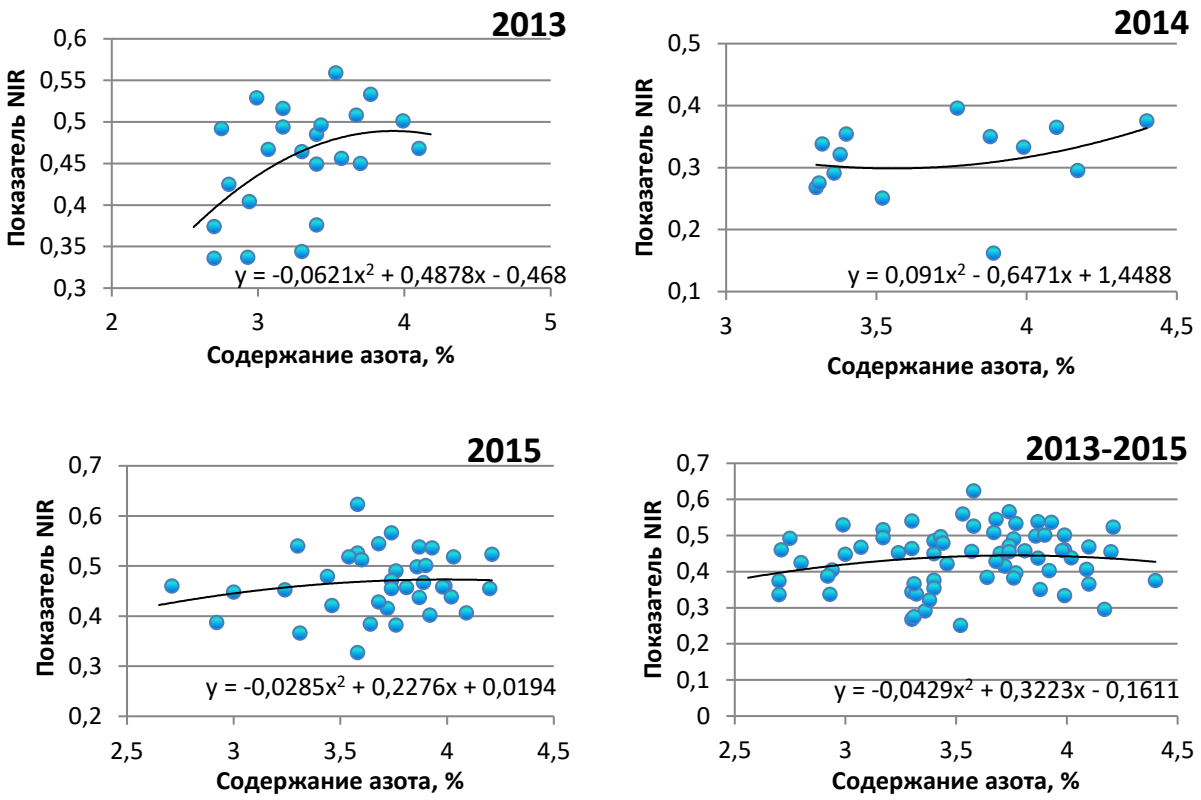


Рис. 4. Зависимость показателей отражения посевов в инфракрасной области спектра от содержания азота в растениях озимой пшеницы ООО СХП «Родина»
Fig. 4. Dependence of indicators of reflection of crops in the infrared region of the spectrum on the nitrogen content in winter wheat plants of the "Rodina" agricultural complex

ВЫВОДЫ

1. В условиях 2012–2014 гг. существовала обратная связь между динамикой вегетационного индекса NDVI и изменениями содержания азота в растениях озимой пшеницы в онтогенезе, которая в среднем по годам оценивается коэффициентом корреляции равным -0,84.

2. В условиях 2013–2015 гг. на производственных посевах для оценки содержания азота в растениях озимой пшеницы в фазе колошения целесообразно использовать коэффициент отражения посевов в красной области спектра, когда наблюдается устойчивая обратная связь между этими показателями, которая оценивается коэффициентом корреляции -0,71.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А.* Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.
2. *Гамзиков Г.П.* Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии: производственно-практ. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 48 с.
3. *Голубева Е.И., Каширина Е.С., Новиков А.А., Глухова А.В.* Использование индекса NDVI для геоэкологической оценки особо охраняемых природных территорий на примере города Севастополя. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого

развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 320–331. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331.
4. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. М.: Альянс, 2014. 351 с.
5. *Ерошенко Ф.В.* Оценка качества зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае по данным дистанционного зондирования Земли. Бюллетень Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства, 2017. № 9. С. 118–128.
6. *Ерошенко Ф.В., Ерошенко А.А., Сторчак И.Г.* Эффективность поздних некорневых азотных подкормок озимой пшеницы. Достижения науки и техники АПК, 2014. № 8. С. 32–35.
7. *Ёлкина Е.С., Барталёв С.А., Толпин В.А., Лупян Е.А.* Возможности сервиса спутникового мониторинга «Вега». Современные подходы к изучению экологических проблем в физической и социально-экономической географии. X Международная молодёжная школа-конференция. М.: Институт географии РАН, 2017. С. 162−163.
8. *Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я.* Азот в агросистеме на чернозёмных почвах. М.: РАН, 2018. 180 с.
9. *Магомедов М.Х.-М., Маммаев А.Т., Алиева М.Ю.* Влияние условий минерального питания на флуоресценцию, фотосинтетическую активность и ростовые параметры растений. Юг России: экология, развитие, 2008. № 2. С. 52–56.
10. *Малышевский В.А., Федулов Ю.П., Малышевский П.В.* Создание карт-заданий для дифференцированного внесения азотной подкормки с использованием данных ДЗЗ. Энтузиасты аграрной науки: Сборник статей по материалам Международной конференции, 2018. С. 7–14.

REFERENCES

1. *Andrianova Yu.E., Tarchevsky I.A.* Chlorophyll and plant productivity. Moscow: Nauka, 2000. 135 p. (in Russian).
2. *Gamzikov G.P.* Practical recommendations for soil diagnostics of nitrogen nutrition of field crops and application of nitrogen fertilizers in Siberian agriculture: production and practice ed. Moscow: FSBSI “Rosinformagrotech”, 2018. 48 p. (in Russian).
3. *Golubeva E.I., Kashirina E.S., Novikov A.A., Glukhova A.V.* Using the NDVI index for geoecological assessment of specially protected natural territories on the example of the city of Sevastopol materials. InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 320–331. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331 (in Russian).
4. *Dospekhov B.A.* Method of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook for higher agricultural educational institutions. Moscow: Alliance, 2014. 351 p. (in Russian).
5. *Eroshenko F.V.* Assessment of the quality of winter wheat grain in the Stavropol territory according to remote sensing Data. Bulletin of the Stavropol Research Institute of Agriculture, 2017. No 9. P. 118–128 (in Russian).
6. *Eroshenko F.V., Eroshenko A.A., Storchak I.G.* Efficiency of late non-root nitrogen feedings of winter wheat. Achievements of Science and Technology of AIC, 2014. No 8. P. 32–35 (in Russian).
7. *Elkina E.S., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Lupyan E.A.* Possibilities of satellite monitoring service “VEGA”. Modern approaches to the study of environmental problems in physical and socio-economic geography. X International Youth School-Conference. Moscow: Institute of Geography RAS, 2017. P. 162−163 (in Russian).
8. *Magomedov M.Kh.-M., Mammaev A.T., Alieva M.Yu.* Influence of mineral nutrition conditions on fluorescence, photosynthetic activity and growth parameters of plants. South of Russia: Ecology, Development, 2008. No 2. P. 52–56 (in Russian).

9. *Malyshevsky V.A., Fedulov Yu.P., Malyshevsky P.V.* Creating task maps for differentiated application of nitrogen fertilization using remote sensing data. Agricultural Science Enthusiasts: Proceedings of the International Conference, 2018. P. 7–14 (in Russian).
10. *Zavalin A.A., Sokolov O.A., Shmyreva N.Ya*. Nitrogen in the agricultural system on Chernozem soils. Moscow: RAS, 2018. 180 p. (in Russian).

УДК: 631.44:528.8 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-210-220**

А.Н. Чащин[1], В.Ю. Гилёв[1]

ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ ПЛОДОРОДНОГО СЛОЯ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ПОЧВ

АННОТАЦИЯ

Важным показателем плодородия почв является мощность плодородного слоя, которая значительно сокращается при техногенном воздействии и частично восстанавливается при рекультивации. Оперативно оценить мощность плодородного слоя почв нарушенных участков позволяют данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ). Цель работы — изучить возможность использования вегетационного индекса NDVI для дистанционной оценки мощности плодородного слоя техногенно-нарушенных почв. Объект исследований — почвенный покров земель сельскохозяйственного назначения, представленный на 26 земельных участках с общей площадью 3 га. По спутниковым снимкам установлено, что исходное состояние почвенного покрова территории было равномерным. На картограммах NDVI отражена динамика проективного покрытия растениями в пространстве и времени. По NDVI установлено значительное изменение в проективном покрытии по сравнению с первоначальным состоянием территории. Установлено, что размер толщины нанесённого плодородного слоя влияет на скорость развития биомассы травянистых растений. Наиболее тесная достоверная связь NDVI и плодородного слоя почв наблюдается после появления первых всходов на рекультивированной территории. Коэффициенты корреляции NDVI с мощностью плодородного слоя почв равны 0,65 в среднем по участкам и 0,71 в конкретных точках измерения плодородного слоя.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Пермский край, рекультивация почв, данные Landsat, данные Sentinel-2, индекс NDVI

Aleksey N. Chashchin[2], Vitaliy Yu. Gilev[2]

POSSIBILITIES OF REMOTE SENSING DATA IN THE ASSESSMENT OF THE THICKNESS OF THE TOP LAYER OF DISTURBED SOIL

ABSTRACT

An important indicator of soil fertility is the thickness of the fertile layer, which is significantly reduced during anthropogenic impact and partially restored during reclamation. The data of remote sensing of the Earth (RS) allow to quickly evaluate the thickness of the fertile soil layer of disturbed areas. The purpose of the work is to study the possibility of using the vegetation index NDVI for remote assessment of the thickness of the fertile layer of technologically disturbed soils. The object of research is the soil cover of agricultural land represented on 26 land plots with a total area of 3 ha. According to satellite images, the initial state of the soil cover of the territory was uniform. The NDVI cartograms reflect the dynamics of projective cover by plants in space and time. According to NDVI, a significant change in the projective cover was established compared with the initial state of the territory. It was established that the thickness size of the applied fertile

[1] ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, д. 23, 614990, Пермь, Россия; *e-mail:* **chascshin@mail.ru**
[2] FSBEI HE “Perm State Agro-Technological University named after academician D.N. Pryanishnikov”, Petropavlovskaya str., 23, 614990, Perm, Russia; *e-mail:* **chascshin@mail.ru**

layer affects the rate of development of biomass of herbaceous plants. The closest reliable relationship between NDVI and the fertile soil layer is observed after the appearance of the first seedlings in the reclaimed territiry. The correlation coefficients of NDVI with the thickness of the fertile soil layer are 0.65 on average over the plots and 0.71 at specific points of measurement of the fertile layer.

KEYWORDS: Perm region, land reclamation, NDVI, Landsat data, Sentinel-2 data

ВВЕДЕНИЕ

Мощность плодородного слоя почвы является важным показателем её плодородия, особенно в условиях рискованного земледелия Пермского края [*Самофалова*, 2015]. Изменение мощности плодородного слоя почвы на территориях, не подверженных водной и ветровой эрозии, часто происходит при строительстве новых дорог и реконструкции существующих. При этом временное занятие прилегающих территорий приводит к разрушению на них почвенного покрова с последующим восстановлением путём рекультивации. Данные работы регламентируются ГОСТ 17.5.3.06-85[1]. Однако после завершения работ возвращенный плодородный слой почвы часто распределён неравномерно.

Поэтому возможности данных дистанционного зондирования эффективны в оценке состояния техногенно-нарушенных почв. По литературным данным, она выполняется косвенно, через состояние растений по вегетационному индексу NDVI [*Ничипорович, Радевич*, 2012; *Khalil*, 2014; *Bhardwaj et al.*, 2016]. Роль NDVI как индикационного показателя плодородия показана для различных типов почв России [*Савин, Танов*, 2014; *Васильев и др.*, 2018; *Гопп, Савенков*, 2019], однако исследований по использованию вегетационного индекса в оценке мощности плодородного слоя техногенно-нарушенных почв на территории Пермского края не проводилось. При этом опыт зарубежных исследований свидетельствует о значительной связи между пространственной картиной плодородия почвы и NDVI [*Fabiyi*, 2013]. На нарушенных почвах Египта при помощи индекса NDVI выявлено увеличение площади растительности после проведения восстановительной мелиорации [*Bakr*, 2010]. Также на NDVI влияет влажность плодородного слоя почвы [*Корниенко*, 2017]. Таким образом, оперативно оценить пространственную неоднородность мощности плодородного слоя почвы нарушенных участков позволяют данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ). Для этого необходимо установить взаимосвязь наземных измерений плодородного слоя нарушенной почвы и NDVI.

Цель работы — изучить возможность использования вегетационного индекса NDVI для дистанционной оценки мощности плодородного слоя техногенно-нарушенной почвы.

Задачи исследований:

- провести наземную оценку фактической мощности плодородного слоя почвы;
- установить периоды техногенной трансформации почвенного покрова;
- оценить взаимосвязь мощности плодородного слоя почвы и вегетационного индекса NDVI.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований выбраны почвы 26 учтенных земельных участков, на которых проведена рекультивация (по договору с организаций, осуществляющей рекультивацию земель). Участки расположены Пермском районе Пермского края (рис. 1). Категория земель — земли сельскохозяйственного назначения. Рельеф территории участков ровный. Общая площадь равна 3 га, а площадь каждого из участков примерно по 0,11 га.

[1] ГОСТ 17.5.3.06–85. Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 4 с.

Изучены почвы: светло-серая лесная тяжелосуглинистая на эталонных участках (под №№ 1 и 24) и техногенных поверхностные образования среднесуглинистого и тяжёлосуглинистого гранулометрического состава на нарушенных участках. Территория участков в течение 7 лет использовалась для размещения строительной техники, задействованной на реконструкции трассы Р 242 Пермь − Екатеринбург. После завершения работ была проведена рекультивация, однако пространственное распределение плодородного слоя почвы стало неравномерным.

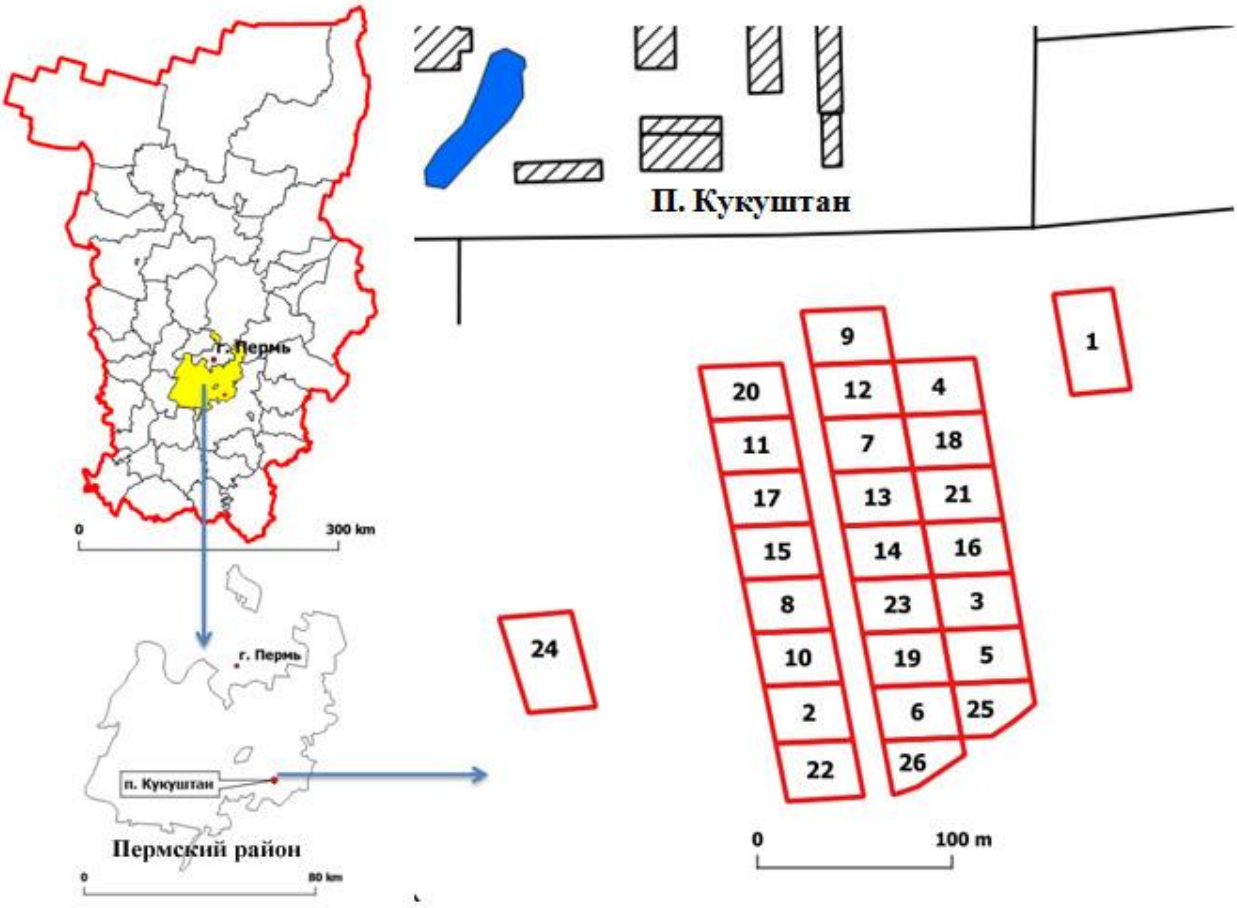


Рис. 1. Расположение земельных участков на территории Пермского края
Fig. 1. Location of lands in the Perm region

Полевые исследования проводились в октябре 2019 г. Они включали в себя:

- наземные измерения толщины плодородного слоя техногенно-нарушенных почв в прикопках, вскрывающих два верхних горизонта почвы;
- описание почвы в полнопрофильном разрезе на эталонном участке 24;
- отбор смешанных образцов почв по диагонали нарушенных участков;
- описание растительности на нарушенной и ненарушенной частях территории.

Обработка данных дистанционного зондирования и их сопоставление с наземными наблюдениями выполнено в QGIS. Перечень использованных ДДЗ представлен в табл. 1.

Табл. 1. Характеристика использованных спутниковых снимков
Table 1. Description of used satellite imagery

№ п/п	Сенсор	Дата съёмки	Решаемая задача	Источник
1	Landsat-5	Июль 2011	Оценка исходного состояния почв по NDVI	USGS
2	Landsat-5	Август 2011	Оценка исходного состояния почв по NDVI	USGS
3	Sentinel-2	Июль 2016	Оценка проективного покрытия растениями нарушенных участков. Расчёт NDVI	USGS, Sentinel HUB
4	Sentinel-2	Июнь 2018	Выявление периода рекультивации. Оценка самозарастания участков после рекультивации. Расчёт NDVI	USGS, Sentinel HUB
5	Sentinel-2	Июль 2018	Оценка динамики проективного покрытия растениями после рекультивации. Расчёт NDVI	USGS, Sentinel HUB
6	Sentinel-2	Июль 2019	Оценка современного проективного покрытия растениями. Расчёт NDVI	USGS

Вегетационный индекс NDVI вычислен по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \qquad (1)$$

где NIR — отражение в ближнем инфракрасном канале снимка; RED — отражение в красном канале снимка [*Черепанов*, 2011].

В связи с различным пространственным разрешением снимков (Landsat-5 – 30 м, Sentinel-2 – 10 м) и малой площадью участков рассчитанные NDVI-изображения приведены к размеру ячейки в 1 м путём передискретизации по методу интерполяции B-spline. Результаты вычисления NDVI оценивались по шкале ГИС-центра ПГНИУ для сельскохозяйственных растений территории Пермского края [*Пьянков*, 2009].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам наземных наблюдений и измерений установлена техногенная нарушенность почв, которая выражается в значительном уменьшении мощности плодородного слоя (почти в 2 раза) по сравнению с эталонной светло-серой лесной почвой. Лабораторный анализ отобранных образцов показал смещение реакции среды у нарушенных почв в щелочную сторону от 0,6 до 0,9 (pH_{KCl}). Мощность плодородного слоя сильно варьирует 0 до 38 см, при этом у эталонной почвы она равна 28 см (табл. 2). Фотографии состояния плодородного слоя почвы каждого участка отмечены номерами на картограмме (рис. 2) и представлены на рис. 3.

Сопоставление наземных измерений со спутниковыми изображениями свидетельствует о том, что исходное состояние почвенного покрова территории было равномерным (рис. 4). Изменения в проективном покрытии произошли в августе 2011 г. — появилась ровная форма границ антропогенных объектов строительной базы. Этот контур соответствует ареалу нарушенных почв (рис. 4а, июль 2016 г.). По серии снимков Sentinel-2 за июнь 2018 г. установлен период проведённой рекультивации — с 15 по 24 июня (рис. 4б). С 23 июля 2018 г. наблюдается процесс естественного зарастания травянистыми растениями от периферии к центру территории (рис. 4в, 4г).

Табл. 2. Мощность плодородного слоя почв нарушенных и фоновых участков
Table 2. The thickness of the fertile soil layer on disturbed and background areas

Номер участка	Мощность, см	Номер участка	Мощность, см	Номер участка	Мощность, см
1**	30	10	18	19	23
2	20	11	19	20	20
3	7	12	29	21*	6
4	13	13*	8	21	30
5	7	14	17	22	18
6	20	15	23	23	30
7	20	16	13	25	12
8	25	17	38	26	20
9	0	18	23	24**	28

* — нарушенная часть земельного участка; ** — эталонный земельный участок

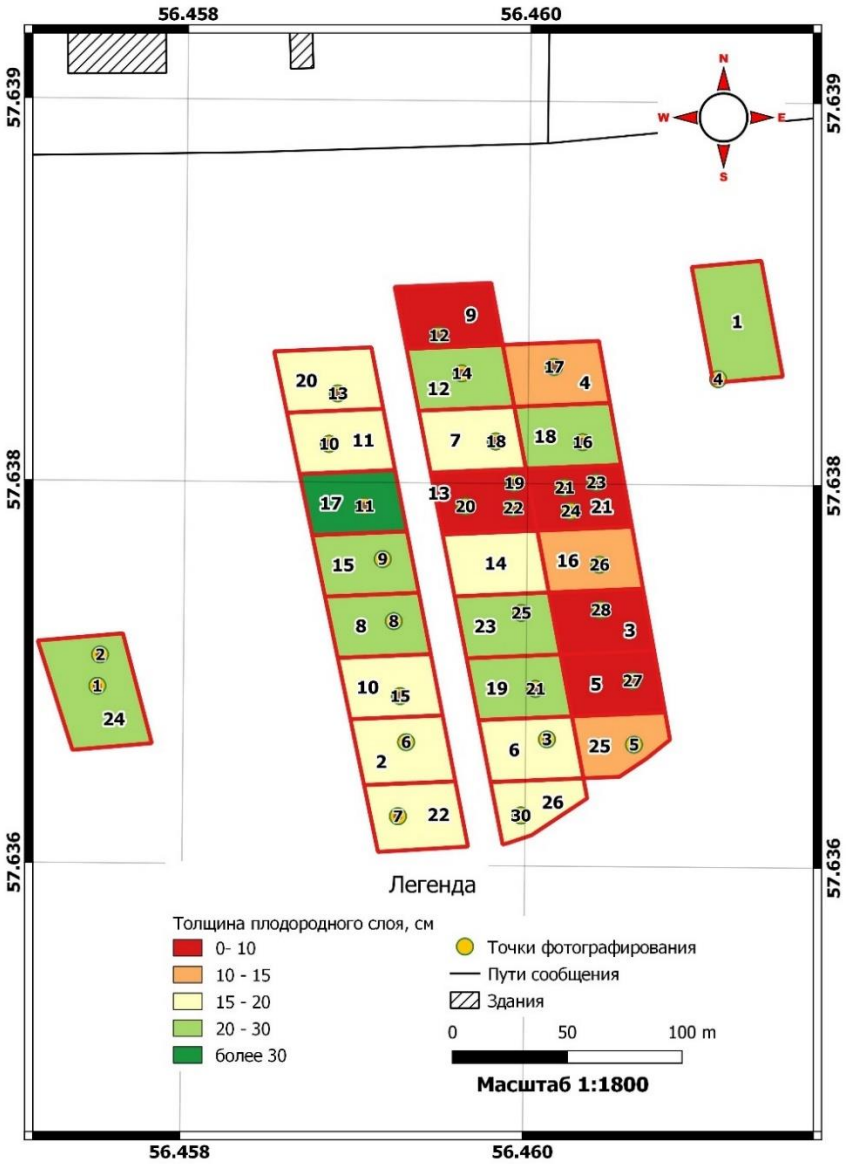


Рис. 2. Картограмма мощности плодородного слоя почвы
Fig. 2. Cartogram of fertile soil thickness

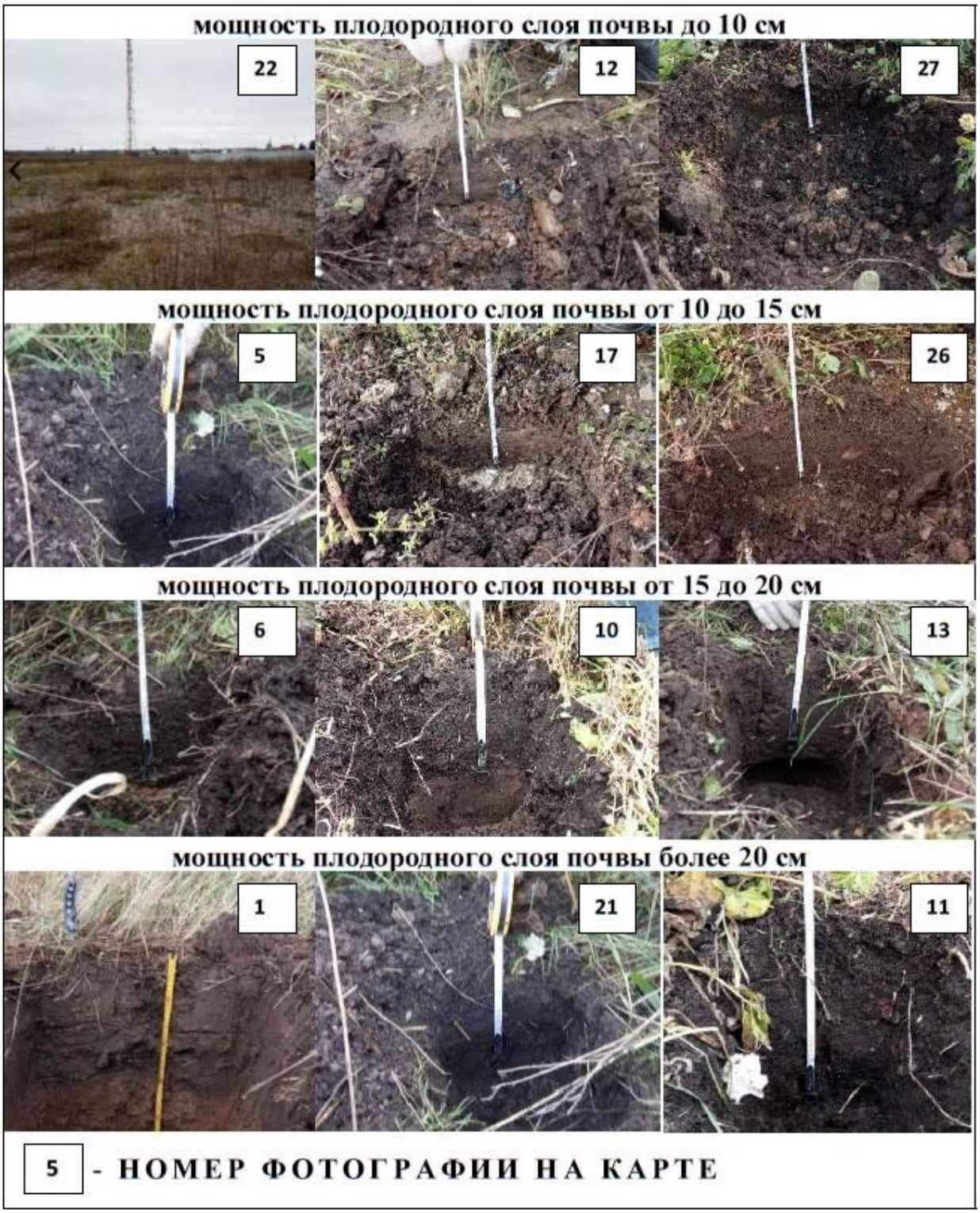
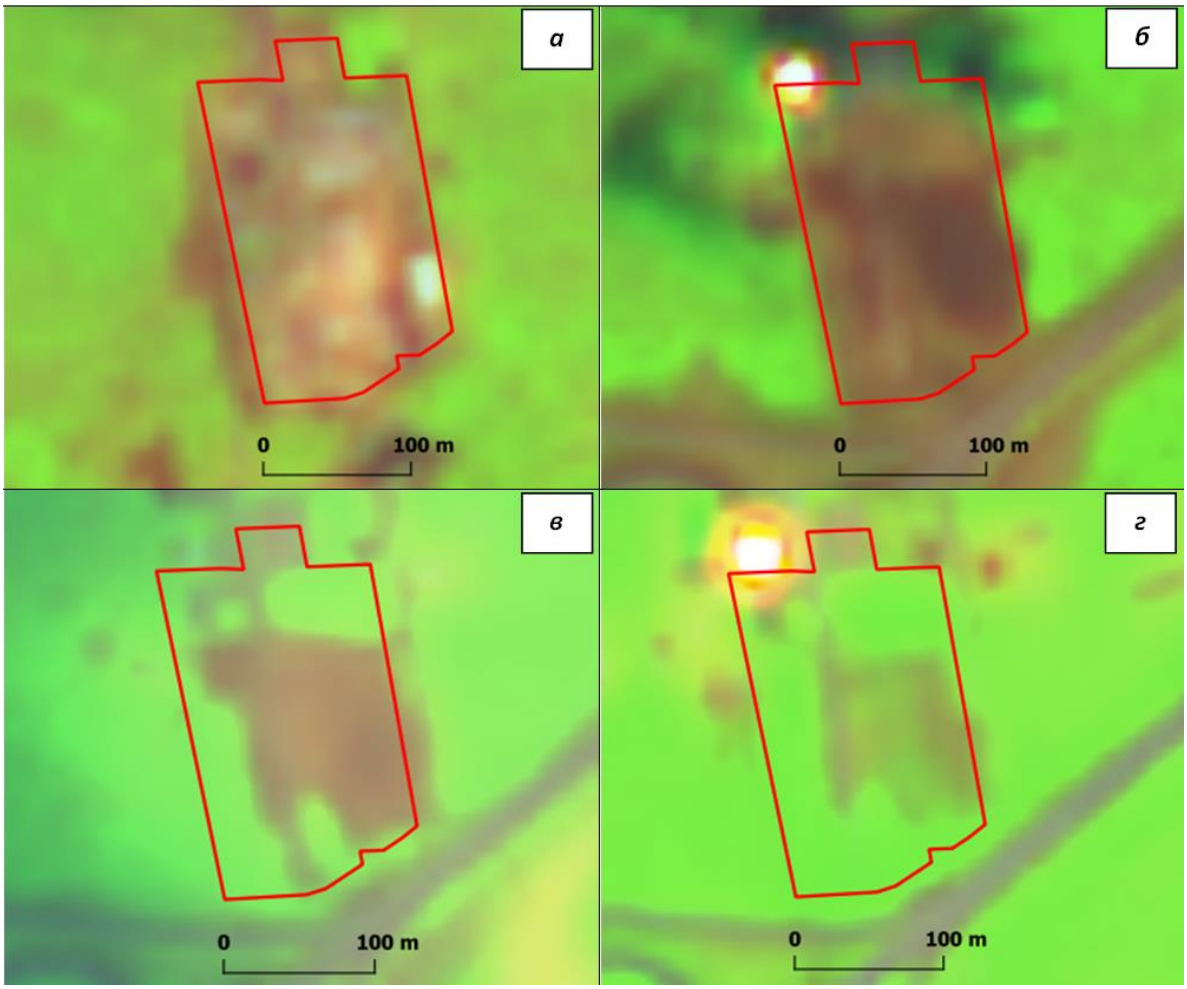


Рис. 3. Состояние плодородного слоя почвы с различной мощностью (к картограмме мощности плодородного слоя почв)
Fig. 3. The state of the fertile soil layer with different thicknesses (to the map of the thickness of the fertile soil layer)



а (a), б (b), в (c), г (d)

Рис. 4. Процесс зарастания техногенно-нарушенных почв:
а — почвенный покров отсутствует (июль 2016 г.);
б — проведена техническая рекультивация (июнь 2018 г.);
в — начало появления растений (июль 2018 г.);
г – сформирован растительный покров (июль 2019 г.)
Fig. 4. The process of overgrowing man-made disturbed soils:
a — no soil cover (July 2016);
b — technical restoration was carried out (June 2018);
c — the beginning of the appearance of plants (July 2018);
d — vegetation cover formed (July 2019)

Таким образом, начало восстановления травостоя произошло в июле. Поэтому по июльским датам съёмки выполнена оценка связи NDVI с мощностью плодородного слоя. На картограммах NDVI отражена динамика проективного покрытия растениями в пространстве и времени (рис. 5). По ним установлено значительное изменение в проективном покрытии по сравнению с первоначальным состоянием территории.

Средние значения NDVI сопоставлялись с мощностью плодородного слоя по 4 выделенным группам: фоновые участки, участки с мощностью до 10 см, участки с мощностью от 10 до 20 см, участки с мощностью более 20 см. В результате установлено, что размер толщины нанесенного плодородного слоя влияет на скорость развития биомассы травянистых растений (рис. 6).

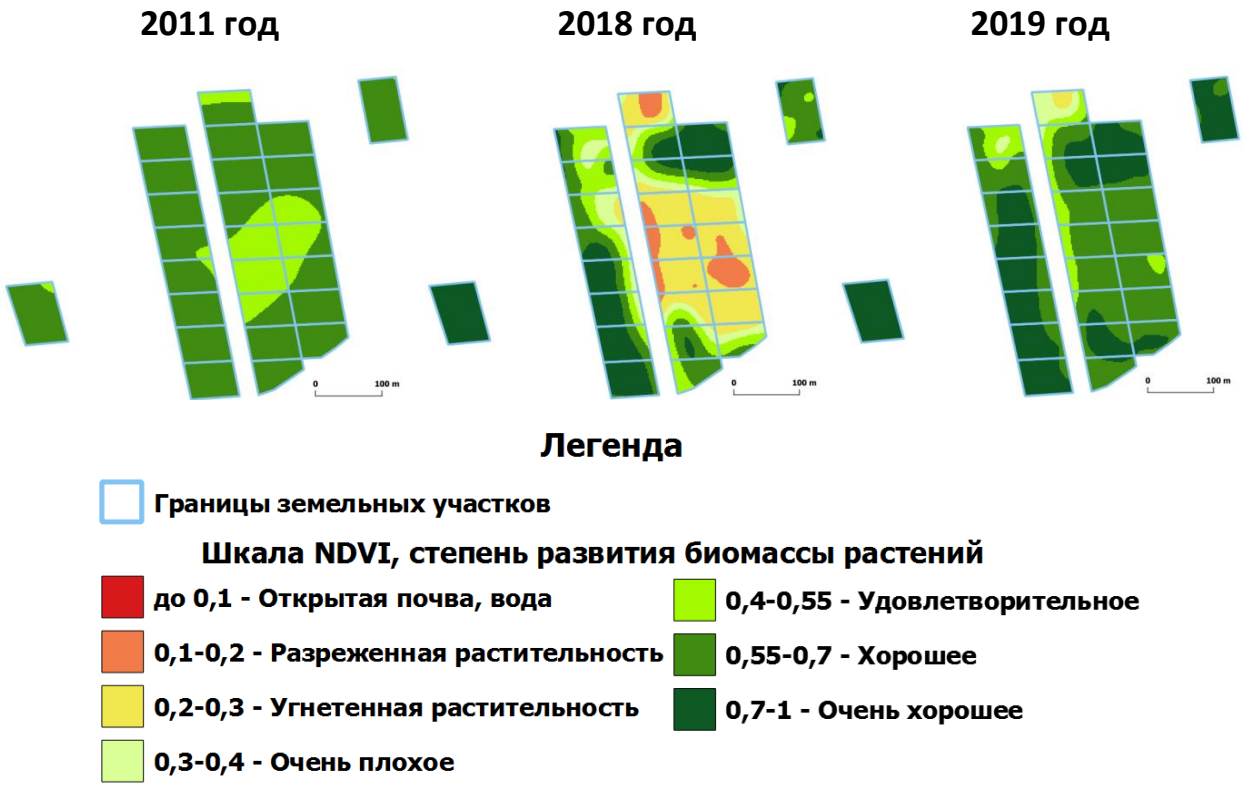


Рис. 5. Картограммы динамики индекса растительности NDVI в июле
Fig. 5. Cartograms of dynamics of the NDVI vegetation index in July

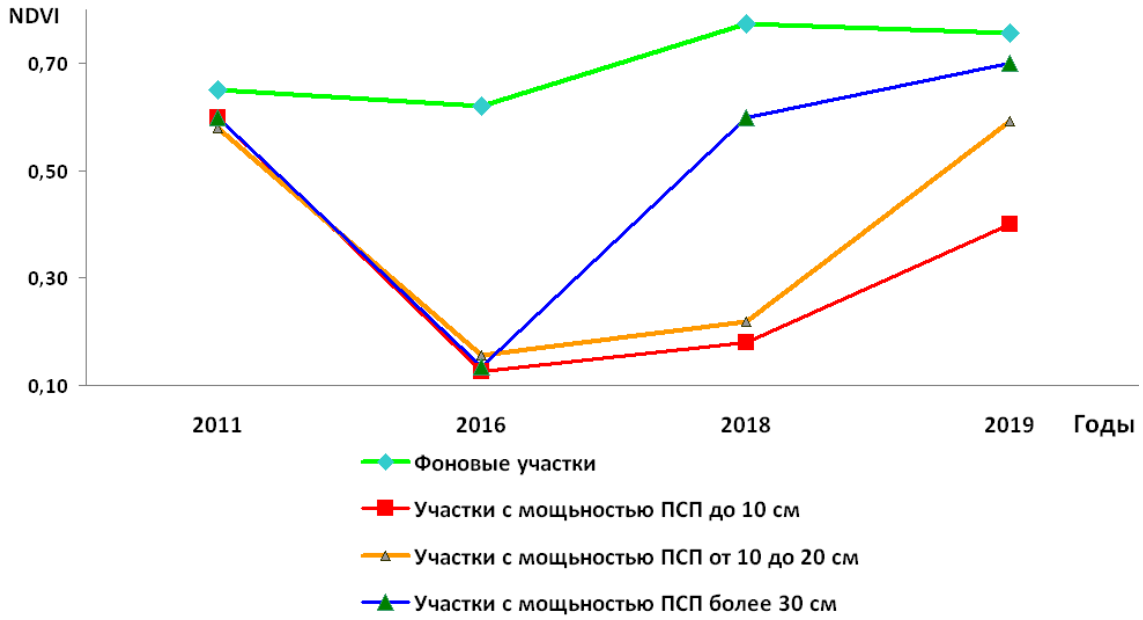


Рис. 6. Динамика средних NDVI в границах земельных участков
Fig. 6. Dynamics of average NDVI within the boundaries of land

Табл. 3. Коэффициенты корреляции мощности плодородного слоя и NDVI
Table 3. Correlation coefficients for fertile soil layer thickness and NDVI

Пространственный охват исходных значений	2011 г.	2016 г.	2018 г.	2019 г.
В среднем по участкам (n=26)	0,28	0,41*	0,65**	0,62*
В точках измерения плодородного слоя (n=28)	0,29	0,39	0,71**	0,68**

* — достоверно при P = 0,95; ** — достоверно при P = 0,99

Изменение величины NDVI по периодам дистанционных наблюдений за участками отражает корреляционная зависимость от меняющейся мощности плодородного слоя почвы. Влияние мощности нанесенного плодородного слоя на величину биомассы травянистых растений отражают достоверные коэффициенты корреляции, представленные в табл. 3.

Наиболее тесная достоверная взаимосвязь NDVI и мощности плодородного слоя почвы наблюдается после появления первых всходов на рекультивированной территории. Поэтому создание модели, основанной на зависимости вегетационного индекса в период начала самозарастания от мощности нанесённого плодородного слоя, позволит выделить области, нуждающиеся в добавлении растительного грунта, и таким образом дать оценку проведённой рекультивации и чёткие рекомендации по её доработке.

ВЫВОДЫ

По результатам проведённых исследований сделаны следующие выводы:

- основным проявлением техногенной нарушенности почв, которую можно оценить по ДДЗ, является уменьшение мощности плодородного слоя почти в 2 р. по сравнению с эталонной почвой;
- мощность плодородного слоя лимитирует самозарастание нарушенных земельных участков травянистой растительностью;
- наилучшим периодом оценки результатов рекультивации почв по вегетационному индексу является время спустя месяц после появления всходов первых растений, что подтверждается тесной корреляционной зависимостью в точках наземных измерений.

Результаты исследований могут быть использованы для выделения границ рекультивированных земельных участков, на которые нанесено недостаточное количество плодородного слоя или плодородный слой распределён неравномерно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев С.М., Митяева Л.А., Домашенко Ю.Е.* Обоснование необходимости проведения мероприятий по восстановлению нарушенного почвенного покрова юга Ростовской области. Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2018. № 1. С. 59–66.
2. *Гопп Н.В., Савенков О.А.* Связь показателя NDVI и урожайности яровой пшеницы со свойствами пахотного горизонта чернозёмов глинисто-иллювиальных элювиированных и тёмно-серых почв. Почвоведение, 2019. № 3. С. 377–386.
3. *Корниенко С.Г.* Вариации коэффициентов отражения в красной, ближней инфракрасной области спектра и индекса NDVI образцов тундровой растительности в зависимости от влажности субстратов. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017. Т. 14. № 3. С. 225–234.

4. *Ничипорович З.А. Радевич Е.А.* Опыт использования NDVI-индекса для мониторинга сельскохозяйственных земель полесья по данным спектрозональной космосъёмки IKONOS. Журнал прикладной спектроскопии, 2012. № 4. С. 681–684.
5. Облачный API для просмотра спутниковых снимков «Sentinel Hub». Электронный ресурс: www.sentinel-hub.com (дата обращения 01.12.2019).
6. Портал геологической службы США. Электронный ресурс: earthexplorer.usgs.gov (дата обращения 06.12.2019).
7. *Пьянков С.В. Калинин Н.А., Свиязов Е.М., Смирнова А.А., Некрасов И.Б.* Мониторинг состояния сельскохозяйственных культур в Пермском крае по данным дистанционного зондирования земли. Вестник Пермского университета. Сер. Биология, 2009. Вып. 10 (36). С. 147–153.
8. *Савин И.Ю., Танов Э.Р.* О возможностях оценки качества пахотных угодий Баксанского района Кабардино-Балкарии на основе спутникового сервиса «ВЕГА». Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014. Т. 11. № 3. С. 180–192.
9. *Самофалова И.А., Мудрых Н.М.* Агроэкологическая оценка органического вещества в дерново-подзолистых почвах Пермского края: Монография. Пермь: ИПЦ Прокростъ, 2015. 154 с.
10. *Черепанов А.С.* Вегетационные индексы. Геоматика, 2011. № 2. С. 98–102.
11. *Bakr N., Weindorf D.C., Bahnassy M.H., Marei S.M., El-Badawi M.M.* Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data. Applied Geography, 2010. No 30. P. 592–605.
12. *Bhardwaj D.R., Banday M., Pala N.A., Rajput B.S.* Variation of biomass and carbon pool with NDVI and altitude in sub-tropical forests of northwestern Himalaya. Environ Monit Assess, 2016. No 188 (11). P. 635–644.
13. *Fabiyi O.O., Ige-Olumide O., Fabiyi A.O.* Spatial analysis of soil fertility estimates and NDVI in south-western Nigeria: A new paradigm for routine soil fertility mapping. Research Journal of Agriculture and Environmental Management, 2013. V. 2 (12). P. 403–411.
14. *Khalil A.A., Essa Y.H., Hassanein M.K.* Monitoring Agricultural Land Degradation in Egypt Using MODIS NDVI Satellite Images. Nature and Science, 2014. № 12(8). P. 15–21.

REFERENCES

1. *Bakr N., Weindorf D.C., Bahnassy M.H., Marei S.M., El-Badawi M.M.* Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data. Applied Geography, 2010. No 30. P. 592–605.
2. *Bhardwaj D.R., Banday M., Pala N.A., Rajput B.S.* Variation of biomass and carbon pool with NDVI and altitude in sub-tropical forests of northwestern Himalaya. Environ Monit Assess, 2016. No 188 (11). P. 635–644.
3. *Cherepanov A.S.* Vegetation Indices. Geomatics, 2011. No 2. P. 98–102 (in Russian).
4. Cloud API for satellite imagery «Sentinel Hub». Web resource: www.sentinel-hub.com (accessed 01.11.2019).
5. *Gopp N.V., Savenkov O.A.* The Relationship between NDVI and spring wheat yield and the properties of arable horizon of eluviated clay-illuvial chernozems and dark gray soils. Soil science, 2019. No 3. P. 377–386 (in Russian).
6. *Fabiyi O.O., Ige-Olumide O., Fabiyi A.O.* Spatial analysis of soil fertility estimates and NDVI in south-western Nigeria: A new paradigm for routine soil fertility mapping. Research Journal of Agriculture and Environmental Management, 2013. V. 2 (12). P. 403–411.
7. *Khalil A.A., Essa Y.H., Hassanein M.K.* Monitoring Agricultural Land Degradation in Egypt Using MODIS NDVI Satellite Images. Nature and Science, 2014. № 12(8). P. 15–21.
8. *Kornienko S.G.* Variations of the reflection coefficients in the red, near infrared region of the spectrum and the NDVI index of tundra vegetation samples depending on the moisture content of

the substrates. Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space, 2017. V. 14. No 3. P. 225–234 (in Russian).
9. *Nichiporovich Z.A. Radevich E.A.* The experience of using the NDVI-index for monitoring agricultural lands of woodland according to IKONOS spectrozonal satellite imagery. Journal of Applied Spectroscopy, 2012. No 4. P. 681–684 (in Russian).
10. *Pyankov S.V. Kalinin N.A., Sviyazov E.M., Smirnova A.A., Nekrasov I.B.* Monitoring the state of crops in the Perm region according to remote sensing data. Bulletin of the Perm University. Ser. Biology, 2009. V. 10 (36). P. 147–153 (in Russian).
11. *Samofalova I.A., Mudrykh N.M.* Agroecological assessment of organic matter in sod-podzolic soils of the Perm Territory: Monograph. Perm: Prokrost, 2015. 154 p. (in Russian).
12ю *Savin I.Yu., Tanov E.R.* On possibilities of arable lands quality evaluation in Baksan District of Kabardino-Balkaria based on satellite service VEGA. Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space, 2014. V. 11. No 3. P. 180–192 (in Russian).
13. USGS Earth Explorer. Web resource: earthexplorer.usgs.gov (accessed 06.12.2019).
14. *Vasilyev S.M., Mityaeva L.A., Domashenko Yu.Ye.* Substantiation of the required measures to restore the disturbed soil cover of the south of the Rostov region. Bulletin of Altai State Agrarian University, 2018. No 1. P. 59–66 (in Russian).

УДК: 004:004.9: 528.9: 528.94:912.43: 338.436.33(470.345) DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-221-228

К.С. Тесленок[1], **А.П. Муштайкин**[2], **С.А. Тесленок**[3]

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

АННОТАЦИЯ

В статье выделены этапы работы, в ходе которой выявлялось влияние отдельных свойств рельефа на пахотные угодья. Изучалась возможность использования цифровых моделей рельефа для обнаружения тех характеристик, которые могут оказать наиболее значительное воздействие. Были сделаны выводы о наличии связи между этими характеристиками и угодьями, определено их место в ряду других характеристик пахотных земель.

Первоначальный этап работы заключался в подборе исходных данных на исследуемую территорию и их получении в нужном виде. При этом отрабатывались методики автоматизированного получения ЦМР. На следующем этапе рассматривались и анализировались отдельные характеристики рельефа, проблемы их получения и ранжирование по степени важности для используемой методики. На заключительном этапе проводился анализ пахотных сельскохозяйственных угодий, их связь с рельефом и его отдельными характеристиками, были сделаны выводы, и на их основе составлены практические рекомендации.

Исследуемая территория — бассейн р. Виндрей — весьма репрезентативна для демонстрации преимуществ отрабатываемой технологии. Она занята как обширными сельскохозяйственными угодьями в восточной части бассейна, так и лесными участками на западе. При отработке методики было важно продемонстрировать возможности использования анализируемой технологии в сфере природопользования и повышения экономической эффективности использования территории.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоинформационное картографирование, ЦМР, анализ рельефа, ГИС ArcGIS, сельское хозяйство

Kirill S. Teslenok[4], **Anton P. Mushtaykin**[5], **Sergey A. Teslenok**[6]

STUDYING THE PECULIARITIES OF AGRICULTURAL LANDS WITH THE USE OF DIGITAL RELIEF MODELS

ABSTRACT

The article highlights the stages of work during which the impact of individual terrain properties on arable farming was identified. The possibility of using digital elevation models (DEM) to identify those characteristics that can have a significant impact on such lands was studied. Findings have been made about the relationship between these features and the sites, and their place among other arable land features has been determined.

---

[1] Сурская горно-геологическая компания, ул. Ст. Разина, д. 17а, 430011, Саранск, Россия
[2] Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Географический факультет, ул. Большевистская, д. 68, 430005, Саранск, Россия; *e-mail:* **anton169@mail.ru**
[3] Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Географический факультет, ул. Большевистская, д. 68, 430005, Саранск, Россия; *e-mail:* **teslserg@mail.ru**
[4] Sursk Mining and Geological Company, 17A, Stepan Razin str., 17a, 430011, Saransk, Republic of Mordovia, Russia
[5] National Research Ogarev Mordovia State University, Faculty of Geography; Bolshevistskaya str., 68, 430005, Saransk, Republic of Mordovia, Russia; *e-mail:* **anton169@mail.ru**
[6] National Research Ogarev Mordovia State University, Faculty of Geography; Bolshevistskaya str., 68, 430005, Saransk, Republic of Mordovia, Russia; *e-mail:* **teslserg@mail.ru**

The initial step was to select the baseline data for the area under study and obtain it in the form we needed. Here, techniques for automated DEM acquisition are being developed. At the next stage, individual terrain characteristics, complexity of their acquisition and ranking by importance for this methodology were considered and analyzed. At the final stage the analysis of agricultural lands, their connection with the relief and its characteristics was carried out, practical conclusions were drawn and recommendations were made based on them.

It should be noted that the study area — the Vindrei River basin — is very illustrative for showing the advantages of the technology being developed. Its territory is occupied both by extensive agricultural land and forest areas. During the development of the methodology it was important to demonstrate the possibilities of using the technology in the field of nature management and improving economic efficiency of the area.

KEYWORDS: GIS mapping, DEM, analysis of relief, the GIS ArcGIS, agriculture

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфометрический анализ — это количественный анализ поверхности рельефа без разделения её на отдельные формы [*Кузьмин и др*., 2007; *Глотов*, 2013]. Получение морфометрических характеристик рельефа чрезвычайно важно при комплексном изучении и картографировании территории, прогнозировании и ландшафтном планировании. Именно рельеф и его параметры признаются наиболее важными при выделении природно-территориальных комплексов наиболее различных классификационных рангов [*Тесленок и др.,* 2019]. Не менее важным является изучение малых форм рельефа, приуроченных к отдельным районам или, как в нашем случае, бассейнам малых рек [*Кащавцева, Шипулин*, 2011; *Абакумова*, 2016; *Муштайкин*, *Тесленок*, 2018]. Изучение и анализ подобных форм рельефа всегда отличались особой сложностью из-за недостатка или недоступности данных по ним, невозможности применения к ним общепризнанных методик геоморфометрического анализа.

Основной целью используемой технологии является предварительный анализ сельскохозяйственных и пахотных угодий и их дистанционная квалификация, что позволяет сэкономить время в процессе дальнейшего изучения их качества, включающего анализ важных лимитирующих факторов в конкретных ландшафтных условиях — плодородия почв и характера их увлажнения. Результаты, получаемые с помощью данной технологии, могут помочь в планировании и решении задач оптимизации и рационализации природопользования на региональном и локальном уровнях. В нашем случае это относится к территориям Торбеевского, Атюрьевского, Ковылкинского и Зубово-Полянского муниципальных районов Республики Мордовия, в пределах которых расположен бассейн р. Виндрей.

В связи с этим основой работы стали поиск и отработки методик, позволяющих формировать цифровые модели рельефа (ЦМР) с минимальными искажениями относительно его реальных характеристик для бассейнового моделирования [*Кащавцева*, *Шипулин*, 2011; *Абакумова*, 2016; *Муштайкин*, *Тесленок*, 2018] с целью их дальнейшего практического применения, прежде всего, в сфере сельского хозяйства.

В этой отрасли нашли свое применение характеристики, получаемые в результате геоморфометрического анализа рельефа. С их помощью можно определить участки, особенности рельефа которых благоприятствуют или, наоборот, препятствуют организации и осуществлению тех или иных видов сельскохозяйственной деятельности, применению различных технологий, оптимальному использованию и повышению продуктивности сельскохозяйственных угодий.

Исследуемая территория — это водосборный бассейн р. Виндрей, протекающей в западной части Республики Мордовия [*Ямашкин*, 1998], являющейся правым притоком р. Цны, относящейся к бассейну р. Волги. Абсолютные отметки высот в пределах бассейна изменяются от 97 м (минимальная) до 223 м (максимальная). Территория занята

обширными сельскохозяйственными угодьями (преобладающими в восточной части бассейна) и лесными участками (в западной).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выбора исходной ЦМР было выполнено изучение доступных данных о высотах территории исследования. Всю исследуемую территорию покрывали как растровые изображения из свободно распространяемых баз SRTM (с пространственным разрешением в 90 м), так и векторные слои горизонталей цифровой топографической карты Республики Мордовия м-ба 1: 200 000, полученные по результатам соответствующей работы [*Тесленок и др.,* 2019]. Они сравнивались с данными топографической съёмки м-ба 1: 5 000 на несколько населённых пунктов исследуемой территории [*Муштайкин и др*., 2019] методами аппаратных вычислений и визуального анализа, в результате чего векторные слои как более точные были выбраны в качестве основы для работы.

Все работы по анализу и картографированию проводились в ГИС ArcGIS, функционал которой позволяет осуществлять бассейновое моделирование и проводить анализ полученных морфометрических характеристик рельефа. Исходные слои (рис. 1) были экспортированы в программу, и была получена ЦМР на территорию исследуемого района (рис. 2).

С целью повышения качества и степени точности модели, она строилась с определённым запасом за границами изучаемого района, а позже была обрезана по ним [*Кащавцева, Шипулин*, 2011].

Оценка качества полученной ЦМР, подтверждающая адекватность цифрового описания рельефа, была выполнена сравнением исходных и интерполированных горизонталей [*Тесленок и др.,* 2019].

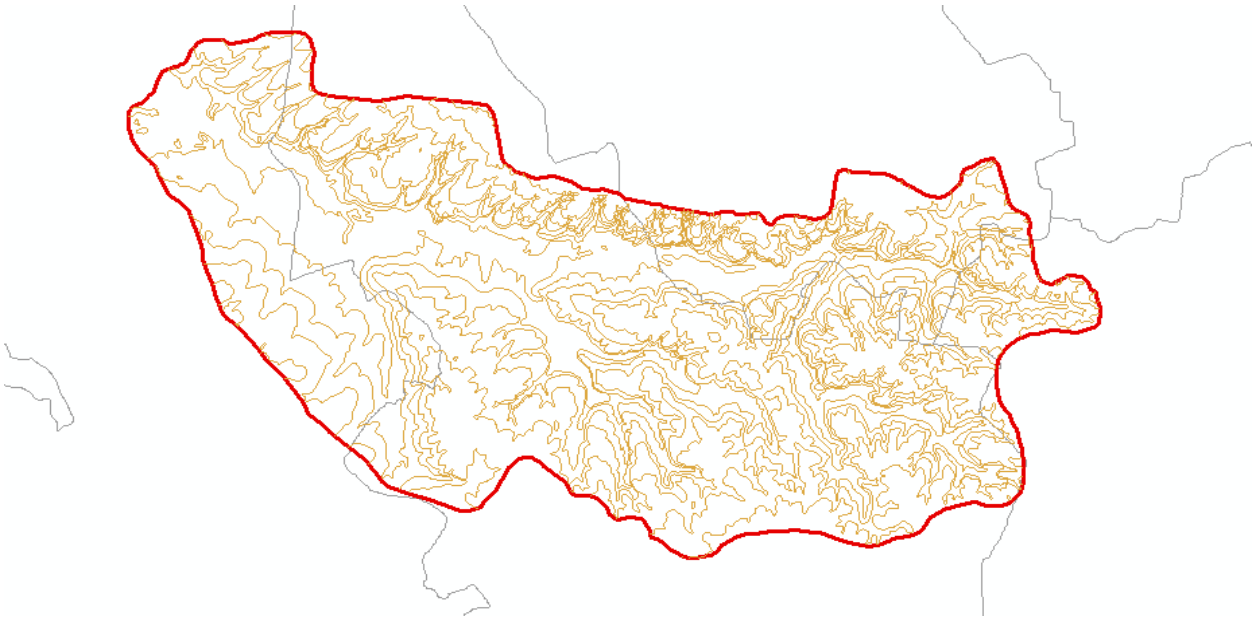


Рис. 1. Векторный слой горизонталей на территорию бассейна реки Виндрей
Fig. 1. Vector layer of horizontals in the Vindrei River basin

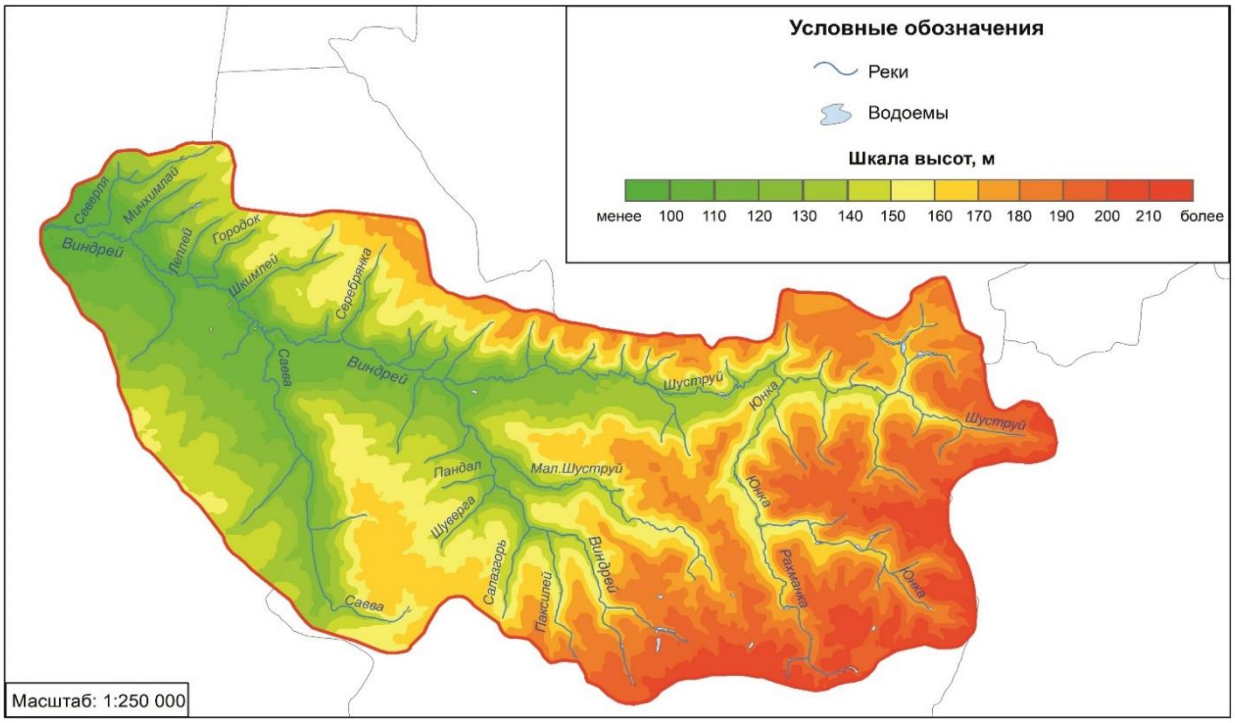


Рис. 2. Цифровая модель рельефа на территорию бассейна реки Виндрей
Fig. 2. Digital elevation model of the Vindrei River basin area

Далее на основе ЦМР были получены карты важнейших морфометрических показателей рельефа: уклонов поверхности рельефа (рис. 3) и экспозиции склонов (рис. 4), а также не менее важных для сельскохозяйственного производства и, особенно, земледелия, показателей плановой и профильной кривизны склонов, их вертикального и горизонтального расчленения, основных структурных линий [*Симонов*, 1998; *Кузьмин и др*., 2007; *Глотов*, 2013; *Тесленок и др.,* 2019].

Последние три характеристики определялись не автоматизированным методом, как первые четыре, а вручную, по изображению ЦМР, сравнением соседних ячеек растра.

Использование показателей различной величины уклонов поверхности и амплитуды высот дает возможность выявить участки, подверженные опасности подтопления, затопления и заболачивания, а также такие, почвенный покров которых в разной степени подвержен негативному воздействию природных и антропогенно стимулированных процессов, прежде всего склоновой эрозии.

Значение каждого проанализированного показателя (уклон поверхности, экспозиция, плановая кривизна, профильная кривизна, вертикальное расчленение, горизонтальное расчленение, наличие и количество основных структурных линий) распределялось по двум категориям: положительное влияние на качество сельскохозяйственных пахотных угодий оценивалось в 1 балл, за отрицательное — 1 балл снимался.

Целью работы было исследование возможности выделения различных участков сельскохозяйственных угодий, но данная технология может прорабатываться в дальнейшем, имея возможность вводить и использовать значительное большее число квалификаций в рамках отдельных показателей.

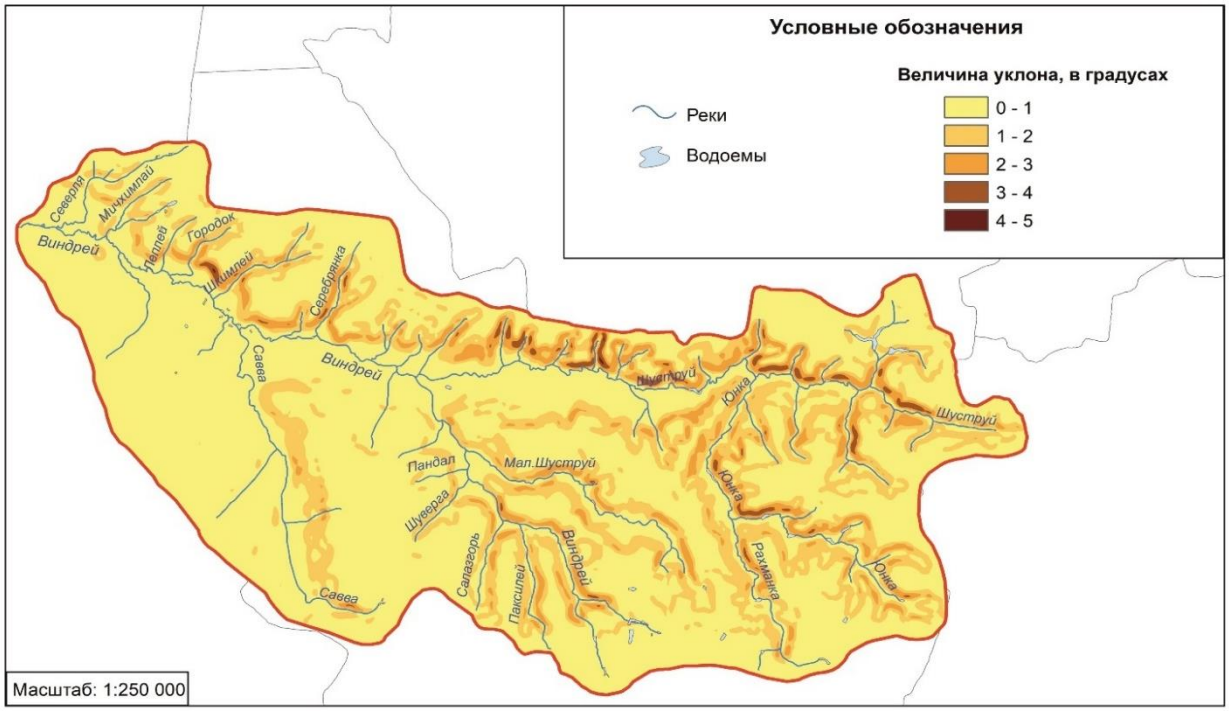


Рис. 3. Карта уклонов поверхности на территорию бассейна реки Виндрей
Fig. 3. Surface gradients map of the Vindrei River basin area

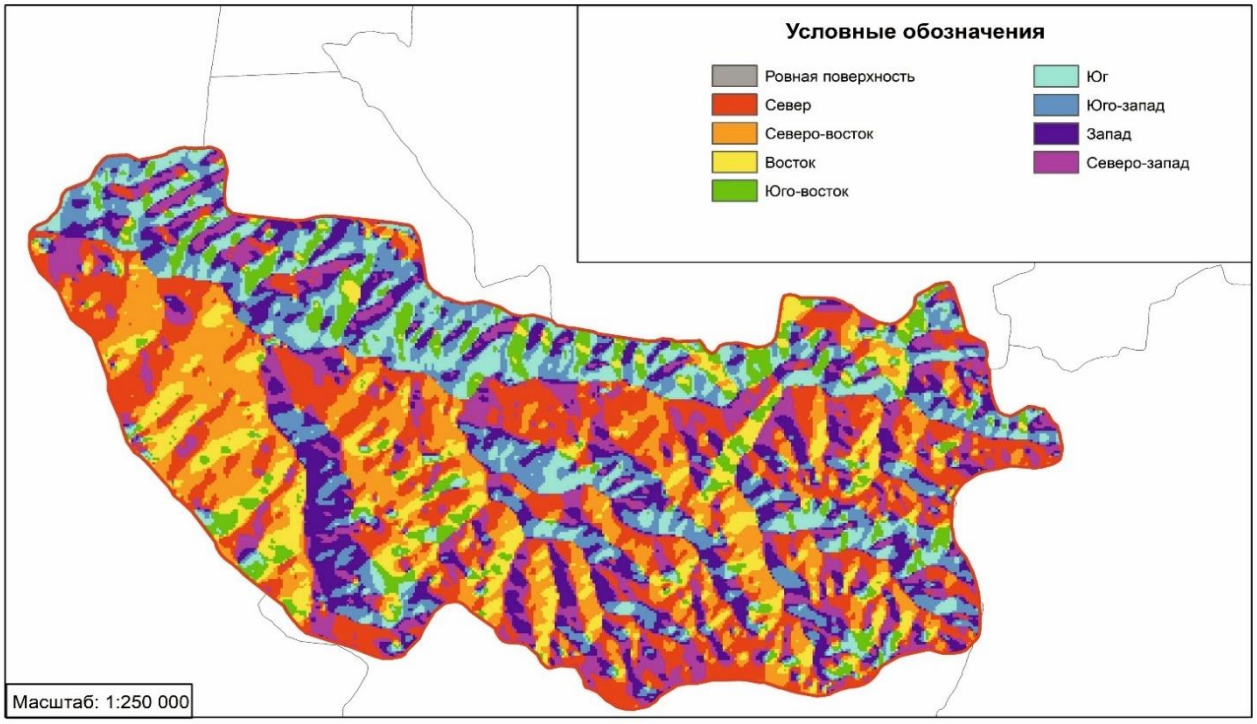


Рис. 4. Карта экспозиции склонов на территорию бассейна реки Виндрей
Fig. 4. Slope exposure map for the Vindrei River basin area

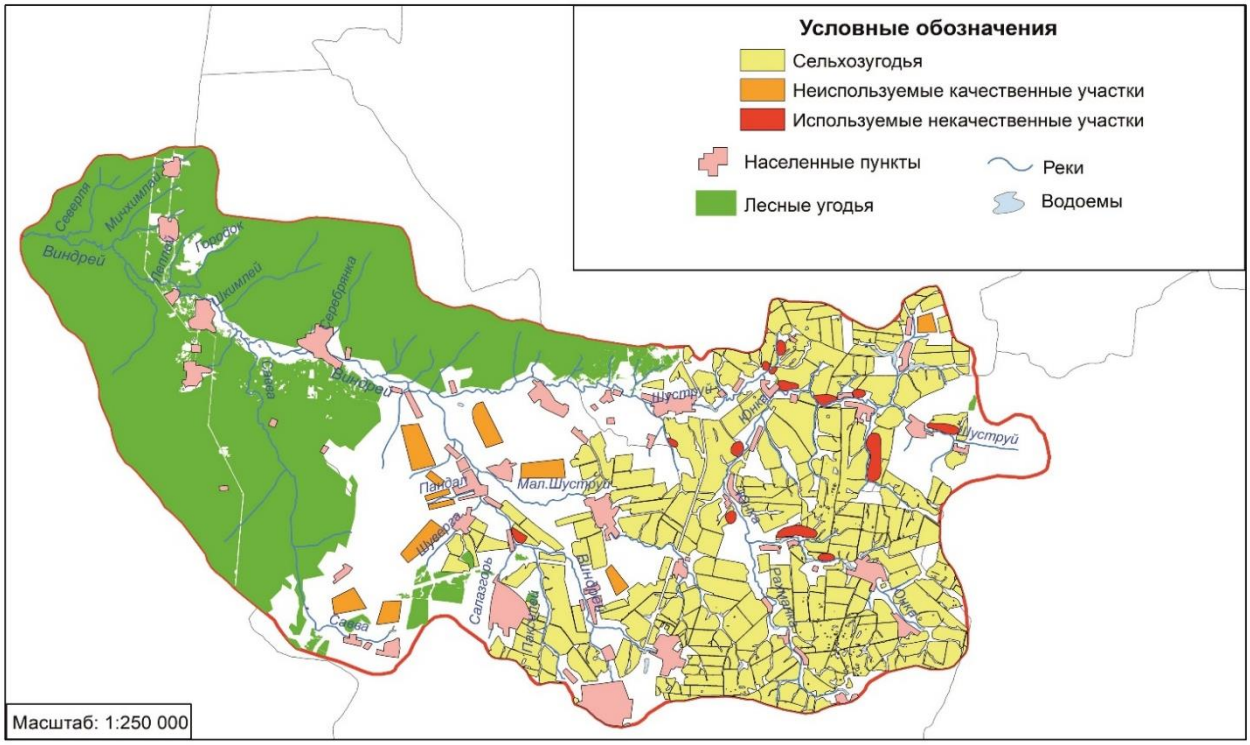


Рис. 5. Анализ использования сельскохозяйственных участков на территории бассейна реки Виндрей
Fig. 5. Analysis of the use of agricultural areas on the territory of the Vindrei River basin

На полученной по результатам морфометрического анализа ЦМР карте (рис. 5), в частности, выделены участки, которые в настоящее время не используются, но обладают высоким сельскохозяйственным потенциалом. Там же показаны участки, которые, наоборот, было бы целесообразно вывести из сельскохозяйственного фонда и передать под другие нужды, например, природоохранных цели или проведение на них лесовосстановительных работ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного геоморфометрического анализа ЦМР были получены следующие результаты.

1. Выделены неиспользуемые в настоящее время качественные участки, обладающие высоким агропотенциалом. Они характеризуются отсутствием резких уклонов и перепадов высот, а также не имеют риска потенциального подтопления, затопления и заболачивания. Это гарантирует высокую продуктивность размещенных на них сельскохозяйственных пахотных угодий и позволяет обеспечить значительный экономический эффект от их освоения и вовлечения в сельскохозяйственный оборот.

2. Выделены используемые в настоящее время некачественные участки, не обладающие высоким агропотенциалом. Для них, напротив, характерны вышеперечисленные негативные черты рельефа, отсутствующие у качественных участков.

Наиболее типичными здесь являются заболоченность и резкие перепады высот со значительными амплитудами. Такие участки рекомендуется вывести из состава земель сельскохозяйственного назначения и передать под другие нужды.

В дальнейшем, на основе показателей экспозиции и крутизны склонов предполагается выделить участки с различной степенью освещённости, количеством поступающей солнечной энергии (и, соответственно, разными величинами энергетического потенциала фотосинтетически активной радиации, расчёт которых позволит конкретизировать и уточнить полученные данные). В конечном счёте это позволит определять особенности локальных режимов тепловлагообеспеченности.

Картометрический анализ территории бассейна реки Виндрей даёт нам следующие данные. Доля неиспользуемых в настоящее время потенциально качественных, с точки зрения сельскохозяйственного использования, участков с соответствующими особенностями рельефа составляет 1,55 % от общей площади исследуемой территории, а используемых некачественных — 0,72 %. Учитывая, что речь идет о нескольких десятках км^2, это в итоге даёт значительную по площади территорию, современное хозяйственное использование и эксплуатация природного потенциала которой осуществляется нерационально.

ВЫВОДЫ

Полученные в результате комплексного геоморфометрического ГИС-анализа данные и геоинформационно-картографические материалы обладают достаточной степенью детальности и позволяют использовать их совместно с технологией определения качества сельскохозяйственных угодий. Данная технология успешно апробирована для территории Торбеевского муниципального р-на Республики Мордовия и может быть рекомендована к практическому применению на любой другой территории.

Здесь необходимо отметить возможность дополнительного использования методов анализа общедоступных дистанционных данных [*Magagna et al*., 2015], что особенно важно для слабоизученных и удалённых территорий. Отработанная методика обладает доступностью и достаточной дешевизной, а также способна принести долгосрочную потенциальную прибыль.

Использованная технология позволяет включить в оборот новые качественные сельскохозяйственные пахотные угодья или перераспределить существующие и может быть рекомендована к активному использованию как государственными, так и частными сельскохозяйственными предприятиями и их подразделениями, органами государственной власти, муниципального и местного управления.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 19-05-00066.

ACKNOWLEDGMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 19-05-00066.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абакумова В.Ю.* Применение ГИС для изучения взаимосвязи рельефа и речной сети на примере бассейна малой реки (Забайкальский край). Молодой учёный, 2016. № 22. С. 119−124.
2. *Глотов А.А.* Использование ЦМР для задач рационального природопользования и мониторинга природных процессов. Управление развитием территории, 2013. № 2. С. 39–41.
3. *Захаров П.С.* Эрозия почв и меры борьбы с ней. М.: Колос, 1971. 191 с.
4. *Кащавцева А.Ю., Шипулин В.Д.* Моделирование речных бассейнов средствами ArcGIS 9.3. Учёные записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География», 2011. Т. 24 (63). № 3. С. 85–92.
5. *Кузьмин С.Б., Данько Л.В., Черкашин Е.А., Осипов Э.Ю.* Цифровые модели рельефа: методика построения и возможности использования при геоморфологическом анализе.

Геоморфология, 2007. № 4. С. 33–41. DOI: https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-4-33-41.
6. *Муштайкин А.П., Тесленок С.А.* Получение и анализ морфометрических характеристик рельефа и соответствующих карт и моделей на основе бассейнового моделирования. XXII Научно-практическая конференция молодых учёных, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарёва. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. С. 175–180.
7. *Симонов Ю.Г.* Морфометрический анализ рельефа. М., Смоленск: Издательство Смоленского государственного университета, 1998. С. 121–128.
8. *Тесленок С.А., Манухов В.Ф., Тесленок К.С.* Цифровое моделирование рельефа Республики Мордовия. Геодезия и картография, 2019. Т. 80. № 7. С. 30–38. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-949-7-30-38.
9. *Ямашкин А.А.* Физико-географические условия и ландшафты Мордовии. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1998. 156 с.
10. *Magagna A., Giardino M., Perotti L., Ferrero E.* Geoscience education research merging smartphone-aided field trips and Google Earth for geomorphologic landscape analysis. GSA Annual Meeting, At Baltimore, Maryland, USA. V.: Geological Society of America Abstracts with Programs, 2015. V. 47. No. 7. P. 188.

REFERENCES

1. *Abakumova V.Y.* Application of GIS for study of the relief and river network interconnection on the example of a small river basin (Transbaikalia Territory). Young Scientist, 2016. No 22. P. 119–124 (in Russian).
2. *Glotov A.A.* The use of DEM for the tasks of environmental management and monitoring of natural processes. Territory Development Management, 2013. No 2. P. 39–41 (in Russian).
3. *Kashhavtseva A.Yu., Shipulin V.D.* Modeling of river basins by means of ArcGIS 9.3. Scientific Notes of the Tauride National University named after V.I. Vernadsky. Geography Series, 2011. V. 24 (63). No 3. P. 85−92 (in Russian).
4. *Kuz'min S.B., Dan'ko L.V., Cherkashin E.A., Osipov E.Y.* Digital elevation models: methods of arrangement and possible implication in geomorphological researches. Geomorphology, 2007. No 4. P. 33–41. DOI: https://doi.org/10.15356/0435-4281-2007-4-33-41 (in Russian).
5. *Magagna A., Giardino M., Perotti L., Ferrero E.* Geoscience education research merging smartphone-aided field trips and Google Earth for geomorphologic landscape analysis. GSA Annual Meeting, At Baltimore, Maryland, USA. V.: Geological Society of America Abstracts with Programs, 2015. V. 47. No 7. P. 188.
6. *Mushtaikin A.P., Teslenok S.A.* Getting and analysis of morphometric characteristics of relief and corresponding maps and models on the basis of basin modeling. XXII Scientific-practical conference of young scientists, post-graduate students and students of the National Research Mordovian State University named after N.P. Ogaryov. Saransk: Mordovian State University, 2018. P. 175–180 (in Russian).
7. *Simonov Y.G.* Morphometric analysis of the relief. Moscow, Smolensk: Smolensk State University Publishing House, 1998. P. 121–128 (in Russian).
8. *Teslenok S.A., Manukhov V.F., Teslenok K.S.* Digital elevation modeling of the Republic of Mordovia. Geodesy and Cartography, 2019. V. 80. No 7. P. 31–38. DOI: 10.22389 / 0016-7126-2019-949-7-31-38 (in Russian).
9. *Yamashkin A.A.* Physico-geographical conditions and landscapes of Mordovia. Saransk: Mordovian State University, 1998. 156 p. (in Russian).
10. *Zakharov P.S.* Soil erosion and measures against it. Moscow: Kolos, 1971. 191 p. (in Russian).

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-229-239

Bakhtiyar Sh. Matyakubov[1], Zokhid J. Mamatkulov[2], Rustam K. Oymatov[3], Ulugbek N. Komilov[4], Guzal E. Eshchanova[5]

ASSESSMENT OF THE RECLAMATION CONDITIONS OF IRRIGATED AREAS BY GEOSPATIAL ANALYSIS AND RECOMMENDATIONS FOR THEIR IMPROVEMENT

ABSTRACT

This research focuses on determination of irrigation — drainage networks conditions, salinity of irrigated areas in Shavat district of Khorezm region (Uzbekistan) by geospatial analysis and giving recommendations for their elimination. Additionally, obtaining monthly ground truth data from observation wells and interpolate them with IDW interpolation algorithm methods of Geographic Information Systems (GIS) technologies in order to monitoring changes of groundwater level and mineralization in vegetation period of main agricultural crops are highlighted. Besides that, by using remote sensing technologies, the obtained data about the irrigation regime was determined in agricultural areas. As a result of the usage of GIS and RS methods, there have been created thematic maps on analysing salinity of soils, the actual condition of irrigation and collector of networks, actual level and mineralization of groundwater as well as their dynamic changes. On the basis of the obtained results, there have been given recommendations for improving the conditions of ameliorative arable lands on keeping the level of groundwater at a specified depth and cultivation of agricultural crops in periods of water scarcity.

KEYWORDS: irrigation, drainage networks, irrigated area, geospatial analysis, remote sensing

INTRODUCTION

Salinization of soil is one of the major land degradation types and it has greatly influence sustainable agricultural development [*Guan et al.*, 2001]. In the Strategy of Actions on five priority areas of development of the Republic of Uzbekistan for 2017−2021, approved by Presidential Decree of Uzbekistan, dated February 7, 2017 No PD-4947, there have been paid a special attention for further improvement of the reclamation conditions of irrigated lands, the development of reclamation and irrigation facilities, along with the widespread introduction of intensive irrigation methods, primarily improving the reclamation conditions of irrigated lands (Decree of the President of the Republic of Uzbekistan, 2017, No PD-4947).

According to the Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan, dated November 27, 2017, No PQ -3405 “State Program of irrigation development and improvement of irrigated lands reclamation status for 2018−2019”, for further improvement of melioration conditions of irrigated lands were suggested as one of the main tasks (Decree of the President of the Republic of Uzbekistan, 2017, No PD-3405].

[1] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kori Niyaziy str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **bmatyakubov@inbox.ru**
[2] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kori Niyaziy str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **zohid3095@gmail.com**
[3] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kori Niyaziy str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **rustam.oymatov@mail.ru**
[4] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kori Niyaziy str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **ulugbek.komilov1994@gmail.com**
[5] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kori Niyaziy str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **guzaleshchanova1979@gmail.com**

Undeniably, the study on the reclamation conditions of irrigated lands plays an important role along with the efficient usage from available water resources and obtaining high-quality crop production in Uzbekistan (Annual report of Shavat regional department of water management, irrigation and drainage expedition, 2017−2018).

Currently, the irrigation network operates uninterruptedly throughout the year as a result of the use of the cotton-winter wheat rotation system. The load on the collector-drainage networks has significantly increased. In its turn, all these have affected the ameliorative state of soil, as well as the process of irrigation and collector-drainage networks. The use of irrigation and collector-drainage networks at the required level and the provision of recommendations based on modern technologies and traditional knowledge on the elimination of water shortages are one of the actual tasks of today. Advantages of GIS application gives opportunities on the advanced analysis and promising directions in irrigated agriculture and melioration issues [*Pron'ko et al.,* 2013].

Study Area

Khorezm region is located in the north-west of Uzbekistan and occupies the part of the ancient irrigated lands on the left bank of the lower Amudarya River. The territory of Khorezm region is bordered by the north-eastern part of the Amudarya River and the Republic of Karakalpakstan, to the south and south-west by the deserts of Karakum and Kyzylkum. Khorezm region is located in the desert area. Climate conditions of Khorezm oasis are rapidly changing and distinctive, and it significantly differs from other regions of the Republic (Annual reports of the Left Bank Amudarya Basin Administration of Irrigation Systems, 2017−2018).

The average temperature in Khorezm region is +12,9 °C. It is cold including all winter months. According to the information from Urgench Observation Centre, the average temperature in January is -14.3 °C, and the average temperature in June is +27,4 °C. The climate of the region is influenced by warm airflow from the Kyzylkum sands from one side and water regime of the Amudarya River on the other side.

Late spring frosts are a major threat to the cultivation of agricultural crops. The most effective part of temperature will be later, at the end of March and beginning of April, the temperature will not exceed +10−15 °C. Then these temperatures will rise sharply, resulting in a temperature of 2660−2780 °C during the growing season, with a warm period of 201−208 days.

The climate of Khorezm region is sharply continental with long and hot summers, the autumn is relatively warm, the winter is short, dry-cold, and the winter is virtually frost-free. In a year 100−150 mm of precipitation is very low. Most of the precipitation falls in spring. The precipitation does not play a major role in providing ground water. Annual evaporation of water in the area is about 1000−1200 mm, which is 8−10 times more than the amount of precipitation. (Annual reports of the Left Bank Amudarya Basin Administration of Irrigation Systems, 2017−2018).

The average annual air temperature was +12.9 °C in 2019. The average annual relative humidity was 53.0 %. The average annual wind speed was 3.1 m/s and annual precipitation was 125.3 mm (Annual reports of the Left Bank Amudarya Basin Administration of Irrigation Systems, 2017−2018).

In Khorezm, it is determined by providing natural and groundwater irrigation, irrigation and evaporation costs as well as drainage flows. The natural groundwater flow is in the north-west at a very low slope (0,00025−0,00027). Groundwater leakage occurs mainly on alluvial sands with a velocity of 3−8 m/day.

Many scientists, including [*Beysenbaev et al.,* 1993; *Isabaev et al.,* 1991; *Khamidov et al.,* 1993; *Mirzadjanov et al.,* 1993; *Matyakubov,* 2001; *Rakhimbaev et al.,* 1980; *Faures et al.,* 2007; *Irmak et al.,* 2011] and others have carried out research work for studying the reclamation state of irrigated lands and developing measures to improve in the conditions of Khorezm oasis.

Based on the recommendations, developed by the above-mentioned scientists and using data from their research results, the objective of the study is to apply GIS and RS technologies for assessing the level of soil salinity in irrigated areas, drainage systems and conditions of crop types

in Shavat district of Khorezm region.

It is worth mentioning that based on the objectives of the study, the necessary information about irrigated lands of the district was collected and analysed. Particularly, the distribution of mechanical composition of the soil in Shavat district (table 1).

The area of irrigated lands in Shavat district of Khorezm region is 28,931 ha, out of which 24,484.6 ha have been determined by the mechanical arrangement of soils by installing pits (wells). This is 85 % of the irrigated area in the district.

Table 1. Information on mechanical composition of the soils in irrigated lands in Shavat district of Khorezm region

No	Name of massive	Mechanical Composition					Total
		Sandy	Loamy	Lightweight	Medium	Heavy	
1	Beruni	0	0	402	1009	348	1759
2	O. Khidirov	0	104.6	309.44	908.96	344	1667
3	K. Rakhimov	0	100	602	1002	248	1952
4	Gulistan	0	82	276	1389	210	1957
5	Bustan	75.1	1306	21.4	167.5	0	1570
6	Shavat don	125.4	413.5	75.1	0	0	614
7	Inak Hovli	25.6	0	0	374.4	0	400
8	Friendship	38	0	234.1	1162.7	371	1805.8
9	K. Otaniyazov	0	209	239.1	363.4	1008	1819.5
10	Mehnatabad	0	225.8	488.3	1052.1	402	2168.2
11	Makhtumkuli	0	459.4	275.5	1598.4	97.7	2431
12	Sakhibkar	0	148.8	751.6	367.6	0	1268
13	Rizq	130	175	0	0	0	305
14	Uzbekistan	0	0	154.8	952.6	608	1715.4
15	Khorezm	0	0		1038.8	590	1628.8
16	Shavat	0	963.1	139.4	174.4	123	1399.9
17	“Oydin yordamchi” farm	0	0	10	0	0	10
18	Other plants	0	0	0	5	0	5
19	Sweet rent	0	0	0	0	4	4
20	Bogi Bustan	0	0		0	5	5
By district:		**394.1**	**4187.2**	**3978.74**	**11565.86**	**4358.7**	**24484.6**

Map of the massives location in Shavat district of Khorezm region is presented in fig. 1, by which it was examined the operation of irrigation and collector-drainage networks.

Proper implementation of agro-reclamation activities is directly related to improvement of land reclamation, increase of soil fertility and mainly leaching. For this reason, according to the mechanical composition of the soils and level of salinity in the region, the leaching rate and the exact terms of activities have been developed.

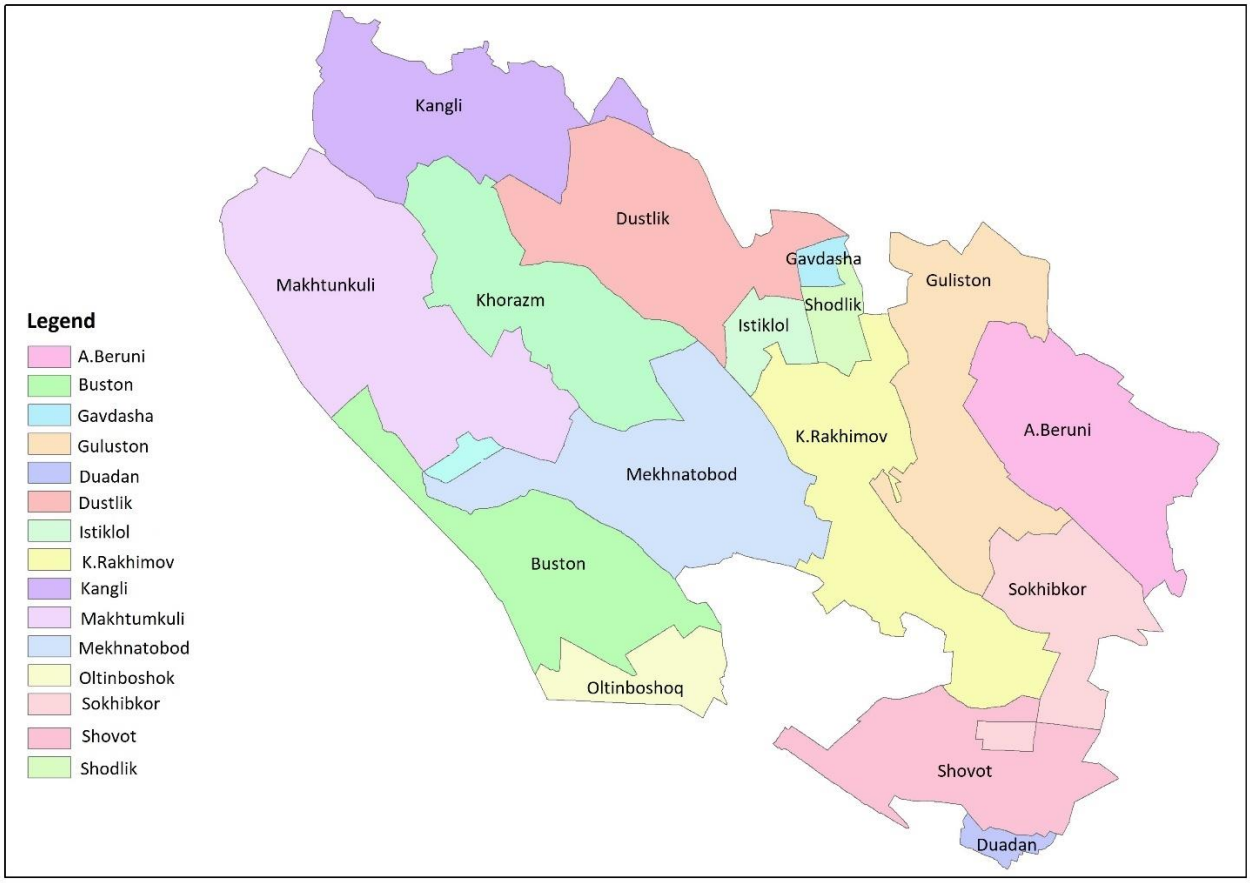


Fig. 1. Massives location in Shavat district

It should be noted that the agro-ameliorative measures undertaken do not take into account the fact that the soil sheets are composed of different constituents, because the mechanical composition of the upper soil layers is the same, but the lower parts of the soil can have different mechanical properties. This does not affect the soil profile. In order to wash salts of this kind, leaching rate must be increased by 25−30 % (multi-layered soils).

Leaching the soil is performed during the first ten days of November, while the soil and irrigation water are not sufficiently cool. It is during this period that the salts in the soils are much more comfortable to melt and they can be easily leached from the soil profile.

The key indicator contributing to the deterioration of soil reclamation and reduced productivity is soil salinity level. This is 68.9 % or 149 611.4 ha in the Khorezm region. In particular, salinity of irrigated soils in Shavat district of Khorezm region is 75. 5% (18 159.0 ha). Table 2 shows the regional salinity levels of different soils.

In the region types of soil salinity is chloride-sulphate and sometimes chloride-type. In general, the irrigated area in the region is considered to be unsatisfactory land reclamation (table 2). The saline free soils are 67 565.7 ha of irrigated land, which is 31.1 % of the irrigated area.

The average saline soils are distributed in all districts of the region, accounting for 23.7 % (5 712.6 ha) in Shavat district. Strong and highly saline soils are 12.5 % (3 006.1 ha) in Shavat district, and their soils are poorly reclaimed (table 2).

Table 2. Information on the level of salinization of irrigated lands in the districts of Khorezm region

No	Name of massive	Irri-gated area, ha	The level of salinity										Saline lands	
			not salinized		weak		average		strong		very strong			
			ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
1	Bagot	17717	7384,7	41,7	6301,2	35,6	2718,2	15,3	867,5	4,9	445,4	2,5	10332,3	58,3
2	Gurlen	26051,7	11426,8	43,9	9018,5	34,6	4241,4	16,3	640,1	2,5	724,9	2,7	14624,9	56,1
3	Kushkupir	25215	7089,7	28,1	7311,9	29	6301,3	25	1850,0	7,3	266,1	10,6	18125,3	71,9
4	Khiva	14735	8217,8	55,8	4490,4	30,5	1430,3	9,7	256,4	1,7	340,1	2,3	6517,2	44,2
5	Yangiarik	14293	7738,2	54,1	4644,6	32,5	1547,3	10,8	135,6	0,9	227,3	1,7	6554,8	45,9
6	Shavat	24056	5897	24,5	9440,3	39,2	5712,6	23,7	1430,4	5,9	1575,7	6,7	18159	75,5
7	Hazarasp	27515,8	10975,3	39,9	11577,8	42,1	3222,2	11,7	478,4	1,7	1262,1	4,6	16540,5	60,1
8	Urgench	23776	8639,8	36,3	8182,7	34,4	4160,1	17,5	1589,7	6,7	1203,7	5,1	15136,2	63,7
9	Yangibazar	20477	174,4	0,9	6268,7	30,6	7434,6	36,3	3907,1	19,1	2692,2	13,1	20302,6	99,1
10	Khonka	23334,8	22,0	0,1	7941,2	34	12574,1	53,9	1701,1	7,3	1096,4	4,7	23312,8	99,9
Total		**217171**	**67565,7**	**31,1**	**75177,2**	**34,6**	**49342,1**	**22,7**	**12856,4**	**5,9**	**12230,1**	**5,7**	**149605,8**	**68,9**

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

The research was carried out on the geospatial analysis of reclamation condition of irrigated lands in Shavat district with the use of GIS and RS technologies. In addition, there have been analysed of irrigation and collector-drainage systems, the mechanical composition and salinity level of soils as well as water availability of the district.

Workflow of this research is carried out by the following methods:

1. Creating an actual database of irrigation and collector-drainage networks and existing observation wells in the area;

2. Obtaining monthly data on groundwater level changes and mineralization from observation wells in the district;

3. Creating a zonal map in order to showing the mineralization of groundwater in the region using IDW (Inverse Distance weighing) interpolation algorithm of ArcGIS10.5. IDW basically depends on two assumptions: 1) the unknown value of a point is influenced more by nearby control points than by those farther away, and 2) the degree of influence (weight) of points on each other is directly proportional to the inverse of the distance between the points raised to a power 6 and can be represented by the following equation [*Bartier et al.,* 1996];

4. Extracting areas with mineralized content of water more than 2 g/l;

5. Creating a zonal map in order to categorize area of ground water distributed;

6. Detecting and extracting areas with groundwater depths above than 180 cm;

7. Conducting RS in terms of assessing the current irrigation and collector-drainage networks and to identify crop types in the district.

Application of Methodology

Utilizing the above methodology, the following were carried out in Shavot district:

- a map of the existing irrigation and collector-drainage networks in Shavat district was created using GIS technology based on base maps;
- a mechanical composition of the soil was determined by massive in the pilot area (Sokhibkor massive) (Annual report of Shavat regional department of water management, irrigation and drainage expedition, 2017−2018);
- groundwater level and mineralization data from overall 205 monitoring wells was analysed and mapped using IDW interpolation method of GIS technologies in the

vegetation period of the year (2017−2018);

- a map of groundwater mineralization over 2 g/l has been mapped and map was validated to soil salinization ground trough data of Sokhibkor massive;
- operational regime of irrigation and collector-drainage networks were monitored assessed by remotely sensing method. For remotely analysis, multispectral images of the Sentinel-2 were used for NDWI (Normalazed Difference Water Index) on June 20, 2019. NDWI is used for assess water status and irrigation network by the combination of NIR and shortwave infrared (SWIR) channel of image [*Gao*, 1996]. The main purpose of this season (date) is to ensure that irrigation and collector-drainage networks are in maximum operating mode;
- based on 210 soil samples taken from the territory of the "Sokhibkor" massive, a map was developed, which describes the soil salinity level of the area.

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSION

Based on the analyses of the obtained data, more hydromorphic soils are prevalent in the experiment area. Groundwater regime in hydromorphic soils greatly influences the timing, quantity and irrigation rates of the crops, and the land reclamation status. Therefore, it is of great practical importance to study the layout of groundwater in the alluvial soils, which are part of the hydromorphic soils.

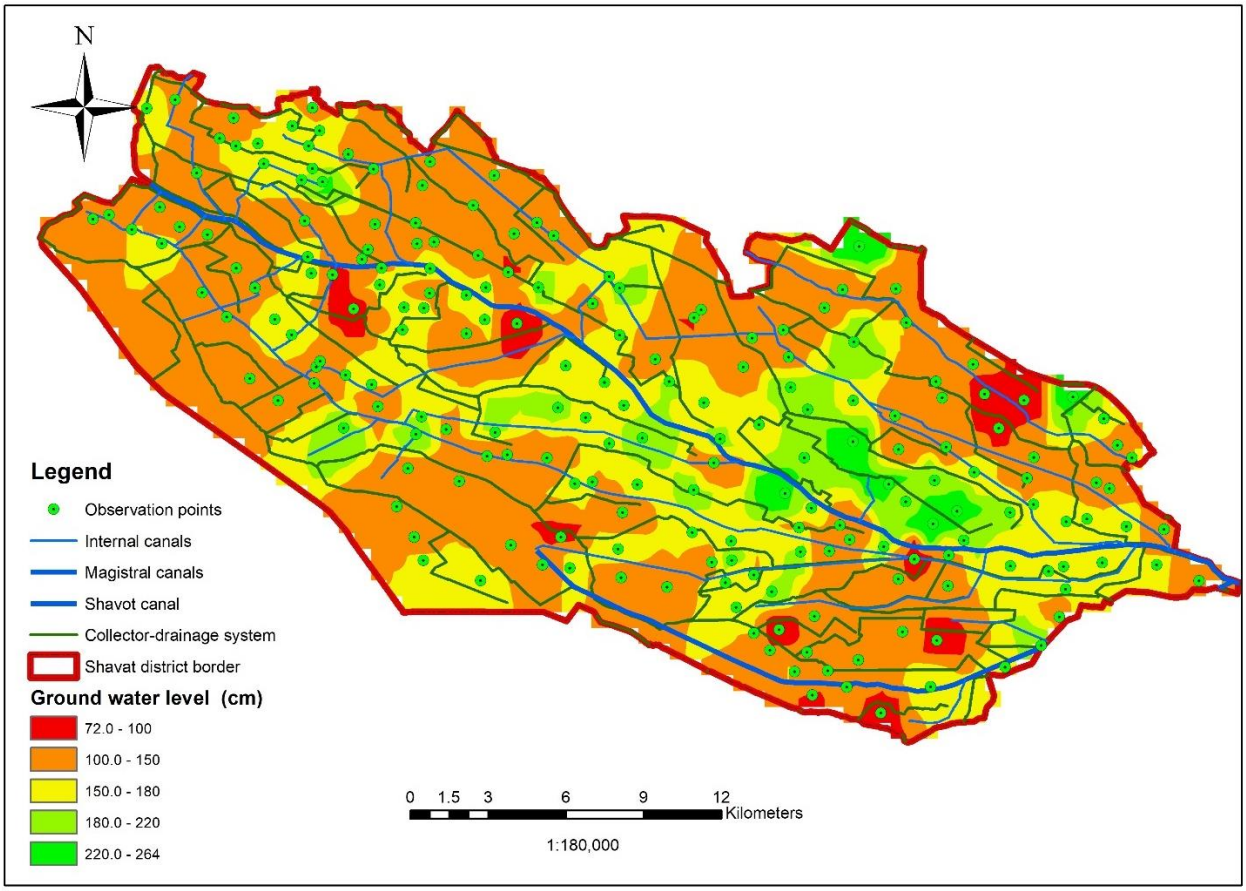


Fig. 2. Zonal distribution of groundwater level

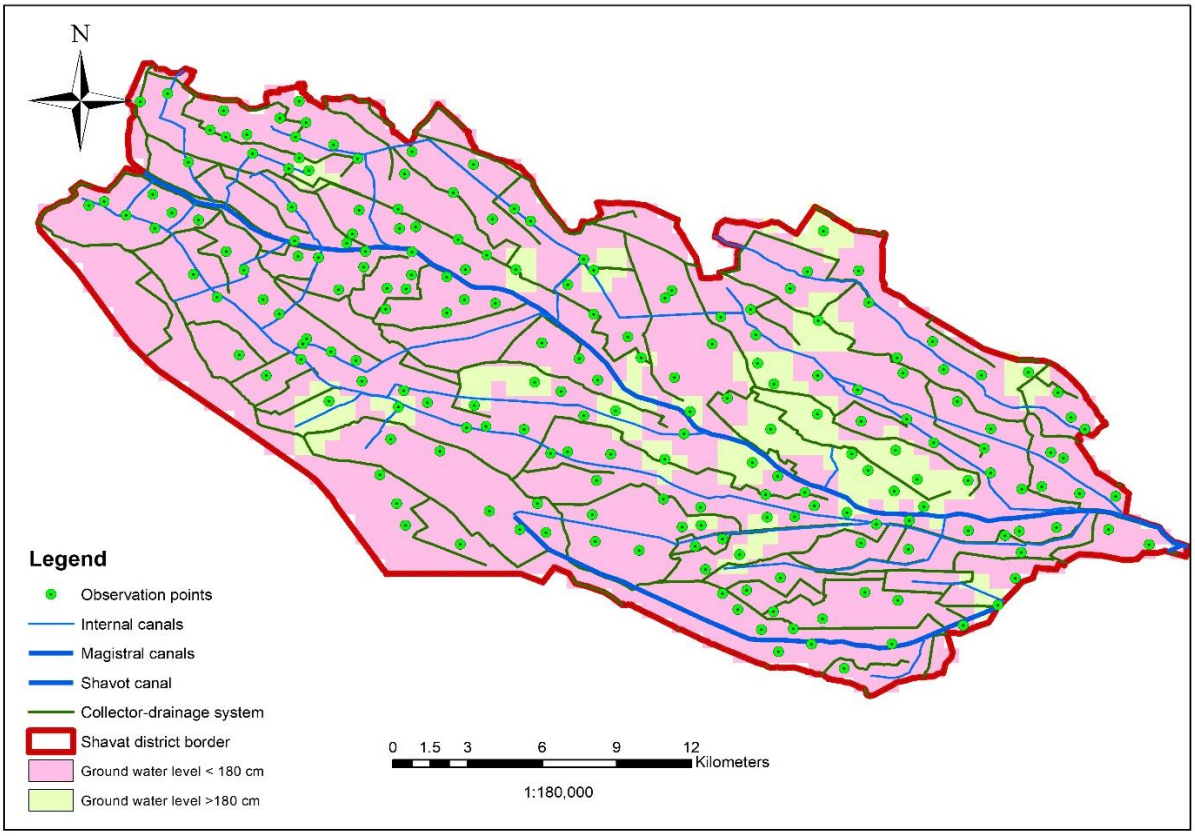


Fig. 3. The zonal distribution of groundwater level with above and below than 180 cm

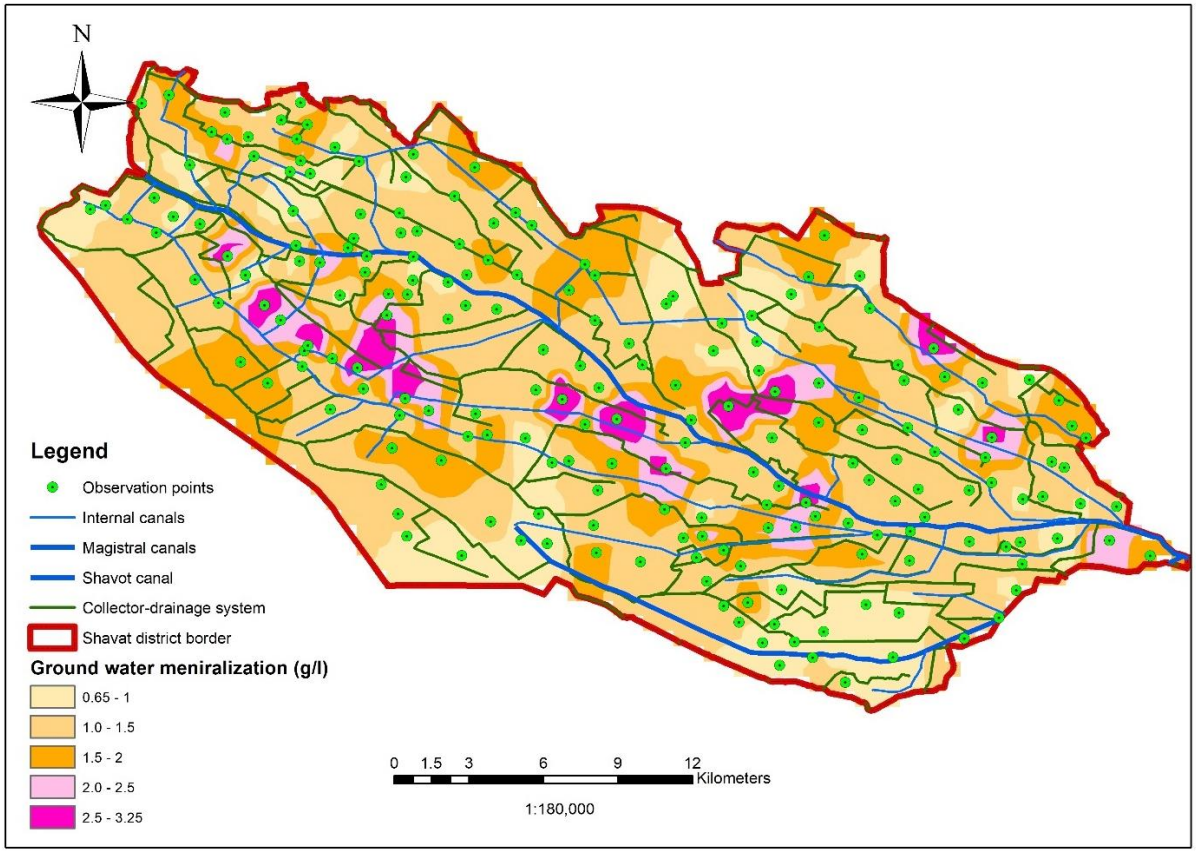


Fig. 4. Groundwater mineralization in the district

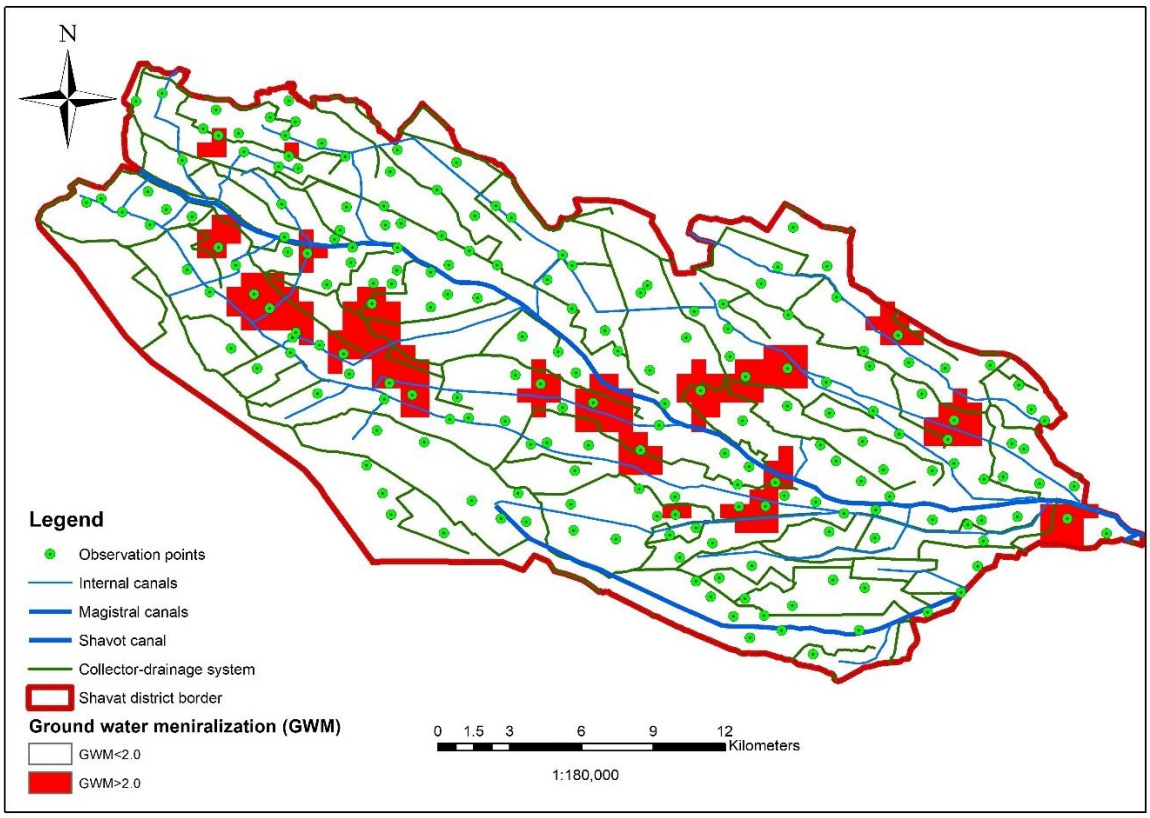


Fig. 5. Extracting groundwater mineralization over than 2 g/l fields

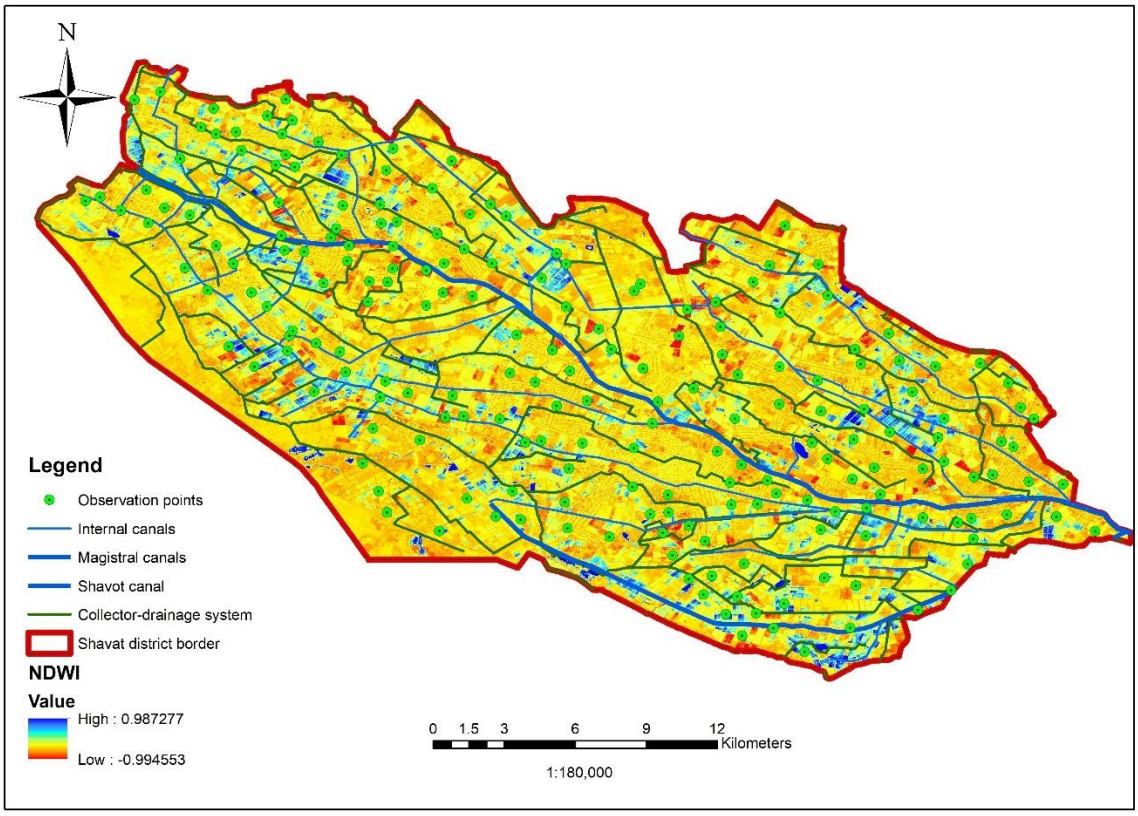


Fig. 6. Condition of irrigation and collector-drainage networks of Shavat district (rice fields are shown as lake)

Data from all monitoring wells in the district were collected every month during the growing season to determine the changes in groundwater levels in the pilot area. Based on the results, a map, depicting groundwater level was developed (fig. 2).

Fig. 3 shows the groundwater level over and below than 180 cm. Over and below groundwater changes were identified and a thematic map was created based on the results. Zone of below than 180 cm of groundwater level was about 88−90 % of total area.

Analysis of groundwater surveillance results shows that only 4−5 % of the area covered by groundwater level above than 100 cm. The area which groundwater level below than 220 cm was about 3−4 % of total irrigated area (fig. 2). Based on the results of analysis, between 0.65−1.5 g/l mineralized ground water area is about 80−90 %, over 2 g/l covered 10−15 % of the total irrigated area of the district. The area of mineralization of ground water during the growing season is 80−90 % with 0.65−1.5 g/l, indicating that the application of sub-irrigation methods for irrigation of saline soils is a good result (fig. 4).

In the area where the collector-drainage lines are connected, the salinity of the irrigated area is higher (fig. 5). The main reason for this was that the first irrigation was carried out through the irrigation network, and the subsequent irrigation was irrigated through high-mineralized (over 2 g/l) collector-drainage waters in the time of water shortage. Irrigation of high-mineralized collector-drainage waters resulted in increased salinity of irrigated areas.

Remote sensing analysis on the effects of irrigation water to groundwater level and mineralization (data from June 20, 2019) was conducted and it was observed that irrigation was not caused by crop demand and that 15−20 % of the field irrigation water was added to groundwater (1st irrigation) (fig. 6). However, it was also possible to obtain data on crop cultivation using remote sensing techniques [*Harma et al.*, 1993].

Fig. 7 presents soil salinity levels based on soil samples taken this year across the Sohibkor massive.

The soil salinity level in the Sokhibikor massive was analysed, as a result, including 35 % of the area up to 2.5, 31 % of the area up to 2.50−3.54, 26 % of area is 3.54−4,8,7 % of the area is 4.8−6.6 and 1 % of the area is 6,6−8,35.

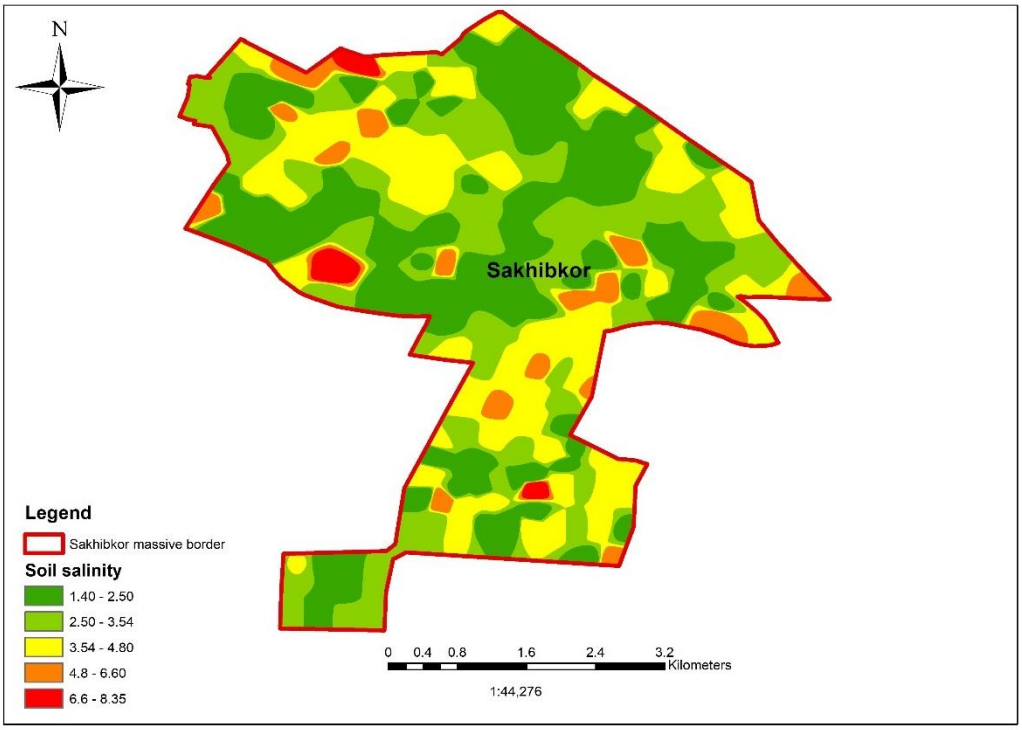


Fig. 7. Changes of soil salinity level in "Sokhibkor" massive

CONCLUSIONS

Based on the results of above analyses and scientific research conducted by scientists, the following recommendations are made to improve the reclamation state of irrigated areas, obtaining high yields from agricultural crops and identifying crop types from distance [*Khamidov et al.*, 1993; *Matyakubov*, 2001; *Faures et al.,* 2007; *Irmak et al.*, 2011; *Harma et al.*, 1993; *Conrad et al.*, 2014]:

- supplying water based on crop demanding;
- implementing of water-saving irrigation technologies (drip, sub irrigation, etc.);
- cultivation of low-watering crops in the times of water shortage;
- implement measures to prevent water evaporation in the field in case of water shortages;
- stopping use of drainage water in the period of water scarcity, or mixing with river water at prescribed rates of 1−2 g/l for irrigation agricultural crops;
- control and monitoring irrigation and collector-drainage networks monthly;
- development and implementation of work plan on priority of irrigation and repair of collector-drainage networks;
- improvement of irrigation techniques and technologies of agricultural crops taking into account the water supplementary of irrigated areas;
- improvement of irrigation and collector-drainage networks (efficient water use, reclamation of irrigated areas, etc.);
- implementation of high agricultural practices to improve soil fertility;
- implementing wide use of GIS and RS technologies for proper irrigation management and analysis of the condition of collector-drainage networks;
- improving identification of the need for water of crop by using remote sensing.

REFERENCES

1. *Bartier P.M., Keller C.P.* Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW). Computers & Geosciences, 1996. V. 22. P. 795–799.
2. *Beisenboyev T.Sh., Bespalov N.F.* Salinization dynamics of irrigated soils and cotton productivity. 1993. 160 p. (in Uzbek).
3. *Conrad C., Dech S., Dubovyk O., Fritsch S., Klein D., Löw F., Schorcht G., Schorcht G.* Derivation of temporal windows for accurate crop discrimination in heterogeneous croplands of Uzbekistan using multitemporal RapidEye images. Computers and Electronics in Agriculture, 2014. P. 63−74.
4. *Faures J., Svendsen M., Turral H.* Reinventing irrigation. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London, Colombo: Earthscan and International Water Management Institute, 2007. Chapter 9. 233 p.
5. *Gao B. C.* NDWI — A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sens. Environ., 1996. V. 58. No 3. P. 257−266.
6. *Guan Y., Liu G., Wang J.* Saline-alkali land in the Yellow River Delta: amelioration zonation based on GIS. Journal of Geographical Sciences, 2001. V. 11. P. 313–320. DOI: 10.1007/BF02892315.
7. *Harma S.K., Anjaneyulu D.* Application of remote sensing and GIS in water resource management. International Journal of Remote Sensing, 1993. P. 3209−3220.
8. *Irmak S., Odhiambo L.O., Kranz W.L., Eisenhauer D.E.* Irrigation Efficiency and Uniformity, and Crop Water Use Efficiency. Lincoln, NB: University of Nebraska–Lincoln Extension, 2011. P. 1−7.
9. *Isabaev K., Khamidov M., Alieva D.* Crop irrigation and productivity. Tashkent: Mehnat, 1991. 103 p. (in Uzbek).

10. *Khamidov M.H.* Scientific bases of improvement of water use in the lower reaches of the Amu Darya river. Tashkent: SoyuzNIHI, 1993. 296 p. (in Russian).
11. *Matyakubov B.S.* Meliorative condition of irrigated agriculture and its improvement. Scientific and technical information journal “Issues of land reclamation”, 2001. No 1−2. P. 84−87 (in Russian).
12. *Matyakubov B.S.* Modern state of irrigated agriculture of Khorezm oasis. Moscow: Agrarian science, 2005. No 9. P. 227−229 (in Russian).
13. *Mirzajonov K.M., Malaboev N.E., Umarov D.D.* Ameliorative condition of the Aral Sea area. Tashkent: Fan, 1993. 122 p. (in Uzbek).
14. *Pron’ko N.A., Korsak V.V.* GIS-technologies in irrigation and irrigated agriculture in the dry steppe of the Volga region. Herald of the N.I. Vavilov Saratov State Agrarian Univ., 2013. V. 2. P. 54−57 (in Russian).
15. *Rakhimbayev F.M.* Ameliorative condition of irrigated lands (on the example of the lower reaches of the Amu Darya). Tashkent, 1980. 104 p. (in Uzbek).

УДК: 633.11«324»:528.8:631.5 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-240-251**

Ф.В. Ерошенко[1], И.Г. Сторчак[2], И.В. Энговатова[3], Н.Г. Лиховид[4]

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

АННОТАЦИЯ

Для повышения устойчивости зернового производства на региональном уровне необходимы достоверные и оперативные методы мониторинга состояния посевов в течение всей вегетации, а также способы раннего прогнозирования не только урожайности, но и качества зерна озимой пшеницы. Для этого используют спутниковые данные сезонной динамики вегетационного индекса NDVI, что позволяет оценивать физиологическое состояние посевов и величину будущего урожая. Цель исследований — выявить связь между данными дистанционного зондирования Земли и показателями качества озимой пшеницы для условий Ставропольского края. Работа выполнена в отделе физиологии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» совместно с институтом космических исследований РАН. Данные по качеству зерна в Ставропольском крае за период с 2003 по 2018 гг. предоставлены Ставропольским филиалом ФГБУ «Федеральный центр оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки». Вегетационные индексы NDVI получены с помощью сервиса «VEGA» ИКИ РАН. Проведённый анализ данных показал, что максимальный коэффициент корреляции NDVI с количеством зерна 2-го и 3-го классов составил 0,83 со знаком минус в фазу формирования зерновки. С количеством продовольственного зерна максимальная обратная связь отмечается в фазу возобновления весенней вегетации (коэффициенты корреляции -0,62). Динамика прогноза качества зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае в 2018 г. имеет довольно широкий диапазон изменений, что связано с условиями роста и развития растений. Для условий Ставропольского края наиболее тесная корреляция между вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы и качественными показателями наблюдается в период с 10 по 22 календарные недели. При анализе связи качественных показателей со средними значениями NDVI в разные месяцы вегетационного периода выявлена тесная обратная связь за апрель, май, июнь, а также за период апрель−май.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: озимая пшеница, качество зерна, данные дистанционного зондирования Земли, вегетационный индекс NDVI

---

[1] ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: **yer-sniish@mail.ru**
[2] ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: **sniish.storchak@gmail.com**
[3] ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Ставропольский край, Шпаковский р-н, Михайловск, Россия; *e-mail*: **chernova_skfu@mail.ru**
[4] ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», ул. Пушкина, д. 1, 355000, Ставропольский край, Ставрополь, Россия; *e-mail*: **likhovid@mail.ru**

Fedor V. Eroshenko[1], Irina G. Storchak[2], Irina V. Engovatova[3], Natalia G. Likhovid[4]

USE OF REMOTE SENSING EARTH DATA FOR REGIONAL ASSESSMENT OF WINTER WHEAT GRAIN QUALITY

ABSTRACT

To improve the sustainability of grain production at the regional level, reliable and operational methods for monitoring the state of crops during the entire growing season, as well as methods for early prediction of not only yield, but also the quality of winter wheat grain are needed. For this, satellite data of the seasonal dynamics of the vegetation index NDVI are used, which allows one to evaluate the physiological state of crops and the size of the future crop. The purpose of research is to identify the relationship between the data of remote sensing of the Earth and winter wheat quality indicators for the conditions of the Stavropol Territory. This work was carried out in the Department of Plant Physiology of the North-Caucasian Federal Scientific and Agricultural Agrarian Federal State Budgetary Scientific Institution together with the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. Data on grain quality in the Stavropol Territory for the period from 2003 to 2018 were provided by the Stavropol branch of the Federal Center for the Safety and Quality Assessment of Grain and its Processing Products. Vegetation indices NDVI obtained using the VEGA service IKI RAS. An analysis of the data showed that the maximum correlation coefficient of NDVI with the amount of grains of the 2nd and 3rd classes was 0.83 with a minus sign in the phase of formation of the grain. With the amount of food grain, the maximum feedback is observed in the phase of the resumption of spring vegetation (correlation coefficients -0.62). The dynamics of the forecast of winter wheat grain quality in the Stavropol Territory in 2018 has a fairly wide range of changes, which is associated with the conditions of plant growth and development. For the conditions of the Stavropol Territory, the closest correlation between the vegetative index NDVI of winter wheat crops and quality indicators is observed from 10 to 22 calendar weeks. When analyzing the relationship of quality indicators with average NDVI values in different months of the growing season, close feedback was revealed for April, May, June, and also for the period April−May.

KEYWORDS: winter wheat, grain quality, Earth remote sensing data, NDVI vegetation index

ВВЕДЕНИЕ

Ставропольский край является лидером по производству продовольственной пшеницы в стране [*Ерошенко и др*., 2016]. При анализе статистических данных выявлена тенденция снижения качества зерна — так, если за период 2001–2005 гг. доля пшеницы 3-го класса в общем объёме производимого в крае зерна составляла 45,3 %, то в 2016–2018 гг. она снизилась до 22,3 %. Причинами данного снижения могут служить: климатические изменения (увеличение количества осадков и повышение температуры воздуха) [*Кулинцев и др.,* 2013], внедрение сортов озимой пшеницы интенсивного типа, которые способны формировать более высокий урожай, но с меньшими показателями качества зерна; внесение недостаточного количества минеральных удобрений [*Менькина и др*., 2018], а также износ

[1] North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonov str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: **yer-sniish@mail.ru**
[2] North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonov str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: **sniish.storchak@gmail.com**
[3] North-Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Nikonov str., 49, 356241, Stavropol Territory, Shpakovsky District, Mikhailovsk, Russia; *e-mail*: **chernova_skfu@mail.ru**
[4] Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “North-Caucasian Federal University”, Pushkin str., 1, 355000, Stavropol Territory, Stavropol, Russia; *e-mail*: **likhovid@mail.ru**

материально-технических средств и др.[1] Из литературных источников известно, что для условий Ставропольского края с изменением почвенно-климатических зон происходит снижение качественных показателей [*Воропаева А.А. и др.,* 2019]. Следовательно, природно-климатические условия, элементы технологии возделывания, уровень минерального питания оказывают большое влияние на качество зерна озимой пшеницы, возделываемой в Ставропольском крае.

Важной задачей агропромышленного комплекса Ставропольского края является получение стабильно высоких урожаев качественного зерна озимой пшеницы. Для её решения необходимо разрабатывать достоверные и оперативные методы мониторинга состояния посевов в течение всей вегетации, а также прогноза урожайности и качества зерна. Для этого активно используют данные дистанционного зондирования Земли [*Kussul*, 2018], которые позволяют получать необходимую информацию на различных уровнях пространственной агрегации [*Якушев и др*., 2019]. Отмечается, что спутниковые данные сезонной динамики вегетационного индекса NDVI позволяет оценивать, как физиологическое состояние посевов, так и величину будущего урожая [*Ёлкина и др*., 2017]. Достоинством таких оценок является их оперативность, когда получение снимков возможно несколько раз в сутки. Кроме того, такие данные отличаются объективностью, т.е. информация, полученная по космоснимкам, показывает действительное состояние исследуемых объектов [*Troy et al.,* 2016]. Также использование данных дистанционного зондирования Земли обеспечивает широкий охват исследуемой территории [*Nagy et al.,* 2018; *Hassan et al.*, 2019]. Существуют различные подходы к прогнозированию урожайности: оценка состояния полей по вегетационным индексам, статистическая обработка результатов мониторинга, поиск года-аналога, построение моделей роста и регрессионных зависимостей продуктивности от вегетационных индексов. При построении регрессионных моделей в качестве данных ДЗЗ используют вегетационный индекс NDVI. Вместе с тем главный вопрос возможностей дистанционной оценки качества урожая в научной литературе к настоящему времени пока ещё не нашел должного отражения, поэтому ***цель исследований*** — выявить связь между данными дистанционного зондирования Земли и показателями качества озимой пшеницы для условий Ставропольского края.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена в отделе физиологии растений ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Вегетационные индексы NDVI получены с помощью сервиса «VEGA» Института космических исследований РАН.

В качестве базового геоинформационного программного обеспечения использовалась платформа Quantum GIS 2.18; математическая и статистическая обработка данных проводилась в табличном редакторе Microsoft Excel 2010.

В своих анализах мы пользовались усредненными данными вегетационного индекса NDVI всех полей озимых культур в Ставропольском крае для установления закономерностей, связанных с озимой пшеницей. С нашей точки зрения, такое допущение вполне уместно, т.к. из всех озимых культур больше 1 % занимает только озимый ячмень. В то же время, во-первых, биологические особенности озимой пшеницы и озимого ячменя схожи, а, во-вторых, площадь посевов под этой культурой составляет всего около 4 % от площади под пшеницей, что меньше ошибки опыта.

---

[1] Сельское хозяйство в Ставропольском крае: статистический сборник. Ставрополь: Северо-Кавказстат, 2018. 130 с.
Agriculture in the Stavropol Territory: A statistical compilation. Stavropol: Severo-Kavkazstat, 2018. 130 p. (in Russian).

Статистические данные качества зерна озимой пшеницы Ставропольского края предоставлены Ставропольским филиалом ФГБУ «Федеральный центр оценки безопасности и качества зерна и продуктов его переработки». Для характеристики урожая зерна озимой пшеницы используют государственный стандарт «Пшеница. Технические условия» (ГОСТ52554-2006. Пшеница. Технические условия.). Чаще всего используются значения доли веса в валовом сборе продовольственного зерна (выраженного в процентах) 4-х классов, которые отличаются по содержанию сырой клейковины. Для продовольственного зерна установлен минимальный порог содержания клейковины 18 %, а пшеница, для которой этот показатель превышает 23 % (выше 3-го класса), относится к высококачественной.

Для характеристики качества зерна для таких территорий, как район, почвенно-климатическая зона, край (область) используют суммарную долю зерна 2 и 3 классов (высококачественное зерно), а также количество продовольственного зерна в общем урожае. Динамика этих показателей в Ставропольском крае за последние 15 лет представлена на рис. 1.

Рис. 1. Динамика производства продовольственного зерна и зерна 2-го и 3-го классов в Ставропольском крае

Fig. 1. Dynamics of production of food grains and grains of the 2nd and 3rd classes in the Stavropol Territory

Предположения о том, что существует связь между вегетационным индексом NDVI и показателями качества зерна озимой пшеницы основываются на следующих физиологических закономерностях:

- содержание азота в растениях — один из основных показателей, определяющих качество зерна озимой пшеницы [*Гаркуша и др.,* 2000];
- днием азота и хлорофилла в растениях [*Андриянова, Тарчевкий*, 2000];
- существует обратная корреляционная связь между содержанием хлорофилла в растениях и вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы [*Ерошенко др.,* 2016].

Следовательно, между NDVI посевов озимой пшеницы и показателями качества зерна должна быть обратная взаимосвязь.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нами были изучены закономерности формирования качества зерна озимой пшеницы на территории Ставропольского края (рис. 2). Анализ данных показал, что максимальное количество зерна 2-го и 3-го классов получают в Александровском, Благодарненском, Георгиевском, Кочубеевском, Минераловодском Новоселицком, Курском, Степновском и Советском районах, наименьшее — в Арзгирском, Грачевском, Красногвардейском, Левокумском, Петровском и Шпаковском районах. Наибольшее количество продовольственного зерна было выращено на территории Кочубеевского, Александровского и Новоселицкого районов. Минимальные значения этого показателя отмечены в Апанасенковском, Арзгирском, Будённовском, Петровском, Предгорном, Туркменском муниципальных районах. В целом по Ставропольскому краю наблюдаемая тенденция снижения качества производимого зерна озимой пшеницы происходит с запада на восток, т.к. в этом направлении изменяются почвенно-климатические условия.

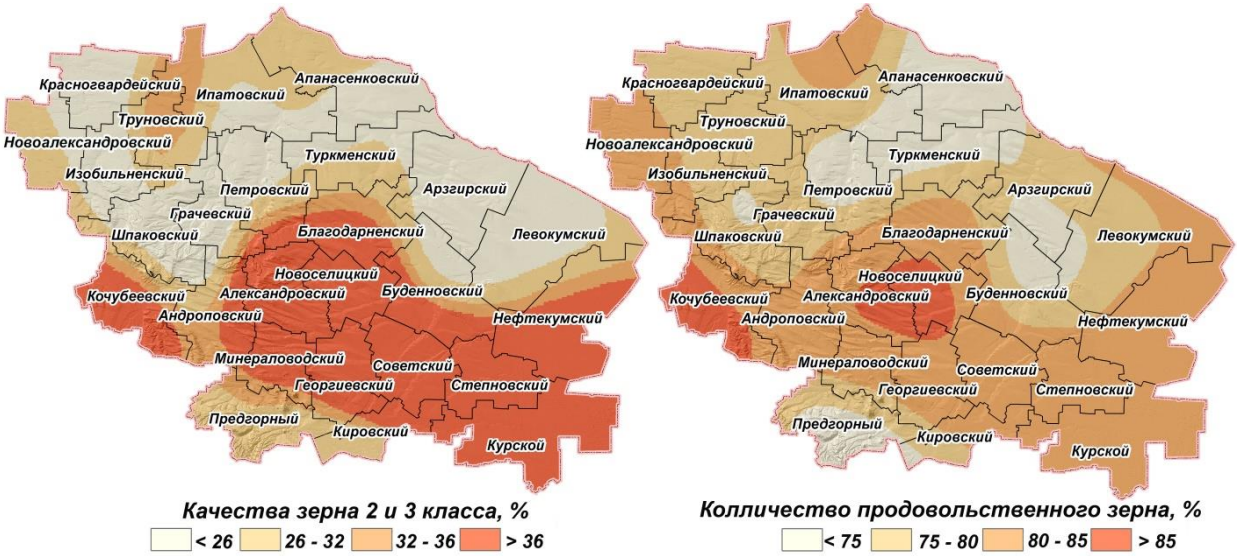


Рис. 2. Распределение по территории Ставропольского края качества зерна озимой пшеницы
Fig. 2. Distribution of winter wheat grain quality on the territory of the Stavropol Territory

Таким образом, качество зерна озимой пшеницы зависит от почвенно-климатических условий выращивания.

Из литературных источников известно, что для озимой пшеницы максимальное значение NDVI соответствует VIII этапу органогенеза (фаза колошение) [*Буховец и др.*, 2018]. Используя эти данные, мы соотнесли значения вегетационного индекса к определённым фазам роста и развития растений.

Исследования показали, что максимальный коэффициент корреляции NDVI с относительной долей высококачественного зерна составил значение 0,83 со знаком минус в фазу формирования зерновки. С долей продовольственного зерна максимальная обратная связь отмечается в фазе возобновления весенней вегетации (коэффициенты корреляции -0,62) (табл.1).

Табл. 1. Связь показателей качества зерна с NDVI посевов озимой пшеницы в Ставропольском крае в различных фазах роста и развития (по данным за 2003–2018 гг.)
Table 1. Relationship between grain quality indicators and NDVI of winter wheat sowing in the Stavropol Territory in various phases of growth and development (according to data for 2003–2018)

Фаза развития	Для высококачественного зерна			Доля продовольственного зерна		
	R_{corr}	Уравнения регрессии	R^2	R_{corr}	Уравнения регрессии	R^2
возобновление весенней вегетации	-0,6	y = -79.274x + 66.317	0,36	-0,62	y = -49.043x + 101.75	0,38
весеннее кущение	-0,58	y = -66.837x + 63.631	0,34	-0,56	y = -38.26x + 98.587	0,31
конец весеннего кущения	-0,55	y = -60.069x + 63.426	0,3	-0,48	y = -31.524x + 96.935	0,23
начало выхода в трубку	-0,56	y = -67.33x + 71.724	0,31	-0,45	y = -32.045x + 99.31	0,2
выход в трубку	-0,6	y = -88.459x + 89.935	0,35	-0,41	y = -36.309x + 104.13	0,17
трубкование	-0,61	y = -117.13x + 115.04	0,37	-0,31	y = -35.32x + 105.3	0,1
стеблевание	-0,73	y = -150.52x + 144.82	0,53	-0,44	y = -53.848x + 120.67	0,19
колошение	-0,76	y = -147.79x + 145.06	0,58	-0,51	y = -59.208x + 125.64	0,26
цветение	-0,78	y = -143.24x + 139.88	0,61	-0,51	y = -55.292x + 121.98	0,26
формирование зерновки	-0,83	y = -135.37x + 129.27	0,69	-0,48	y = -46.847x + 113.96	0,23
рост зерновки	-0,78	y = -111.79x + 104.97	0,61	-0,41	y = -35.212x + 103.26	0,17
молочно-восковая спелость	-0,71	y = -82.902x + 78.886	0,5	-0,47	y = -32.689x + 98.827	0,22
восковая спелость	-0,57	y = -67.989x + 63.708	0,32	-0,47	y = -33.561x + 96.069	0,22
полная спелость	-0,6	y = -79.274x + 66.317	0,36	-0,62	y = -49.043x + 101.75	0,38

Таким образом возможно прогнозировать качество зерна озимой пшеницы будущего урожая с достаточно большой степенью достоверности, начиная с возобновления весенней вегетации.

Кроме того, если по уравнениям регрессии для каждой фазы роста и развития рассчитать значения величин количества зерна 2-го и 3-го классов, а также количества продовольственного зерна и построить их динамику в течение вегетации, то полученный таким образом график будет отражать ход формирования качества зерна озимой пшеницы для всей территории Ставропольского края.

На рис. 3 представлена динамика прогноза качества зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае в 2018 г. Из графика видно, что качественные характеристики имеют довольно широкий диапазон изменений, что связано с условиями роста и развития растений.

В течение вегетации растений озимой пшеницы идёт процесс накопления запасных белков, на которые, как отмечалось выше, большое влияние оказывают почвенно-климатические условия возделывания. При этом изменение одного из факторов, определяющих рост и развитие растений, влечёт за собой изменение других. Поэтому график динамики прогноза качества зерна озимой пшеницы — неоднородно меняющаяся кривая.

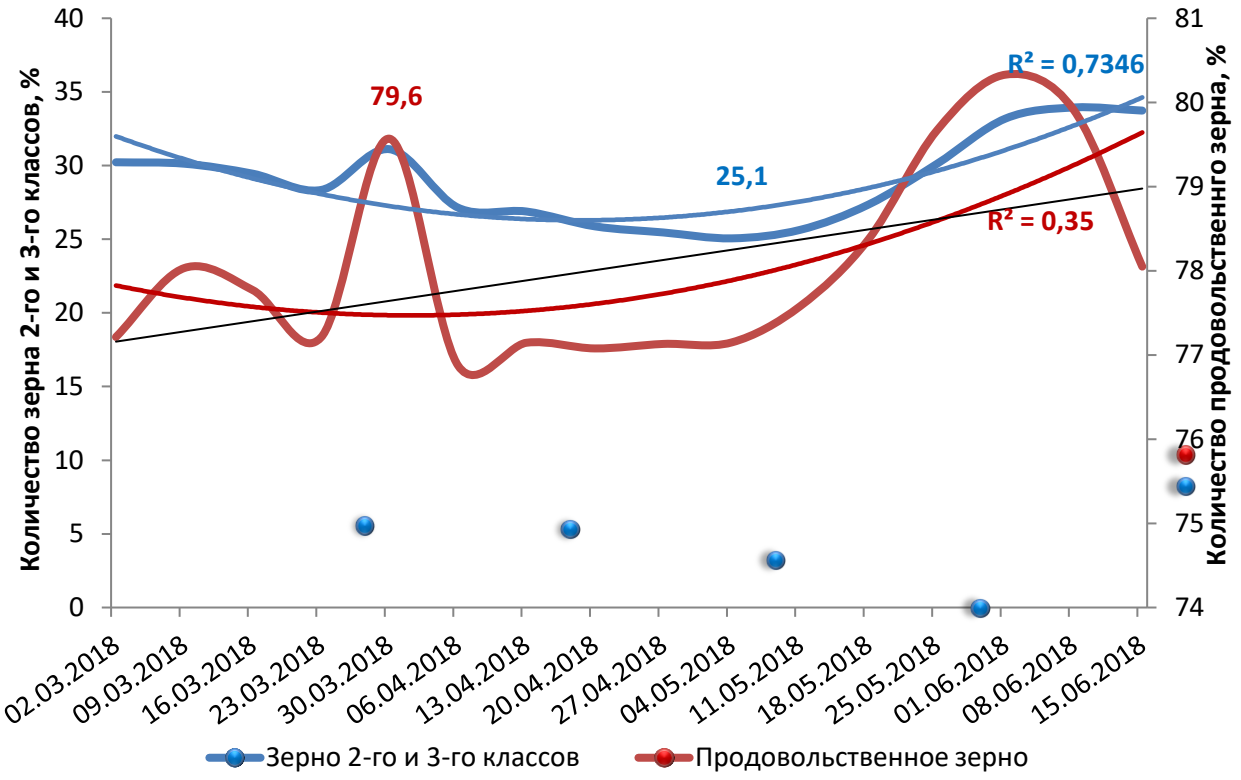


Рис. 3. Динамика прогноза качества зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае в 2018 г.
Fig. 3. Dynamics of the forecast of winter wheat grain quality in the Stavropol Territory in 2018

Получение высококачественного зерна возможно, если на XI этапе органогенеза растения озимой пшеницы достаточно обеспечены азотом, умеренно высокой температурой, при небольшом дефиците влаги, а также обеспечены интенсивной богатой ультрафиолетовыми лучами ФАР. Небольшая засуха при повышенной температуре стимулирует нитратную деятельность в почве и усиливает дыхание в растениях, которое сопровождается расходом углеводов [*Кулинцев и др*. 2013], что способствует увеличению белка в зерне озимой пшеницы, что благоприятно сказывается на его качестве.

По данным гидрометцентра Ставропольского края температура воздуха в весенне-летний период 2018 г. была выше климатической нормы, так в марте она превышала климатическую норму на 1,2° С и составила значение 3,5° С, в апреле — на 14 % (10,8° С), в мае — на 19 % (17,7°С), июне — на 17 % (22,5°С). Суммарное количество осадков в весенний период 2018 г. составило 147 мм. В марте выпало 88 мм (151 % климатической нормы), в апреле — 15 мм. (66 %), в мае — 44 мм (34 % от нормы). В июне 2018 г. выпало всего 0,5 мм осадков при норме 84 мм. (рис.4). Такое изменение погодных условий ожидаемо отразилось на динамике прогноза качества зерна.

Следовательно, для прогноза качества зерна озимой пшеницы и контроля хода его формирования возможно использовать данные дистанционного зондирования.

Наряду с явными достоинствами такого способа оценки качества урожая зерна озимой пшеницы, у него есть и недостаток, который заключается в дополнительных преобразованиях данных NDVI для приведения их в соответствие с определёнными фазами развития растений. Чтобы устранить этот недостаток, мы провели анализ связи качественных показателей с вегетационным индексом NDVI в конкретные даты года (номер недели). Полученные данные показали (табл. 2), что можно прогнозировать качество зерна озимой пшеницы, выращенной в условиях Ставропольского края, с 10 недели года. Значимые коэффициенты корреляции при таком способе анализа проявляются вплоть до 21-й недели с начала года, что соответствует датам в интервале 28 мая – 3 июня (формирование зерновки).

Таким образом, в период с 10-й по 21-ю неделю года существует высокая обратная корреляционная связь между вегетационным индексом NDVI посевов озимой пшеницы в Ставропольском крае и качеством зерна будущего урожая.

При анализе связи качественных показателей озимой пшеницы, возделываемой в Ставропольском крае, со средними значениями NDVI в разные месяцы вегетационного периода получены значимые коэффициенты корреляции за апрель, май, июнь, а также за период апрель–май (рис. 5).

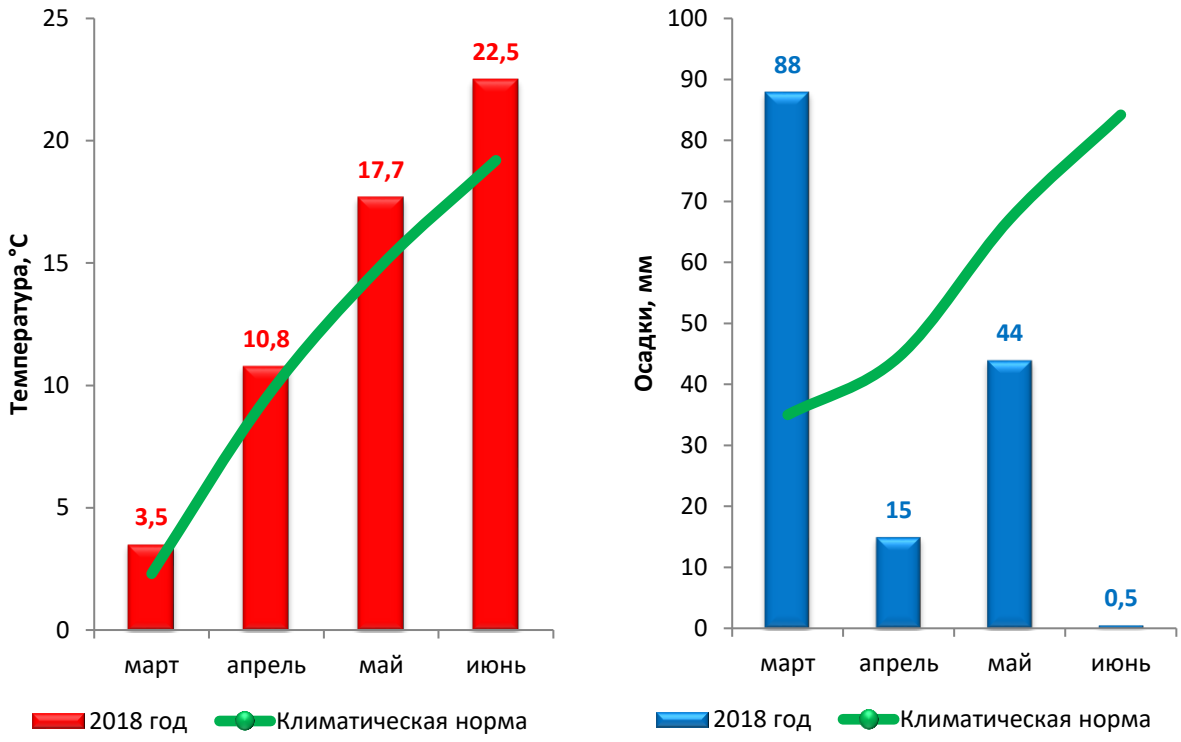


Рис. 4. Температура воздуха и количество осадков в 2018 г. (метеостанция Ставрополь)
Fig. 4. Air temperature and precipitation in 2018 (weather station Stavropol)

Табл. 2. Связь показателей качества зерна озимой пшеницы с NDVI в различные даты (номер недели года) роста и развития озимой пшеницы в Ставропольском крае (по данным за 2003–2017 гг.)
Table 2. Relationship between winter wheat grain quality indicators and NDVI on different dates (the number of the next year) of growth and development of winter wheat in the Stavropol Territory (according to data for 2003–2017)

№ п/п	Неделя года	Для высококачественного зерна		Для продовольственного зерна	
		R_{corr}	Уравнения регрессии	R_{corr}	Уравнения регрессии
1	9	-0,16	y = -20,986x + 39,752	-0,50**	y = -39,677x + 95,227
2	10	-0,29**	y = -35,982x + 45,816	-0,59**	y = -45,559x + 97,897
3	11	-0,42**	y = -52,538x + 52,566	-0,68**	y = -52,817x + 101,01
4	12	-0,57**	y = -66,228x + 59,011	-0,78**	y = -55,764x + 103,03
5	13	-0,63**	y = -67,167x + 61,069	-0,83**	y = -53,858x + 103,59
6	14	-0,72**	y = -69,166x + 64,837	-0,81**	y = -48,029x + 103,05
7	15	-0,76**	y = -74,678x + 71,763	-0,75**	y = -44,916x + 104,14
8	16	-0,75**	y = -81,613x + 80,474	-0,63**	y = -41,677x + 104,96
9	17	-0,77**	y = -85,913x + 88,348	-0,59**	y = -40,162x + 106,53
11	18	-0,80**	y = -99,471x + 102,25	-0,57**	y = -43,48x + 110,89
12	19	-0,79**	y = -115,99x + 117,85	-0,52**	y = -47,233x + 115,13
13	20	-0,74**	y = -123,03x + 125,29	-0,47**	y = -47,632x + 116,29
14	21	-0,56**	y = -106,24x + 111,82	-0,23**	y = -26,078x + 99,723
15	22	-0,52**	y = -95,372x + 101	-0,16	y = -17,391x + 92,695
16	23	-0,34**	y = -48,7x + 64,284	0,04	y = 3,4296x + 77,772
17	24	-0,14	y = -17,437x + 41,788	0,23	y = 17,567x + 69,934

**** – коэффициенты корреляции значимы для p=0,05***
***** – коэффициенты корреляции значимы для p=0,01***

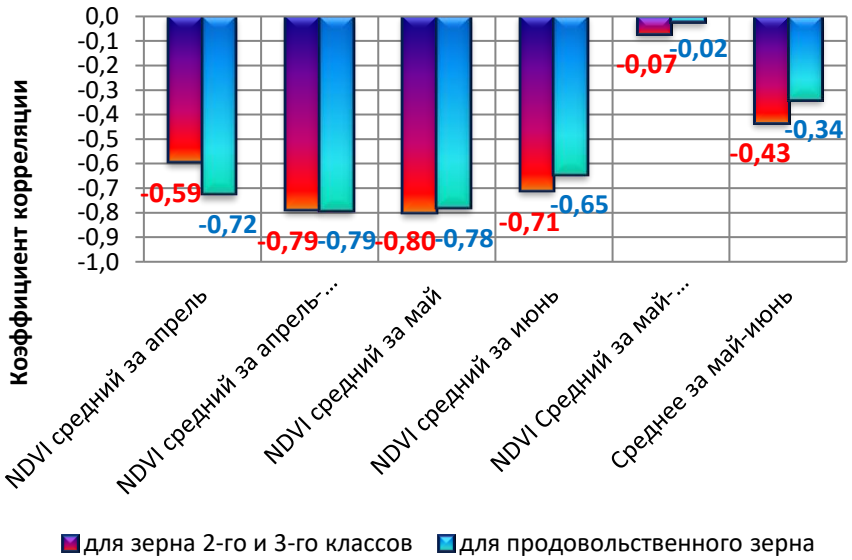


Рис. 5. Коэффициенты корреляции между средними помесячными значениями вегетационного индекса NDVI и относительной долей зерна озимой пшеницы в Ставропольском крае
Fig. 5. Correlation coefficients between monthly average values of the vegetative index NDVI and the relative share of winter wheat grain in the Stavropol Territory

ВЫВОДЫ

Полученные результаты свидетельствуют, что для посевов озимой пшеницы, возделываемой в Ставропольском крае, существует обратная связь между значениями вегетационного индекса NDVI и относительной долей высококачественного зерна (2-го и 3-го классов). Максимальный коэффициент корреляции составил значение 0,83 со знаком минус в фазу формирования зерновки. С долей продовольственного зерна максимальная обратная связь отмечается в фазе возобновления весенней вегетации (коэффициент корреляции -0,62). При этом в период с 10-й по 21-ю календарные недели существует тесная связь между этими показателями. Полученные результаты могут быть основой для разработки методов мониторинга состояния посевов озимой пшеницы в течение всей вегетации и прогноза качества будущего урожая.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 15-35-10419.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Federal Property Fund, project No 15-35-10419.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А.* Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.

2. *Буховец А.Г., Сёмин Е.А., Костенко Е.И., Яблоновская С.И.* Моделирование динамики вегетационного индекса NDVI озимой пшеницы в условиях ЦФО. Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2018. № 2 (57). С. 186–199.

3. *Воропаева А.А., Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И.* Влияние технологии возделывания на урожай и качество зерна озимой пшеницы в условиях неустойчивого увлажнения центрального Предкавказья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2019. № 5 (79). С. 72–76.

4. *Гаркуша В.Ф., Уманов С.С, Петрова Л.Н.* Технология возделывания зерновых колосовых культур в Ставропольском крае. Рекомендации. Ставрополь-Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2000. 84 с.

5. *Ерошенко Ф.В., Барталёв С.А., Сторчак И.Г., Плотников Д.Е.* Возможности дистанционной оценки урожайности озимой пшеницы на основе вегетационного индекса фотосинтетического потенциала. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016. Т. 13. № 4. С. 99–112.

6. *Ёлкина Е.С., Барталёв С.А., Толпин В.А., Лупян Е.А.* Возможности сервиса спутникового мониторинга «Вега». Современные подходы к изучению экологических проблем в физической и социально-экономической географии. X Международная молодёжная школа-конференция. М.: Институт географии РАН, 2017. С. 162–163.

7. *Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Желнакова Л.И.* Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Ставрополь: АГРУС, 2013. 520 с.

8. *Менькина Е.А., Шаповалова Н.Н., Воропаева А.А.* Влияние предшественников и удобрений на урожайность озимой пшеницы, возделываемой по технологии No-till на обыкновенном чернозёме Ставропольского края. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2018. № 3 (71). С. 55–59.

9. *Якушев В.П., Дубенок Н.Н., Лупян Е.А.* Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования земли для сельского хозяйства. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019. Т. 16. № 3. С. 11–23.

10. *Hassan A., Yang M., Rasheed A., Yang G.* A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. Plant Science, 2019. P. 95−103.
11. *Kussul N., Mykola L., Shelestov A., Skakun S.* C rop inventory at regional scale in Ukraine: developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and sar satellite imagery. Italian Journal of Remote Sensing, 2018. V. 51. No 1. C. 627–636.
12. *Magney T.S., Eitel J.U.H., Huggins D.R., Vierling L.A.* Proximal NDVI derived phenology improves in-season predictions of wheat quantity and quality. Agricultural and Forest Meteorology, 2016. P. 46−60.
13. *Nagy A., Fehér J., Tamás J.* Wheat and maize yield forecasting for the Tisza river catchment using MODIS NDVI time series and reported crop statistics. Computers and Electronics in Agriculture, 2018. P. 41−49.

REFERENCES

1. *Andrianova Yu.E., Tarchevsky I.A.* Chlorophyll and plant productivity. Moscow: Nauka, 2000. 135 p. (in Russian).
2. *Bukhovets A.G., Semin E.A., Kostenko E.I., Yablonovskaya S.I.* Modeling the dynamics of the vegetative index NDVI of winter wheat in the Central Federal District. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University, 2018. No 2 (57). P. 186–199 (in Russian).
3. *Eroshenko F.V., Bartalev S.A., Storchak I.G., Plotnikov D.E.* Opportunities for remote assessment of winter wheat productivity based on the vegetative index of photo-synthetic potential. Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space, 2016. V. 13. No 4. P. 99–112 (in Russian).
4. *Garkusha V.F. Umanov S.S., Petrova L.N.* The technology of cultivation of cereal crops in the Stavropol Territory. Recommendations. Stavropol-Zernograd: All-Russian Research, Design and Technological Institute of Agricultural Mechanization and Electrification, 2000. 84 p. (in Russian).
5. *Hassan A., Yang M., Rasheed A., Yang G.* A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform. Plant Science, 2019. P. 95−103.
6. *Kulintsev V.V., Godunova E.I., Zhelnakova L.I.* The farming system of the new generation of the Stavropol Territory. Stavropol: AGRUS, 2013. 520 p. (in Russian).
7. *Kussul N., Mykola L., Shelestov A., Skakun S.* C rop inventory at regional scale in Ukraine: developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and sar satellite imagery. Italian Journal of Remote Sensing, 2018. V. 51. No 1. C. 627–636.
8. *Magney T.S., Eitel J.U.H., Huggins D.R., Vierling L.A.* Proximal NDVI derived phenology improves in-season predictions of wheat quantity and quality. Agricultural and Forest Meteorology, 2016. P. 46−60.
9. *Menkina E.A., Shapovalova N.N., Voropaeva A.A.* The influence of predecessors and fertilizers on the yield of winter wheat cultivated using No-till technology on ordinary chernozem of the Stavropol Territory. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University, 2018. No 3 (71). P. 55–59 (in Russian).
10. *Nagy A., Fehér J., Tamás J.* Wheat and maize yield forecasting for the Tisza river catchment using MODIS NDVI time series and reported crop statistics. Computers and Electronics in Agriculture, 2018. P. 41−49.
11. *Voropaeva A.A., Shapovalova N.N., Godunova E.I.* The influence of cultivation technology on the yield and quality of grain of winter wheat under conditions of unstable moistening of the central Ciscaucasia. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University, 2019. No 5 (79). P. 72–76 (in Russian).

12. *Yakushev V.P., Dubenok N.N., Lupyan E.A.* Application experience and development prospects of technologies for remote sensing of land for agriculture. Current Problems of Remote Sensing of the Earth from Space, 2019.V. 16. No 3. P. 11–23 (in Russian).
13. *Yolkina E.S., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Lupyan E.A.* Opportunities of the Vega satellite monitoring service. Modern Approaches to the Study of Environmental Problems in Physical and Socio-Economic Geography. X International Youth School Conference. Institute of Geography RAS, 2017. P. 162–163 (in Russian).

УДК: 681:631.95 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-252-263**

Т.В. Волошенкова[1], **Д.Е. Белов**[2], **А.А. Лиховид**[3]

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «ЭКОЛОГИЯ АГРОБИОЦЕНОЗОВ»

АННОТАЦИЯ

Изучение механизмов формирования, закономерностей взаимодействия отдельных компонентов агробиоценозов сопряжено с обработкой больших массивов разнородных географически распределённых данных, полученных в разное время и в различных почвенно-климатических условиях. В связи с этим нами начата разработка информационно-аналитической системы и соответствующего программного обеспечения, которые позволят накапливать, хранить и проводить консолидированный анализ несвязанных данных, касающихся долгосрочного мониторинга агробиоценозов и окружающих экосистем. Сформирована общая схема информационно-аналитической системы «Экология агробиоценозов» и её взаимодействия со средствами дистанционного зондирования Земли и возможностями ГИС-технологий. На основе свободного программного обеспечения, систем облачных вычислений разработаны элементы веб-ориентированной информационной системы для создания баз данных, характеризующих ведущие абиотические, биотические, технологические аспекты агробиоценозов. Сформирована модель реляционной базы данных, позволяющая осуществлять сбор, хранение и консолидацию введённой информации. Разработаны модули для сбора основных характеристик ресурсосберегающих технологий возделывания сельхозкультур, а также влияния методов уборки озимой пшеницы на производительность работы комбайнов и урожайность. На практическом примере показано, что анализ большого спектра разнородной информации в сочетании с ГИС-технологиями, дающими чёткую пространственно-временную локализацию объектов, позволяет выявить закономерности взаимодействия компонентов агробиоценозов, на первый взгляд не связанных друг с другом. Были изучены данные технологических полевых экспериментов и отдельно проводившихся наблюдений за орнитофауной и мышевидными грызунами. Установлено, что кормовая база птиц и наибольшая плотность популяции грызунов территориально совпадают с возделыванием культур по технологии прямого посева, что и вызвало существенную гибель озимой пшеницы в осенне-зимний период на этих участках.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: агробиоценоз, экология, информационная система, ГИС-технологии

---

[1] ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Михайловск, Ставропольский край, Россия; *e-mail:* **tvoloshenkova@yandex.ru**
[2] ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, д. 49, 356241, Михайловск, Ставропольский край, Россия; *e-mail:* **d.belov@cloudinfosys.ru**
[3] ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», ул. Пушкина, д. 1, 355017, Ставрополь, Россия; *e-mail:* **alikhovid@ncfu.ru**

Tatyana V. Voloshenkova[1], **Denis E. Belov**[2], **Andrey A. Likhovid**[3]

INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM "ECOLOGY OF AGROBIOCENOSES"

ABSTRACT

The study of mechanisms of formation and patterns of interaction of individual components of agrobiocenoses involves the processing of large arrays of heterogeneous geographically distributed data obtained at different times and in different soil and climatic conditions. In this regard, we have begun the development of an information-analytical system and related software that will allow us to accumulate, store and conduct a consolidated analysis of unrelated data regarding long-term monitoring of agrobiocenoses and surrounding ecosystems. The general scheme of the information-analytical system "Ecology of agrobiocenoses" and its interaction with the means of remote sensing of the Earth and the capabilities of GIS technologies has been formed. Based on free software, cloud computing systems, the elements of a web-oriented information system have been developed to create databases characterizing the leading abiotic, biotic, technological aspects of agrobiocenoses. A relational database model has been formed that allows the collection, storage and consolidation of entered information. Modules have been developed to collect the main characteristics of resource-saving technologies for crop cultivation, as well as the impact of winter wheat harvesting methods on combine harvester productivity and yield. The practical example shows that the analysis of a wide range of heterogeneous information in combination with GIS technologies which give a clear spatio-temporal localization of objects makes it possible to identify patterns of interaction between the components of agrobiocenoses, which at first glance are not related to each other. The data of technological field experiments and separately conducted observations of avifauna and mouse-like rodents were studied. It was established that the forage base of birds and the highest population density of rodents coincide geographically with cultivation using direct sowing technology, which caused a significant loss of winter wheat in the autumn-winter period in these areas.

KEYWORDS: agrobiocenosis, ecology, information system, GIS technologies

ВВЕДЕНИЕ

Основой динамичного развития сельского хозяйства является формирование устойчивых, экологически сбалансированных и высокопродуктивных агробиоценозов. Однако антропогенное воздействие на природную среду в процессе сельскохозяйственного производства очень часто ведёт к нарушению стабильности естественных экосистем, их деградации, а иногда и к полному разрушению. Деятельность человека, направленная на выращивание достаточно ограниченного ассортимента культур, приводит к тому, что создаваемые им агробиоценозы всё время находятся в стадии начальной сукцессии. В них резко уменьшается биоразнообразие, нарушается баланс полезных и вредных представителей флоры и фауны. В результате устойчивость агробиоценозов снижается, и на создание условий для их нормального функционирования, повышения продуктивности необходимы существенные материальные и энергетические затраты.

Знание механизмов, ведущих абиотических, биотических, технологических факторов формирования агробиоценозов, закономерностей взаимодействия их компонентов

[1] North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, Nikonov str., 49, 356241, Mikhailovsk, Stavropol Territory, Russia; *e-mail:* **tvoloshenkova@yandex.ru**
[2] North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, Nikonov str., 49, 356241, Mikhailovsk, Stavropol Territory, Russia; *e-mail:* **d.belov@cloudinfosys.ru**
[3] North-Caucasus Federal University, Pushkin str., 1, 355017, Stavropol, Russia; *e-mail:* **alikhovid@ncfu.ru**

позволило бы разработать научную основу для создания сбалансированных агробиоценозов, отличающихся стабильностью структуры и процессов функционирования, высокой продуктивностью и экологичностью (минимизацией химического воздействия и целенаправленной биологизацией).

Полученные закономерности дадут возможность в перспективе перейти к моделированию и прогнозу состояния агробиоценозов при изменении отдельных его компонентов и окружающей среды. Но такие исследования сопряжены с обработкой больших массивов разнородных географически распределённых данных, зачастую не связанных друг с другом напрямую, полученных разными исследователями, в разное время и в различных почвенно-климатических условиях.

Развитие компьютерных и ГИС-технологий, средств дистанционного зондирования Земли предоставляют в этом отношении широкие возможности. Аэрокосмические методы, оптическая съёмка поверхности дают точную координатную привязку объектов и процессов [*Книжников и др.*, 2004]. Использование ГИС позволяет создавать картографическое изображение изучаемой территории и её рельефа [*Берлянт*, 1997; *Новаковский* и др., 2000; 2011]. Активно разрабатываемые информационные системы, в том числе ГИС агролесоландшафтного и агролесомелиоративного направления [*Юферев* и др., 2010], накапливают большой объём данных, который может быть востребован для анализа процессов в разных отраслях сельского и лесного хозяйства. Кроме того, в последние годы активизировалась разработка компьютерных программ для оптимизации землепользования [*Васенёв, Черкасов*, 2002], формирования схем землеустройства [*Альт* и др., 2008], проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия [*Добротворская*, 2016].

Однако область агроэкологии, аккумулирующая в себе как экологию растительных и животных организмов, так и производственные процессы, в этом отношении несколько отстаёт. В связи с этим нами начата разработка информационно-аналитической системы (ИАС) и соответствующего программного обеспечения, которые позволят накапливать, хранить и проводить консолидированный анализ несвязанных данных, касающихся долгосрочного мониторинга агробиоценозов и окружающих экосистем. Это обеспечит не только более высокий уровень исследований в агроэкологии, но и получение новой научной информации, которую невозможно приобрести с помощью локального полевого эксперимента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на базе ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» на основе обобщения данных, полученных сотрудниками разных лабораторий в результате выполнения полевых экспериментов.

На данном этапе объектом изучения являлись технологии разработки и эксплуатации программного обеспечения, основанные на свободном программном обеспечении, позволяющие создавать веб-ориентированные информационные системы для формирования баз данных, характеризующих экологические параметры агробиоценозов.

Регистрация доменного имени осуществлялась через акционерное общество «Региональный Сетевой Информационный Центр» (Лицензия на предоставление телематических услуг связи от 27.12.2016 № 164102). Управление DNS серверами — ООО «СПРИНТХОСТ.РУ» (Лицензия, выданная Роскомнадзором, № 162552 от 26.03.2018). Аренда серверов для запуска информационной системы осуществлялась в ЦОД IXcellerate Moscow One, который соответствует стандарту Tier3, что позволило достичь уровня доступности сервисов (SLA) 99,999 %.

Разработка реляционной модели данных выполнялась в соответствии с методикой E.F. Codd [1979], К. Дейт и др. [*Дейт*,1998; *Kopitovs et al.*, 2002].

Разработка предусматривала применение объектно-ориентированных принципов программирования [*Kay*, 1980; 1996] с собственными модификациями. Для разработки

программного обеспечения использовался язык программирования «Java» [*Gosling*, 1995; *Gosling et al*., 2005; *Arnold et al*., 2000].

Для объединения отдельных модулей в целостную информационную систему использовалась технология Dependency Injection (DI), в более широком смысле именуемая Inversion of Control (IoC). В качестве «фреймворка» (каркаса), реализующего данную технологию был использован Spring, выпускаемый под лицензией Apache License 2.0. [*Белов, Шалин*, 2017; *Yang*, 2012; *Martin*, 2008, 2017].

Для формирования картографической основы использовался программный комплекс QGIS 3.12.1 — свободная географическая информационная система с открытым кодом[1].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Центральное место в структуре разрабатываемой информационно-аналитической системы (ИАС) занимает динамическая база данных (БД), где накапливаются и хранятся значения параметров, всесторонне характеризующих изучаемые агробиоценозы (рис. 1).

Параметры, входящие в динамическую базу данных, условно можно разделить на три блока: абиотические, биотические и технологические. Абиотические параметры включают координатную привязку агробиоценозов, их административную и хозяйственную принадлежность, почвенно-климатические условия изучаемой территории. К биотическим отнесена информация, характеризующая состав, структуру и продуктивность растительной части и животного населения агробиоценозов. В состав технологических параметров входят характеристики применяемых систем земледелия, агротехнологий, сельскохозяйственной техники, удобрений и средств защиты растений.

На данном этапе основной задачей была разработка модулей информационной системы, позволяющих осуществлять сбор, хранение и консолидированный анализ данных, характеризующих отдельные аспекты экологии агробиоценозов.

Были выявлены программные библиотеки различных производителей (такие как BSD-2, BSD-3, CDDL-1.0, MIT, PostgreSQL, GNU GPL, GNU LGPL W3C и др.), распространяющиеся под свободными лицензиями, позволяющими осуществлять их модификацию и использование. Благодаря интеграции свободных библиотек, сред разработки и операционных систем была решена научно-техническая задача по снижению стоимости создания и поддержки программного продукта на всех этапах его жизненного цикла, и, соответственно, уменьшена и совокупная стоимость владения программным обеспечением (ПО) для конечного потребителя. Кроме того, при использовании ПО, исходный код которого является открытым, значительно повышается возможность поддержки информационных систем [*Белов, Шалин*, 2014].

В результате проведённых исследований на основе свободного программного обеспечения и систем облачных вычислений были разработаны модули веб-ориентированной информационной системы для формирования баз данных, характеризующих основные показатели применения ресурсосберегающих технологий, а также агротехнических приёмов при возделывании сельскохозяйственных культур [*Воронкина и др.*, 2013].

Выбор технологии IoC для связи отдельных модулей позволил разработать систему, функциональность которой может быть расширена без значительного изменения исходного кода, что упрощает поддержку на этапе эксплуатации. Применение IoC позволило решить проблему избыточной связанности кода, которая возникала в результате взаимодействия различных классов напрямую друг с другом.

---

[1] QGIS. Свободная и открытая система географической информации. Электронный ресурс: http://qgis.org/ (дата обращения 23.10.2019)

Рис. 1. Общая схема информационно-аналитической системы «Экология агробиоценозов» и её взаимодействия со средствами ДЗЗ и ГИС
Fig. 1. General scheme of the information and analytical system "Ecology of agrobiocenoses" and its interaction with the remote sensing of the Earth and GIS tools

Кроме того, реализация IoC на базе Spring Framework, кроме стандартных методов внедрения зависимостей (DI), таких как Constructor Injection, Setter Injection и Method Injection, позволила осуществлять DI с помощью механизма автоматического связывания при помощи аннотаций, что сделало код более чистым и структурированным [*Белов, Шалин*, 2017].

В результате выполненных работ была сформирована модель реляционной базы данных, позволяющая осуществлять сбор, хранение и консолидацию данных. Разработаны SQL (DDL) запросы для генерации таблиц в системе управления базами данных. Сформирован интуитивно понятный интерфейс пользователя, позволяющий осуществлять сортировку, добавление, удаление, редактирование и копирование данных, производить их фильтрацию и экспорт в табличные редакторы. Реализован механизм документооборота. Разработан аналитический интерфейс, обеспечивающий возможность консолидации данных. Проведена отладка и ввод модуля в эксплуатацию.

Параметры доступа к демонстрационной версии информационной системы в сети Интернет: http://app.fnac.center/mon-agrocenos-demo/. Логин для оператора лаборатории — «Soil_Science», пароль — «hlTDApr4tv».

На данном этапе разработаны модули ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур (РТВСК) и влияния процесса уборки озимой пшеницы (ВПУОП).

Общими для разработанных модулей стали классификаторы:

- CL_ORG_AGRO — классификатор сельскохозяйственных предприятий;
- PD_ORG — классификатор узлов сбора информации.

Реляционная модель модуля РТВСК состоит из следующих основных классификаторов:

- CL_CROPS_TYPE — классификатор типов сельскохозяйственных культур, (зерновые, зернобобовые, крупяные, масличные и прочие);
- CL_AGRO_CROPS — сдержит информацию о сельскохозяйственных культурах, по которым ведется учёт и консолидация основных показателей почвы;
- CL_SOIL_LAYER — предназначен для определения объекта из совокупности машин конкретного сельскохозяйственного предприятия, чем обусловлена ссылка на классификатор сельскохозяйственных предприятий.

Значительное влияние на процессы функционирования агробиоценозов могут оказывать методы уборки урожая. Для этого блока информации разработана реляционная модель модуля ВПУОП.

Модель представлена следующими основными классификаторами:

- CL_AGRM_TYPE — классификатор типов сельскохозяйственных машин, который определяет такие подмножества, как комбайны, тракторы, опрыскиватели и т. д.;
- CL_AGRM_MDL — определяет модель и производителя сельскохозяйственной техники;
- CL_AGRO_MACH — предназначен для определения объекта из совокупности машин конкретного сельскохозяйственного предприятия, чем обусловлена ссылка на классификатор сельскохозяйственных предприятий.

В демонстрационной системе добавлены две основные роли: «оператор лаборатории возделывания сельскохозяйственных культур» и «оператор сельскохозяйственного предприятия». Основным отличием этих ролей является то, что оператору лаборатории разрешено редактировать базовые классификаторы, такие как типы сельскохозяйственных культур, сельскохозяйственные культуры, слои почвы, типы и модели сельскохозяйственной техники. Кроме того, оператору лаборатории доступна возможность утверждения (разутверждения) отчётов, а также консолидации данных.

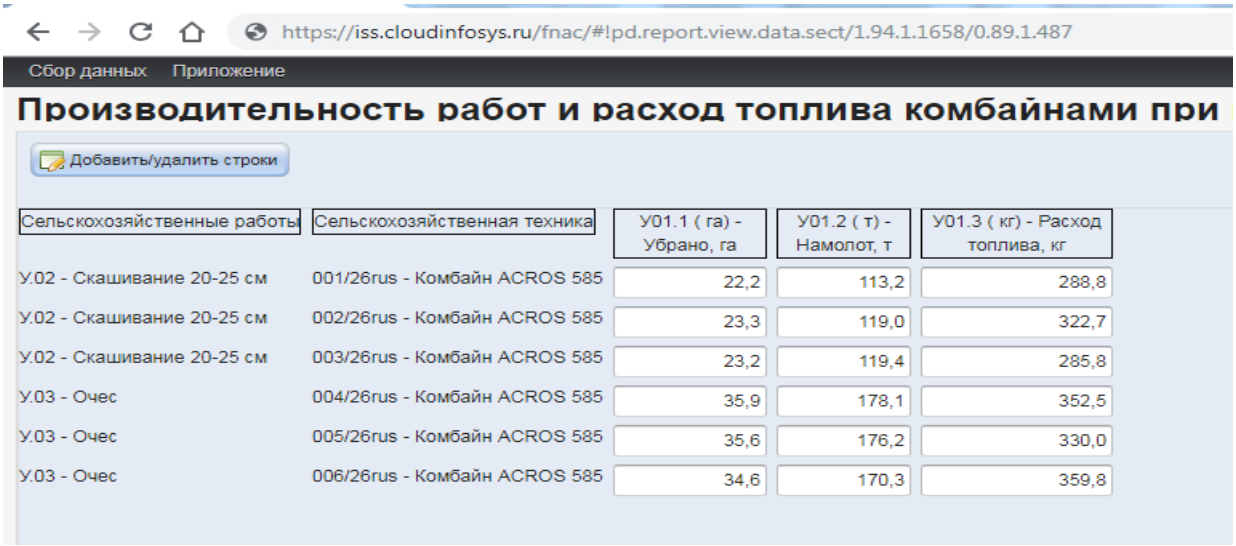
Формы ввода данных позволяют осуществлять сбор информации, характеризующей основные показатели ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур и влияния процесса уборки, в данном случае показателей влияния методов уборки озимой пшеницы на производительность работы комбайнов и урожайность (рис. 2).

Аналитические модули РТВСК и ВПУОП (рис. 3) позволяют консолидировать данные по всем пересекающимся множествам классификаторов с возможностью экспорта данных в табличные редакторы Excel и LibreOffice Calc.

По таким же принципам формируются модули для накопления информации, характеризующей и другие компоненты агробиоценозов — агрофизические свойства почв при использовании различных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, применение удобрений и химических средств борьбы с сорняками и вредителями, структуру почвенной мезофауны, орнитофауну, состояние прилегающих экосистем.

Для выявления механизмов и закономерностей функционирования агробиоценозов

необходимо не только накопление большого количества параметров, но и их визуализация. Поэтому ИАС использует данные дистанционного зондирования Земли и возможности ГИС-технологий.



Сельскохозяйственные работы	Сельскохозяйственная техника	У01.1 (га) - Убрано, га	У01.2 (т) - Намолот, т	У01.3 (кг) - Расход топлива, кг
У.02 - Скашивание 20-25 см	001/26rus - Комбайн ACROS 585	22,2	113,2	288,8
У.02 - Скашивание 20-25 см	002/26rus - Комбайн ACROS 585	23,3	119,0	322,7
У.02 - Скашивание 20-25 см	003/26rus - Комбайн ACROS 585	23,2	119,4	285,8
У.03 - Очес	004/26rus - Комбайн ACROS 585	35,9	178,1	352,5
У.03 - Очес	005/26rus - Комбайн ACROS 585	35,6	176,2	330,0
У.03 - Очес	006/26rus - Комбайн ACROS 585	34,6	170,3	359,8

Рис. 2. Форма ввода данных модуля ВПУОП
Fig. 2. IWWHP module data entry form

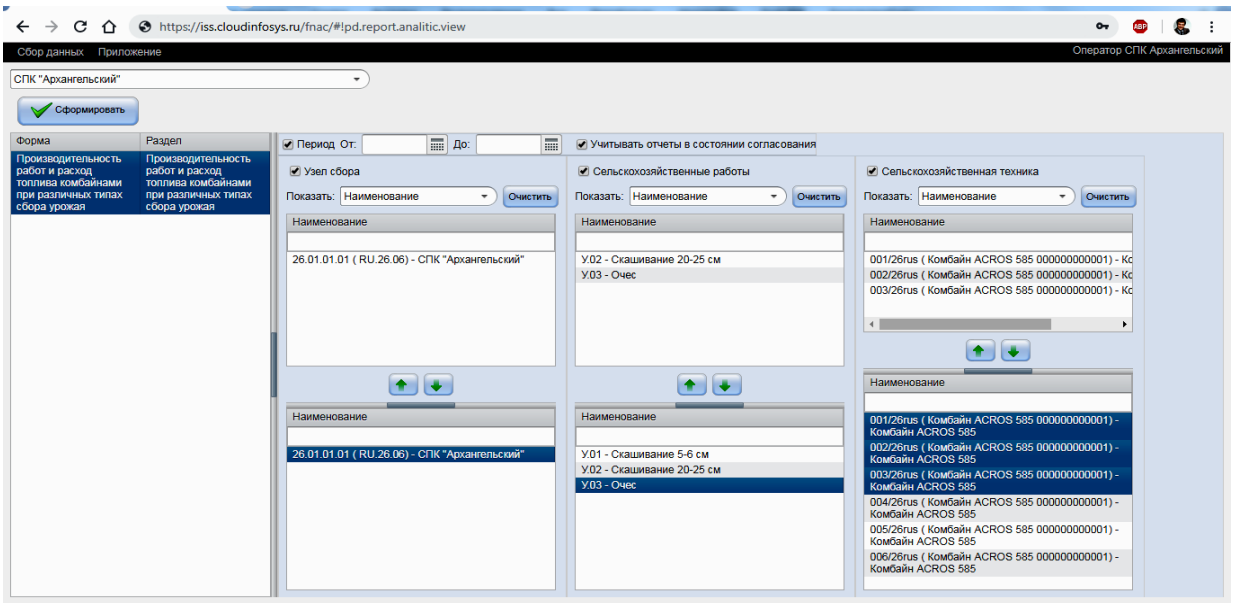


Рис. 3. Аналитический модуль ВПУОП
Fig. 3. The analytical module IWWHP

Применение геоинформационных технологий позволило получить серию тематических карт территории, дающих чёткую пространственно-временную локализацию отдельных компонентов и явлений. Картографической основой послужили векторные слои с контурами опытных полей ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», которые проходят ежегодную актуализацию (рис. 4).

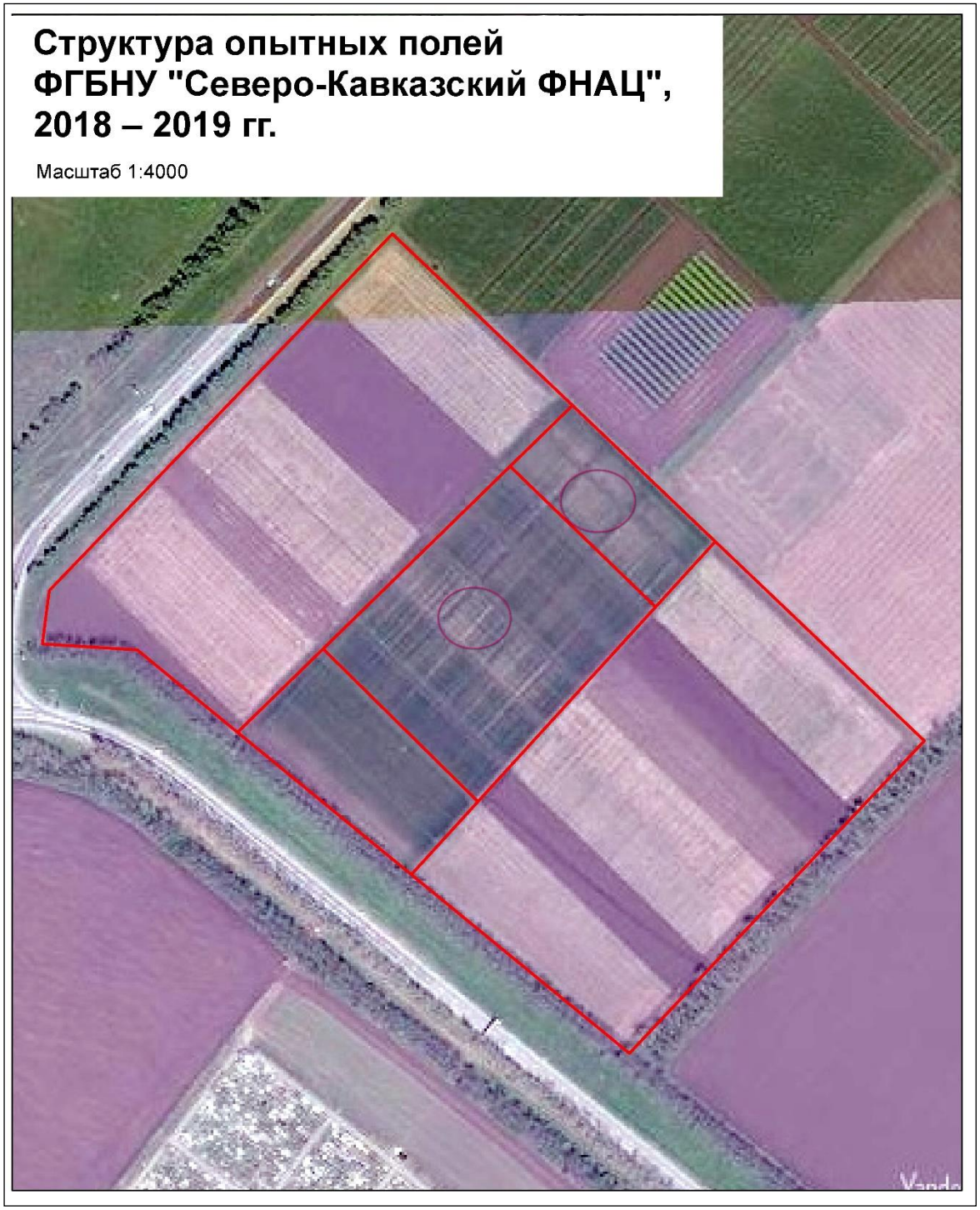


Рис. 4. Структура опытных полей
Fig. 4. Structure of experimental fields

Для каждого отдельного поля в атрибутивную таблицу вносятся сведения о выращиваемой культуре, предшественнике, минеральных подкормках и других элементах технологии выращивания (рис. 5). Это позволяет проводить непрерывный мониторинг опытных посевов, выявлять территориальные особенности отмечаемых явлений, получать дополнительную информацию как для пополнения базы данных, так и для анализа взаимодействия компонентов, на первый взгляд друг с другом не связанных.

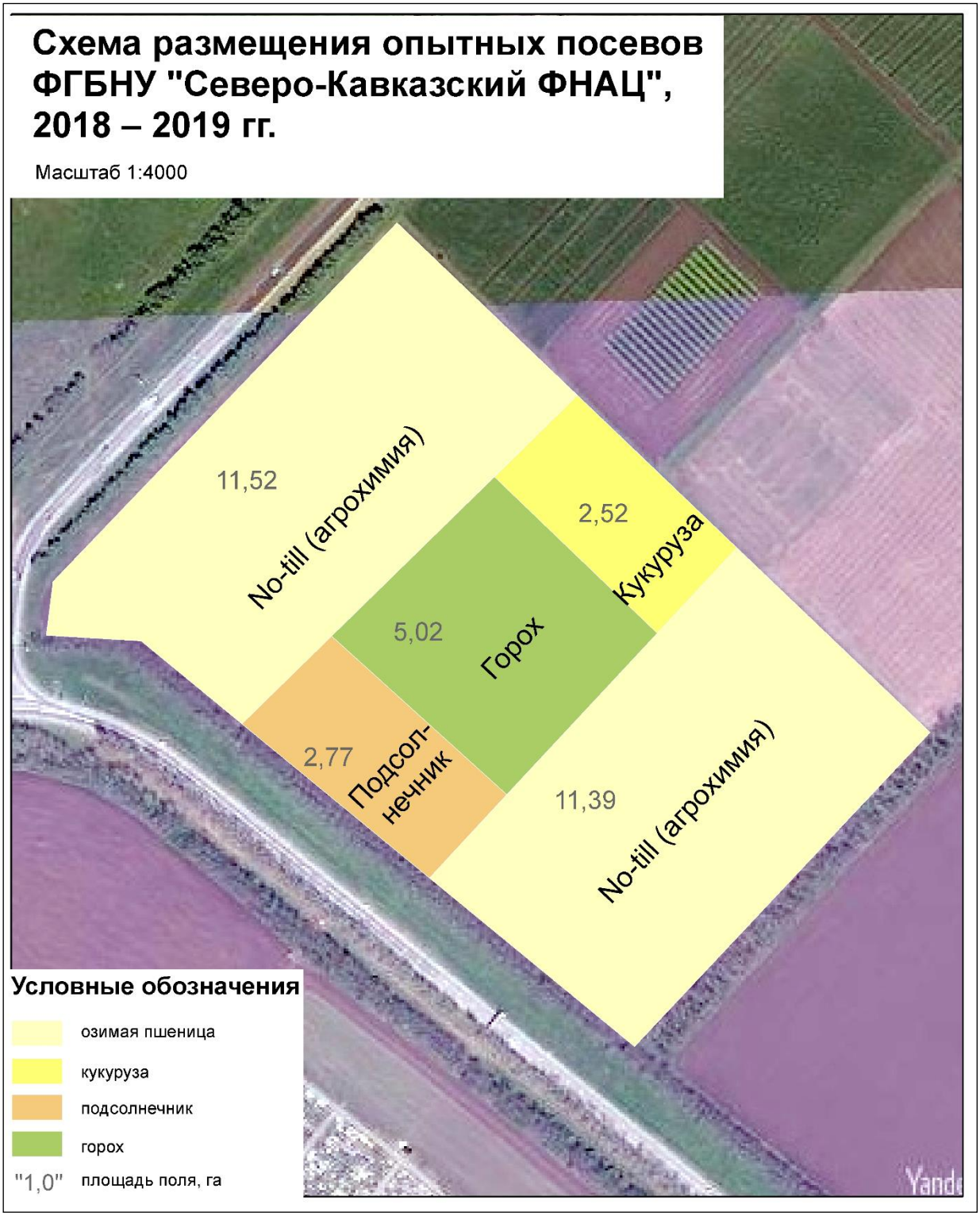


Рис. 5. Схема размещения культур в опытных посевах
Fig. 5. The layout of crops in the experimental crops

Так, осенью 2019 г. наблюдалось изреживание посевов озимой пшеницы. Причём при относительно однородных почвенных и одинаковых погодных условиях отдельные объекты пострадали наиболее сильно (рис. 4). Консолидированный анализ информации баз данных и электронных карт позволил установить причины гибели растений. Оказалось, что самые большие выпады приурочены к посевам озимой пшеницы по кукурузе и гороху при возделывании их по технологии No-till (рис. 5). Данная технология относится к

ресесурсосберегающим. Она предусматривает прямой посев культур без основной обработки почвы и оставление пожнивных остатков на поверхности.

Параллельно проводившиеся орнитологические наблюдения, не связанные с технологиями возделывания, показали, что в прилегающих к опытным объектам экосистемах (защитных лесных полосах) располагались массовые гнездовья грачей. Расположенные рядом с ними посевы стали основной кормовой базой для птиц. Наиболее привлекательными были участки именно с технологией No-till, где вместе с растительными остатками после уборки культур на поверхности остаётся много зерна и семян. Причём в период осеннего сева птицы уничтожали пшеницу сплошными рядами, т.к. для них не представляло особого труда извлечь зерно из неглубоких щелей, оставленных посевными комплексами. В зимний период дополнительный вред нанесли мышевидные грызуны. Повышенная плотность их популяции наблюдалась на этих же участках, о чём можно было судить по количеству мышиных нор и характерным пятнам выпадов растений.

Надо отметить, что посевы озимой пшеницы по традиционной технологии, предусматривающей обработку почвы дисковыми орудиями с заделкой растительных остатков и зерна, просыпавшегося во время уборки, пострадали намного меньше и в основном от мышевидных грызунов.

Установление основных причин изреживания посевов позволяет обоснованно выбрать методы предотвращения подобных явлений в будущем. В первую очередь необходимо совершенствовать технологии возделывания культур и сельскохозяйственную технику для снижения потерь зерна во время уборки. К птицам можно применять только биологические методы, в основном отпугивающие (привлечение хищников, шумовые эффекты и др.). Для борьбы с грызунами, кроме биологических, возможно применение и химических методов, но только после окончания перелета птиц на зимовку и при тщательном подборе препаратов и их дозировок.

ВЫВОДЫ

1. На основе свободного программного обеспечения разработаны модули информационной системы, позволяющие осуществлять сбор, хранение и консолидированный анализ данных, характеризующих отдельные аспекты экологии агробиоценозов.

2. Анализ большого спектра разнородной информации в сочетании с возможностями ГИС-технологий, дающими чёткую пространственно-временную локализацию объектов и явлений, позволяет выявить закономерности взаимодействия отдельных компонентов агробиоценозов, на первый взгляд не связанных друг с другом.

3. Установление причинно-следственных связей открывает возможность целенаправленного воздействия на отдельные компоненты агробиоценоза (абиотические, биотические, технологические) для повышения его устойчивости и продуктивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альт В.В., Колпакова Л.А., Боброва Т.Н., Добротворская Н.И.* Компьютерная программа для разработки схемы землеустройства с использованием ГИС-технологий. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2008. № 9. С. 76–82.

2. *Белов Д.Е., Шалин А.Ф.* Применение систем облачных вычислений для повышения экономической эффективности сельскохозяйственного производства. Сельскохозяйственный журнал, 2014. Т. 1. № 7 (1). С. 226–230.

3. *Белов Д.Е., Шалин А.Ф.* Применение инверсии управления для снижения степени связанности модулей в подсистеме учёта сельскохозяйственных животных за счёт внедрения зависимостей. Сельскохозяйственный журнал, 2017. Т. 1. № 10. С. 40–50.

4. *Берлянт А.М.* Геоинформационное картографирование. М.: Издательство Московского университета, 1997. 62 с.

5. *Васенёв И.И., Черкасов Г.Н.* Информационно-справочные системы по оптимизации землепользования в условиях ЦЧЗ. Курск: ВНИИЗиЗПЭ, 2002. 118 с.
6. *Воронкина, И.Н., Белов Д.Е., Шалин А.Ф.* Интеграция «Open Source»-продуктов с операционной системой, позволяющих достигать эффект кросс-платформенности и кросс-браузерности. Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства, 2013. Т. 2. № 6 (1). С. 300–307.
7. *Дейт К.* Введение в системы баз данных. Киев–Москва: Диалектика, 1998. 781 с.
8. *Добротворская Н.И.* Информационное обеспечение проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Известия Оренбургского ГАУ, 2016. № 1 (57). С. 251–154.
9. *Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В.* Аэрокосмические методы географических исследований. М: Академия, 2004. 336 с.
10. *Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Прасолов С.В.* Цифровая картография: цифровые модели и электронные карты. М.: Издательствово Московского университета, 2000. 114 с.
11. *Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Волкова И.С., Пермяков Р.В.* Геоинформационное обеспечение моделирования рельефа с использованием цифровых фотограмметрических станций. Геоинформатика, 2011. № 4. С. 42–48.
12. *Юферев В.Г. Кулик К.Н., Рулев А.С., Мушаева К.Б., Кошелев А.В., Дорохина З.П., Березовикова О.Ю.* Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 102 с.
13. *Arnold K., Gosling J.*, Holmes D. The Java programming language. 3rd edition. Addison-Wesley, 2000. 624 p.
14. *Codd E.F.* Extending the database relational model to capture more meaning. ACM transactions on database systems. San Jose–California, 1979. V. 4. No 4. P. 397–434.
15. *Gosling J.* Java intermediate bytecode. Proceedings workshop on intermediate representations (IR'95). San Francisco, CA, USA, 1995. P. 111–118.
16. *Gosling J., Joy B., Steele G., Bracha G.* The Java language specification. 3rd edition. Addison-Wesley Professional, 2005. 684 p.
17. *Kay A.C.* The early history of SmallTalk. ACM Press, NY and Addison-Wesley publication company, 1996. P. 511–598.
18. *Kay A.C.* User interface design in the SmallTalk computing system. Information processing, Proceedings of the 8th (IFIP) congress 1980, Tokyo, Japan, October 6–9, 1980 and Melbourne, Australia, October 14–17, 1980. 1025 p.
19. *Kopitovs J., Demidovs V., Petoukhova N.* Method of temporal databases design using relational environment. Scientific proceedings of Riga technical university — Computer Science: applied computer systems. Series No 5. Iss. 3. Riga: RTU, 2002. P. 236–246.
20. *Martin R.C.* Clean code: a handbook of agile software craftsmanship. Pearson Education, 2008. 157 p.
21. *Martin R.C.* Clean architecture: a craftsman's guide to software structure and design. Prentice Hall, 2017. 432 p.
22. *Yang H.* Software reuse in the emerging cloud computing era. Information Science Reference, 2012. 54 p.

REFERENCES

1. *Alt V.V., Kolpakova L.A., Bobrova T.N., Dobrotvorskaya N.I.* A computer program for developing a land management scheme using GIS technologies. Siberian Bulletin of Agricultural Science, 2008. No 9. P. 76–82 (in Russian).
2. *Arnold K., Gosling J., Holmes D.* The Java programming language. 3rd edition. Addison-Wesley, 2000. 624 p.
3. *Belov D.E., Shalin A.F.* The use of cloud computing systems to increase the economic efficiency of agricultural production. Agricultural Journal, 2014. V. 1. No 7 (1). P. 226–230.

4. *Belov D.E., Shalin A.F.* The use of control inversion to reduce the degree of connectivity of modules in the subsystem of accounting for farm animals due to the introduction of dependencies. Agricultural Journal, 2017. V. 1. No 10. P. 40–50 (in Russian).
5. *Berlyant A.M.* Geoinformation mapping. Moscow: Moscow University Press, 1997. 62 p. (in Russian).
6. *Codd E.F.* Extending the database relational model to capture more meaning. ACM transactions on database systems. San Jose–California, 1979. V. 4. No 4. P. 397–434.
7. *Date K.* Introduction to database systems. Kiev–Moscow: Dialectics, 1998. 781 p. (in Russian).
8. *Dobrotvorskaya N.I.* Information support for the design of adaptive landscape farming systems. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University, 2016. No 1 (57). P. 251−154 (in Russian).
9. *Gosling J.* Java intermediate bytecode. Proceedings workshop on intermediate representations (IR'95). San Francisco, CA, USA, 1995. P. 111–118.
10. *Gosling J., Joy B., Steele G., Bracha G.* The Java language specification. 3rd edition. Addison-Wesley Professional, 2005. 684 p.
11. *Kay A.C.* The early history of SmallTalk. ACM Press, NY and Addison-Wesley publication company, 1996. P. 511–598.
12. *Kay A.C.* User interface design in the SmallTalk computing system. Information processing, Proceedings of the 8th {IFIP} congress 1980, Tokyo, Japan, October 6–9, 1980 and Melbourne, Australia, October 14–17, 1980. 1025 p.
13. *Knizhnikov Yu.F., Kravtsova V.I., Tutubalina O.V.* Aerospace methods of geographical research. Moscow: Academy, 2004. 336 p. (in Russian).
14. *Kopitovs J., Demidovs V., Petoukhova N.* Method of temporal databases design using relational environment. Scientific proceedings of Riga technical university — Computer Science: applied computer systems. Series No 5. Iss. 3. Riga: RTU, 2002. P. 236–246.
15. *Martin R.C.* Clean code: a handbook of agile software craftsmanship. Pearson Education, 2008. 157 p.
16. *Martin R.C.* Clean architecture: a craftsman's guide to software structure and design. Prentice Hall, 2017. 432 p.
17. *Novakovsky B.A., Prasolova A.I., Prasolov S.V.* Digital cartography: digital models and electronic maps. Moscow: Moscow University Press, 2000. 114 p. (in Russian).
18. *Novakovsky B.A., Prasolova A.I., Volkova I.S., Permyakov R.V.* Geoinformation support for modeling terrain using digital photogrammetric stations. Geoinformatics, 2011. No 4. P. 42–48 (in Russian).
19. *Vasenev I.I., Cherkasov G.N.* Information and reference systems for the optimization of land use in the conditions of central emergency protection. Kursk: All-Russian Research Institute of Agriculture and Soil Protection from Erosion, 2002. 118 p. (in Russian).
20. *Voronkina, I.N., Belov D.E., Shalin A.F.* Integration of "Open Source" products with the operating system, allowing to achieve the effect of cross-platform and cross-browser. Collection of Scientific Papers of the Stavropol Scientific Research Institute of Animal Husbandry and Feed Production, 2013. V. 2. No 6 (1). P. 300–307 (in Russian).
21. *Yang H.* Software reuse in the emerging cloud computing era. Information Science Reference, 2012. 54 p.
22. *Yuferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., Mushaeva K.B., Koshelev A.V., Dorokhina Z.P., Berezovikova O.Yu.* Geoinformation technologies in agroforestry. Volgograd: ARSRIAF, 2010. 102 p. (in Russian).

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-264-270

Shavkat Kenjabaev[1] , Murod Sultanov[2], Christian Bauer[3], Dilbar Abduraimova[4], Ifoda Akhmedkhodjaeva[5], Zaytuna Ibragimova[6]

ASSESSMENT OF THE LAND RECLAMATION CONDITION USING GIS TECHNIQUES AND ENVIRONMENTAL VARIABLES: CASE STUDY IN KULAVAT CANAL IRRIGATION SYSTEM, KHOREZM

ABSTRACT

The aim of this study is quantitatively assessment and map land reclamation condition in irrigated croplands of Kulavat canal irrigation system. Environmental variables, such as soil texture, salinity and bonitet, groundwater table and salinity, distance to irrigation systems and density of drainage networks, are the main datasets required for assessing land reclamation condition. These data were extracted and manipulated in geographic information system (GIS) as thematic layers. Spatial analyst function in GIS software was used to detect spatial distribution of variablesand assessing the land reclamation condition, of which the map of environmentally sensitive areas of study area is produced. The results obtained reveals that the study area comprises of three sensitivity classes such as good, medium and low condition, on basis of the stratification map. It is seen that the low areas for land reclamation condition in study area are found in the north-western and south-eastern parts, these areas represent 7 % of the total irrigated lands in study area (26,700 ha). The areas of mediumcondition represent 47 % of the total area. The areas of good condition comprise 33 % of the total area. The other parts (13 %) of the study area belong tonon-assessed class. By noticing the evaluation of environmental factors, the soil (texture), land condition (groundwater table) and water availability (distance to the irrigation systems) have the intensive effect on land reclamation condition throughout the study region. A GIS tool hasa potential to generate such as mapsthat can be used in specific land management improvement programs.

KEYWORDS: land reclamation condition, remote sensing, GIS, Khorezm

INTRODUCTION

Population growth and climate variability necessitate using available land and water resources effectively to maintain sustainable agricultural production in the Central Asian countries, especially in lowlands of the Amudarya and Syrdarya rivers. Whereas mismanagement of land and especially water resources caused land degradation and yield loss. As generally, applied in land reclamation condition assessment by ameliorative expedition in Uzbekistan, conventional methodology is based on qualitative analysis of information derived from network of piezometer wells

[1] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Department of Hydraulics and Hydroinformatics, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail*: **kenjabaev@yahoo.com** (corresponding author)
[2] Urgench State University, Department of Geography, Geodesy and Cartography, 740000, Urgench, Khorezm, Uzbekistan; *e-mail*: **sultanov@mail.ru**
[3] Department of Geography and Geology, University of Würzburg, 97074, Würzburg, Germany; *e-mail*: **christian.bauer2@uni-wuerzburg.de**
[4] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Department of Irrigation and Melioration, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail*: **abduraimova@yahoo.com**
[5] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Department of Hydraulics and Hydroinformatics, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **ifoda.57@mail.ru**
[6] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Department of Irrigation and Melioration, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **ibragimova1957@yahoo.com**

(e.g., groundwater table and salinity) and sampling sites (e.g. soil salinity). This method has certain disadvantages in terms of the time and cost required for objective assessment and interpretation of land reclamation condition. Meantime resulted information in terms of map should provide quantification within and between field variability and thus has to be representative for the given region. It is clear that, land reclamation condition is affected not only with three datasets, but by variable environmental conditions and management factors such as soil texture, fertility, water availability, drainage density and so on, among others. These environmental variables can be distinguished and mapped by using certain key indicators [*Kairis et al.,* 2014] for assessing the land capability to withstand further degradation, or the land suitability for supporting specific types of land use. In addition, it is often advantageous to aggregate several indicators into an index allowing different factors to be taken into account simultaneously in order to monitor the state of the environment or compare different sub-systems [*Basso et al.,* 2000]. However, combined assessment of available variables is still lucking in Uzbekistan in particular and in Central Asia in whole. How can the available data from different organizations be integrated? What are the relationships amongst the factors? These are major issues which are not easily resolved. It is, however, only through an integrated, multi-level, approach that both the land and water management and the existing interactions amongst the individual components of the landscape can be evaluated. In response to these problems, main goal of this study is to quantitatively assess and map land reclamation condition in irrigated croplands of Kulavat canal irrigation system with application of relatively new methodology — "overlaying" or so called "stratification" that allows to find out environmentally sensitive areas, on which further land improvement measures can be taken. Created method in a GIS environment simplifies data handling, provides ease of access to the information acquired and its timely updating, and enhances interpretation by facilitating cross data analysis procedures and the application of sophisticated classifications. It is also possible to retrieve and analyze transformation phenomena quickly, as they progress, in order to identify and instigate the necessary intervention.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

Study area

The study site is located in left bank plain of the Amudarya River within "Kulavat" irrigation command area (ICA) of Khorezm, Uzbekistan (fig.1a, b). The site covering an area of approximately 42,000 ha lies within the northern climatic zone. According to Köppen-Geiger climate classification map, the site is classified as arid and cold desert climate (BWk) [*Kottek et al.,* 2006].

With scars and uneven distribution of mean annual precipitation of 94 mm year^{-1} and high evaporation rate of 1400−1600 mm year^{-1}, water from the Amudarya River is main source in practicing irrigated agriculture. Soils in the study site are formed under the influence of water from the meandering Amudarya River [*Kats,* 1976]. Total length of irrigation and collector-drainage network in the study area are 1614 and 1025 km, respectively (fig. 1c) where specific length of in-farm irrigation (63 m ha^{-1}) and drainage (32 m ha^{-1}) network are denser compared to average values (51 and 25 m ha^{-1}, respectively) in the Khorezm province.

The thematic layers

The three main criteria were considered when selecting the information layers for the study:

- the extent of the data coverage;
- the ease of updating the data quickly and economically;
- the fact that the structure of the system will allow the information layers to be refined, developed, or removed as appropriate in the light of experience.

The sources and mapping scale of the data used to create thematic layers in GIS are given in table 1.

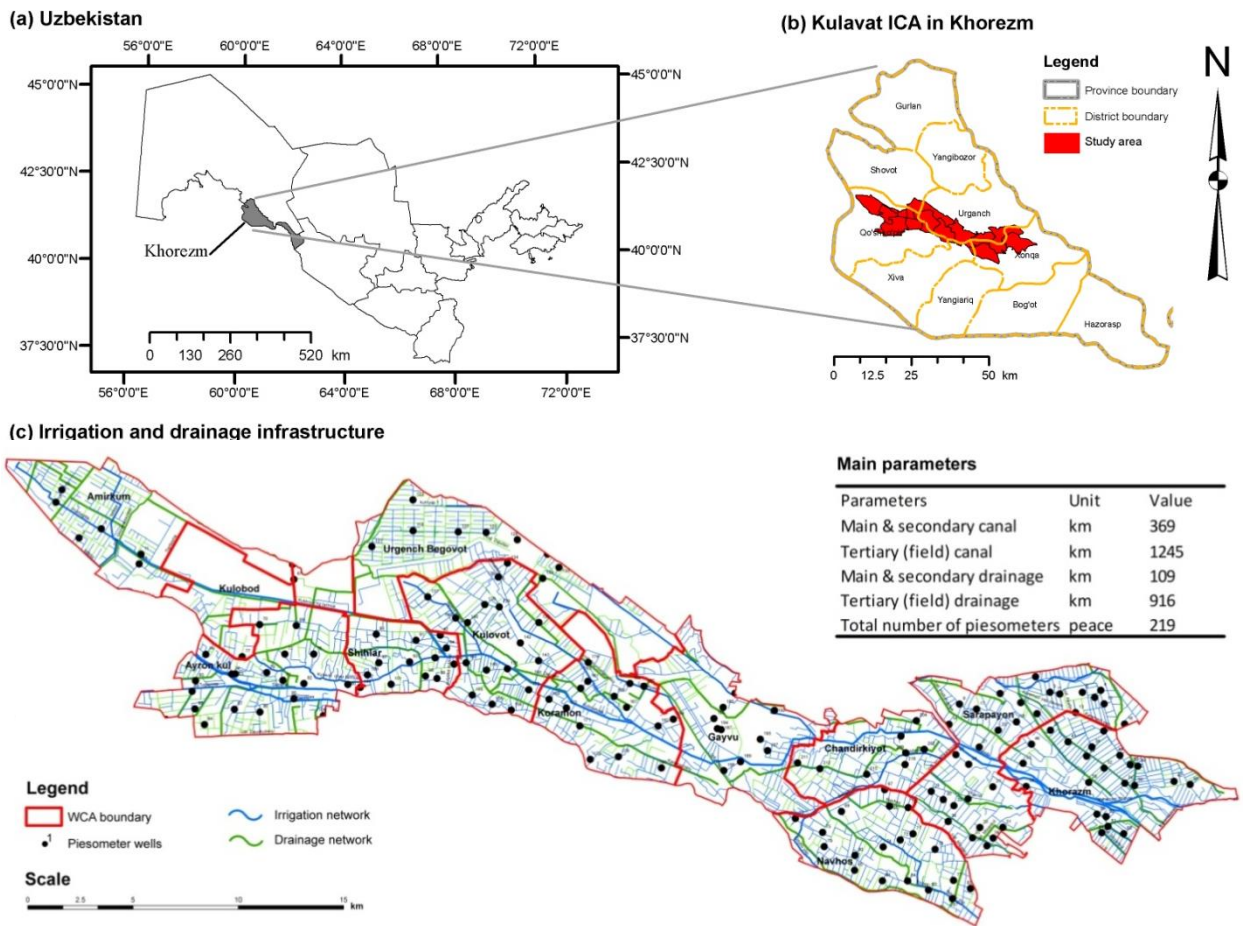
Soil texture, soil salinity and soil bonitet maps of the study area at 1: 25 000 scale was acquired from Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry (SRISSA) and State Committee of Land resources, geodesy, cartography and cadaster (Goscomzem). The maps

containing texture information up to 2−3 m, bonity scores within 30−80 balls and salinity level up to 5 classes were scanned, digitized and geo-referenced in Khorezm Rural Advisory Support Service (KRASS) using georeferencing extension in ArcMap™ 9.2. In this study soil texture at 0−2 m was average weighted in order to create one-layer soil texture map. The Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) was calculated using the following equation [*Rouse et al.*, 1973]:

$$NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{red})}{(R_{NIR} + R_{red})}.$$

Where R_{NIR} and R_{red} spectral bands of Landsat-8 OLI data in near infrared (0.851–0.879 µm) and red (0.636–0.673 µm) spectrum, respectively. The eleven scenes of Landsat-8 data during 2013−2015 was used in order to calculate NDVI values. In this study mean NDVI value during the period was used.

Irrigation and drainage network map at the scale 1: 25 000 was acquired from Samarkand Aero geodetic Enterprise of the Administrative Board of geodesy and cartography; scanned, digitized and geo-referenced in KRASS. These maps then used to create irrigation and drainage density classesusing spatial analyst function in GIS.



Main parameters

Parameters	Unit	Value
Main & secondary canal	km	369
Tertiary (field) canal	km	1245
Main & secondary drainage	km	109
Tertiary (field) drainage	km	916
Total number of piesometers	peace	219

Fig. 1. Location of Khorezm region, Uzbekistan (a), study area (b) and main land reclamation infrastructures in study area (c)

Table 1. Source and scale of agro-ecological parameters used in GIS

No	Parameters	Scale	Year	Source of data	Remarks
1	Soil texture map with explications	1: 25 000	2005	SRISSA	Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry (SRISSA), Uzbekistan
2	Soil bonitet map	1: 25 000	1999	Goskomzem − SRISSA	State Committee of Land resources, geodesy, cartography and cadaster (Goscomzem) − SRISSA
3	Soil salinity map	1: 25 000	2001−2003	ME	Melioration Expedition (ME), Khorezm branch
4	NDVI map	30 m	2013−15	Landsat 8 OLI	cloud-free Landsat-8 OLI archive data were acquired through EarthExplorer at http://earthexplorer.usgs.gov
5	Irrigation network	1: 25 000	2001−10	SamAeroGeod	Samarkand Aero geodetic Enterprise of the Admin. Board of geodesy and cartography, 2001 (recorrection was done 2010)
6	Drainage network	1: 25 000	2001−10	SamAeroGeod	Samarkand Aero geodetic Enterprise of the Admin. Board of geodesy and cartography, 2001 (recorrection was done 2010)
7	Groundwater table map	GPS base coordinates	1990−2004	ME	Melioration Expedition (ME), Khorezm branch
8	Groundwater salinity map	GPS base coordinates	1990−2004	ME	Melioration Expedition (ME), Khorezm branch

Long-term observations (1990−2004) at a 10-daily basis on groundwater table (GWT) and seasonal (April, July, October) basis on GW salinity were obtained from the Khorezm Melioration Expedition (ME) of the Ministry of Agriculture and Water Resources Management (MAWR). Spatial distribution of average long-term vegetation period (April-September) GWT and GW salinity were mapped through inverse distance weighting (IDW) method in ArcMapTM environment [*Kenjabaev, Sultonov,* 2016]. The quantification of different environmentally sensitive areas at the canal system scale was carried out by evaluating the overall influence that single information layers have on the phenomena under study. The first tasks were to establish a data bank and develop suitable techniques to manage the information layers whilst accommodating their different types and levels of detail. Intermediate and final maps were produced after the various elementary layers were rasterized, registered, and referenced to an elementary pixel size of 30x30 m which is the ground resolution of the most detailed layer in the data base of Landsat-8 OLI.

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSION

Agro-ecological layers

The current working set of thematic layers to construct the categories for assessing land reclamation condition in the study area is given in fig. 2. Soils in the site according to USDA soil texture classification are dominated by medium loams (41 %) which together with light loams and sands constitute 89 % of all soils in the study area (fig. 2A). These soils are also dominated in irrigated lands of Khorezm province (86 %) [*Kenjabaev, Sultonov,* 2016]. The medium and high salinity of soils in the study area comprise 67 % of total lands (fig. 2B). The yielding capacity of the agricultural crops in irrigated lands is determined by ‘bonitet ball’ which describes the soil fertility and capability measured on a 100-point scale. From total assessed land area of 34,864 ha in Kulavat, 34 % is below average (e.g., < 50 ball, fig. 2C). The NDVI values (fig. 2D) increases from 0.30 to 0.90 from the direction of north-west to south-east owing sandy soil in the north and high soil fertility in the south (fig. 2C).

Irrigation density is higher (3.5−7.1) in the south-east (fig. 2E) being intensive installation of irrigation network starting from head of Kulavat canal. Whereas drainage density is higher in the north to north-west (fig. 2F) due to densely installation, in order to capture and diverge excess groundwater from the territory. About 50 % of lands in the study area were covered by shallow GWT depth (0−1.5 m) during the vegetation period (fig. 2G) which is higher than the critical threshold of 1.5 m defined for the Khorezm Region. About 98.7 % of total land area in study site has GW salinity ≤ 3 g/l during the vegetation period (fig. 2H).

Environmentally sensitive areas

Figure 3 shows environmentally sensitive classes of study area. The results obtained reveals that the study area comprises of three sensitivity classes such as good, medium and low. It is seen that the low areas for land reclamation condition in study area are found in the north-western and south-eastern parts, these areas represent 7 % of the total irrigated lands in study area (26 700 ha). The areas of medium condition represent 47 % of the total area. The areas of good condition comprise 33 % of the total area. The other parts (13 %) of the study area belong to non-assessed class. By noticing the evaluation of environmental factors, the soil (texture), land condition (groundwater table) and water availability (distance to the irrigation systems) have the intensive effect on environmental sensitivity throughout the study region.

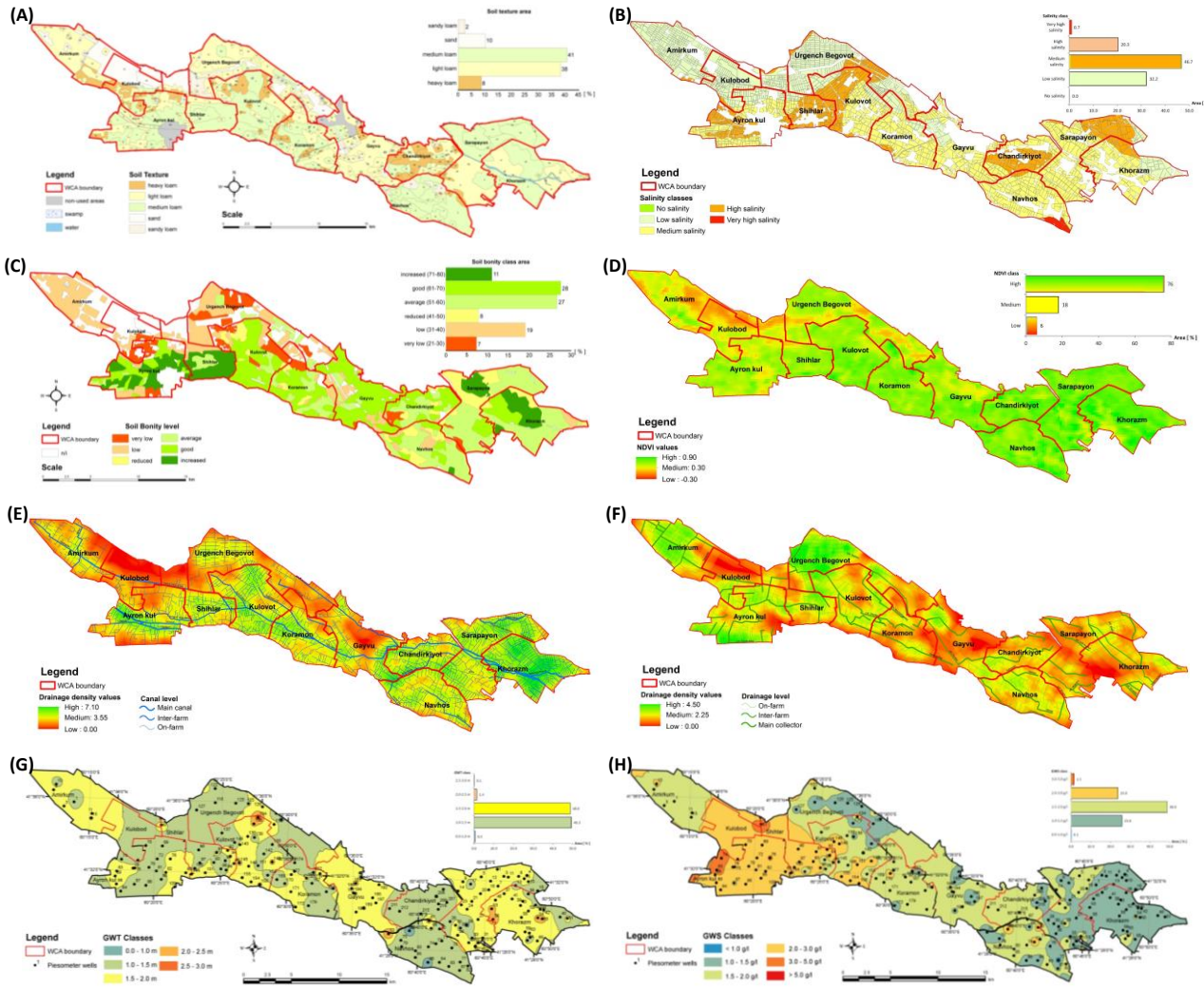


Fig. 2. Produced agro-ecological layers in GIS comprising: Soil texture (A), Soil salinity (B), Soil bonitet (C), Mean Normalized Vegetation Index, NDVI (D), Irrigation network density (E), Drainage network density (F), Mena groundwater table (G), Mean groundwater salinity (H)

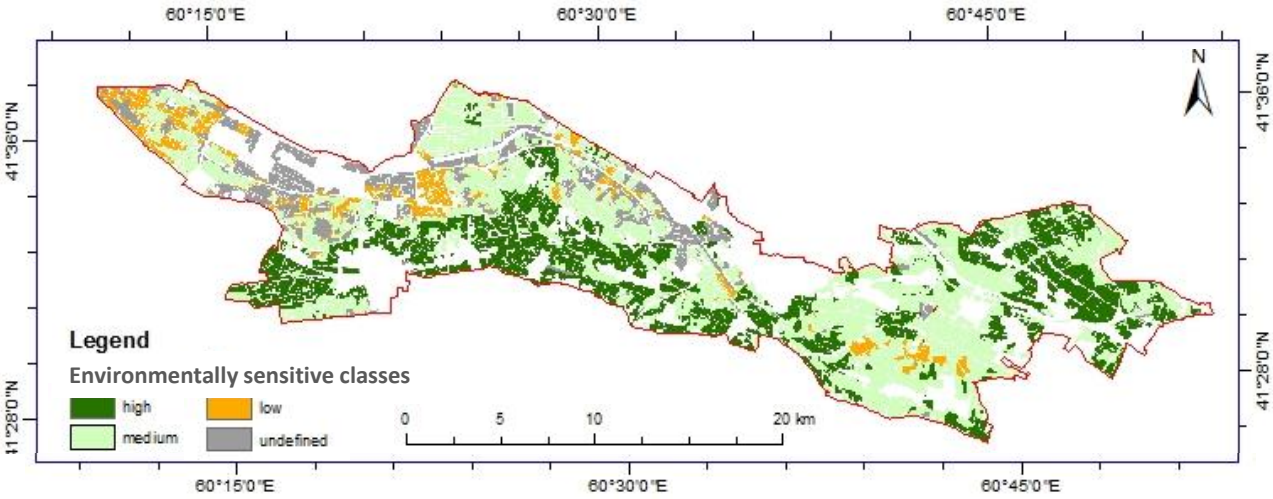


Fig. 3 Environmentally sensitive areas of the study area

CONCLUSIONS

The GIS software, with available soil, vegetation, hydrological and infrastructure data was successfully employed to create thematic layers and to assess environmentally sensitive areas in Kulavat canal irrigation system. The proposed approach allowsidentifying and understanding the factors thatcombine and accelerate land degradation in order to adequately manage the land and itsresources. Establishing systems for analysis of land reclamation condition using environmental information which is difficult or expensive to collect, update, or upgrade, even if valid scientifically, will have limited utility when used for large, complex environments or when used for continuous monitoring. With the proposed approach of stratification, the layers can be added or removed as necessary: some layers might be incorporated because it was desirable to investigate some particular aspect of a defined environment in detail, others might be added simply as a first approximation owing to the difficulty of obtaining data or from inadequate knowledge. Meanwhile, the approach can be used for bigger areas such as district (administrative irrigation system, AIS), province (basin administrative irrigation systems, BAIS), national (sub-basin) and regional (Amudarya and Syrdarya river basins).

ACKNOWLEDGMENTS

This research is a part of the joint project “Assessing Land Value Changes and Developing a Discussion-Support-Tool for Improved Land Use Planning in the Irrigated Lowlands of Central Asia” (LaVaCAA). The financial support of the Volkswagen Foundation (Az.88506) is gratefully acknowledged.

REFERENCES

1. *Basso F., Bove E., Dumontet S., Ferrara A., Pisante M., Quaranta G., Taberner M.* Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin Southern Italy. Catena 40, 2000. P. 19–35.

2. *Kairis et al.* (71 co-authors). Evaluation and Selection of Indicators for Land Degradation and Desertification Monitoring: Types of Degradation, Causes, and Implications for Management. Environmental Management, 2014. No 54 (5). P. 971–982.

3. *Kats D.* Influence of irrigation on groundwater table. Moscow: Kolos, 1976. 271 p. (in Russian).

4. *Kenjabaev Sh., Sultonov M.* Estimation of groundwater contribution to crop water use in Kulavat irrigation command area in Khorezm, Uzbekistan. International Journal of Agricultural Policy and Research, 2016. V. 4 (11). P. 249–255.
5. *Kottek M., Grieser J., Beck Ch., Rudolf B., Rubel F.* World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, 2006. No 15. P. 259–263.
6. *Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W.* Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351. NASA: Washington, DC, 1973. V. 1. P. 309–317.

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-271-285

Mirzoolim A. Avliyakulov[1], Mamta Kumari[2], Nurmamat Q. Rajabov[3], Normat Kh. Durdiev[4]

CHARACTERIZATION OF SOIL SALINITY AND ITS IMPACT ON WHEAT CROP USING SPACE-BORNE HYPERSPECTRAL DATA

ABSTRACT

Facing the risk of soil salinization worldwide, there has been a growing interest in identifying rapid and inexpensive tools for soil salinity assessment. Remote sensing has shown great advantages in the field in recent decades. In present research, Hyperion Hyperspectral remote sensing data (EO-1) was used for characterization and mapping of salt-affected soils, to generate crop inventory map and to evaluate soil salinity impact on wheat crop growth in part of Mathura district of Uttar Pradesh representing Indo-Gangetic plain. Narrow bands can discriminate critical spectral differentials in detail and can assess the salinity hazard over crop. A detailed field survey was carried out in the study area in order to identify the salt-affected soils and to collect soil samples, groundwater table depth, chlorophyll content, LAI to characterize impact of soil salinity over crop. Various wheat crop spectra were collected for calculation of narrow band indices to discriminate various stress conditions. Spectral angle mapper (SAM) was used to generate crop inventory map with various types of crops. The same technique (SAM) was used to map various categories of salt affected soils represented by spectral endmembers of normal, slightly, moderately and highly salt-affected soils. The results showed that various severity classes of salt-affected soils could be reliably mapped using spectral angle mapper (SAM) analysis with an overall accuracy of 74.24%. Empirical relationships developed between crop & soil parameters and vegetation indices using SMLR could show its possibility with an R^2 of 0.52 and 0.41 to predict LAI and CCI, respectively. Validation results showed the RMSE of 0.8 and 5.2 to predict LAI and CCI. Partial least square regression (PLSR) statistical model (using spectroradiometer derived narrow band indices) was developed to assess different stress level with varying crop and soil parameters.

KEYWORDS: hyperspectral data, salinity mapping, SAM, PLSR, SMLR

INTRODUCTION

Soil salinity is major soil quality indicators in arid and semi-arid area which adversely affect plant growth and development. Salinization is one of the most common land degradation processes and a severe environmental hazard [*Dehaan, Taylor*, 2002; 2003; *Metternicht, Zinck*, 2003]. The salt in the soil solution (the “osmotic stress”) reduces leaf growth and to a lesser extent root growth, and decreases stomatal conductance and thereby photosynthesis [*Munns*, 1993]. Soil salinization influences soil properties, leading to reduction in crop yields and land productivity. Basically, soil salinity is a dynamic process with severe consequences for the soil, hydrological, climatic, edaphic, geochemical, agricultural, social, and economic aspects. Therefore, for greater development and implementation of sufficient soil reclamation programs and preventing any further salinization to sustain agricultural lands and natural ecosystems, information on the spatial extent, nature and distribution of soil salinity is becoming very essential. Thus, timely detection of soil salinity, monitoring and assessment of its severity level and extent become very important in

[1] Cotton Breeding, Seed Production and Agrotechnologies Research Institute (CBSPARI), P.O. Box 111202, UzPITI str., Tashkent province, Uzbekistan; *e-mail*: **mirzoolim89@gmail.com**
[2] Indian Institute of Remote Sensing (IIRS), Kalidas road str., 4, Dehradun, India; *e-mail:* **mamta9507@gmail.com**
[3] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), P.O. Box 100000, Kori-Niyoziy str., 39, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail*: **tiqxmmi1977@mail.ru**
[4] Cotton Breeding, Seed Production and Agrotechnologies Research Institute (CBSPARI), P.O. Box 111202, UzPITI str., Tashkent province, Uzbekistan; *e-mail*: **normat8689@mail.ru**

its beginning at local and regional scales. A large area of the Indo-Gangetic plain including Uttar Pradesh state consists of irrigated command area of arid and semi-arid climatic conditions and these areas are facing serious threats of land degradation due to salinization and alkalinization. Nearly 3.37 % of total geographical area of Mathura district is characterized under wasteland category and of which 26.46 % area is affected by salinity and alkalinity (http:/dolr.nic.in/wasteland.htm). Expansion of irrigation for intensive agriculture in this region has led to the development of salt-affected soils (FAO 1983) and poses significant threat to the world's productive capacity of soil and food grain production. Salinization and alkalization induced soil degradation occur in irrigated area where the water table approaches to the ground surface. Salts lying below sub-surface soil layer get dissolved and transported to the surface and sub-surface soils and adversely affect physio-chemical properties of these soils. It causes reduction in soil fertility and its productivity. Therefore, a reliable information on the nature and spatial extent of various severity classes of salt-affected soils are prerequisite to restore their fertility and to prevent their further degradation [*Ghosh et al.*, 2012].

Facing the risk of soil salinization worldwide, there has been a growing interest in identifying rapid and inexpensive tools for soil salinity assessment [*Metternicht, Zinck*, 2003]. Remote sensing has shown great advantages in the field in recent decades. As a remotely sensed indicator, the type and growing conditions of vegetation can provide a spatial overview of salinity distribution [*Dehaan, Taylor*, 2002; *Tilley et al.*, 2007; *Zhang et al.*, 1997], which thus help land managers to reduce the risk of salinization [*Wiegand et al.*, 1994]. Soil salinity can be detected directly from remotely sensed data through salt features that are visible at the soil surface, such as bare soil with white salt crusts on the surface or indirectly from indicators such as the presence of halophytic plant, the performance level of salt-tolerant crops [*Allbed, Kumar*, 2013]. Salt-affected soils are formed as accumulation of salts in the surface and sub-surface of soil and develop surface features that help in mapping their spatial extent and severities. Identification of these soil surface features serves as useful input for assessing salt affected soils. As salinity increases, more salts will appear at the soil surface, favoring the use of conventional remote sensing tools. In general, reflectance increases with increase in salt concentration on the surface of soil [*Ghosh et al.*, 2012]. Soil salinity is the dynamic process leading to constraints in identification of proper behavior of salt features, spectrally, spatially and temporally. Detection of salts on the surface can be difficult due to the presence of vegetation and other surface features that may contribute to creating spectral confusion with the salt reflectance properties. In this domain, the spectral bands most sensitive to salt-stress across diverse plants have not yet been defined; therefore, the predictive ability of previous vegetation indices (VIs) may not be satisfied for salinization monitoring. The soil samples and crop spectra were collected to investigate the relationship between vegetation spectra and soil salinity in part of Mathura district of irrigation command area of Indo-Gangetic Alluvial plains.

Mapping and monitoring soil salinity using remote sensing data has advantages. Using remote sensing technology include saving time, wide coverage (satellite remote sensing data provides the only source when data is required over large areas or regions), are faster than ground methods, and facilitate long term monitoring. These techniques provide multispectral image with resolutions that can be ranged from medium to high, as well as Hyperspectral image. These remotely sensed data have been successfully used for monitoring and mapping soil salinity for decades with mixed results. Many researchers have used different techniques to monitor and map soil salinity using remote sensing data, as discussed below.

Extensive research using satellite imagery for mapping and monitoring soil salinity has been conducted over the last three decades, mostly with multispectral sensors. These include Landsat Thematic Mapper (TM), Landsat Multispectral Scanner System (MSS), Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), SPOT, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (Terra-ASTER), Linear imaging self-scanning sensor (LISS-III, LISS IV) and IKONOS [*Verma et al.*, 1994; *Dwivedi*, 2001; *Dwivedi*, 2008]. Application of broadband remote sensing in salinity studies is restricted due to limitations in spatial and especially spectral resolution

that masks detailed of various kinds of salt-affected lands spectral signatures [*Cloutis,* 1996]. A variety of image processing methods such as supervised classification and spectral extraction techniques were used in the past to extract information from these multispectral satellite data in mapping of salt-affected soils [*Verma et al.,* 1994; *Dwivedi, Sreenivas,* 1998; *Metternicht, Zinck,* 2003; *Howari,* 2003]. However, it is very difficult to distinguish the degree of salinity using broadband multispectral data as there is spectral confusion. Through multispectral data it can be discriminated only saline and non-saline classes of soil. There can be observed spectral confusion between classes of moderately, slightly salt-affected soils and normal soils. Some studies [*Peng,* 1998]; used geographic information system techniques to integrate multispectral data with field data, such as groundwater mineralization, groundwater depth, and topographic data, to overcome the weakness of multispectral images. They were successful in mapping salinity classes, but required ground measurements in numerous training areas and could not quantitatively estimate soil salinity.

Hyperspectral sensors are a powerful and versatile tool for monitoring environmental stress because of the continuous sampling and the high spectral resolution. Narrow bands can discriminate critical spectral differentials in detail and can assess the salinity hazard over crop. Furthermore, hyperspectral remote sensing data provide almost continuous reflectance spectrum and help to generate unique spectral signature of various surfaces to map them with high accuracy. Various Image processing methods such as spectral unmixing technique, the linear mixture model (LMM) were used for characterization and mapping salt affected soils. Various categories of salt affected soil represented as endmembers are used for spectral unmixing analysis [*Tompkins et al.,* 1997; *Ghosh et al.,* 2012]. Potential of hyperspectral satellite data in mapping of salt-affected soils were investigated by several researchers [*Dehaan, Taylor,* 2002; *Taylor, Dehaan,* 2003; *Dutkiewicz et al.,* 2009].

Recently, several hyperspectral indices such as brightness index (BI), salinity index (SI), saturation index (SI) and hue index (HI) were successfully used for quantitative mapping salt affected soils, SOC and SOM using hyperspectral satellite data (Hyperion) [*Zhuo et al.,* 2008]. The spectral reflectance of the salt features at the soil surface has been widely studied using remote sensing and used as a direct indicator for soil salinity detection and mapping. However, when the soil moisture is high or the crust salt is invisible on the soil surface or mixed with other soil constituents, this direct approach becomes complicated and may yield unreliable results since these factors influence the soil spectral reflectance. On the basis of this concept, the simple ratio, SR [*Jordan,* 1969], the normalized difference vegetation index, NDVI [*Rouse et al.,* 1974], the enhanced vegetation index, EVI [*Huete et al.,* 1996.], the green atmospherically resistant vegetation index, GARI [*Gitelson et al.,* 1996] and etc. are used to assess the impact of soil salinity over crop growth.

In recent years, several multivariate statistical techniques such as partial least square regression (PLSR), stepwise multiple linear regression (SMLR) have been used to develop the relationship between soil and crop parameters as well as field derived spectra for assessing the impact of soil salinity over crop growth. PLSR is one of the most common methods for analysis spectral data for spectral calibration and prediction. In recent years, PLSR has been used to build LAI and CCI prediction models [*Madari et al*., 2006; *Stevens et al.,* 2006].

There are different techniques used for matching the measured spectra with reference spectra depending on the criteria adopted for measuring the similarity/ closeness between the two spectra. Broadly these techniques are distance-based, angle-based and correlation-based measure. Spectral Angle Mapper (SAM) is a physically-based spectral classification that uses an *n*-D angle to match pixels to reference spectra.

Spectral Angle Mapper mapping method was used to complete the objectives of the work which is given below:

- to prepare soil salinity map of study area using Hyperion data;
- to prepare the crop inventory map of study area using Hyperion data;
- to evaluate soil salinity impact on wheat crop using Hyperion data.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

Study area

A part of Mathura district of Uttar Pradesh representing Indo-Gangetic plain was selected for the study. Mathura is one of the western districts of Uttar Pradesh and forms a part of Yamuna basin and lies between 26° 76′ to 27° 62′ North latitudes and 77° 31′ to 77° 59′ East longitude. The area has good network of irrigation canal, distributaries and minors to irrigate the field. The Mathura district is having a serious problem of salty, brackish, oily water, which is not suitable for irrigation.

The climate of the district is semi-arid and characterized by intense hot summers, cold and foggy winters and general dryness throughout the year except during south-west monsoon period from July to September.

The mean annual temperature is 24.4 °C, maximum temperature in May goes up to 45 °C and the minimum temperature dips up to 2° during winters. In winter season the mean maximum temperature is 23.8 °C in the first week of December and last week of February. The average annual rainfall varies between 505−620 mm and 92 % of it is received during the rainy season comprising July, August and September months of the year.

The year can be divided into three seasons for example winter season from December to February with January being the coldest months, summer season from March to middle of June being the hottest months. The rainy season which receives rains from South-West monsoon in July continues till the end of September followed by the post monsoon period from October to November.

The landscape of district is nearly level to very gentle sloping with moderate to poor surface drainage. Mathura district mostly consists of alluvial soils those are formed by the silt of Yamuna & Ganga canal, which are quite fertile whereas, the district is also having ravenous saline, alkaline and waterlogged soils. Soils developed in the district have been influenced by parent material and microclimate. Basically, the surface texture of soil ranges from silt loam to clay loam. In district the large area soils are immature, light sandy colour, coarse, silt loam to clay soils, low to medium salty with high concentration of water-soluble salts, medium calcareous, water logged with medium to high water holding capacity, medium carbonic matter nitrogen and parental/soil fertility, responsive to fertilizer use. These lands are intensively cultivated for wheat, rice, mustard, sugarcane, sorghum etc. crops.

Satellite Data used

- The Hyperion (EO-1) data corresponding to path and row number of 146/41 of Mathura district were acquired on May 15, 2005, and January 07, 2005. Hyperion has 242 contiguous spectral channels (22 bands with overlapped wavelengths) out of that 198 were calibrated and covering spectral range of 356−2576 nm at an interval of 10 nm. Bands 8 to 57 are for visible-to-near-infrared (VNIR) and 77 to 224 in shortwave-infrared (SWIR) regions [*Datt et al.*, 2003]. All 242 bands of Hyperion are not usable because of the increased signal to noise ratio. This increased noise relative to signal is the consequence of Hyperion's greater distance from the reflecting surface of the target and the increased atmospheric scattering and absorption that comes with space platform remote sensing [*Lillesand, Kiefer*, 2000]. The Level 1 radiometric (L1R) product was used in the study. According to sensor characteristics sensor spatial resolution is 30 m and 12 bit radiometric quantization [*Pearlman et al.*, 2003].
- IRS LISS IV data acquired on April 6, 2006 and Standard FCC at 1: 15 000 scale was generated for visual interpretation of salt affected soils, wheat crop condition and to locate these soils during field survey.
- Georeferenced Landsat ETM+ Data (Acquired on Oct. 22, 1999) was used to discriminate crops grown in the study area.
- During the generating of crop inventory map of the study area there were used multiple data to discriminate crops grown in area. January month 2005 Hyperion data was used for generating crop inventory map which is older data set. Real ground truth information 2014 might

not match with the year of 2005. Taking into account this fact it has been studied multiple datasets for discriminating of crops. As agronomy point of view, it is known every crop's length of growing period. As per this knowledge crops were identified in particular area for 2005.

Software's used

- ENVI 4.3, standard 5.0, (Environment for Visualizing Images, Research System, Inc) software was used for pre-processing and processing of the satellite data. It offers "Hyperion tool kit" to analyze Hyperspectral satellite data.
- ERDAS IMAGINE 13 was used to mask wheat area and accuracy assessment.
- ARC GIS 10.1 — developed by ESRI used to export generated maps.
- Statistical software: Statistica 7.0 is used for PLSR model.

Field data collection

A detailed field survey was carried out in the study area in order to identify the salt-affected soils and to collect soil samples (Theta probe), groundwater table depth, chlorophyll content (CCM 200), LAI (AccuPAR LP80) to characterize impact of soil salinity over crop vigour. Various wheat crop spectra were collected (SVC Spectroradiometer) with varying degree of salinity for calculation of narrow band indices to discriminate various stress conditions. Random sampling technique was applied and total 29 sites (3 additional highly salt affected lands) were identified where actual wheat crop field are selected for sample collection. Soil samples were collected from surface and subsurface of soil. Chlorophyll content was taken from the upper, middle and lower portion of wheat crop plant. LAI were taken upper side of crop (APAR), and below portion of canopy (BPAR). Crop biophysical parameters are taken in 4−5 repetitions for better accuracy. The surface and subsurface depth ranged from 0−15 and 15−30−40 cm. Thus, total of 58 samples (6 additional) were collected from the above-mentioned sites. Wheat crop spectra were collected with varying degree of salinity. The total number of crop spectra that was collected from SVC spectroradiometer was more than 130 (average four spectra for each of the locations) with various vegetation conditions of wheat crop. Soil samples were analyzed in laboratory to characterize pH, electrical conductivity (EC).

Pre-processing of Hyperion satellite data

Hyperion data was corrected for abnormal pixels, stripping affects prior to the atmospheric correction. In the study area, ENVI's Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) module was applied on Hyperion data for atmospheric correction. The study area is rural and it falls in tropical climate. Thus, tropical atmospheric and rural aerosol model of FLAASH were selected and other parameters were defined based on metadata of the Hyperion image file.

Image endmembes were extracted following the standard processing steps of Minimum Noise Fraction (MNF) Transformation, Pixel Purity Index (PPI), Selection of Endmembers.

Accuracy assessment was performed to determine how accurately pixels were classified to various classes of the salt affected soils [*Janssen, Van der Wel*, 1994]. Performance of all classified maps was evaluated by accuracy assessment. Point map was prepared from optical images and used for performance evaluation. Confusion matrix was prepared to analyze accuracy of each agricultural class in crop inventory map and each soil salinity class in soil salinity map. Accuracy was estimated in reference to ground truth data for producer's, user's and overall accuracy. Kappa and kappa statistics were also calculated. Accuracy assessment was performed in ERDAS 13.

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSION

Physio-chemical characteristics of soils in the study area

The soil samples collected were air-dried to eliminate the influence of water content and passed through a 2-mm sieve to remove large debris, stones, and stubbles. The samples were analyzed for their physio-chemical properties. The surface and subsurface soil samples were analyzed for pH, EC, bulk density. The electrical conductivity (EC) was measured in extracted solutions

using Electrical conductivity meter. Salt affected soils are in general categorized into slight, moderate and severe classes based on salt concentration in the soil.

Soil salinity map showing different levels of salinity has shown the maximum confusion between slightly salt affected and normal soil. An overall accuracy of 74.24 % was achieved. Crop inventory map showing different crops, land use and land cover features by the same mapping method SAM classifier has shown the overall accuracy of 82.14 % with a user's and producer's accuracy of 85 % for wheat class.

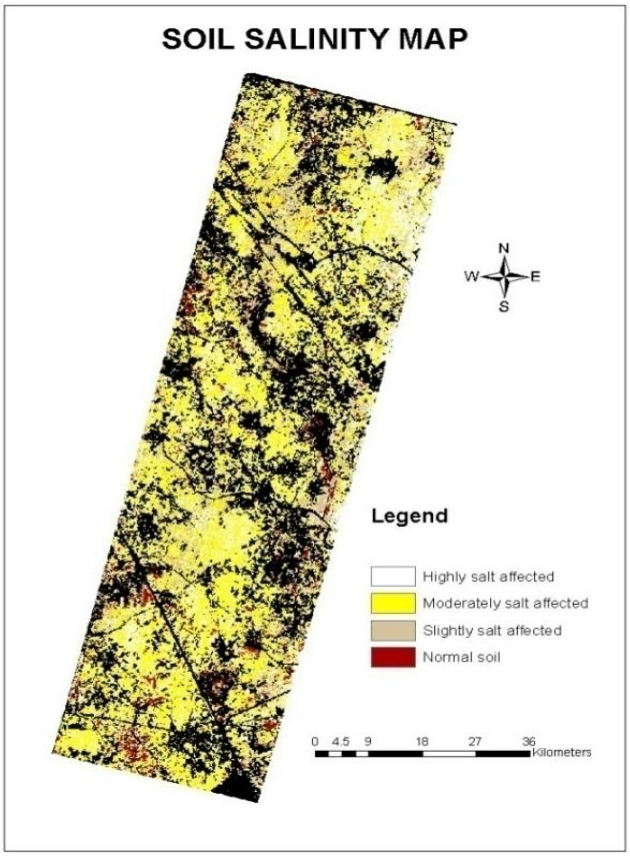


Fig. 1. Soil salinity map by using SAM mapping method

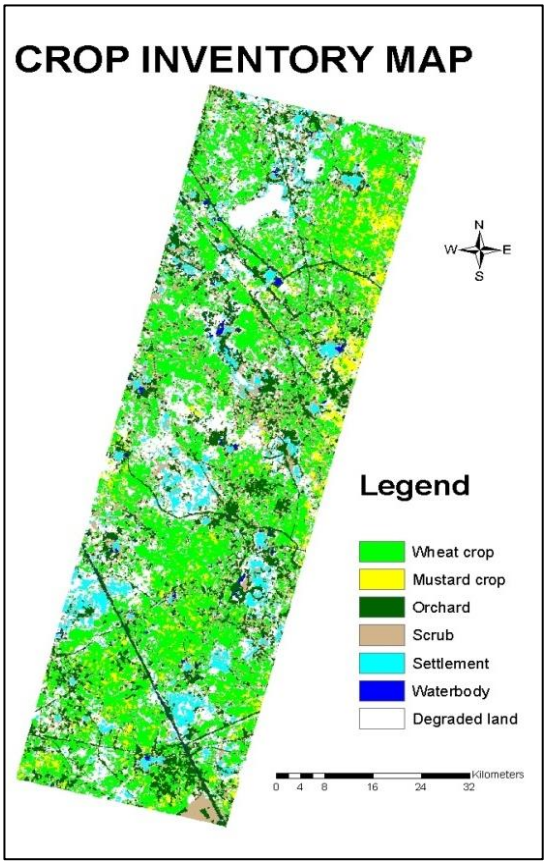


Fig. 2. Crop inventory map by using SAM mapping method

<u>Indices to assess the soil salinity impact over crop growth</u>

During the field investigation period more than 130 crop spectra were collected. From the field derived spectra 24 indices were calculated to evaluate the salinity impact over crop growth (table 1).

These indices were calculated from satellite image as well. After completing the preparation of crop inventory map the wheat area were extracted from the crop inventory map for further processing. Extracted wheat crop area was used to apply over indices map to see the impact of salinity over wheat crop vigour. Some results of indices are given below (fig. 3).

Among all 24 indices, modified red edge normalized difference vegetation index ($mNDVI_{705}$) and structure insensitive pigment index (SIPI) have shown efficiency to map the impact of soil salinity over wheat crop. However, both the indices behaved differently due to their different wavelength region and so its different response to target.

Table 1. Performance of vegetation indices for predicting soil salinity across wheat crop vigour with coefficient of determination (R^2) of linear regression

Vegetation indices	Formula
Modified red edge normalized difference vegetation index	$MNDVI_{705}$=750-705/750+705-2*445
Structure insensitive pigment index (SIPI)	SIPI=800-445/800-680
Normalized difference water index	NDWI=857-1241/857+1241
Enhanced vegetation index (EVI)	2.5 × (R800– R670)/(1 + R800+ 6 ×R670– 7.5 × R450)

The modified red edge normalized difference vegetation index ($mNDVI_{705}$) is a modification of the red edge NDVI. It differs from the red edge NDVI by incorporating a correction for leaf specular reflection. The $mNDVI_{705}$ capitalizes on the sensitivity of the vegetation red edge to small changes in canopy foliage content, gap fraction, and senescence. Applications include precision agriculture, forest monitoring, and vegetation stress detection.

The $mNDVI_{705}$ index is defined by the following equation:

$$mNDVI_{705}=750-705/750+705-2*445.$$

It can be understood from this formula that modified red edge NDVI mostly takes into account NIR reflectance. In fig. 3 (c) moderately and highly salt affected area crop condition is normal to moderately stressed. This can be explained by cell turgidity of plant. It is known that cell structure of plant is dominant factor in NIR region. Taking into account this fact NIR reflectance shows higher reflectance because of the cell turgidity. Proper irrigation can also reduce salinity hazard. It is not necessary that plant is not under any kind of stress. In contrast to mNDVI, SIPI has indicated some kind of stress due to less pigment (chlorophyll) content.

The structure insensitive pigment index (SIPI) is a reflectance measurement designed to maximize the sensitivity of the index to the ratio of bulk carotenoids (for example, alpha-carotene and beta-carotene) to chlorophyll while decreasing sensitivity to variation in canopy structure (i.e. LAI). Increases in SIPI are thought to indicate increased canopy stress (carotenoid pigment). Applications include vegetation health monitoring, plant physiological stress detection and crop production and yield analysis. SIPI is defined by the following equation:

$$SIPI=800-445/800-680.$$

In fig. 3 (b) structure intensive pigment index are taking into account leaf pigment and light use efficiency, because of this crop condition is varying between low vigour to moderate in high and moderately salt affected place.

The same tendency such as mNDVI can be seen in EVI and NDWI where NDWI are taking into account canopy water content of plant whereas EVI is one of the most common predictors of LAI. After calculation of all indices it has been selected 2 indices (mNDVI and SIPI) to evaluate salinity impact over wheat crop growth. In ENVI software matrix option has been selected to bring indices map and soil salinity map together to see and evaluate impact of salinity over crop growth. Here it can be seen by using matrix option classes are divided into 9 categories. These indicators show it can be seen that moderately salt affected places are stressed crops. The same explanation can be for highly salt affected areas also have normal crop condition this can be because of the proper irrigation, and agronomic management of crop.

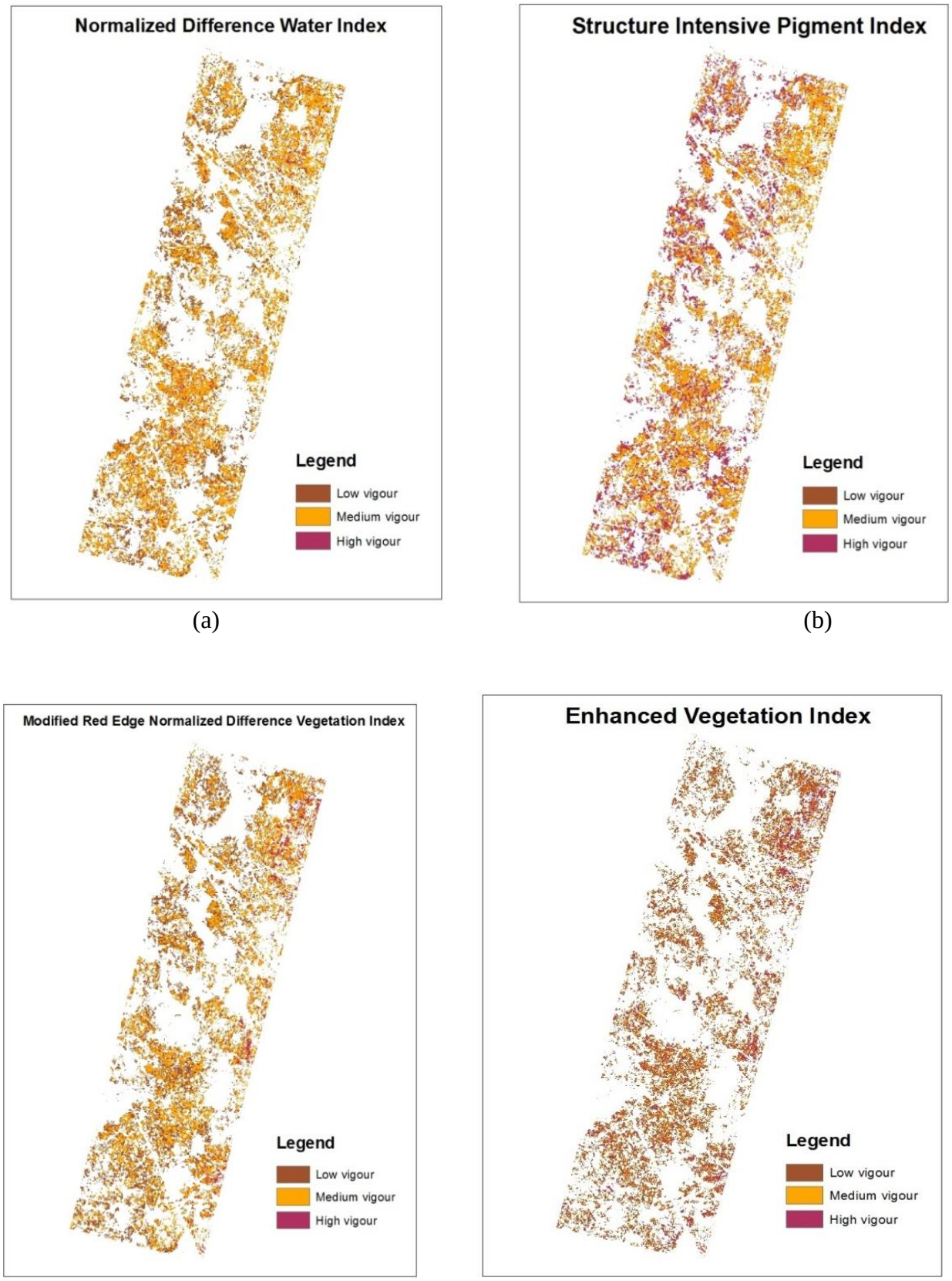
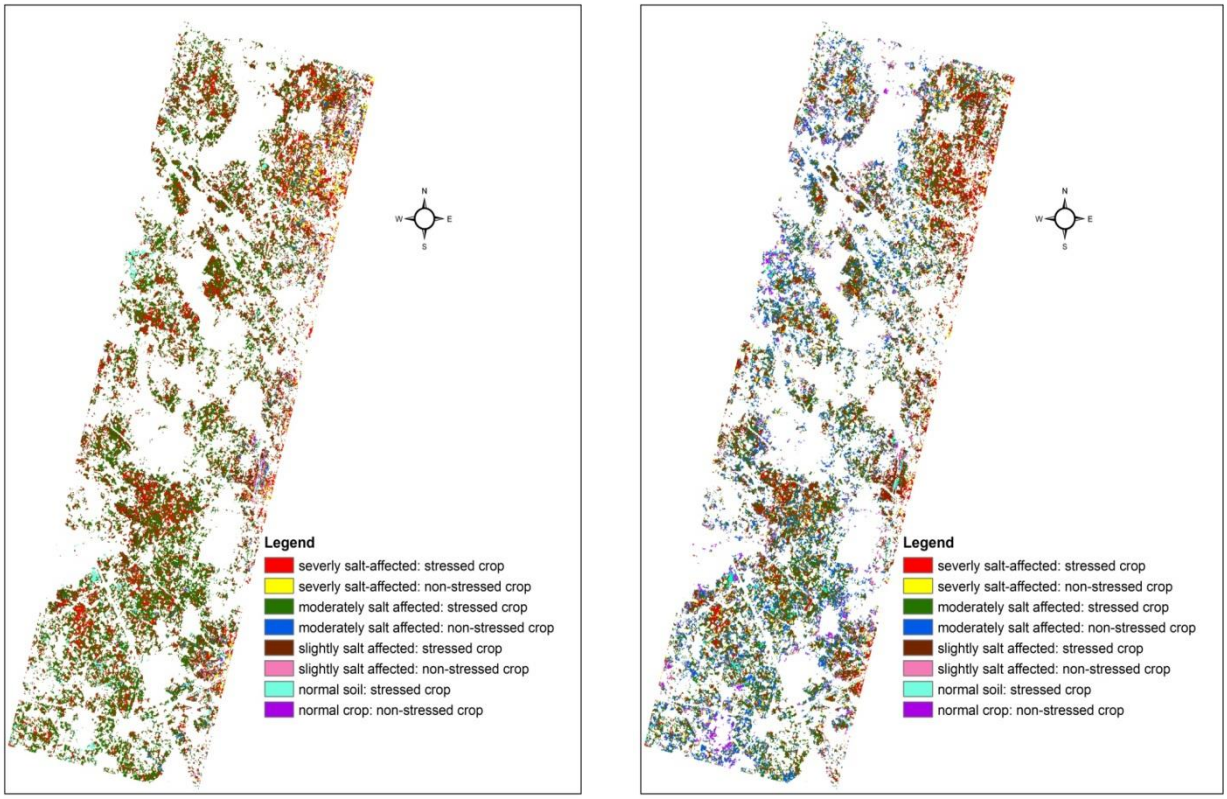


Fig. 3. Impact of salinity over wheat crop vigour (a) NDWI, (b) SIPI, (c) MRENDVI, (d) EVI



(a) *(b)*

Fig. 4. Impact of salinity over wheat crop:
(a) Salinity map: Modified Red Edge NDVI;
(b) Salinity map: Structure Intensive Pigment Index

Results of multivariate statistical techniques

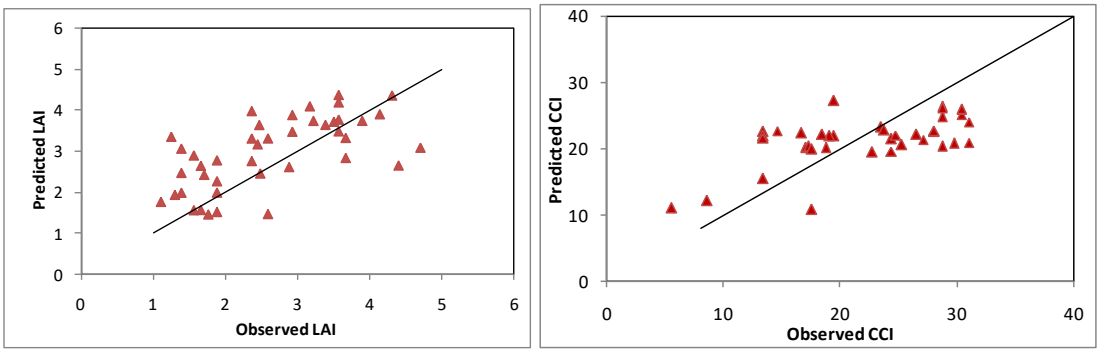
Stepwise multiple linear regression (SMLR)

Empirical relationships developed between crop parameters (i.e., LAI and CCI) & soil parameters (i.e., pH and EC) and vegetation indices using Stepwise Multiple Linear Regression (SMLR) showed its fitness with an R^2 of 0.52 and 0.41 to predict LAI and CCI, respectively. Validation results showed the RMSE of 0.8 and 5.2 to predict LAI and CCI. Results of SMLR are given in table 2.

Table 2. Developed empirical relationships between crop and soil parameters and vegetation indices

Parameter	Empirical relationship	R^2
LAI	-10.12+10.45XWBI+4.98XEVI-87.49XNDLI-57.32XCAI+0.029XSR	0.52
CCI	-151.463 +71.21XmNDVI +78.53XMSI +84.63XWBI-0.153XSR	0.41
	-25.66XWBI+ 246.1X NDLI-4.3X EVI+16.65X mNDVI-0.05X CRI1+32.65XNDWI+14.73XMSI	0.40
	11.02-11.8XWBI-7.026X EVI+113.81X NDLI-0.03XCRI2+5.69XmNDVI	0.31
pH (Surface)	0.707+0.66XARI2+7.46XWBI+0.03XSR	0.16
	4.62+0.65xARI2+81.57XCAI-0.207XCRI2+5.34XWBI-5.93XNDWI-2.96XmNDVI-12.63XNDNI+3.2X EVI+0.20XCRI1	0.26

Validation of empirical relationships



(a) (b)

Fig. 5. Validation graph of empirical relationship (a) LAI (b) CCI

Fig. 5 shows the validation of empirical relationships of predicted LAI and CCI. X axis of the graph shows the observed LAI and CCI which is dependant and ground-based factor where Y axis gives the information about predicted LAI and CCI and their relationship. Predicted LAI and CCI can be used to evaluate soil salinity impact over crop growth.

Table 3. Quantification of error of estimation

Parameter	RMSE	R^2
LAI	0.83	0.41
CCI	5.2	0.37

Partial least square regression (PLSR)

Using the Statistica 7.0 software, the relationship between crop parameters (i.e. LAI & CCI) and Soil parameter (i.e. EC and pH) and Hyperspectral indices were assessed using a Partial Least Squares (PLS) Regression.

A total of 24 spectral vegetation indices were calculated from reflectance responses. Indices represented each of the three main regions of the electromagnetic spectrum, i.e. VIS, NIR, and SWIR regions, each of which is associated with specific plant attributes, such as plant pigments, internal leaf structure and moisture content. Vegetation indices have been found to be related to plant biophysical properties, such as leaf area index, green cover, green biomass, or capacity of canopy to absorb photo-synthetically active radiation. To develop a multivariate relationship and to account for the multi-collinearity between indices PLSR has been performed between indices and the crop (i.e. LAI, CCI) and soil (i.e. EC) parameters. A separate test data has been used to validate the results.

Fig. 7 shows the relationship between LAI, CCI and EC with Hyperspectral indices. The indices contributing more information can be judged from its regression coefficients. The PLS regression results on the training data set demonstrated the potential to predict the LAI, CCI and EC from proximal hyperspectral data. There is a sufficient correlation between predicted and measured values for the validated samples, i.e. R2 of 0.61, 0.59 and 0.49 for LAI, CCI and EC respectively. The root means square error of prediction (RMSEP) was relatively low i.e. 0.7, 4.7 and 1.5 respectively indicates good forecast accuracy.

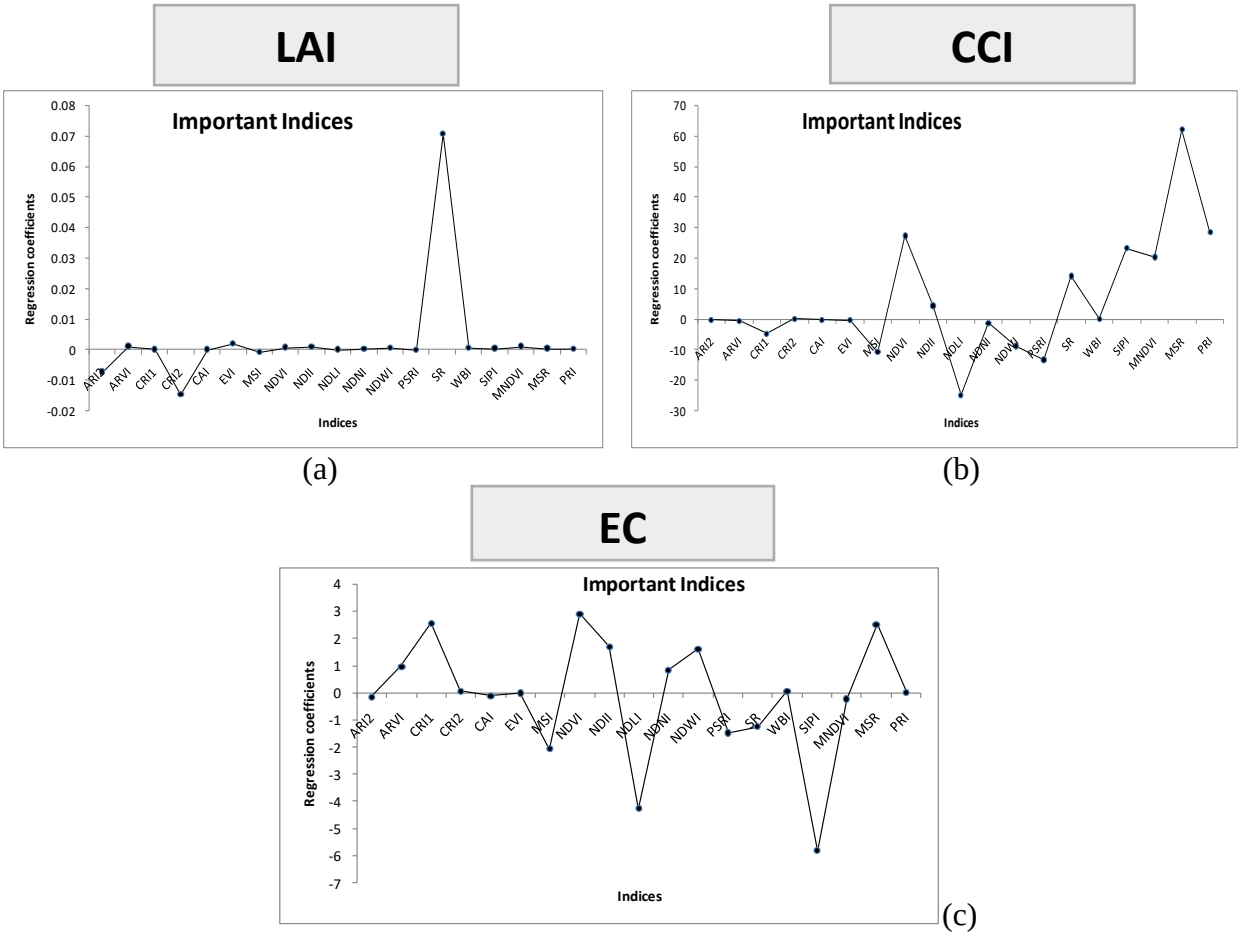


Fig. 6. Important indices related with ground-based parameter: (a) LAI, (b) CCI, (c) EC

Validation of PLSR model

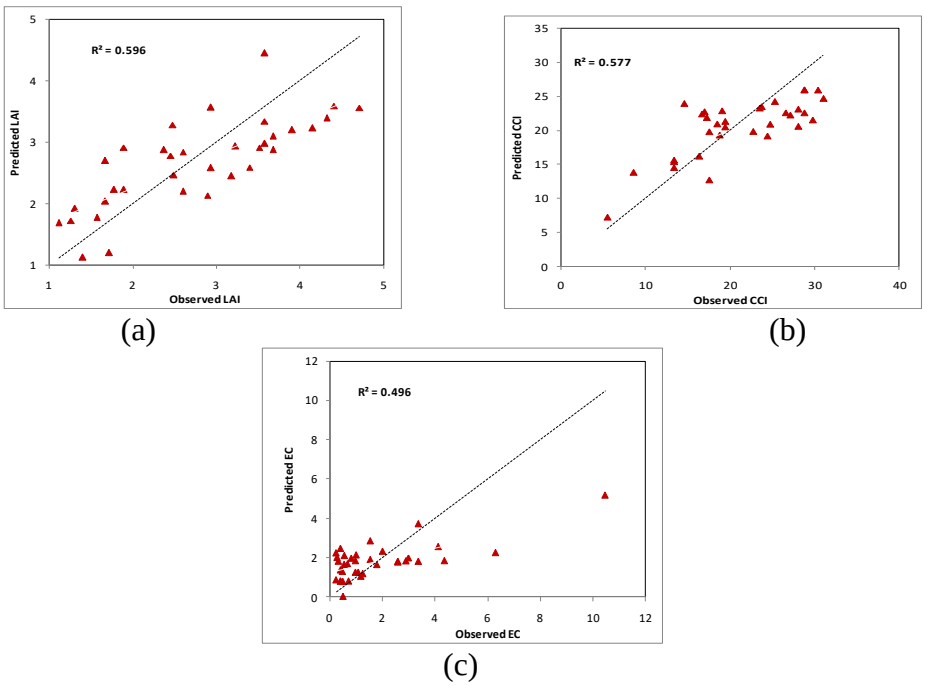


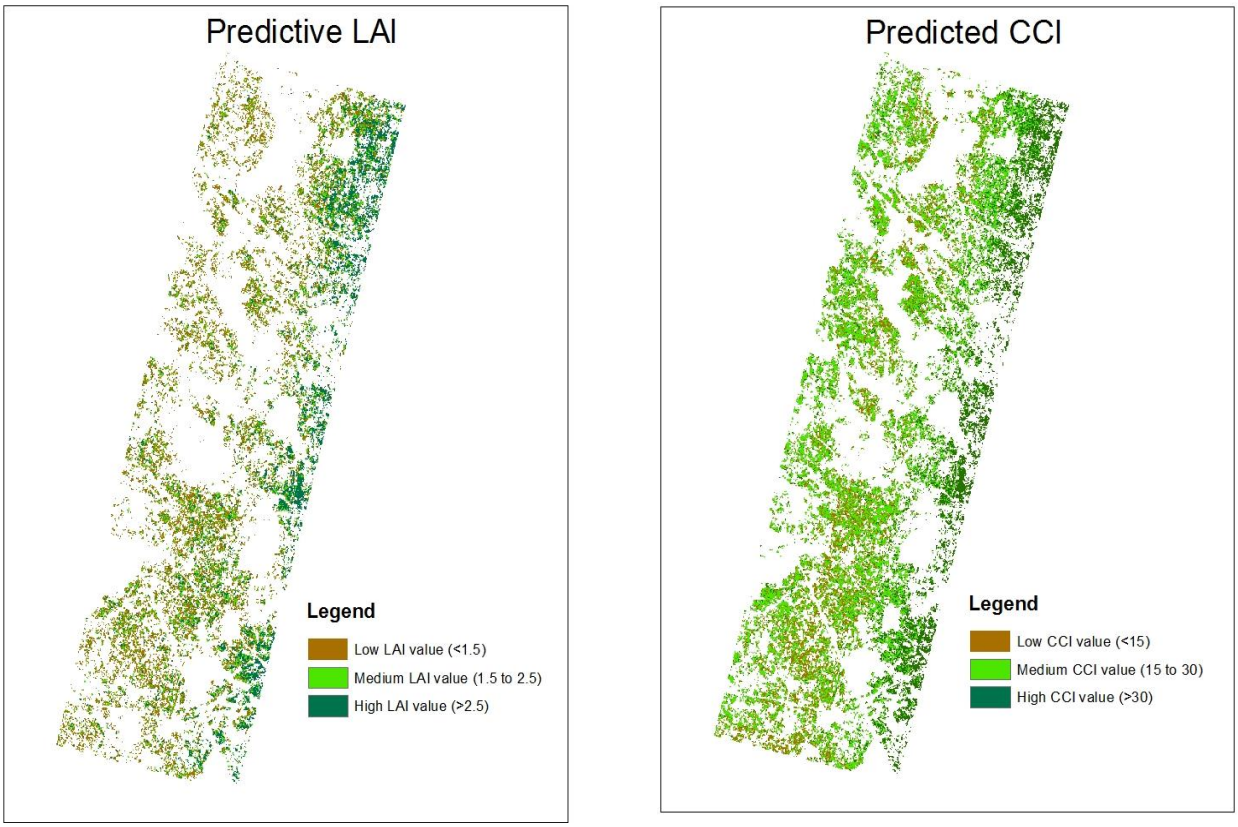
Fig. 7. Validation graph of PLSR model (a) LAI, (b) CCI, (c) EC

Table 4. Results of PLS regression of ground derived parameters and hyperspectral indices

Parameter	No of optimum No of PLS factor	RMSE	Important Indices
LAI	2	0.7	SR, CRI2, ARI2
CCI	7	4.7	MSR, PRI, NDVI, NDLI, MNDVI, SIPI
EC	5	1.5	CRI1, NDVI, NDLI, NDWI, SIPI, MSR

Predicted LAI and CCI

The predicted LAI and CCI map of year 2005 were produced by using stepwise multiple linear regression (SMLR) model (generated using year 2014 field data). The predicted map also showed the similar tendency to map crop stress status as that of individual vegetation indices.



(a) (b)

Fig. 8. Predicted (a) LAI and (b) CCI maps (Jan, 2005) for crop stress assessment using SMLR statistical technique

After generating CCI and LAI maps density slicing operation has been done and classes were categorized having value low LAI (<1.5), medium LAI (1.5-2.5), high LAI (<2.5) whereas CCI values were low CCI (<15), medium CCI (15-30), high CCI (>30). The same tendency has been seen in LAI and CCI predicted maps as it is in indices.

CONCLUSIONS

Taking into consideration the data analyses, indices calculation, field data and statistical techniques it can be concluded and the following conclusions could be made from the results of this study:

Soil salinity map showing different levels of salinity by using spectral angle mapper mapping method has shown the maximum confusion between slightly salt affected and normal soil. An overall accuracy of 74.24 % was achieved.

The crop inventory map by the same mapping method SAM classifier has shown the overall accuracy of 82.14 % with a user's and producer's accuracy of 85 % for wheat class.

The narrow band and broad band vegetation indices could capture the variability of crop vigour with respect of soil salinity. While selecting each and every indice spectral region of the indices (VIS, NIR, SWIR), formula should be carefully considered in order to evaluate impact of soil salinity over crop growth. Results showed that mostly salt affected lands are having stressed crop but on the other hand some high vigour crops also can be seen in the affected land. This can be explained by agronomic point of view there can be proper irrigation facilities, management practices and also canopy cover will also play a role while calculating these indices.

Empirical relationships developed between crop biophysical parameters such as LAI and CCI and soil parameters (pH and EC) and vegetation indices using stepwise multiple linear regression (SMLR) multivariate statistical method could show its possibility with an R^2 of 0.52 and 0.41 to predict LAI and CCI, respectively. Validation results showed the RMSE of 0.8 and 5.2 to predict LAI and CCI.

Partial least square regression (PLSR) statistical technique by using Statistica 7.0 software regression results on the field data demonstrated the potential to predict the crop parameters (i.e. LAI and CCI) and soil parameter (i.e., EC). The predicted LAI and CCI map produced by SMLR also showed the similar tendency to map crop stress status as that of individual vegetation indices.

Finally, taking into account the fact that currently the major parts of soil of Mathura District of Uttar Pradesh are affected (26.46 %) by salinity and alkalinity. Remote sensing especially hyperspectral remote sensing with high spectral resolution can help to monitor and map salt affected areas with high accuracy which can help landowners, agronomists to manage better reclamation procedures. Therefore, at the expense of reducing mineralization and lowering the ground water levels on the irrigated lands can be prevented from the increase of moderately and highly salinization. Otherwise salt affected soils with various degree of salinity can adversely affect physicochemical properties of soils which cause reduction in soil fertility and its productivity and it also negatively affects on plant growth and development. Complete system of desalinization of all types of soils has not been entirely investigated yet. This shows the importance of through comparative analyses of data, collected from research and investigations and generalizing working experience of leading landowners and farm associations. The solution to the problem is call of the times.

ACKNOWLEDGEMENTS

This publication is the part of the post graduate thesis. We gratefully acknowledge support under the UN CSSTEAP program conducted in Indian Institute of Remote Sensing (IIRS).

REFERENCES

1. *Abbas A., Khan Sh., Hussain N., Hanjra M.A., Akbar S.* Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach. Physics and Chemistry of the Earth, 2013. No 55−57. P. 43–52.

2. *Aldakheel Y.Y.* Assessing NDVI spatial pattern as related to irrigation and soil salinity management in Al-Hassa Oasis, Saudi Arabia. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2011. V. 39. No 2. P. 171−180. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s12524-010-0057-z.

3. *Allbed A., Kumar L.* Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: A review. Advance in Remote Sensing Journal, 2013. No 2. P. 373−385. Web resource: http://www.scirp.org/journal/ars (accessed 12.12.2019).
4. *Boardman J.W., Kruse F.A.* Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada. Proceedings of Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, 1994. P. 407−418.
5. *Boardman J.W., Kruse F.A., Green R.O.* Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. Summaries of Fifth JPL Airborne Earth Science workshop. JPL Publication, 1995. V. 1. P. 23−26.
6. *Cloutis E.A.* Hyperspectral geological remote sensing: Evaluation of analytical techniques. International Journal of Remote Sensing, 1996. No 17. P. 2215–2242.
7. *Datt B., Mcvicar T.R., Van Niel T.G., Jupp D.L.B., Pearlman J.S.* Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral data to support the application of agricultural indexes. IEEE Transaction in Geoscience and Remote Sensing, 2003. No 41 (6/1). P. 1246–1259.
8. *Dehaan R.L., Taylor G.R.* Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization. Remote Sensing of Environment, 2002. No 80. P. 406–417.
9. *Dehaan R., Taylor G.R.* Image-derived spectral endmemders as indicators of salinization. International Journal of Remote Sensing, 2003. No 24. P. 775–794.
10. *Douaoui A.E.K., Hervé N., Walter Ch.* Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. Geoderma, 2006. No 134. P. 217–230.
11. *Dutkiewicz A., Lewis M., Ostendorf B.* Evaluation and comparison of hyperspectral imagery for mapping surface symptoms of dryland salinity. International Journal of Remote Sensing, 2009. No 30 (3). P. 693–719.
12. *Dwivedi R.S.* Soil resources mapping: A remote sensing perspective. Remote Sensing Reviews, 2001. V. 20. No 2. P. 89−122. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/02757250109532430.
13. *Dwivedi R.S., Sreenivas K.* Image transforms as a tool for the study of soil salinity and alkalinity dynamics. International Journal of Remote Sensing, 1998. No 19. P. 605–619.
14. *Dwivedi R.S. et al.* 5 Generation of farm-level information on salt-affected soils using IKONOS-II multispec-tral data. Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management. Boca Raton: CRC Press, 2008. DOI: http://dx.doi.org/10.1201/9781420065039.ch5.
15. *El-Nahry A.H., Hammad A.Y.* Assessment of salinity effects and vegetation stress, West of Suez Canal, Egypt using remote sensing techniques. Journal of Applied Sciences Research, 2009. No 5 (3). P. 316−322.
16. *Esbensen K.H.* Multivariate Data Analysis — in Practice. 5th edition. Norway, Oslo, 2002.
17. *Farifteh J., Farshad A., George R.J.* Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling, and geophysics. Geoderma, 2006. No 130. P. 191–206.
18. *Farifteh J., Van der Meera F., Atzbergerb C., Carranzaa E.J.M.* Quantitative analysis of salt-affected soil reflectance spectra: A comparison of two adaptive methods (PLSR and ANN). Remote Sensing of Environment, 2007. V. 110. No 1. P. 59−78.
19. *Ghosh G., Kumar S., Saha S.K.* Hyperspectral satellite data in mapping salt-affected soils using linear spectral unmixing analysis. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2012. V. 40. No 1. P. 129−136.
20. *Gitelson A.A., Kaufman Y.J., Merzlyak M.N.* Use of a green channel in re-mote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment, 1996. No 58. P. 289–298.
21. Guidelines and evaluation for rainfed agriculture. Soil Bulletin, FAO, 1983. No 52.
22. *Howari F.M.* The use of remote sensing data to extract information from agricultural land with emphasis on soil salinity. Australian Journal Soil Res, 2003. No 41. P. 1243–1253.
23. *Huete A.R., Justice C., van Leeuwen W.* MODIS vegetation index (mod13). Algorithm theoretical basis document. Version 2. Greenbelt, Maryland 20771. USA: NASA Goddard Space Flight Center, 1996.

24. *Janssen*. Principle of Remote Sensing, International Institute for Aerospace survey and Earth Science. The Netherlands: ITC Enschede, 2001.
25. *Jordan C.F.* Derivation of leaf-area index from quality of light on forest floor. Ecology, 1969. No 50. P. 663.
26. *Lillesand T.M., Kiefer R.W.* Remote Sensing and Image Interpretation. 4th ed. Wiley & Sons, 2000.
27. *Madari B.E., Reeves Iii J.B., Machado P.L.O.A., Guimarães C.M., Torres E., McCarty G.W.* Mid- and near-infrared spectroscopic assessment of soil compositional parameters and structural indices in two Ferralsols. Geoderma, 2006. V. 136. No 1−2. P. 245−259.
28. *Mashimbye Z.E., Cho M.A., Nell J.P., Declercq W.P., Van Niekerk A., Turner D.P.* Model-based integrated methods for quantitative estimation of soil salinity from hyperspectral remote sensing data: A case study of selected South African soils. Soil Science Society of China, 2012. No 22 (5). P. 640–649.
29. *Metternicht G.I., Zinck J.A.* Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. Remote Sensing of Environment, 2003. No 85. P. 1–20.
30. *Metternicht G.I., Zinck J.A.* Spatial discrimination of salt- and sodium-affected soil surfaces. International Journal Remote Sensing, 1997. No 18. P. 2571–2586.
31. *Munns R.* Physiological processes limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. Plant Cell Environ, 1993. No 16. P. 15−24.
32. *Pearlman J.* Hyperion, a space-based imaging spectrometer. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2003. No 41(6). P. 1160–1173.
33. *Peng W.* Synthetic analysis for extracting information on soil salinity using remote sensing and GIS: a case study of Yanggao basin in China. Environ. Manage, 1998. V. 22. P. 153–159.
34. *Rouse J.W., Haas R.H.Jr., Schell J.A., Deering D.W.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS-1 Symposium, 1974. P. 309–317.
35. *Stevens A., Wesemael B., Vandenschrick G., Toure S., Tychon B.,* Detection of carbon stock change in agricultural soils using spectroscopic techniques. Soil Sci. Soc. Am. J., 2006. V. 70. P. 844−850.
36. *Tilley D.R., Ahmed M., Son J.H., Badrinarayanan H.* Hyperspectral reflectance response of freshwater macrophytes to salinity in a brackish subtropical marsh. Journal Environmental Quality, 2007. No 36. P. 780–789.
37. *Tompkins S., Mustard J.F., Pieters C.M., Forsyth D.W.* Optimization of endmembers for spectral mixture analysis. Remote Sensing of Environment, 1997. V. 59. P. 472–489.
38. *Verma K.S., Saxena R.K., Barthwal A.K., Deshmukh S.N.* Remote sensing technique for mapping salt affected soils. International Journal of Remote Sensing, 1994. V. 15. P. 1901–1914.
39. *Wiegand C.L., Rhoades J.D., Escobar D.E., Everitt J.H.* Photographic and video-graphic observations for determining and mapping the response of cotton to soil salinity. Remote Sens. Environ, 1994. V. 49. P. 212–223.
40. *Zhang M., Ustin S., Rejmankova E., Sanderson E.* Monitoring pacific coast salt marshes using remote sensing. Ecological Applications, 1997. No 7. P. 1039–1053.
41. *Zhuo L., Liu Y., Wu J., Wang J.* The international archives of photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing, 2008. V. XXXVII. Part B8.

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-286-293

Ilan Shakibayev[1], Dinara Barmakova[1], Zhaiyk Yerikuly[1], Gennadiy Rau[2], Zhanar Kadasheva[2], Ilkhom Begmatov[3]

METHODOLOGY FOR CREATING A GEOINFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM TO MONITOR IRRIGATED LANDS IN THE SOUTH-EAST OF KAZAKHSTAN

ABSTRACT

At present, the study of natural objects without modern information technologies is almost impossible. The use of GIS for monitoring spatial features of irrigation systems uncovers broad opportunities. The development of the organizational structure, the selection of the necessary software tools for the collection, storage, processing and analysis of semantic data integrated with spatial objects is an urgent task and has important scientific and practical value.

The irrigated lands located in the southeast of Kazakhstan within the Almaty region are the object of research. Monitoring of these land salinization is carried out, including hydrogeological and hydrological observations and soil reclamation studies.

The article discusses the methodology for creating a geographic information and analytical system to monitor irrigated lands, and describes its organizational structure. The content of the database, the composition of functional components, the basic properties and capabilities of laboratory processing and analyzes of field materials are described. The cartographic material component describes its basic properties, including properties intended for analysis of database objects and their spatial point analogues. Also, the possibilities for ArcGIS application modules to automate the process of constructing maps of the hydrogeological and reclamation conditions of irrigated objects, and the possibilities for automated calculation of areas in specified gradations of depth and groundwater salinity to assess the reclamation state of these lands are shown.

KEYWORDS: GIS, monitoring of irrigated land, database, groundwater level, salinization

INTRODUCTION

At the present time, digitalization and informatization of processes, including the monitoring of environment, is gaining importance [*Gostishchev et al.*, 2001]. Process of monitoring of natural objects requires the use of modern tools and methodological approaches, as well as technological base for processing, data analysis, visualization and presentation of spatial and digital indicators [*Zanosova*, 2015].

GIS tools are used to monitor soil salinization, justify land reclamation and forecasting, and develop an agronomic strategy for farmers [*Bouksila et al.*, 2013]. The integrated use of GIS and satellite information to determine abandoned lands made it possible to identify the causes, pace, and scale of irrigated lands neglect at the Svetloyarskaya irrigation system [*Gorokhova et al.*, 2017]. An important role that GIS plays as a modeling and decision-making tool for managing water resources on irrigation systems is described by a number of researchers [*Knox et al.*, 1999; *Kumar et al.*, 2014].

The natural landscapes of southeastern Kazakhstan vary widely and are represented by mountain-folded areas, intermountain and foothill depressions and lowland territories with erosion

[1] RSU Zonal hydrogeological and Reclamation Center of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, Baishev str., 113, 050018, Almaty, Kazakhstan; *e-mail:* **ilan_2004@mail.ru**, **barmakova_dina@mail.ru**, **zerikuly@mail.ru**
[2] NCJSC Kazakh National Agrarian University, Abay Ave, 8, 050010, Almaty, Kazakhstan;
e-mail: **genadiyr@gmail.com**, **dikuwa_90@mail.ru**
[3] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Uzbekistan;
e-mail: **ilkhommatbe@mail.ru**

basis towards the Lake Balkhash. Taking into account extremely continental climatic conditions and available surface water sources, irrigated agriculture is practiced here on a total area of 584 000 ha. Irrigation systems are present on scattered areas in all administrative regions of the Almaty region and are tied to various water sources. Hydrogeological observations of the salt regime level of groundwater in wells are carried, as well as hydrological and hydrochemical observations of irrigation and collector-drainage waters, soil reclamation for salinization of the soil cover, including laboratory studies of water and soils, and other related work.

Monitoring of irrigated lands involves collection and systematization of data on hydro geological, hydro-chemical, soil-reclamation, climatic, water and agricultural conditions and other indicators. The storage and analysis of such large amount of information requires a systematic arrangement and automation of the processing of many datapoints [*Saxen,* 2008]. Therefore, information support is an important part of monitoring, which should make it possible to systematize observational data, visualize spatial objects and comprehensively analyze the ongoing hydrogeological and ameliorative processes and phenomena [*Panichkin et al.*, 2014].

The given study analyzes the possibility of using ArcGIS 10.5 modules for monitoring the level of groundwater. The Karatal irrigation massif, characterized by active seasonal fluctuation of the groundwater level, was selected as the area for study.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

To conduct monitoring of irrigated lands in the Almaty region of southeastern Kazakhstan, a geographic information and analytical system (GIS) “Monitoring of irrigated lands” has been developed that provides storage and management of observation results [*Shakibaev,* 2014]. GIS is a multi-level system built along hierarchy levels and associated with management objects, irrigation and business entities. At each level, sources and nature of the input information are determined.

GIS structure is based on the administrative bottom-up principle, when compositional blocks are presented by administrative regions and its components: administrative and rural districts and then arrays, i.e., information flows (such as groundwater levels, chemical composition, volumes water supply and water consumption, irrigation water quality, reclamation condition, etc.) are introduced at the lowest level of the hierarchy, and, passing through higher hierarchical levels, are aggregated and entered into GIS. At the system input, the information corresponds to the main objects of the information blocks, and at the output it is determined by the needs of users and can take a variety of types and forms (text, graphic, tabular and cartographic).

Information in the GIS database is stored in the form of relevant information tables that contain information characterizing various objects (hydrogeological, soil, water, climate, etc.). Each object is expanded by several corresponding tables; in this case each table acts as a specific property of the object.

The GIS database consists of the following functional components:

1. Soil monitoring. 2. Groundwater monitoring. 3. Monitoring of surface and drainage waters. 4. Monitoring the use of irrigated land. 5. Climate. 6. Reports. 7. Charts and graphs. 8. Cartographic material 9. Administration. 10. Directories (fig. 1).

Each component includes information corresponding to its functional purpose.

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSION

The interface of the Soil Monitoring component is intended for input, adjustment and analysis of information on wells, sections and sites that are collected during soil reclamation work on irrigated lands. The properties of the component are Salinization of Soils, Chemical Composition of Soils, Mechanical composition of soils and Water-physical properties of soils, Pesticides and herbicides Control and Content of Micro-components in Soil. The results of processing soil analysis data are presented in table 1.

Table 1. Results of the analysis of water extract from soil on Schengeldin irrigation system

№	Place of selection	Depth of selection	Date of selection	pH	mg-eq%-mg/dm³							Σk mg-eq	Salt content, %
					CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na+K		
1	1 (41)	0−30	03.09.2019	7,20	0,00	1,50	0,45	0,75	0,75	0,10	1,85	2,7	0,202
					0,00	0,09	0,02	0,04	0,02	0,00	0,04		
2		30−70	03.09.2019	7,10	0,00	1,00	3,55	15,05	3,85	2,45	13,30	19,6	1,320
					0,00	0,06	0,12	0,72	0,08	0,03	0,31		
3		70−100	03.09.2019	7,00	0,00	1.00	2.85	10.75	3.80	3.70	7.10	14,6	0,960
					0,00	0.06	0,10	0,52	0.08	0.04	0.16		
4	2 (40)	0−30	03.09.2019	7,40	0,00	1.20	0.20	0,90	0,55	0.15	1.60	2,3	0,173
					0,00	0.07	0.01	0.04	0.01	0.00	0.04		
5		30−70	03.09.2019	7,40	0,00	1,10	0.25	1,05	0,50	0,20	1,70	2,4	0,178
					0,00	0.07	0.01	0.05	0.01	0.00	0.04		
6		70−100	03.09.2019	7,40	0,00	0.90	0.25	0.25	0.45	0.30	0.65	1,4	0,103
					0,00	0.05	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01		
7	3 (42)	0−30	03.09.2019	7,40	0,00	1.10	0,20	0,50	0,55	0.15	1,10	1,8	0,140
					0,00	0.07	0.01	0.02	0.01	0.00	0.03		
8		30−70	03.09.2019	7,30	0,00	1.50	0.25	0.45	0.55	0.20	1,45	2,2	0.169
					0,00	0.09	0.01	0.02	0.01	0.00	0.03		
9	4 (7)	0−30	03.09.2019	7,20	0,00	1.30	0.30	0.60	0.60	0,20	1.40	2,2	0.165
					0,00	0.08	0.01	0.03	0.01	0.00	0.03		
10		30−70	03.09.2019	7,20	0,00	1.10	0.30	0,60	0,75	0.10	1.15	2	0,149
					0,00	0.07	0.01	0.03	0.02	0.00	0.03		

For convenience, some calculations are automated, if possible. So, Salinization property provides automatic classification of soils by types of salinity according to the solid residue. While “Content of pesticides and herbicides” and “Content of microcomponents” properties enable to compare with the established Maximum Allowed Concentration (MAC) for these ingredients and calculate the percentage deviation from it.

In each dialog box, it is possible to obtain a paper copy of the information fields for the selected object and for a given date.

The interface of the Groundwater Monitoring component allows you to enter, adjust and analyze background information on groundwater. The main properties of this component are “Observation Well Passport”, “Groundwater Monitoring Results”, “Chemical Composition of Groundwater” and Contaminant Content in Groundwater.

“Results of observations of the groundwater regime” property provides automated calculation, i.e. only the measured value of the groundwater level recorded, and the program itself calculates the true value of the groundwater levels and its absolute point. In the “Chemical composition of groundwater” properties, it is possible to automatically calculate the percentage ratio of anions and cations by the Kurlov formula (*table 2*). It is possible to compare the current MAC for each component with the properties of Pesticides and herbicides Control and Content of Microcomponents.

Also, in the property “Results of observations of the groundwater regime” aimed at analyzing information, it is possible to construct various, including combined, schedules. To do this, the “Chart” button is provided in the dialog box, which allows to get a graphical display of the relevant information indicators for a selected period of time or a group of information indicators.

The main properties of Monitoring of Surface and Drainage water’s component are Passport Gauging Station, Chemical Composition of Surface Water, Chemical Composition of Collector-Drainage Water, Contaminant Content in Surface Water, Contaminant Content in Collector-Drainage Water, Volume of Water Intake and Water Supply to Irrigated Lands and Volume collector-drainage water. The open dialog boxes allow to enter data and analyze conditionally constant information on surface and drainage waters.

Table 2. The results of a chemical analysis of groundwaters at Akdala irrigation system

№	c/o	Place of selection	Date of selection	pH	mg-eq%-mg/dm³							Σk mg-eq	Mineralization	Kurlov's formula	Type of water	Name of water	SAR	Water quality assessment/
					CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na+K							
1	Bakbaktv	Well 12v	11.04.2019	8.30	0,80	3,80	1,30	8,10	1,80	2,30	9,90	14	983	M 0,98 $\frac{SO_4 58 HCO_3 27 Cl 9 CO}{Na 71 Mg 16 Ca 13}$	fresh	Sulfate-hydrocarbonate sodium	6,9	average
					24,00	231,80	46,10	389,04	36,00	27,97	227,70							
			13.08.2019	7,70		3,80	0,80	2,40	0,50	1,00	5,50	7	524	M 0,52 $\frac{HCO_3 54 SO_4 34 Cl 11}{Na 79 Mg 14 Ca 7}$	fresh	Hydrocarbonate sulfate sodium	6,3	average
					0,00	231,80	28,37	115,27	10,00	12,16	126,50							
2	Bakbaktv	Well 17v	11.04.2019	7,90	0,00	4,20	1,40	9,40	7,50	2,50	5,00	15	1053	M 1,05 $\frac{SO_4 63 HCO_3 28 Cl 9}{Ca 50 Na 33 Mg 17}$	slightly saline	Sulfate-hydrocarbonate calcium so-	2,2	low
					0,00	256,20	49,64	451,48	150,00	30,40	115,00							
			13.08.2019	6,70		4,40	1,30	5,70	5,30	2,70	3,40	11,4	805	M 0,81 $\frac{SO_4 50 HCO_3 39 Cl 11}{Ca 46 Na 30 Mg 24}$	fresh	Sulfate-hydrocarbonate calcium so-	1,7	low
					0,00	268,40	46,10	273,77	106,00	32,83	78,20							
3	Bakbaktv	Well 18	11.04.2019	7,90	0,00	3,20	1,60	0,60	1,60	1,40	2,40	5,4	385	M 0,38 $\frac{HCO_3 59 Cl 30 SO_4 11}{Na 44 Ca 30 Mg 26}$	fresh	Hydrocarbonate chloride sodium calcium	2,0	
					0,00	195,20	56,74	28,82	32,00	17,02	55,20							

In Chemical Composition of Surface and Drainage water property, the program automatically calculates the percentage ratio of anions and cations by the Kurlov formula, while the properties of "Pesticides and herbicides Control", "Content of Micro-components" make it possible to compare results with the MAC for each component and calculate the percentage deviation from it.

To make graphical analysis of information, it is possible to build various graphs of indicators or a group of information indicators for a selected period of time.

The interface of Monitoring the Use of Irrigated Land Component allows you to access properties from other components of GIS. The structure of the component includes the properties Use of irrigated lands, Structure of Sown Areas, Productivity and Gross Harvest of Crops, Use of Water for Irrigation, Distribution of Areas by Depth of the Level and Salinity of Groundwater on Irrigated Lands. For graphical analysis of information, the "Chart" button is used to arrange the corresponding information indicators or groups of indicators in the form of diagrams for a selected period of time.

The Climate component collects information on weather stations. To work with this component, the "Agro-climatic characteristics" property is selected from the component list and the corresponding dialog form appears on the screen, which allows you to enter reference information (Altitude, Latitude, Longitude) for climate stations, as well as operational information (Decade average air temperature, Total precipitation, Relative humidity) for each meteorological station.

The interface of Reports Component allows to generate and analyze information in the context of areas. The composition of the component includes the following properties: Distribution of Areas by depth of the level and salinity of groundwater on irrigated lands, Use of Irrigated Lands in Agricultural Production, which can be subsequently added by other properties.

The Chart Component is designed to build charts for a selected area for a given interval of years. The component consists of the following properties: Dynamics of the area's distribution by depth of Groundwater Level on Irrigated Lands and Dynamics of Water Intake, Water Supply and Drainage Flow on Irrigated Lands, which can be added if necessary.

The Cartographic Material Information Component is applied to when Analysis, Updating and Creation of Point Graphic Objects Property is selected from the Component Composition list. It is intended for analysis on the correspondence between database information objects (observation wells, observation points, etc.) and their graphical point analogues in ArcGIS and MapInfo.

The Geographic Analysis of the Studied Objects Property is intended for the analysis of cartographic materials for the studied object (observation wells, platforms, sections, etc.). The functional element "Information Level" determines the system setting to the corresponding information level and then to the specific object under study corresponding to this level. Each level of information corresponds to a certain set of types of objects, such as observation wells, observation points, thematic layers, etc. Each type of object is characterized by a certain set of properties, which, in turn, are different quantitative, qualitative and spatial indicators of this type of object.

Also, this component contains "Construct Map" property that enables automated construction of special thematic maps. First of all, layers such as settlements, water bodies, irrigation canals, collector-drainage network, etc. are identified on a digital map. Then layers of observation wells and their numbers are fixed. From the existing database, data on groundwater levels or the results of chemical analyzes of wells for a given period of time are selected. A hydrogeological and reclamation state map is constructed using the Spatial Analyst ArcGIS 10.5 tool kit, which, in our opinion, correctly interpolates spatially remote data taking into account the topography of the area. In this case, the accepted gradation of isolines of the depths, hydroisogypsum or groundwater salinity is set. As shown by comparisons with hand-built maps, this method, with the selected tool, provides more reliable spatial information about the object. The results of constructing a map of the hydrogeological and reclamation conditions of the Karatal irrigation system are presented in fig. 2.

Also, when assessing the reclamation state of irrigated lands, it is necessary to have information on the area distribution of groundwater by the depth within the boundaries of economic entities. For this, the Zonal statistic module can be used as a tool for calculating areas with different depths or mineralization of groundwater, which allows you to calculate the distribution of areas according to the adopted scale (gradation) using depth and mineralization maps of groundwater. Preliminarily, this requires putting out a layer of farm boundaries on the constructed map, within

which a spatial calculation of the area should be made. The proposed technology allows you to create a series of cards for different periods of time, conduct analytical comparisons, accumulate and update them in a database.

The Administration Information Component includes the following components: Directory of Objects, Directory of Object Links, Directory of Object Types, Directory of Object Links Types and Directory of types of Objects Status, Directory of Types and Properties of Objects. The dialogue form allows you to enter, adjust and analyze administrative and reference information on the relevant objects. From a functional point of view, the form is designed in such a way that allows you to serve all available GIS directories by selecting bookmarks with the appropriate name. This component is primarily responsible for the proper functioning of the entire system.

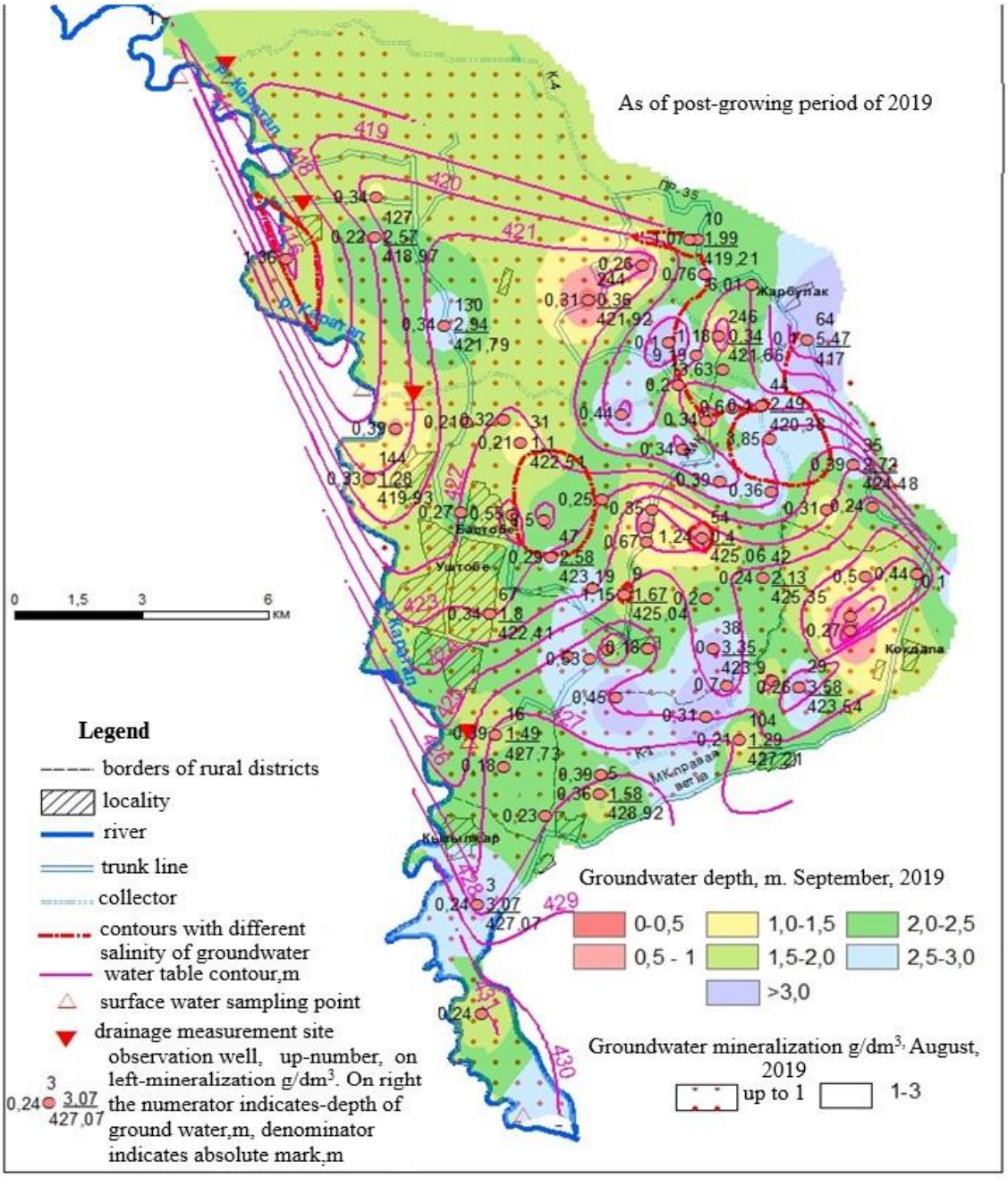


Fig. 2. The results of constructing the hydrogeological and reclamation conditions map of the Karatal irrigation system in an automated mode

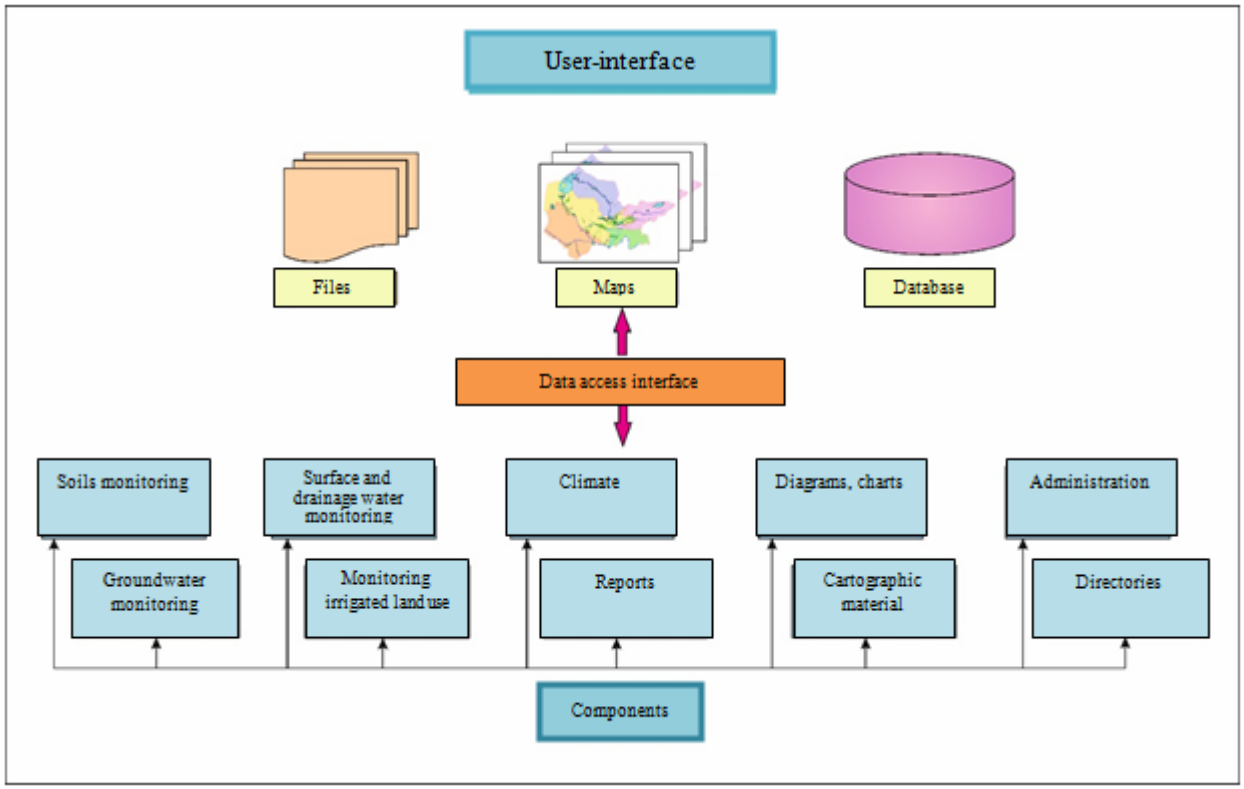


Fig.1. Structure of Monitoring Irrigated Lands GIS

GIS runs on the WINDOWS operating system, ACCESS DBMS and the service programs included in the standard Microsoft Office suite. For the cartographic database, ArcGIS and MapInfo programs were used. GIS software enables to display the information contained in the database in the following ways:

1. Dialogue forms (tables) to enter, adjust, view and analyze the source data in the tables, as well as to view and analyze aggregated data;
2. Reports to receive a paper copy;
3. Charts and diagrams for viewing and analyzing information in graphical form;
4. Thematic layers, working sets, maps for viewing and analyzing information in a cartographic form.

CONCLUSIONS

GIS monitoring of irrigated lands has significantly expanded the capabilities for conducting and processing the results of observations of the salt regime levelsof groundwater, hydrological observations of runoff and chemical compositions of irrigation and drainage waters, soil and land reclamation observations and other works when monitoring irrigated lands in the southeast of Kazakhstan. Digital maps of hydrogeological and soil conditions of monitored objects have been built and systemicstorage is provided. The use of separate ArcGIS modules enables to automate the construction of maps measuring depths and hydroisohypses, groundwater salinity and calculates areas with different depths and groundwater salinity for their subsequent analysis and assessment. Currently, the existing GIS database is undergoing integration with modeling systems for predicting hydrogeological and reclamation processes, as well as using satellite information to obtain more reliable data to increase the efficiency of irrigated land use.

REFERENCES

1. *Gostishev D.P., Korsak V.V., Holudeneva O.Iu.* Development of a geographic information system to support decision-making on land reclamation management. Problems of land reclamation and ways to solve them: collection of scientific papers GA Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation. Moscow: Meliovodinform, 2001. Part II. P. 22−30 (in Russian).
2. *Gorokhova I.N., Filippov D.V.* Application of geographic information technologies and satellite imagery materials for monitoring irrigated lands of the Svetloyars irrigation system. Exploration of Earth and Space, 2017. No 4. P. 79–87 (in Russian).
3. *Panichkin V.Iu., Miroshnichenko O.L., Erıkuly J.* Geoinformation technologies in hydrogeological mapping. Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan – Almaty, 2014. No 5. P. 76−81.
4. *Shakibaev I.I.* Hydrogeological and meliorative aspects of the issues of irrigated lands in the south of Kazakhstan. 2014. 304 p. (in Russian).
5. *Zanosova V.I., Postnova I.S., Grebenkına D.M.* GIS technology in conducting local monitoring of the hydrogeological-reclamation state of irrigated lands. Bulletin of the Altai State Agrarian University – Barnaul, 2015. No 7. P. 57–63 (in Russian).
6. *Bouksila F., Bahri A., Berndtsson R., Persson M., Rozema J., Van der Zee S.E.A.T.M.* Assessment of soil salinization risks under irrigation with brackish water in semiarid 293unisia. Environmental and Experimental Botany, 2013. V. 92. P. 176–185. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.06.002.
7. *Kumar A., Dubey O.P., Ghosh S.K.* GIS based irrigation water management. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology, 2014. V. 03. Special Iss. 14 / Nov-2014 / SMART. P. 62–65.
8. *Knox J.W., Weatherfield E.K.* The application of GIS to irrigation water resource management in England and Wales. The Geographical Journal. V. 165. No 1. P. 90−98.
9. *Saxena P.R.* Prasad NSP Integrated land and water resources conservation and management-development plan using remote sensing and GIS of Chevella sub-watershed, R.R. Distict, Andhra Pradesh, India. The international archives of the photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing, 2008. No 8. V. 37. P. 729–732.

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-294-308

Shavkat Kenjabaev[1], Christopher Conrad[2], Odilbek Eshchanov[3], Aybek Arifjanov[4], Dilbar Abduraimova[5], Umida Voxidova[6]

COMPARISON OF SPECTRO-BIOPHYSICAL AND YIELD PARAMETERS OF COTTON IN IRRIGATED LOWLANDS OF AMUDARYA RIVER

ABSTRACT

This study aims defining the best predictors of biophysical parameters and yield with vegetation indices derived from Landsat 8 OLI surface reflectance data. The study was conducted in 2015 at five crop fields in Kulavat canal irrigation system in Khorezm province, Uzbekistan. The Environment for Visualizing Images (*ENVI*) ver. 4.5 and R programming software ver. 1.0.143 were used to process, calculate seven vegetation indices (VIs) and predict biophysical parameters and yield of cotton.

The trend analysis show that in-situ measured biophysical parameters for the whole growth stage of cotton follows the 3rd order polinomial curve ($R^2 = 0.96-0.99$). The *NDVI*, *SAVI*, *TVI* and *RVI* had linear interrelationship between each other with strong positive correlation of $R^2>0.9$ (highly significant with *p*-value=0). The VIs showed a logarithmic function relationship with crop height *(crht)*, power function relationship with green biomass (*gbm*) and leaf area index *(LAI)*, and linear function relationship with the fraction of photosyntetically active radiation below the plant canopy *(FPAR)* during the entire growing period of cotton. Among seven VIs tested in this study, the *NDVI/SAVI* and *GCI* explained 88 and 91 % of variation in *crht*, respectively. These three indices also well explained *gbm* variation ($R^2=0.86$). The *TVI* was slightly better explained *FPAR* than *NDVI* and *SAVI* (all $R^2>0.87$). The *NDVI*, *SAVI* and *TCG* explained 82 % of variation in *LAI*. Among all VIs, *GCI*, *NDGI* and *RVI* were found to be the best predictor of cotton yield during August, explaining 76-79% variability ($p<0.001$).

Based on spectro-biophysical analysis, VIs derived from RS data on July and August (anthesis and peak growth stages of cotton) is more reliable to use for modeling cotton yield (seed and lint yields together). Therefore, field data collection is recommended to perform during these months taking into account in-field crop condition and remotely sensed data acquisition date. In addition, September 5-20 is the second important period (i.e., cotton pick-up) to conduct yield data collection for establishment of relationships between cotton yields with VIs (July-August).

KEYWORDS: remote sensing, GIS, spectro-biophysical parameters, yield, cotton

INTRODUCTION

Population growth and climate variability necessitate using available land and water resources effectively to maintain sustainable agricultural production in the Central Asian countries, especially in lowlands of the Amudarya and Syrdarya Rivers. Socio-economic transformation

[1] Scientific Information Center Interstate Coordination Water Commission (SIC ICWC), B-11a, Karasu-4, 100187, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail*: **kenjabaev@yahoo.com**
[2] Institute of Geosciences and Geography, Martin-Luther-University Halle, Von-Seckendorff-Platz, 4, 06120, Halle, Germany; *e-mail*: **christopher.conrad@geo.uni-halle.de**
[3] Scientific Information Center Interstate Coordination Water Commission (SIC ICWC), B-11a, Karasu-4, 100187, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **odilbek.icwc@mail.ru**
[4] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kary Niyaziy, 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **obi-life@mail.ru**
[5] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kary Niyaziy, 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **abduraimova.dilbar@mail.ru**
[6] Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent city, Shohjahon str., 5, Near Uzpromstroybank, 100100, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **voxidova.umida@mail.ru**

leaded to the intensification of agriculture and expansion of irrigation and melioration infrastructure since 1960s. Whereas mismanagement of land and especially water resources caused land degradation and yield loss. In addition, climate change (extreme events) becoming a major obstacle that decline food production, water contamination, and economic damages.

During the last 40 years, the expansion of cropland in Uzbekistan has slackened, but land is now used much more intensively (Goscomstat. Uzbekistan in figures. The State Committee of Republic Uzbekistan on statistics, 2015); [*Djanibekov*, 2008]: in the 1980s, on average a hectare of cropland produced 1.8 tn., but now it produces 2.2 tn. (e.g., 18 % more). To understand land use dynamics and to be able to predict possible future developments, constant monitoring is needed. In this context, in-situ phenological observation of crop development and growth is very important. Based on proper and in-time phenology observations, more stable crop yields and quality can be recommended for land users, which can facilitate future improvement of crop, water and land management. Keeping aforementioned statements, the main goal of the research is to assess usability of remote sensing derived vegetation indices as predictors of in-situ observed cotton biomass, leaf area index (LAI), fraction photosynthetically active radiation — (PAR) and yield.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

Study area

The study was conducted in Kulavat canal irrigation command area (ICA) in Khorezm province, located in the north-western part of Uzbekistan (fig. 1 a, b). Cotton, winter wheat, rice, maize, sorghum, watermelons, and alfalfa are cultivated in irrigated lands of 42 000 ha within the study area that have regularly shaped fields [*Löw, Duveiller*, 2014]. In the region, multiple cropping practices are common, e.g., a double cropping sequences with a summer crop (rice, maize, vegetables etc.) following harvest of winter wheat.

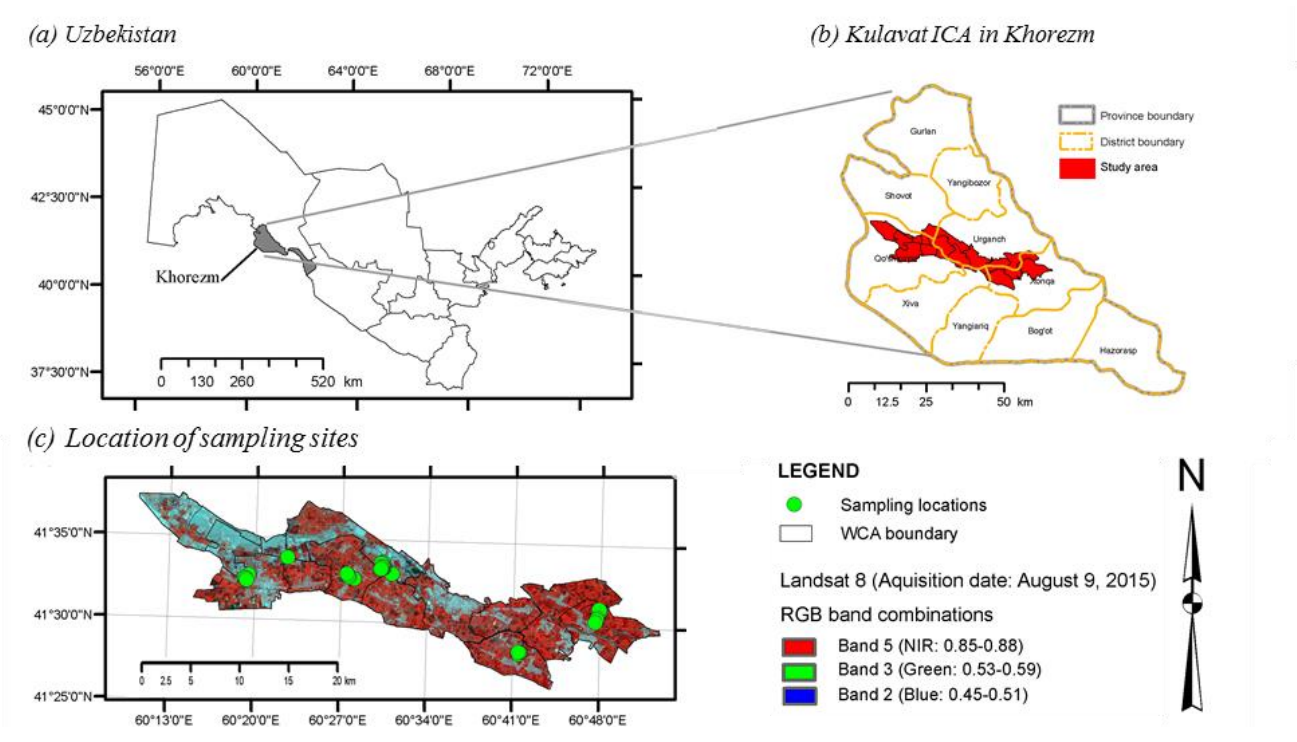


Fig. 1. Location of study area in north-western part of Uzbekistan:
(a) showing boundary of Kulavat canal,
irrigation command area (b) and sampling sites (c)

Field selection and in-situ measurements

As generally applied in agriculture, conventional (RS) methodology is based on qualitative analysis of information derived from "training areas" (e.g. ground-truthing, GT). This training areas should provide quantification within and between field variability and thus has to be representative for the given region in further up-scaling (mapping) of agricultural crop types, their biophysical characteristics (height, leaf area index, biomass etc.), and yield using near-real-time and historical (archival) satellite images. However, vegetation status is affected by variable environmental conditions (soil type, fertility, water availability etc.) and agricultural management (sowing, time and amount of irrigation and fertilization, tillage, pesticide application, etc.). Keeping this statement in mind, field measurements were performed at different parts of the study area (fig. 1c). For detailed biophysical measurements, three test sites within each five fields cultivated by cotton were established depending on access to the fields and per agreement by farmers (table 1). In total six field trips were conducted during April-October, 2015 in order to measure farm-by-farm (or pixel-by-pixel) crop biophysical parameters such as plant density, aboveground plant height, wet biomass/crop yield, fPAR and LAI values.

Table 1. The main characteristics of the selected fields in study area

No	Farm name	Crop type	Field area (ha)	Field ID	ID coordinates (dd. mm. ss)	
					latitude (N)	longitude (E)
1	Polvon mexanik	cotton	6	C1L3KV	41°33'36.70"	60°30'12.20"
				C1L2KV	41°33'38.70"	60°30'16.90"
				C1L1KV	41°33'40.80"	60°30'21.30"
2	A. Karimov	cotton	18	C2H1KV	41º32'39.9"	60º27'46.9"
				C2H2KV	41°32'38.60"	60°27'56.00"
				C2H3KV	41°32'37.80"	60°28'2.00"
3	Iroda-Ogiljon	cotton	7.5	C3M1KV	41º31'04.3"	60º48'02.9"
				C3M2KV	41º31'05.9"	60º47'59.2"
				C3M3KV	41º31'07.9"	60º47'55.8"
4	Karomat	cotton	4	C4L1KV	41º28'22.9"	60º41'25.9"
				C4L2KV	41º28'20.3"	60º41'27.4"
				C4L3KV	41º28'18.2"	60º41'29.4"
5	Turdali	cotton	9.5	C5M3KV	41º32'41.9"	60º19'30.9"
				C5M2KV	41º32'38.3"	60º19'26.0"
				C5M1KV	41º32'34.5"	60º19'20.4"

Earth observation (EO) data acquisition and processing

In total 9 scenes of Landsat 8[1] archive data were acquired in 2015 through EarthExplorer at http://earthexplorer.usgs.gov (table 2). This archive Landsat 8 data with 30 m spatial resolution have radiometric, geometric and atmospheric calibration and directly can be used to calculate various vegetation indices (VIs).

[1] Landsat 8 is the latest in a continuous series of land remote sensing satellites that began in 1972 (EROS. Landsat 8 (L8) data users handbook. LSDS-1574, Version 1.0. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center in Sioux Falls, Greenbelt, Maryland, 2015. 98 p.). The data is in GeoTiff format with 16 bits radiometric resolution (ranges from 0−65535). Landsat 8 images consist of nine spectral bands with a spatial resolution of 30 meters for Bands 1 to 7 and 9. The resolution for Band 8 (panchromatic) is 15 meters (0.503–0.676 μm). In addition, it also has two Thermal IR bands with a spatial resolution of 100 m (10.60–11.19 and 11.50–12.51 μm). Among the available 11 bands, first seven (e.g., band1−band7) have been provided when these data have been ordered from http://earthexplorer.usgs.gov/.

Table 2. Name, date and bands information of available (cloud free) Landsat 8 images in 2015

No	Image names*	DATE	Time difference (days)	Bands (wavelength)
1	LC81600312015109	19 Apr 15	64	Band 1 — Coastal/aerosol (0.435−0.451 µm); Band 2 — Blue (0.452−0.512 µm); Band 3 — Green (0.533−0.590 µm); Band 4 — Red (0.636−0.673 µm); Band 5 — Near Infrared, NIR (0.851−0.879 µm); Band 6 — SWIR 1 (1.566−1.651 µm); Band 7 — SWIR 2 (2.107−2.294 µm)
2	LC81600312015125	5 May 15	16	
3	LC81600312015141	21 May 15	16	
4	LC81600312015157	6 Jun 15	16	
5	LC81600312015173	22 Jun 15	16	
6	LC81600312015189	8 Jul 15	16	
7	LC81600312015221	9 Aug 15	32	
8	LC81600312015253	10 Sep 15	32	
9	LC81600312015269	26 Sep 15	16	

* here L: Landsat; C: combination of Thermal Infrared Sensor (TIRS) and Operational Land Imager (OLI) Sensors; 8: Landsat mission number; 160: path of the product; 031: row of the product; 2015: Acquisition year of the image; 109: Acquisition day of the image

The Environment for Visualizing Images (ENVI) ver. 4.5 was used to make layer stacking. At the first step, 7 bands of each 9 images were stacked one by one (fig. 2, left) following[1]. The output file of individual image had a geographic extent that encompasses only the data extent where all 7 bands overlap. At the second step, created single file from individual images re-stacked again so that it contains all bands from nine images (e.g., 9*7=63 bands, fig. 2, right). This single file, containing 63 bands was used in order to calculate various VIs using R programming software. After layer stacking of all 63 bands at the extent of original image dimensions, the image size was increased on 10 times (e.g., 7.0 GB) from individual layer stacked image (800 MB), thus cropping (cutting) the stacked image within the boundary of focus area was performed to reduce the image size (memory). The ‘raster’, ‘rgdal’ and ‘sp’ packages were installed in R from the freely available source (e.g., https://cran.r-project.org/web/packages/).

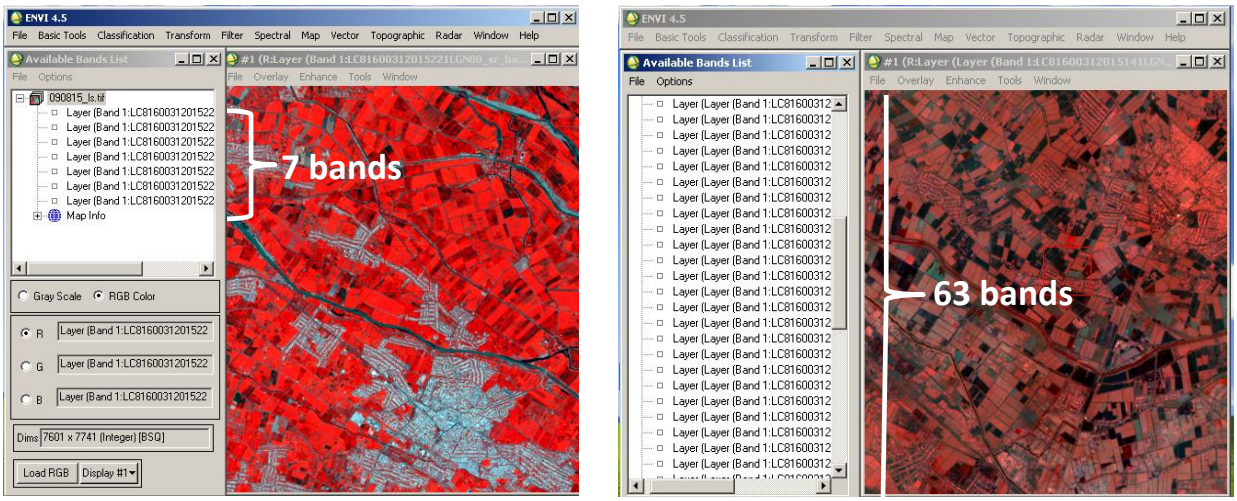


Fig. 2. Layer stacked Landsat 8 images containing 7 bands in individual image (left) and 63 bands in single file (right)

[1] ENVI user’s guide. ENVI Version 4.1, September 2004 Edition, Research Systems, Inc. 1150 p.

Calculation of vegetation indexes

This section focuses on vegetation indices (VIs), which can be broadly defined as combinations of surface reflectance at two or more wavelengths designed to highlight a particular property of vegetation. The VIs based on spectral reflectance have been used in agricultural research since 1969 [*Tucker*, 1979] in order to find functional relationships between canopy characteristics such as biomass, leaf area index (LAI) etc. and remote sensing observations. Canopy light reflectance properties mainly based on the absorption of light at specific wavelengths are associated with specific plant characteristics. In general, unhealthy vegetation has a lower photosynthetic activity, causing increased visible reflectance and the reduced near-infrared reflectance (NIR) from the vegetation. The spectral reflectance in the visible (VIS) wavelengths (400–700 μm) depends on the absorption of light by leaf chlorophyll and associated pigments such as carotenoids and anthocyanins [*Babar et al.*, 2006]. Reflectance in the VIS range is low because of the high absorption of light energy by these pigments. The reflectance in the NIR wavelengths (700–1300 μm) is high because of the multiple scattering of light by different leaf tissues [*Knipling*, 1970].

To date, more than 150 VIs have been published in the scientific literature [*Pettorelli*, 2013]. Among these VIs, commonly used indices, such as normalized differential vegetation index (NDVI), soil adjusted vegetation index (SAVI), normalized difference greenness index (NDGI), transformed vegetation index (TVI), ratio vegetation index (RVI), green chlorophyll index (GCI) and tasseled cap transformations at greenness (TCT_G) have been selected in this study (table 3) as predictors of biophysical variables of cotton.

Table 3. Vegetation indices that have been used for evaluation of crop biophysical characteristics

No	Indices	Formula*	Author and year
1	Normalized Differential Vegetation Index	$NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{red})}{(R_{NIR} + R_{red})}$	[*Rouse et al.*, 1973]
2	Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = \frac{(R_{NIR} - R_{red})}{(R_{NIR} + R_{red} + L)} * (1 + L)$	[*Huete*, 1988]
3	Normalized Difference Greenness Index	$NDGI = \frac{(R_{green} - R_{red})}{(R_{green} + R_{red})}$	[*Chamard et al.*, 1991]
4	Transformed Vegetation Index	$TVI = \frac{(NDVI + 0.5)}{\lvert NDVI + 0.5 \rvert} \sqrt{\lvert NDVI + 0.5 \rvert}$	[*Perry, Lautenschlager*, 1984]
5	Ratio Vegetation Index	$RVI = \frac{R_{NIR}}{R_{red}}$	[*Jordan*, 1969]
6	Green Chlorophyll Index	$GCI = \frac{R_{NIR}}{R_{green}} - 1$	[*Gitelson et al.*, 2003]
7	Tasseled Cap Transformations: - Greenness	$TCT_G = -0.2941R_{blue} - 0.243R_{green} - 0.5424R_{red} + + 0.7276R_{NIR} + 0.0713R_{SWIR}1 - 0.1608R_{SWIR2}$	[*Baig et al.*, 2014]

*R is reflectance at wavelength of respective spectral bands of Landsat 8 image (refer to table 2)

In order to develop spectro-biophysical and yield relationships, reflectance as well as vegetation values are needed to be extract from layer stacked and cropped RS data based on three plot located pixels within each field (see table 1). Anderson et al. [1993] suggested that it is a more desirable when sample point data is compared with vegetation index value obtained for a single pixel (900 m^2).

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSIONS

Trend analysis of biophysical parameters

In-situ measured biophysical paramters of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is given in fig. 3. Cotton height (*crht*, fig. 3A) follows approximately an exponantial curve from about 7±2 cm (5−8 true leaves covering up to 2 % of land area on May 11−15) up to 88±16 cm (time of the peak growth stage covering an area of 75−90 % on August 5−15). Thereafter, the *crht* was remained constant with slightly decrease on about 87±14 cm (after 1st and 2nd pick up of cotton on September 28) due to drying up and plant disturbance during the harvest. In general, the height of cotton for the whole growth stage follows the 3rd order of polinomial curve ($R^2 = 0.96$).

Plant density (*crds*, fig. 3B) was ranged from 9 to 120 plants per meter square before the plant singling (fig. 4). Once plant singling was completed, the *crds* was remained constant — 12±4 plants m^{-2} with further shedding on about 11±2 plants m^{-2} (after 2nd pick up of cotton on September 28). Similarly as the height, the *crds* of cotton for the whole growth stage is following the 3rd order polinomial curve ($R^2 = 0.99$).

Crop green biomass (*gbm*, fig. 3C) was ranged from 5 to 120 gram per meter square at the initial stage of cotton development (greater biomass was due to high crop density as plant singling was not yet performed duing the measurement). Cotton wet biomass was increased exponentially untill the peak growth stage (e.g., 3.9±1.5 kg/m^2 on August 5−15). The *gbm* was then decreased up to 1.9±1.0 kg/m^{-2} on September 26−30 due to crop drying up after defoliation and harvest[1]. Similarly as the height, the *crds* of cotton for the whole growth stage is following the 3rd order polinomial curve ($R^2 = 0.99$).

As a cotton plant develops, new leaves appear and expand, increasing sunlight interception. Hence, the fraction of photosyntetically active radiation below the plant canopy (*fpar*, fig. 3D) decreases from about 1670±225 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (when fraction of crop canopy cover of land area is low 2 % on May 11−15 and thus less amount of photosynthetically useful radiation is intercepted by the canopy) up to 135±100 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (time of the peak growth stage covering un area of 75−90 % on August 5−15 where greather amount of photosynthetically useful radiation is intercepted by the canopy). Thereafter, the *fpar* was increasing on about 480±230 μmol $m^{-2}s^{-1}$ (when canopy cover is decreased on 30−45 % after the 1st and 2nd pick up of cotton on September 28) due to drying up of plant and less or no remained leaves after the harvest. Such a decrease and increase of the *fpar* during the growth period of cotton, follows the 3rd order of polinomial curve ($R^2 = 0.98$).

On the contrary to the *fpar*, leaf area index (*lai*, fig. 3E) increased most quickly from 0.6±0.2 to 4.0±1.1 $m^2\,m^{-2}$ between 60 to 130 DAP with average rate of increase 0.06 $m^2\,m^{-2}\,day^{-1}$. It is obvious, that, the *lai* increases exponentially per decrease of the *fpar* owing interception of the photosynthetically useful radiation by canopy (fig. 5). Once canopy cover decreasing, the *fpar* starts to increase thus *lai* reducing progressively at the premature aging of the cotton. Further, the photosynthetic capacity of the plant reduces due to water stress, low fertility and other stresses and the value of *lai* reached to 1.5±0.8 $m^2\,m^{-2}$ on September 28. Similarly to the aforementioned biophysical variables, the *lai* during the growth period of cotton, follows the 3rd order of polinomial curve ($R^2 = 0.99$).

[1] Note: crop wet biomass includes all parts of the plant above the land surface as well as seed and lint yield

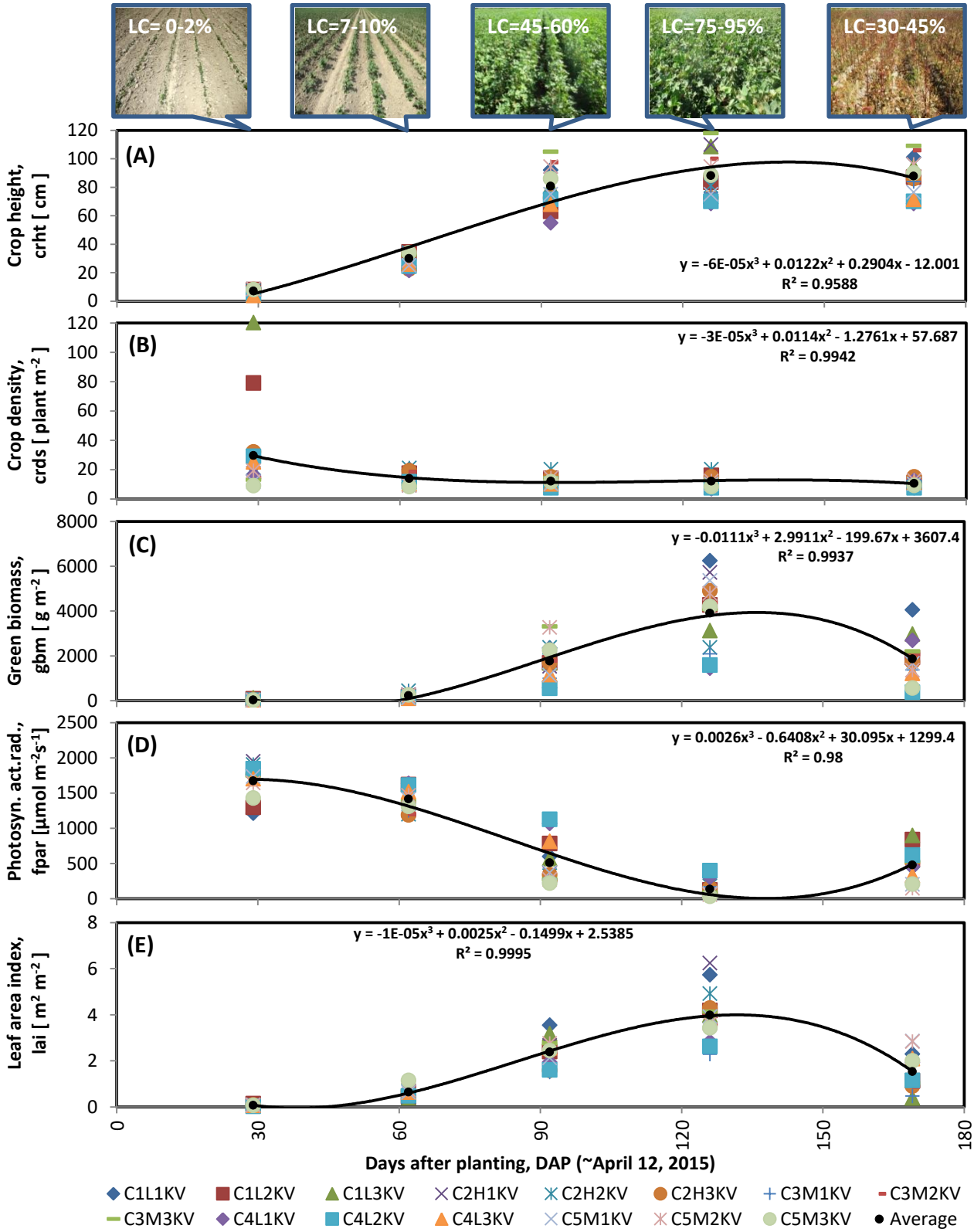


Fig. 3. Time course of the canopy variables for 15 cotton plots: (A) height, (B) density, (C) wet biomass, (D) fraction of photosyntetically active radiation and (E) leaf area index

Note: Photos above the graph correspond to the field measurement dates and show crop cover in %; Dirk line indicates the 3rd order polinomial curve from average values of the variables as a function of days after planting (DAP)

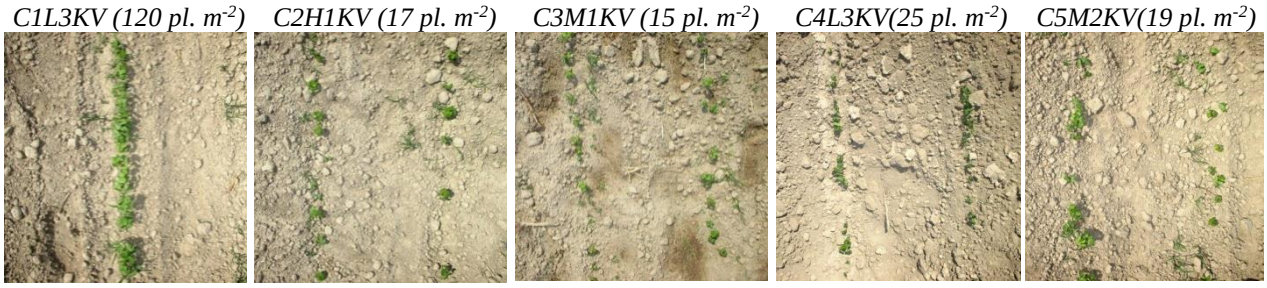


Fig. 4. Cotton density (plants per meter square, pl.m^{-2}) before singling in 5 plot-fields (photos taken on May 10−13, 2015)

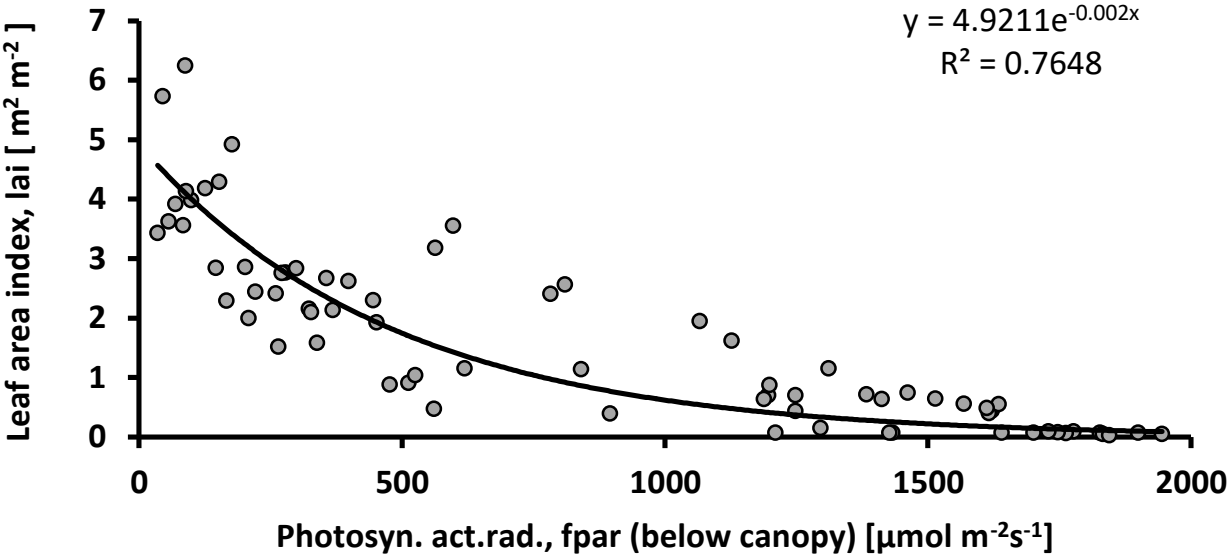


Fig. 5. Relationship between leaf area index (lai) and photosyntetically active radiation (fpar) during the growth period of cotton for 15 plots

Cotton yield variability

Cotton yields, measured using a handheld scale for all 5 fields x 3 plots are illustrated in fig. 6. Cotton yield was ranged from 1.3±0.4 (*C4L1KV-C4L3KV*, Khonka district) to 3.3±0.3 t ha^{-1} (*C2H1KV−C2H3KV*, Urgench District). Lower coton yields through *C3M1KV* (1.6±0.2 t ha^{-1}) and *C4L3KV* could be associated as 20−45 % of balls and squares were injured by cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hbn.) and aphis (*Aphis gossypii* Glov.) (fig. 7) as well as cells, where heavy rainfall on ~May 7−8, 2015, feed on the meristems injured, and the resulting leaves appear crinkled and have holes in them (fig. 8). Whereas, higher cotton yield at the *C2H1KV-C2H3KV* in farm “A. Karimov” could be the reason of a better farm management. In general, the yield variability of cotton is corresponding to the environmental condition governed within these fields.

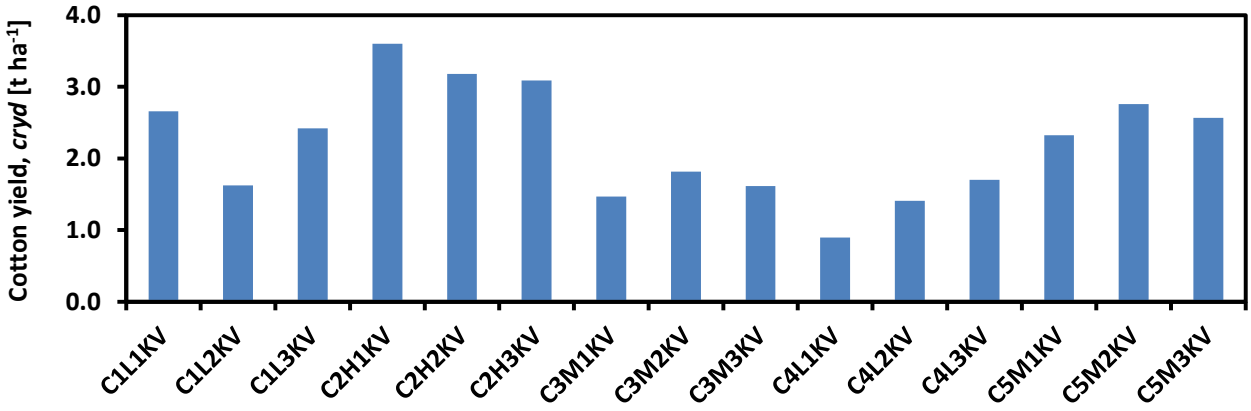


Fig. 6. In-plot variation of the cotton yield within the five fields

Note: Here, cotton yild comprises lint and seed yields and could be higher than actually reported yield by farmers as latter include various losses; for location and decsription of the field ID refer to table 1

Fig. 7. Injured cotton bolls by bollworm (left) and lint yield by aphis (right) at C3M1KV−C3M3KV in farm "Iroda-Ogiljon" (Photos taken on August 18, 2015)

Fig. 8. Manual harrowing of injured cotton after a heavy rainfall (left) and crinkled leaves with holes (right) at C4L1KV-C4L3KV in farm "Karomat" (Photos taken on May 12, 2015, left and June 15, 2015, right)

Range and dynamics of the vegetation indices (VIs)

The VIs curves for cotton, plotted as a function of time are given in fig. 9. The shape of the VIs curves during the growth period of cotton follows the 3rd order polinomial curve, which are similar as curves of the biophysical variables described in previous section.

The NDVI values (fig. 3A) ranged from 0.07±0.01 on April 19 (as 92−98% of land surface is barren during the germination stage of cotton) to 0.80±0.11 on August 9 (dense vegetation during the peak growth stage of cotton).

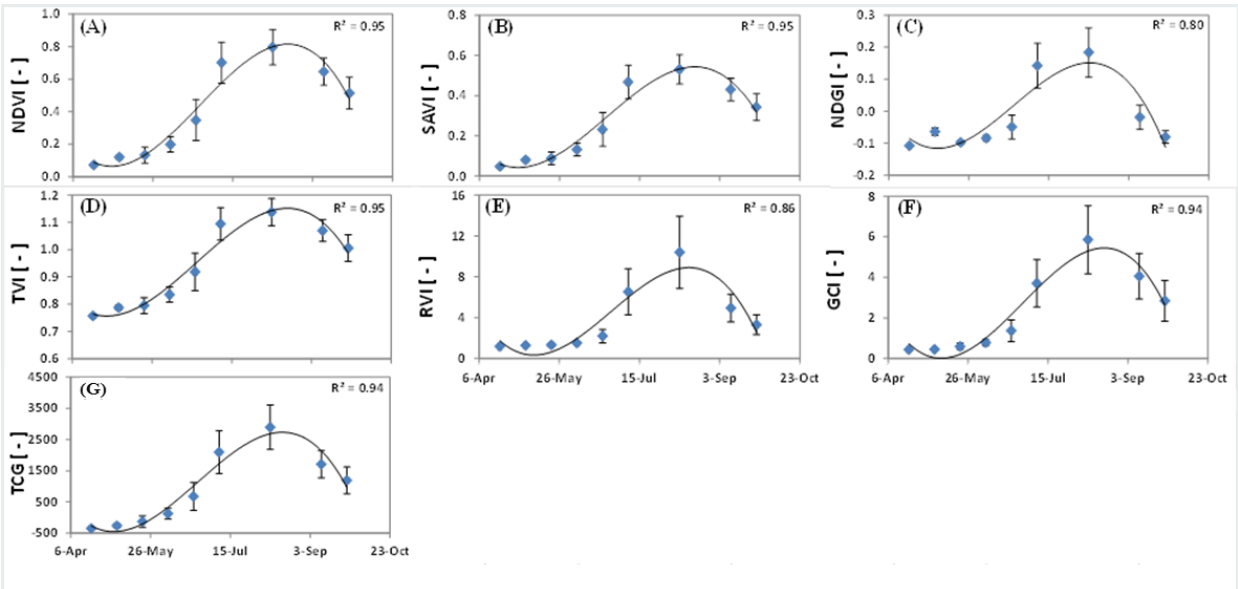


Fig. 9. Time course of the seven vegetation indices for cotton

Note: Dots are average values; outliers are standard deviation; dirk curve lines are 3rd order polynomial curve from average values of the variables as a function of calendar days

The values of the SAVI was 1/3 fold less than NDVI (in avergae) and ranged from 0.05±0.01 (on April 19) to 0.53±0.07 (on August 9) (fig. 3B).

The NDGI (fig. 3C) ranged from -0.11±0.00 (on April 19) to 0.18±0.08 (on August 9). Once cotton developed and canopy cover expand, variation of the NDGI values (difference between minimum and maximum) became high, e.g., 0.23−0.26 (July−August) due to higher reflectance in the green channel during the period.

The TVI (fig. 3D) was exponentially increased from 0.76±0.01 (on April 19) to 1.14±0.05 (on August 9) following the same curve-shape as three aforementioned VIs.

The range of RVI (fig. 3E) from 1.16±0.02 on April 19 (e.g., more bare soil) to 10.4±3.54 on August 9 (e.g., dense vegetation) is within the range of the findings of Jackson & Huete [1991], where RVI values of cotton in their study ranged from 1.43 (bare soil) to 20.2 (near-maximum green vegetation). The RVI is thus a non-linear measure of vegetation that is very sensitive to variations in areas with high vegetative cover but much less sensitive in areas with sparse cover.

The GCI (fig. 3F) ranged from 0.43±0.03 (on April 19) to 5.86±1.68 (on August 9).

Cotton after a week starts to germinate, however, major part of the soil surface still bare, which result smaller TCG value (i.e., 1270±670 on April 19). Once plant starts to grow up, the TCG would shift up until the peak vegetation stage (i.e., 2060±340 on August 9) and declines as the crop matured and then would 'tassel out' with senescence on September 26 (fig. 3G).

Spectro-biophysical relationships

The relationships between the various vegetation indices (VIs), and biophysical quantities (plant height, biomass, LAI/fPAR and yield), both linear and non-linear models have been developed based on the best-fit R^2 values [*Thenkabail*, 2003]. Pearson's correlation coefficient (R^2) and asymptotic p-values (approximated by using the *t* or *f-distributions*) for all possible pairs of spectro-biophysical parameters are calculated using the R software.

Crop height, biomass, fPAR and LAI related with VIs

Correlation coefficients and p-values for all possible pairs of spectro-biophysical parameters of cotton are given in table 4. It is obvious that the NDVI, SAVI, TVI and RVI of Landsat 8 (OLI) data had linear interrelationship between each other with strong positive correlation of R^2>0.9 (highly significant with *p*-value=0). It can be explained as these indices are based on reflectance values in the red and NIR wavelengths. For all the seven spectral reflectance indices, significant correlations ($R^2 \geq 0.92$, p=0) were attained only when these indices were compared at the anthesis and the peak crop growth stages (e.g., July and August shown).

When all the temporal spectro-biophysical variables were considered together for the entire growing period of cotton, positive logarithmic and power relationships between NDVI and *crht*, *gbm* and *lai* was observed (fig. 10 A, B, D). The saturation of NDVI due to large amounts of *gbm* and *lai* was evident [*Brandão et al.,* 2015; *Gutierrez et al.*, 2012] by the low NDVI changes at high biomass content (*gbm*>2.0 kg) and leaf area index value (*lai*>2.3 m^2m^{-2}) at the peak growth stage. At this point, NDVI tended to reach an asymptote at values between 0.81 and 0.88. In contrast, the linear relationship between NDVI and *fpar* was negative where NDVI increasing per decrease of *fpar* (fig. 10 C). In general, the spectral indices showed a logarithmic function relationship with *crht*, power function relationship with *gbm* and *lai*, and linear function relationship with *fpar* during the entire growing period of cotton (table 5). Among 7 VIs tested in this study, the NDVI/SAVI and GCI explained 88 and 91 % of variation in *crht*, respectively. These three indices also well explained *gbm* variation (R^2=0.86). The TVI was slightly better explained *fpar* than NDVI and SAVI (all R^2>0.87). The NDVI, SAVI and TCG explained 82 % of variation in *lai*. Obtained regression equations with higher R^2 (table 5) can be used to predict cotton biophysical variables. However, crop types must be first discriminated before individual spectro-biophysical quantitative relationships are applied to spatially map within and between farm variability in every farm and every pixel within a farm [*Thenkabail*, 2003].

Table 4. Correlation matrix of the spectro-biophysical parameters for cotton

All cases, n=72 (all dynamic variables are used for entire growing period of cotton)

crht	0.77	0.76	-0.92	0.90	0.90	0.62	0.91	0.73	0.88	0.86
0.000	**gbm**	0.86	-0.79	0.82	0.82	0.74	0.81	0.85	0.87	0.85
0.000	0.000	**lai**	-0.84	0.88	0.88	0.83	0.88	0.91	0.89	0.91
0.000	0.000	0.000	**fpar**	-0.93	-0.93	-0.71	-0.94	-0.80	-0.91	-0.91
0.000	0.000	0.000	0.000	**ndvi**	1.00	0.86	1.00	0.90	0.95	0.98
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	**savi**	0.86	1.00	0.90	0.95	0.98
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	**ndgi**	0.84	0.94	0.78	0.90
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	**tvi**	0.89	0.94	0.98
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	**rvi**	0.92	0.96
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	**gci**	0.96
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	**tcg**

Note: variables on diagonal stand for crht — crop height; crds — crop density; gbm — crop green biomass; lai — leaf area index; fpar — fraction of photosynthetic active radiation below canopy; and others are vegetation indices described in table 3. The distribution of each variable is shown on the diagonal; on the top of the diagonal — the value of the R^2; on the bottom of the diagonal — significance level (p-values)

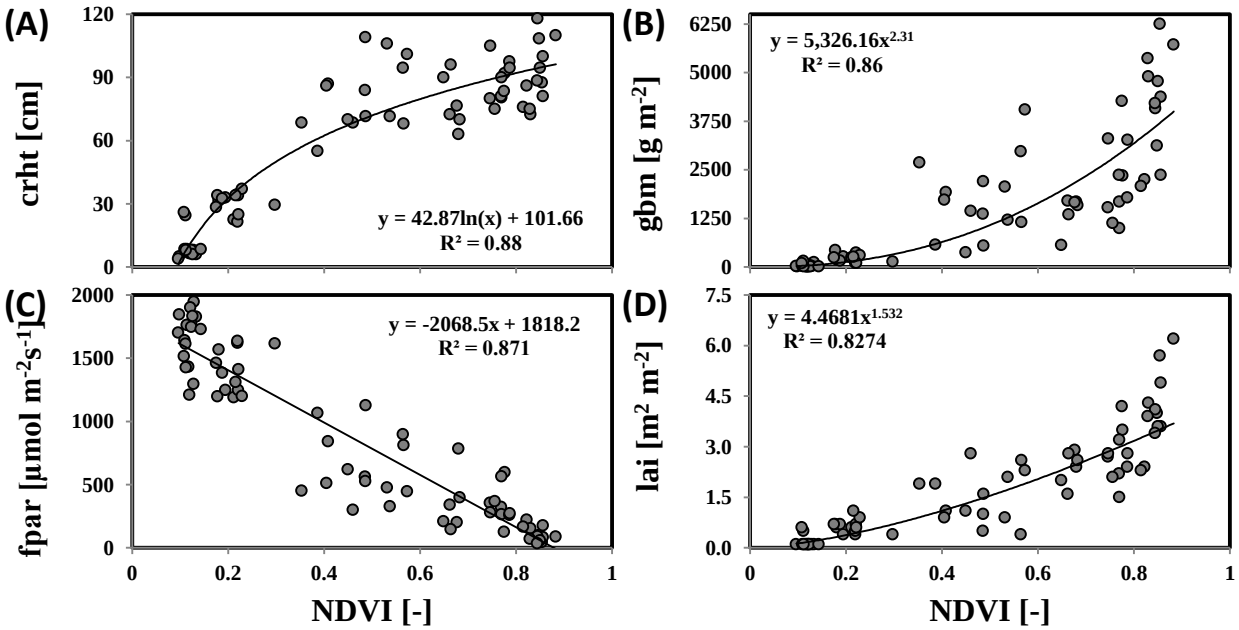


Fig. 10. Relationship between (A) crop height (crht), (B) green biomass (gbm), (C) fraction of photosynthetic active radiation below canopy (fpar) and leaf area index (lai) as a function of normalized differential vegetation index (NDVI) during the growing period of cotton

Table 5. Regression parameters of biophysical variables as a function of VIs for cotton

	crht	***gbm***	***fpar***	***lai***
NDVI	$y = 42.87\ln(x) + 101.66$ $R^2 = 0.88$	$y = 5326.16x^{2.31}$ $R^2 = 0.86$	$y = -2068.5x + 1818.2$ $R^2 = 0.871$	$y = 4.4681x^{1.532}$ $R^2 = 0.8274$
SAVI	$y = 42.87\ln(x) + 119.05$ $R^2 = 0.88$	$y = 13{,}567.20x^{2.31}$ $R^2 = 0.86$	$y = -3103x + 1818.2$ $R^2 = 0.871$	$y = 8.3172x^{1.532}$ $R^2 = 0.8274$
NDGI*	$y = 172.04x + 53.801$ $R^2 = 0.3806$	$y = 9486x + 1307.6$ $R^2 = 0.5472$	$y = -3536.4x + 937.55$ $R^2 = 0.5091$	$y = 9.7194x + 1.5175$ $R^2 = 0.69$
TVI	$y = 213.27\ln(x) + 66.49$ $R^2 = 0.85$	$y = 800.05x^{11.36}$ $R^2 = 0.82$	$y = -4034.3x + 4774.7$ $R^2 = 0.8807$	$y = 1.2785x^{7.5344}$ $R^2 = 0.7975$
RVI	$y = 35.76\ln(x) + 15.70$ $R^2 = 0.73$	$y = 52.66x^{1.92}$ $R^2 = 0.71$	$y = 2194.3x^{-1.172}$ $R^2 = 0.8458$	$y = 0.2105x^{1.2828}$ $R^2 = 0.7247$
GCI	$y = 32.45\ln(x) + 37.52$ $R^2 = 0.91$	$y = 172.79x^{1.71}$ $R^2 = 0.86$	$y = 979.31x^{-0.915}$ $R^2 = 0.7812$	$y = 0.4722x^{1.0996}$ $R^2 = 0.7857$
TCG*	$y = 0.0236x + 29.089$ $R^2 = 0.7339$	$y = 1.07x + 217.03$ $R^2 = 0.72$	$y = -0.4445x + 1397$ $R^2 = 0.8253$	$y = 0.0011x + 0.4185$ $R^2 = 0.8197$

*NDGI and TCG had a linear relationship due to negative values

Yield related with VIs

Among all VIs, GCI, NDGI and RVI were found to be the best predictor of cotton yield during August, explaining 76−79 % variability ($p<0.001$, table 6). The VIs-*cryd* relationships can be improved certainly if crop yield data from the farm "Iroda-Ogiljon" (e.g., C3M1KV, C3M2KV and C3M3KV) is omitted in the regression analysis. This is because, although, cotton at this field was better developed and had relatively higher density, biomass, LAI (refer to fig. 3) and thus higher VIs, the yield was rather low (e.g., 1.5−1.8 t ha^{-1}) compared to other fields (refer to fig. 6).

Table 6. Correlation matrix of the spectro-biophysical parameters and yield of cotton during August, 2015 (cryd — crop yield and other variables are same as described in Table 4)

crht	0.23	0.39	0.44	-0.58	0.28	0.55	0.55	0.59	0.54	0.68	0.68	0.58
0.421	**crds**	0.24	0.55	-0.32	0.47	0.49	0.49	0.46	0.49	0.43	0.47	0.39
0.165	0.406	**gbm**	0.70	-0.79	0.60	0.63	0.63	0.67	0.63	0.67	0.66	0.71
0.111	0.040	0.005	**lai**	-0.49	0.75	0.52	0.52	0.59	0.51	0.68	0.66	0.59
0.031	0.258	0.001	0.073	**fpar**	-0.52	-0.74	-0.74	-0.80	-0.73	-0.78	-0.79	-0.83
0.335	0.093	0.023	0.002	0.059	**cryd**	0.69	0.69	0.77	0.68	0.79	0.76	0.73
0.041	0.075	0.016	0.059	0.002	0.007	**ndvi**	1.00	0.96	1.00	0.92	0.96	0.96
0.041	0.075	0.016	0.059	0.002	0.007	0.000	**savi**	0.96	1.00	0.92	0.96	0.96
0.025	0.097	0.009	0.025	0.001	0.001	0.000	0.000	**ndgi**	0.96	0.98	0.99	0.98
0.045	0.076	0.017	0.064	0.003	0.008	0.000	0.000	0.000	**tvi**	0.91	0.95	0.95
0.008	0.121	0.009	0.007	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	**rvi**	0.99	0.96
0.008	0.092	0.010	0.011	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	**gci**	0.97
0.028	0.169	0.004	0.025	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	**tcg**

CONCLUSIONS

It is interesting to mention that yield/production forecasting depends upon the data collection technique from ground-based field visits that constituted sample surveys based on crop harvesting experiments. These yield surveys are extensive as plot yield data are collected through stratified multistage random sample techniques. From the data obtained in this way yields can be forecasted at the regional and national level. However, such a technique has three major drawbacks: (i) it is time-consuming, subjective, and prone to significant discrepancies as a result of

insufficient ground observations that cause poor crop production assessment; (ii) the outcomes are usually made available to the government and public after several months of the harvesting of the crop; and (iii) it is costly, depending on the survey areas.

Currently, the ground-based data collection method is in practice in Uzbekistan and district/province branches of the Ministry of Agriculture and Water Resources (MAWR) and State Committee on statistics of the republic of Uzbekistan are responsible organizations for that. These organizations collect data at the basic administrative level/unit (i.e. massifs) and then aggregate at the district, region and country-levels.

In this context, remote sensing-based methods have already been proven as an effective alternative for mapping crop area, biophysical parameters and yield forecasting. The benefits of remote sensing technology include: (i) spatial coverage over a large geographic area; (ii) availability during all seasons; (iii) relatively low cost, since some optical images are freely available (*i.e.*, MODIS, Landsat); (iv) efficient analysis; (v) they provide information in a timely manner; and (vi) they are capable of delineating detailed spatial distributions of areas under crop cultivation.

One of the most important issues is that regardless the employed method (*i.e.*, ground or remote sensing-based) the user requires fast, reliable (accurate), less costly, and least labor-intensive ways; and also forecasting should take place prior to harvesting of the crop.

In this study, our objective was to quantify within and between field variability of vegetation status (i.e., crop height, biomass, fPAR, LAI) and yield using vegetation indices from historical and near-real-time Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Sensors. The best regression equations developed from the spectro-biophysical analysis can be used for mapping crop areas and forecasting its biophysical variables and production and thus can provide the basis of the use of remote sensing imagery for precision-farming applications.

Based on spectro-biophysical analysis, VIs derived from RS data on July and August (anthesis and peak growth stages of cotton) is more reliable to use for modeling cotton yield (seed and lint yields together). Therefore, field data collection is recommended to perform during these months taking into account visual observation of in-field crop condition; canopy cover under diverse strata (environmental condition) coupled with Landsat-8 data acquisition date. In addition, September 5–20 is the second important period (i.e., cotton pick-up) to conduct yield data collection for establishment of relationships between cotton yields with VIs (July−August).

ACKNOWLEDGMENTS

This work has been conducted under the framework of LaVaCAA project supported by Volkswagen Foundation (Application No A111995). The authors thank to farmers for their permission to conduct in-situ measurements of cotton biophysical parameters and yield. In-situ data collection has been carried out by I. Sattarov.

REFERENCES

1. *Anderson G.L., Hanson J.D., Haas R.H.* Evaluating Landsat Thematic Mapper derived vegetation indices for estimating above ground biomass on semiarid rangelands. Remote Sensing of Environment, 1993. V. 45. P. 165–175.

2. *Babar M.A., van Ginkel M., Klatt A.R., Prasad B., Reynolds M.P.* The potential of using spectral reflectance indices to estimate yield in wheat grown under reduced irrigation. Euphytica, 2006. V. 150. P. 155–172.

3. *Baig M., Zhang L., Shuai T., Tong T.* Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. Remote Sensing Letters, 2014. V. 5. P. 423–431.

4. *Brandão Z., Sofiatti V., Bezerra J., Ferreira G., Medeiros J.* Spectral reflectance for growth and yield assessment of irrigated cotton. Australian Journal of Crop Science, 2015. V. 9. P. 75–84.

5. *Chamard P., Courel M.F., Ducousso M., Guénégou M.C., Le Rhun J., Levasseur J.E., Loisel C., Togola M.* Utilisation des bandes spectrales du vert et du rouge pour une meilleure évaluation

des formations végétales actives. Télédétection et Cartographie, Éd. AUPELF-UREF, 1991. P. 203–209 (in French).
6. *Djanibekov N*. Introducing water pricing among agricultural producers in Khorezm, Uzbekistan: An economic analysis. Environmental Problems of Central Asia and their Economic, Social and Security Impacts. Springer Netherlands, 2008. P. 217–240.
7. *Gitelson A.A., Viña A., Arkebauer T.J., Rundquist D.C., Keydan G., Leavitt B*. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. Geophysical Research Letters, 2003. V. 30. No 1248. DOI: 10.1029/2002GL016450.
8. *Gutierrez M., Norton R., Thorp K.R., Wang G*. Association of spectral reflectance indices with plant growth and lint yield in upland cotton. Crop Science, 2012. V. 52. P. 849–857.
9. *Huete A.R.* A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 1988. V. 25. P. 295–309.
10. *Jackson R.D., Huete A.R.* Interpreting vegetation indices. Preventive Veterinary Medicine, 1991. V. 11. P. 185–200.
11. *Jordan C.F.* Derivation of leaf-area index from quality of light on forest floor. Ecology, 1969. V. 50. P. 663–666.
12. *Knipling E.B.* Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near- infrared radiation from vegetation. Remote Sensing of Environment, 1970. V. 1. P. 155–159.
13. *Löw F., Duveiller G*. Defining the spatial resolution requirements for crop identification using optical remote sensing. Remote Sensing, 2014. V. 6. P. 9034–9063.
14. *Perry C.R., Lautenschlager L.F*. Functional equivalence of spectral vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 1984. V. 14. P. 169–182.
15. *Pettorelli N*. The normalized difference vegetation index. New York: Oxford University Press, 2013. 194 p.
16. *Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W*. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351. Washington, DC: NASA, 1973. V. 1. P. 309−317.
17. *Schluter M., Khasankhanova G., Talskikh V., Taryannikova R., Agaltseva N., Joldasova I., Ibragimov R., Abdullaev U*. Enhancing resilience to water flow uncertainty by integrating environmental flows into water management in the Amudarya River, Central Asia. Global and Planetary Change, 2013. V. 110. P. 114–129.
18. *Thenkabail P.S.* Biophysical and yield information for precision farming from near-real-time and historical Landsat TM images. International Journal of Remote Sensing, 2003. V. 24. P. 2879–2904.
19. *Tucker C.J*. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 1979. V. 8. P. 127–150.

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-309-316

Ilkhom A. Begmatov[1], **Bakhtiyar Sh. Matyakubov**[2], **Doniyor E. Akhmatov**[3], **Mukhayo V. Pulatova**[4]

ANALYSIS OF SALINE LAND AND DETERMINATION OF THE LEVEL OF SALINITY OF IRRIGATED LANDS WITH USE OF THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM TECHNOLOGIES

ABSTRACT

In Uzbekistan, more than half of population lives in rural area, their well-being depends on quality of land and water resources availability. Quality of land is determined by ameliorative indicators: ground water depth level, ground water salt amount and salinity of soil. These factors do not appear naturally but rather due to the human activity. Inefficient irrigation and excessive consumption of irrigation water on irrigated land in Boyavut District of Syrdarya region of Uzbekistan within several decades have led to a salinization of soil. The primary objective of this article is determination of the level of salinity of soil for modelling spatial distribution of soil salinity throughout an irrigated land by using GIS technology. This technology is focused on automation of development and creation of ameliorative maps, while totally eliminating manual operations. Nowadays, ameliorative expedition specialists still create cadastral map using tracing paper over the marginal areas within irrigated lands based on their ameliorative conditions and by selecting from the three thematic maps and then selecting the poorest conditions of ameliorative indicators. The suggested technology is designed for professionals of cadastral subdivisions of regional ameliorative expeditions, who use the GIS-based software, such as ArcView 3.2. or ArcGIS 10x; their duties include creating of thematic maps based on salinity levels of irrigated lands. Exact coordinates of collection sites of soils samples (collected in 2018−2019) were determined using GPS. The Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method was applied to use that data to create ameliorative maps categorized by the salinity levels (non-saline, slightly saline, saline area and highly saline areas). Those maps were then analysed to develop procedures on how to improve ameliorative conditions of irrigated areas.

KEY WORDS: Syrdarya region, soil degradation, the degree of salinization of soils, land reclamation cadaster, GIS

INTRODUCTION

Uzbekistan is currently developing in all areas of rapid growth, which has not been neglected in the field of water reclamation. First of all, let's talk about the relevance of this article. Prior to the introduction of GIS technologies in the field of reclamation, land reclamation map was a problem for staff, for example, one district needs 10−12 working days to produce a single soil salinity map, whereas there are more than 10 districts in the region. This means that a lot of time and staff salaries required a substantial budget.

We are currently on a high-performance, low-cost labor force using GIS technology, which is the application of GIS technology to analyze and evaluate soil salinity [*Abdelfattah et al.*, 2009].

[1] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kori Niyaziy str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **ilkhommatbe@mail.ru**
[2] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kori Niyaziy str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **bmatyakubov@inbox.ru**
[3] Department of Ameliorative Expedition of Adminstration of Low Syrdaya Basin Irrigation System, A.Timur str., 53, Gulistan, Syrdarya, Uzbekistan; *e-mail:* **doniyor19940802@gmail.com**
[4] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kori Niyaziy str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **mukhayo94@mail.ru**

Geographic information system (GIS) “Amelioration” of the region is based [*Abdul-Qadir et al.,* 2010] on thematic ameliorative spatial data, which are used in the form of the distributed data bases at construction of true-to-life <maps> <reflecting> current ameliorative situation of irrigated lands in the region, and are used in cartographic materials and ameliorative cadastre.

In the absence of a corresponding set of ameliorative indicators (ground water level (GWL), ground water salt content (GWSC), the data on extension of the level of salinization of soil with monitoring of distribution of salts in the soil layer in the thickness of one metre, salts carry-over by collector-and-drainage network) and ensuring continuous updating of the specified spatial data, the GIS “Amelioration” cannot provide the ameliorative cadastre with the visualised objective data[1]. Which materials are used for development of the measures focused on improvement of the ameliorative condition of the land, and, as a result, aimed at enhancement of yield of the basic crops[2].

The use in productive activity of the ameliorative expedition is aimed at maintenance of uniformity of the field data acquisition technology for future use in the database of the GIS “Amelioration” and updating with chronological and current data of the ameliorative cadastre[3].

The information, collected in field conditions, will be substantially interesting for assessment through a spatial situation analysis of movement of subsoil water, accumulation of salts at separate irrigated land areas and determination of associated conditions [*Rahimov, Saidov,* 2019].

The salinization of water management soil and the practical use of water in furrow irrigation were studied, as well as the transpiration of water from a field site[4] [*Kenjabaev et al.,* 2020].

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

Based on the normative instruction No 132 dated June 26, 2007, approved by the Ministry of Agriculture and Water Management, it is indicated that the establishment of sowing plots available in our Republic and the level of development of crops is carried out in August. Primary field observations are conducted in the context of water consumers.

Field observations are carried out by agronomists, soil experts and land reclamation technicians, together with the heads of Water Consumer Associations and heads of farms.

Points of soil collection are determined by the contour of areas where the crop development is good, medium or fair.

At the same time, according to the level of development of crops, a relative level of soil salinity is established. In particular:

- plots with good crop development belong to the class of least saline plots;
- plots with medium crop development — to the class of plots of medium salinity;
- plots with poor crop development — to the class of the most saline plots, which are marked in the working map with a scale of 1: 10 000 and are recorded in the journal.

Soil samples with slightly saline level are determined using 10 points for every 100 ha of land, while soil samples with medium and high salinity levels at 16 points for every 100 ha of land, namely:

---

[1] *Begmatov I.A.* Land meliorative status in irrigated lands of Syrdarya province. Journal of European Science Review. Austria, Vienna, 2017. P. 177−181

[2] *Ikramov R.K., Begmatov I.A.* Up-to-date melioration state of irrigation area of the Hungry Steppe (uzber part) and ways of sustainable increasing their productivity. Irrigation and melioration. Tashkent, 2015. No 2. P. 14−17

[3] *Ikramov R.K., Schzdyukova L.Kh., Saidov A.A., Begmatov I.A.* The present meliorative statatus and meliorative regime of irrigated lands of Syrdarya region. Materials of the Republican scientific and practical conference. Issues of improving the effective use of water resources and improving land reclamation and environmental ecology. Tashkent, 2012 (in Russian)

[4] *Mohan R., Jumaboev K., Matyakubov B., Eshmuratov D.* Evaluation of furrow irrigation practices in Fergana Valley of Uzbekistan. Agricultural water management, 2013. P. 133−144

- in non-saline areas (according to the salinity established for the previous year), up to 15-25 hectares can be established depending on the hectares along the contour;
- in slightly saline areas (with good crop development) — up to 10−12 ha, depending on the hectares along the contour;
- in areas of moderate salinity (with medium crop development) — up to 7−8 ha, depending on the hectares along the contour;
- in areas of severe salinity (with poor development of crops) — it is necessary to establish up to 5−7 ha depending on the hectares along the contour, since with a small area attached at the point of soil intake, the accuracy of the data obtained will be the highest [*Rahimov, Saidov,* 2019].

On the working map, sampling points for soil samples are determined and, after drawing the point limits, farm boundaries, observation wells, canals and reservoirs, slightly saline areas turn yellow, areas of medium salinity turn brown, and underdeveloped areas turn red depending on what was discovered during studying in each field with field visits such characteristics of crops as color, growth, plant density, color of the upper soil layer.

Corresponding notes are entered in the observation journal if, for example, the development of a cotton crop in normally saline areas amounts to 12−15 boxes, in medium-saline areas 10−12, and in underdeveloped areas the number of boxes is 8−10 [*Yulbarsov,* 2019]. After studying the map and data by the engineer and agronomic soil scientists of the department, the identified deficiencies are eliminated and a permit for soil collection is issued.

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSION

Golodnaya steppe is a vast intermountain plain, completely deserted in the past, located on the left bank of Syrdarya River in mid-channel thereof. The Uzbekistan part of Golodnaya steppe is a part of the Syrdarya region and includes 8 administrative districts (fig. 1).

Total area — 427,618 thousand ha, including those irrigated — 287 thousand ha. Climate is sharp continental, average long-term amount of precipitations of 260−312 mm. Northern part of the plain, from a surface to 15−40 m, is represented by loessial loams with underlaying gravel-sandy deposits; Southern part is represented by deluvial and proluvial, and by peripheral deposits of alluvial cones of ephemeral flows from the Turkestani ridge hillside.

The soils in composition are more than on 60 % light and middle loamy, and on 28 % are heavy loamy and clayey. Under current conditions, 222 thousand ha of irrigated land are exposed to salinization at varying level, including 117 thousand ha are medium and and highly saline. The area of the land, where the ground water depth level is up to 2 m, is 83 thousand ha, and with the salt content of more than 3g/l — 204 thousand ha.

The basic natural factors of formation of hydrogeologic and ameliorative conditions of Golodnaya steppe are: land forms, lithologic structure of the rocks of the aeration zone, water-bearing horizons and chemical composition of subsurface water. All three factors determine the degree of natural drainage conditions of the territory. The nature of anthropogenous impact (irrigation, hydromeliorative systems, construction of water-storage basin) influences dynamics and trend of development of exogenous geological processes (raised water table and salinization of rocks of the aeration zone), which is responsible for ameliorative condition of land.

First of all, we install the ArcGIS program on the computer and determine the boundaries of the required area.

We carry out sampling of soil samples and using GPS indicate the dynamic point of soil intake on the map (fig. 2 and 3).

After that, we summarize the boundaries of a specific plot, dynamic points designed using GPS, data received from the laboratory using these points (fig. 4).

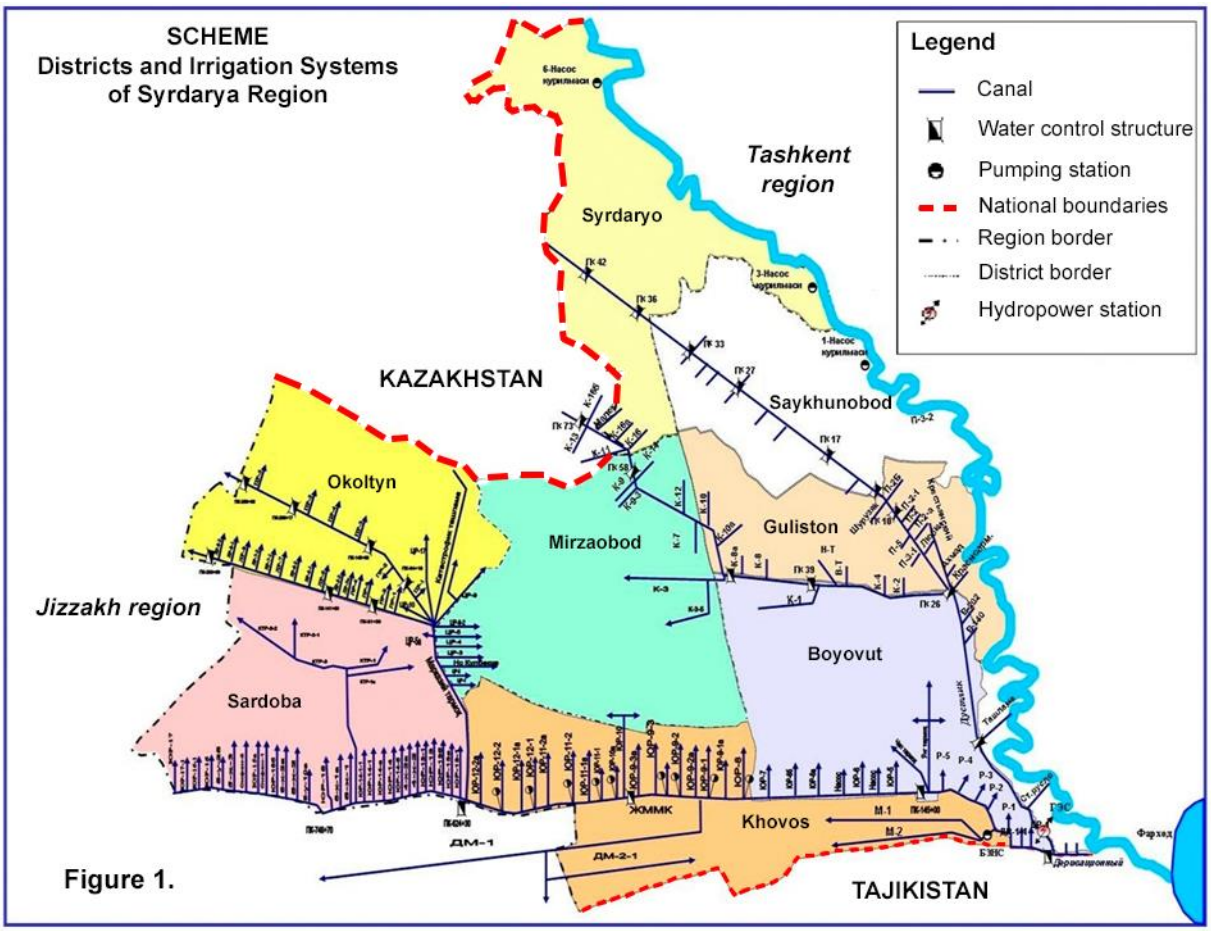


Fig. 1. The map of the districts of the Syrdarya region with the irrigating system

Fig. 2. Process of obtaining in suite data

Fig. 3. Determine the content of chloride in the selected soil samples in laboratory

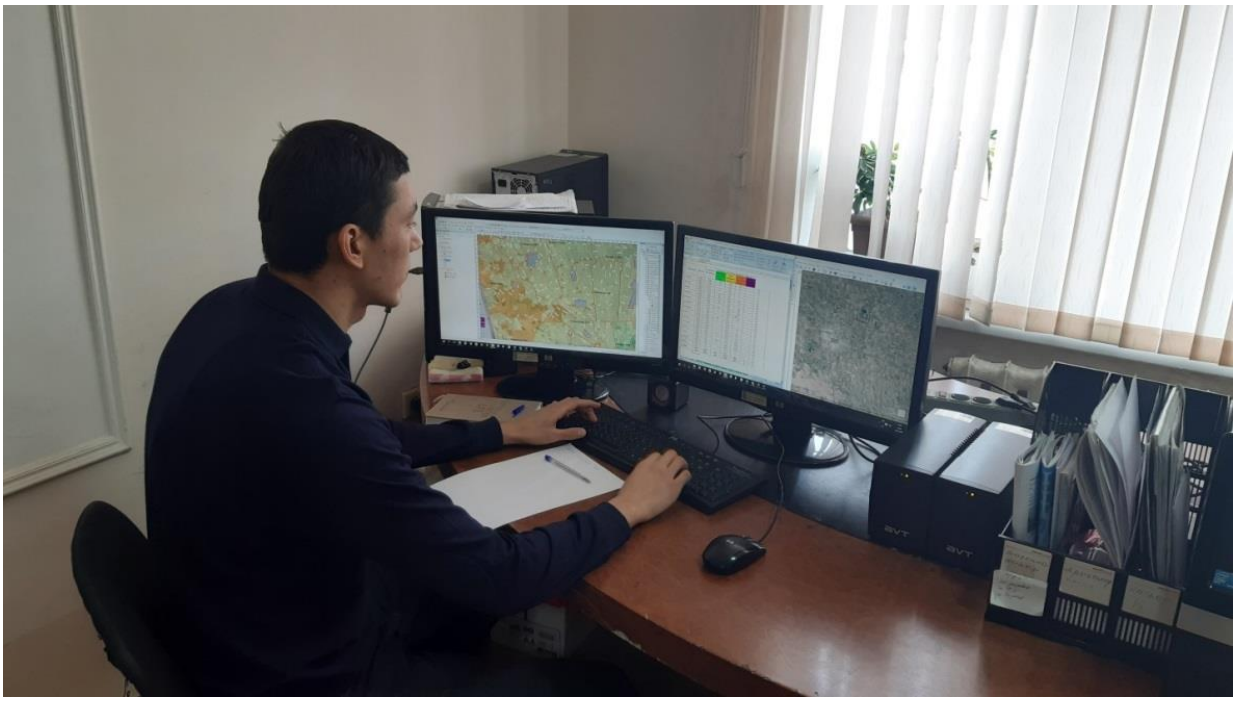


Fig. 4. Entering the obtained data into the GIS database

Open the ArcMap application and go to the Spatial Analyst toolbar in the ArcToolbox window (fig. 5). We derive the data analysis within the required plot using the IDW Interpolation algorithm method and at the next stage we divide the data obtained by classes:

Non-saline 0−0.01, lightly saline 0.01−0.03, average salinity 0.03−0.07, highly saline 0.07 <.. etc. [*Tursunov*, 1981].

From the existing reclamation map, we determine the tables, that is, the state of the hectares, for this we use the formula:

[COUNT] / 100 * LUC.

Where, COUNT is number of pixels (10*10 m) for each category, LUC is land use coefficient and this was calculated as: Agricultural land area of district (Netto area) divided by overall area (Brutto area) of the district.

Table 1. Information on the degree of salinization of land in the farms of the Boevut district as of October 1, 2018−2019

Farms	Years	Irrigated area, ha	Degree of salinization of land by chlorine, %		
			Non-saline area, ha	Slightly saline area, ha	Saline area, ha
Latipov	2018	1320	40	1169	111
	2019	1320	30	1279	11
Navoiy	2018	1177		1173	4
	2019	1177	9	1159	9
Navruz	2018	1274		1272	2
	2019	1274	627	647	
Tarraqiyot	2018	1983	30	1853	100
	2019	1983	12	1834	137
Maxmudov	2018	1046	9	1034	3
	2019	1046		808	238
Dehqonobod	2018	2418	130	2138	150
	2019	2418		1950	468
Sh. Rashidov	2018	1096		764	332
	2019	1096		864	232
Boyovut-1	2018	6208	83	6121	4
	2019	6208	4	6204	
Gallakor	2018	2749		2749	
	2019	2749		2739	10
U. Yusupov	2018	4259		4250	9
	2019	4259		4044	215
Boyovut-3	2018	5871	8	5853	10
	2019	5871		5634	237
Galaba	2018	3414		1174	2240
	2019	3414	16	1730	1668
Navbaxor	2018	2697		1665	1032
	2019	2681		1907	774
Shirin	2018	785		777	8
	2019	785		781	4
Total	**2018**	**36297**	**300**	**31992**	**4005**
	2019	**36281**	**698**	**31580**	**4003**

Primary reasons of the stated ameliorative condition

The average salt content in irrigating water has changed by months from 0.9 g/l to 1.6 g/l within last three years.

Taking into account that irrigating water salt content has increased in 2−3 times (the standard salt content in irrigating water is 0.5 g/l), then the situation is worsening more.

Based on the data of the Department of Ameliorative Expedition of Adminstration of Low Syrdaya Irrigation System, water availability for fields irrigation is 0.95 within a vegetative period. Within non-vegetation period, despite satisfactory water supply of Syrdarya region, water

availability is 0.4. The reason is breach of operating procedures of washing, organisational shortcomings. Actually, water supply in the district is insufficient.

The factor of washing regime of irrigated fields was C_w=0.87 that is insufficient for soil desalination (according to recommendations of the Central Asian Scientific Research Irrigation Institute (CASRII) it should be C_w = 1.2−1.3) [*Ikramov*, 2001].

According to the Department of Ameliorative Expedition of Adminstration of Low Syrdaya Irrigation System, capacity of interfarm and intrafarm canals has been reduced in past years.

Taking into account the above-stated data, the conclusion can be made that the groundwater table is raised every year. The reason is insufficient capacity of drainage systems.

The vertical wells water discharge is reduced in 3−4 times.

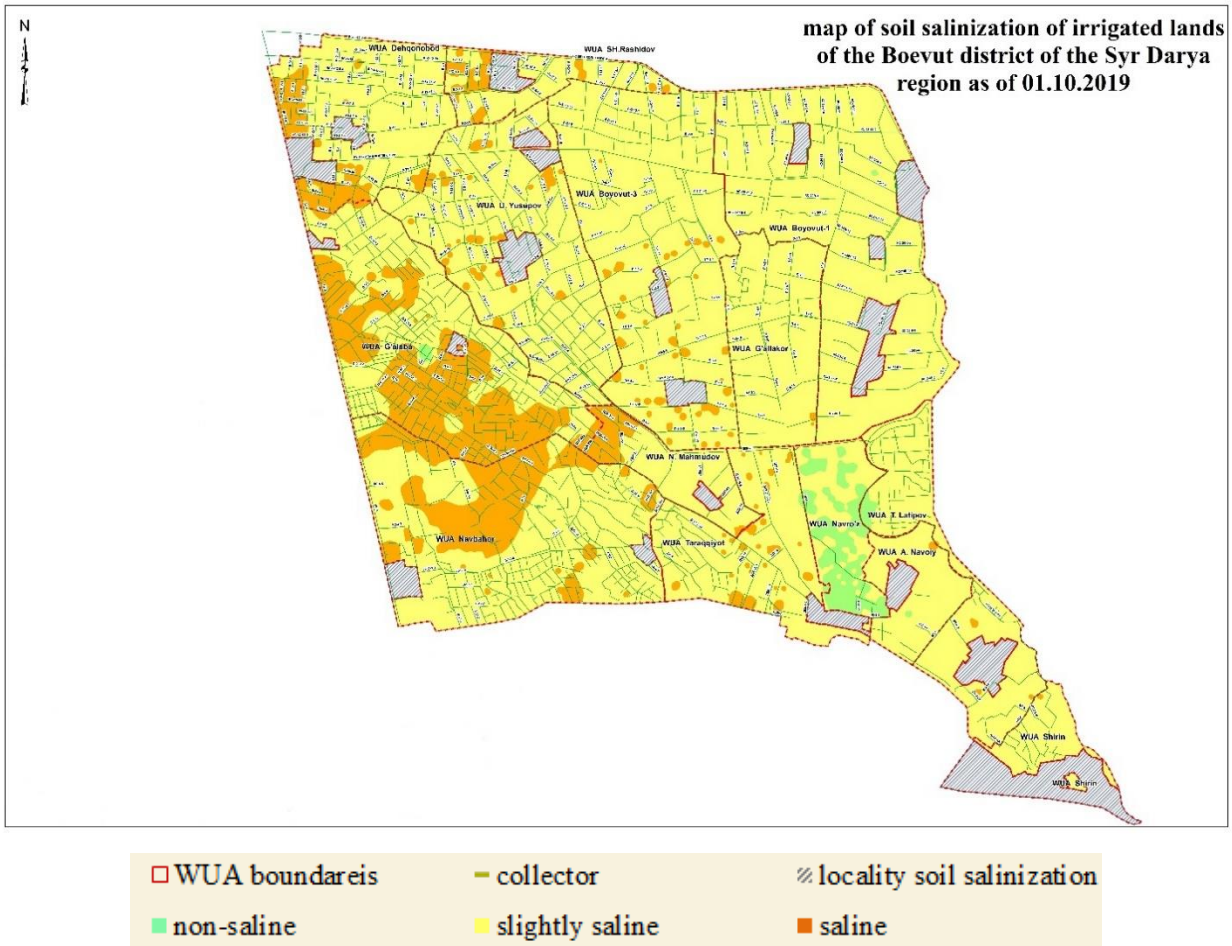


Fig. 5. Map of soil salinization of irrigated lands of the Boevut District of the Syrdarya region as of 01.10.2019

In 2018−2019, the groundwater table recedes on the irrigated lands of Boyavut district, but it did not exceed the threshold level recommended by the CASRII on more than 2−3 m within a vegetation period. There is a tendency of ground water salt content reduction: on the area of > 60 % — ground water salt content is above 3 g/l that is assessed as the unsatisfactory condition.

According to Department of Ameliorative Expedition, more than 90 % of land are slightly saline, however according to a soil survey, performed by the Committee of UzGeodezCadastre, the area of non-saline and slightly saline land is 51.46−71.25 %, remained (26.92−28.75 %) land is assessed as medium, highly and very highly saline. And this is more than the Department of Ameliorative Expeditions data on 10 % on average.

According to Department of Ameliorative Expedition, there is a tendency of soil salinity to decrease. Yield of cotton and wheat in district is low and medium (cotton — 23.8–27.9 centner/ha, wheat — 49.7–53.7 centner/ha).

CONCLUSIONS

Keeping inventory of soil samples collected on irrigated lands in Boyavut district is important as the data clearly shows salinity levels distribution across the area. Additionally, such a database allows exhibiting tendency of decline of ground water table levels and decreasing in ground water mineralization levels. For example, in 2018, slightly salinized soil was at 31 992 ha (88.14 %), while in 2019, same soil was at 31 580 ha (87.04 %). Similarly comparing soils with zero salinity levels, the area increased from 300 ha (0.83 %) in 2018 to 698 ha (1.92 %) in 2019. The latter has resulted in a higher yield harvest of all grown crops across the area.

The application of GIS and other advanced computer technologies will help to fairly and quickly identify lands that are subject to reclamation improvement, while complex reconstruction of irrigated lands allows for cost-performance. Specialists who are trained to apply GIS technology will be able to determine specific irrigated areas and fields that need to be effectively improved and subsequently maintained at their reclamation state. Widespread application GIS and remote sensing technologies for proper irrigation management as well as analysis of the condition of collector and drainage networks represents opportunities for monitoring ameliorative condition of agricultural lands.

ACKNOWLEDGEMENTS

The conducted research was funded by the Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan. The authors express their deep gratitude for the assistance in conducting research to the reclamation expedition staff of the Administration of Lower Syrdarya Basin Irrigation Systems.

REFERENCES

1. *Abdelfattah M.A., Shahid S.A., Othman Y.R.* Soil salinity mapping model developed using RS and GIS: A case study from Abu Dhabi, United Arab Emirates. Eur. J. Sci. Res., 2009. V. 26. P. 342−351.
2. *Abdul-Qadir A.M., Benni T.J.* Monitoring and evaluation of soil salinity term of spectral response using Landsat images and GIS in Mesopotamian plain Iraq. J. Desert Stud., 2010. No 2. P. 19−32.
3. *Ikramov R.K.* Principles of water-salt regime management of irrigated lands of Central Asia in conditions of water resources deficit. Tashkent: Hydroingeo, 2001. 192 p. (in Russian).
4. *Kenjabaev Sh., Frede H.G., Begmatov I., Isaev S., Matyakubov B.* Determination of actual crop evapotranspiration (etc.) and dual crop coefficients (kc) for cotton, wheat and maize in Fergana Valley: Integration of the FAO-56 approach and budget. Journal of Critical Reviews, 2020. V. 7. Iss. 5. P. 340−349.
5. *Rahimov N., Saidov R.* Assessment melioration condition of irrigated lands and its improvement. Info capital group. Tashkent, 2019. 95 p. (in Russian).
6. *Tursunov M.* Guidelines for salt testing of irrigated lands and determination of wash irrigation standards. Tashkent, 1981 (in Russian).
7. *Yulbarsov B.* Technical report of the Melioration expedition of Lower-Syrdarya irrigation systems Basin Department of Syrdarya for 2019. Syrdarya, 2019 (in Russian).

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-317-323

Allabergan R. Babajanov[1], Khudoyberdi A. Abdivaitov[2]

ORGANIZATIONAL SUPPORT FOR AUTOMATION OF LAND MANAGEMENT PROJECTING IN IRRIGATED AREAS OF UZBEKISTAN

ABSTRACT

The article describes in detail the ways in which agricultural enterprises operating in irrigated regions, including farms, create automated systems for the development and implementation of internal land management projects, the use of specialized expert systems based on artificial intelligence in assessing projects and their economic efficiency. Geographical information for the internal organization of farmland, in particular, the design of irrigation plots, crop rotations, forest plantations, field paths and irrigation canals, which are key elements in the territorial arrangement of the proposed sowing areas; ways to create such projects with wide application of GIS technologies in a short amount of time at low cost, as well as promptly eliminate deficiencies identified by expert systems. It is explained that the introduction of expert systems based on artificial intelligence into the practice of projecting of land management is more cost-effective than traditional estimation methods.

KEYWORDS: land management, project, automated systems of land management projecting, land information systems, expert systems

INTRODUCTION

Economic success is ensured by the creation of economic and organizational support of any event and its improvement in accordance with modern requirements. In particular, the use of modern information structures in various land management works in the irrigated territories of the country has allowed the creation of a new scientific direction “information support for land management”. It is worth noting that this trend has been developing slowly in Uzbekistan over the years, especially in modern land, agrarian and economic reforms. The problems of the formation and regulation of its economic and organizational support based on land management automation for some time have been one of the main areas of research by a number of scientists from the Commonwealth of Independent States (CIS) countries [*Papaskiri*, 2013; 2011; *Volkov*, 2010]. Issues of economic and organizational support for land management automation in the regions are still not fully resolved. Obviously, the automation of organizational and economic mechanisms of theoretical issues and practical significance. It is the development of theoretical provisions of the organizational and economic mechanisms of automation of land management projects in the process of land management for the irrigated regions.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

This research is based on the methodology of a systematic analysis of economic, environmental and social interactions in the region. It is based on theory about the land, theoretical and practical recommendations of Uzbek and foreign scientists, rules about the role and development of the automation the information support in land management and in projecting land management are set. Today, land management in the republic is characterized by a significant loss of state and

[1] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kari Niyaziy str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **alik5656@bk.ru**
[2] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (TIIAME), Kari Niyaziy str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **abdivaitov90@list.ru**

systemic nature, as a result of which a new land management system is being formed, the legislative framework in land relations and, in general, land policy is changing, and the problems that have accumulated in recent years are being addressed and the introduction of a qualitatively innovative, intelligent land management based on modern technologies [*Papaskiri,* 2011].

Along with the growing demand for land management, in particular, inter-farm land management related to the allocation of land for various purposes, the technology of its transfer began to change, which led to the penetration of information and communication technologies (ICT) in various areas of human activity. Today this is due to the emergence of a new information society. Information support for land management, therefore, now gives the logical side to this. It is well known that information plays an important role in the development of productive forces and industrial relations in modern society, and is also regarded as an object and instrument of labour, that is, not a resource, but a product of a specific activity. The work is carried out in our country over the past 25−30 years for the use and accelerated the development of ICT for the collection, storage, processing and transmission of data has led to radical changes in the economy and in the social sphere, having a profound impact on the life of every person in society. The role of information and communication technologies as one of the key factors in ensuring sustainable economic growth, a favourable innovative climate and, ultimately, improving the standard of living, is a comprehensive modern analysis and solution of emerging problems and events in this area a policy needs to are developed.

The transition to the information society enhances the role of information in solving problems of public administration, including land management. Therefore, the acquisition, storage, search, objective understanding and active use of information are the national importance, since it takes a certain amount of time and resources to create special systems based on the latest technologies and technologies. Working with information is becoming a widespread and popular profession. And the information itself is the main source of acceleration in all aspects of society. Information support includes the following components: the information itself; information Technology; information processing staff; spatial data infrastructure [*Volkov,* 2000]. Thus, a new scientific direction – the information support of land is appeared to ensure uninterrupted operation of the system [*Papaskiri,* 2016]. With the modern growth of information and the globalization of agricultural production, there is a global tendency to increase the level of methodological universalization, technological unity and the functional formation of information support for all types and types of land management along with land management processes [*Volkov,* 2014]. For this, first of all, it is necessary to create a database based on accurate and reliable information. At the same time, a land monitoring system will become an important source of comprehensive land management information.

The use of expert systems mentioned in scientific research is provided for the internal organization of the territory of agricultural enterprises (farms) in the irrigated regions of the Republic of Uzbekistan. Experiences of similar scientific researches of Russia and Kazakhstan on application of expert systems in internal organization of sites are used. Informational support of land management, especially in the areas of Uzbekistan based on artificial irrigation systems, will allow the effective use of such areas in the future. This means that relying on the methods of forming and creating a database for an irrigated area will yield positive results in the study.

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSION

The creation of an automated geodesy system (CAGS) in our country is based on the use of a specialized computer system that combines a large set of technical tools for collecting, storing, processing and lighting large-scale GIS-spatial graphic and text data. It is well known that information support and information systems are elements of information technology. The economic effectiveness of information technology and the application of any information system of any land project as a whole should be an important component of its feasibility study. The three main financial methods that are used to determine the economic effect of any land use projects, such as

net present value, internal rate of return, maturity use more often than others. All these financial methods are based on the principles of discounting. The probability method, which allows you to evaluate the economic effect of a land management project based on information technology is often a statistical method (some scientists and practitioners include the statistical method in the probability method, since the potential effect is not necessarily statistically significant). The number of different information technologies and the availability of sufficient statistics allow us to draw a number of qualitative conclusions.

As a result of the restructuring of farms and the redistribution of land related to land reform in 1990−2000, the composition of arable land, the crop rotation system and the creation of agricultural enterprises in general, the system of linear design elements in arable land was lost [*Volkov*, 2014]. These and other reasons (the general economic situation in the country, the nature of the land and the lack of financing on land) have led to the need for an inventory of land for monitoring and maintaining inventories. Today, there is an urgent need for large-scale inter-farm and home business planning and other types of work. In order to reduce cost, quality and timely execution, it will be necessary to increase the effectiveness of the following conditions:

1. Application of the latest information technologies for full environmental monitoring and land inventory.

2. Development of a theory of land management based on planning and rational use of irrigated land.

3. Development of economic and mathematical models for the optimization of arable land, including a scientifically based crop rotation system on irrigated territory as part of on-farm land management, including an internal economic assessment of arable land.

4. Justification of theoretical and methodological guidelines for the development and practical application of automated geodesy systems for the creation and creation of irrigated and erosion-prone territories.

5. Development of an automated land management design system for the internal organization of arable land using the latest information technologies based on graphic design with elements of artificial intelligence.

6. Analysis of the possible consequences of decisions made by the expert of land management system, the development of integrated land management projects, the creation of methodological foundations for information support (database) of graphic design automation.

7. Improving the methodological approaches to modelling irrigated and erosion-prone agricultural land, taking into account automated systems for designing land management.

8. Development of the system of economic, environmental, social and other indicators of efficiency for assessing the use and protection of irrigated and erosive agricultural land.

9. Development of a methodology for calculating the economic efficiency of using automation tools.

In general, automated systems of land management projecting are a very complex system that must be created in a special modular system. Each module consists of separate blocks, which is devoted to specific issues. Usually they need to create modules for specific applications (building digital terrain models, developing the elements of internal land management projects, forecasting land use resources, etc.) and some modules (blocks) which are divided into used universal programs. This is not to say that the use of expert systems (ES), along with other tools in creating computer-aided design systems and GIS, is one of the most promising areas today. This is due, first of all, to the poorly organized design of many project tasks for land management, the expert's involvement in the decision-making process, the ability to make various districts, but no less expensive decisions, the lack of a single algorithm for solving land use problems, and the increase in indicators at each subsequent design stage. The formalization of lacks in expert systems, the lack of expert theory in land management and the lack of a methodology for their design lead to the need to update the principles and methods of developing expert systems in the design process. Academician G.S. Pospelov said that "the creation of expert systems cannot follow the usual"

client-executor "scheme. This is not so, because any expert system is filled with certain knowledge, and not such an expert system" rather, it will be in the hands of the client" [*Pospelov,* 2014]. The use of expert assessment methods to increase the efficiency of CADS and GIS in land management and to facilitate the communication with them, especially when analysing the data and making design decisions. This method is used to assess the likelihood of the environment as a result of land management. If any negative changes are identified, it is necessary to revise the project in order to identify positive and reasons for their elimination. The use of expert assessment should be considered as a key step towards the creation of an expert land management system that combines empirical and formal knowledge about land management processes as a key element of expert assessment.

The development of an expert system for GIS will allow more efficient processing and analysis of data. In addition, an expert system will help individuals with extensive experience in modelling and computer data processing to become qualified specialists in the use of GIS. The problem of combining spatial data from different sources can be solved by developing data models. Such models should be combined with artificial intelligence methods to reduce space exploration. This will complement the development of expert systems for GIS.

GIS is an ideal environment for using artificial intelligence methods and expert systems. This is determined by the complexity and colour of GIS data, on the one hand, and the high availability of expert systems when using GIS. In particular, today GIS has specialized expert systems that can be used to positively resolve various issues, highlight map compositions, highlight their complex elements, obtain thematic maps, and support decision making [*Papaskiri,* 2014]. Expert systems are a complex set of applications for symbolic computing. Therefore, to facilitate the work of such programs, various tools have been proposed that take into account both the features and the content of information in the artificial intelligence system [*Papaskiri,* 2014]. Cotton and grain farms operating in irrigated areas have shortcomings in internal crop management projects, such as reduced production, increased capital investment, and increased transportation costs. In particular, the analysis of the results of the internal organization of arable lands of two farms in the Turkiston settlement in Urta Chirchik district of Tashkent region revealed the following shortcomings, in which the expert systems made the following recommendations. For example, in the process of designing land management in irrigated areas, there are some shortcomings in the internal organization of crop rotation, such as a decline in production, an increase in capital and transportation costs (table 1).

An economic feasibility study should be undertaken to identify such adverse events or deficiencies in the design process. This, of course, slows down the design process. Therefore, we recommend using the aforementioned knowledge models in developing the automated system of land surveying. At the same time, the system identifies shortcomings and recommends foreseen experts. The clearer the recommendations, the higher the level of expert systems, and the more effective the outcome.

The automated system of land surveying is one of the key areas for using an expert system. Such expert systems, which are considered as practical systems of artificial intelligence, are developing in the direction of expanding their intellectual capabilities. The development of expert systems is closely connected with the increase in the level of therapeutic knowledge in them.

In our opinion, the expert system used in land management is a set of languages and software tools for using formal knowledge of land management and recording with the help of computers to solve land issues by less experienced specialists [*Papaskiri,* 2001]. The development and application of such a system for land management should lead to the development of new design technologies and practical decisions. At the same time, traditional set of design stages is considered as the only problem of all complexity in their interconnectedness, and the decision-making process is carried out on the basis of the correct selection and evaluation of them in an automatic mode.

Table 1. Recommendations of expert systems

The character of the disadvantages	Economic Reasons	Expert systems recommendations for elimination
Place crop rotation		
Incomplete size of field and area	This will increase production costs	It is necessary to optimize the size of fields and fields
Not equal in fields	Significant changes in annual crop are observed in crop rotation	It is advisable to evenly distribute the sown area
Soils scattered across fields have different quality in terms of productivity.	In crop rotation, results vary over the years	It is necessary to ensure the same quality of soil fertility
Fields on the terrain are inaccurate	As a result of washing the soil, the amount of the intended product is not taken	The long side of the fields should be horizontal
Accommodation of protective forest		
The tufted forests on the relief are inaccurate	As a result of improper "working" of the forest belt, the intended product was not obtained	Forest strips should be re-positioned horizontally or vertically along the slope
Thickness of forest belts is low	Due to insufficient protected area, the amount of products also decreased	It is necessary to optimize the parameters of forest belts, that is, increase the thickness
Designing of field roads		
Thickness and width of field paths exceeded the norm	Production output decreased due to the use of arable land	It is necessary to remove excess roads, reduce the width, and maintain the roads that cover agricultural loads
The thickness and width of field paths are well below normal, with excessive curves on the roads	There is an increase in transportation costs	It is necessary to correct the roads being designed, to optimize their parameters

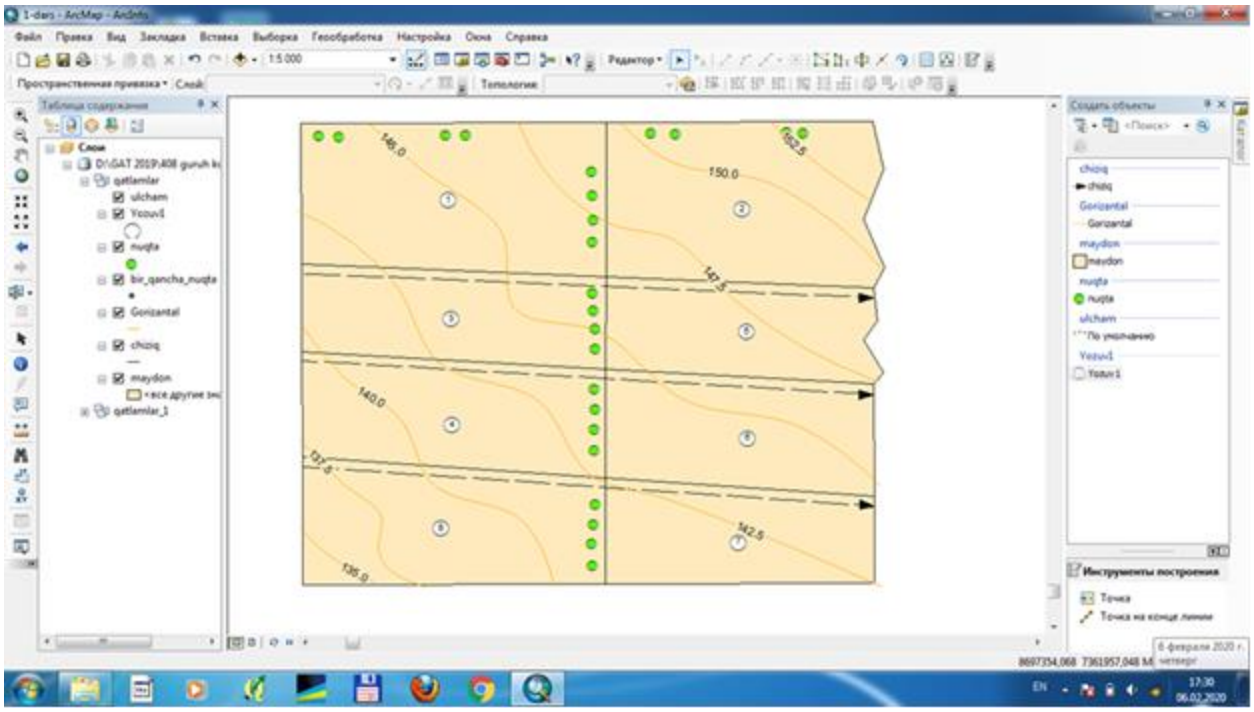


Fig. 1. The first option

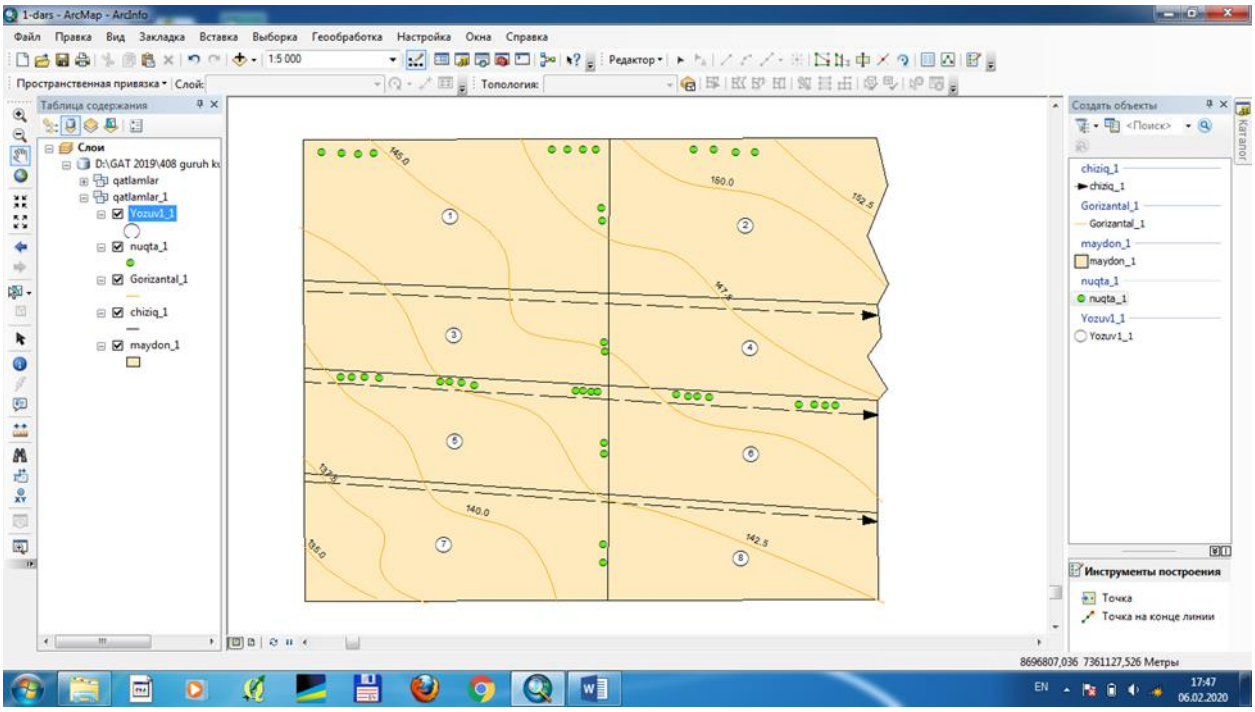


Fig. 2. The second option

Besides that, we use ArcGIS software for positioning crop fields in two variants (fig. 1, 2).

The results of the study should be considered as one of the first steps in the transition to a new land management, i.e. “digital land management” in the internal organization of agricultural land in Uzbekistan.

In particular, the project organization spent 2.1 thousand soums per hectare of arable land in the traditional way (from field observations to project approval) to develop a project for the internal organization of the above two farms, 30.4 thousand soums were spent on project.

CONCLUSIONS

Thus, the creation of automated designing systems based on the artificial intelligence and expert systems, the use of geoinformation systems and land information systems, and the use of irrigated land in the internal organization of the use of irrigated land will reduce costs by 35.0 % compared to traditional methods used by existing project organizations in the country. At the same time, as in other developed countries, it is also known as “smart land management” will be an important step in the transition.

1. On the basis of GIS, an automated system for the development of land management projects should be available that is fully used.

2. The use of artificial intelligence and an expert system in assessing the final results of projects for irrigated regions increases its viability and expands its capabilities.

REFERENCES

1. *Papaskiri T.V.* Automation of land management project. Moscow: State University of Land Management, 2016.

2. *Papaskiri T.V.* Automation of land management projecting (economics and organization). Moscow: State University of Land Management, 2013.

3. *Papaskiri T.V.* Creation of a system of automated land management design and a package of applied programs for performing priority types of land management and related works in the Russian Federation. Moscow: State University of Land Management, 2014.

4. *Papaskiri T.V.* Information support of land management. Moscow: State University of Land Management, 2013.
5. *Papaskiri T.V.* Information support of modern land management. Land Management, Cadastre, Land Monitoring. Publishing House Panorama, Athena Publishing House, 2011. V. 5. P. 29–40.
6. *Pospelov G.S.* Artificial intelligence is the basis of new information technology. Moscow: Progress, 2014.
7. *Volkov S.N., Avezboev S.A.* Automated systems of land management projecting. Tashkent, 2014.
8. *Volkov S.N., Loyko P.F.* Justification of the need and main directions of state regulation of land management. Land Management, Cadastre, Land Monitoring, 2010. V. 7. P. 45–53.
9. *Volkov S.N., Papaskiri T.V., Sheptukhov V.N. et al.* The soil protection organization of the use and protection of agricultural land on a landscape basis. Moscow: State University of Land Management, 2000.

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-324-333

Nozimjon Teshaev[1], Bunyod Mamadaliyev[2], Azamjon Ibragimov[3], Sayidjakhon Khasanov[4]

THE SOIL-ADJUSTED VEGETATION INDEX FOR SOIL SALINITY ASSESSMENT IN UZBEKISTAN

ABSTRACT

Soil salinization, as one of the threats of land degradation, is the main environmental issue in Uzbekistan due to its aridic climate. One of the most vulnerable areas to soil salinization is Sirdarya province in Uzbekistan. The main human-induced causes of soil salinization are the insufficient operation of drainage and irrigation systems, irregular observations of the agronomic practices, and non-efficient on-farm water use. All of these causes considerably interact with the level of the groundwater, leading to an increase in the level of soil salinity. The availability of historical data on actual soil salinity in agricultural lands helps in formulating validated generic state-of-the-art approaches to control and monitor soil salinization by remote sensing and geo-information technologies. In this paper, we hypothesized that the Soil-Adjusted Vegetation Index-based results in soil salinity assessment give statistically valid illustrations and salinity patterns. As a study area, the Mirzaabad district was taken to monitor soil salinization processes since it is the most susceptible territory of Sirdarya province to soil salinization and provides considerably less agricultural products. We mainly formulated this paper based on the secondary data, as we downloaded satellite images and conducted an experiment against the in-situ method of soil salinity assessment using the Soil-Adjusted Vegetation Index. As a result, highly saline areas decreased by a factor of two during the studied period (2005−2014), while non-saline areas increased remarkably from a negligible value to over 10 000 ha. Our study showed that arable land suitability for agricultural purposes has been improving year by year, and our research held on this district also proved that there was a gradual decrease in high salt contents on the soil surface and land quality has been improved. The methodology has proven to be statistically valid and significant to be applied to other arid zones for the assessment of soil salinity. We assume that our methodology is surely considered as a possible vegetation index to evaluate salt content in arable land of either Uzbekistan or other aridic zones and our hypothesis is not rejected by this research.

KEYWORDS: soil salinity, remote sensing, Soil Adjusted Vegetation Index, p-test, Uzbekistan

INTRODUCTION

The interrelationships between human-being and the environment are still not calling appropriate policy attention in Uzbekistan. Over the past few years, the research and action community concerned with the consequences of land and soil degradation, and the need for sustainable land management has significantly taken place on the agenda of land management policies [*Nkonya et al.*, 2011].

Soil salinization, as one of the threats of land degradation, is the main environmental issue in Uzbekistan due to its aridic climate [*Platonov et al.*, 2015]. According to the latest information,

[1] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Kari Niyazi str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **teshaevnozim@mail.ru**
[2] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Kari Niyazi str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **bunyodmamadaliev1010@gmail.com**
[3] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Kari Niyazi str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **azamibragimov95@gmail.com**
[4] Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Kari Niyazi str., 39, 100000, Tashkent, Uzbekistan; *e-mail:* **sayidjakhon.khasanov@mail.ru**

derived from the Land Reclamation Monitoring Service of the State Committee for Land Resources, Geodesy, Cartography and State Cadasters (hereinafter Uzgeodezkadastr), it presents that more than 46,6 % of Uzbekistan's irrigated land is affected by salinization in some degree, with 2,5 % strongly saline (EC_e = 8−16 dS/m), 13,3 % moderately saline (EC_e = 4−8 dS/m) and 30,9 % slightly saline (EC_e = 2−4 dS/m)[1].

One of the most vulnerable areas to soil salinization is Sirdarya province in Uzbekistan. The main human-induced causes of soil salinization are the insufficient operation of drainage and irrigation systems, irregular observations of the agronomic practices, and non-efficient on-farm water use [*Akramova*, 2008; *Akrmakhanov et al.*, 2011; *Ivushkin*, 2014]. All of these causes considerably interact with the level of the groundwater, leading to an increase in the level of soil salinity. To ameliorate the actual soil quality of salt-affected arable land across the republic, such reactive land reclamation measures (i.e., time-efficient inventory of saline fields and sustainable salt leaching) have in-time to be applied to decrease the severity of soil salinization and lessen the negative consequences of soil salinization to crop yield [*Elhag, Bahrawi*, 2017]. Innovative soil salinity assessment approaches to assist in speeding up the inventory processes of salt-affected areas and is highly required to enable proper decision making on preparing proactive measures against soil salinization. The availability of historical data on actual soil salinity in agricultural lands helps in formulating validated generic state-of-the-art approaches to control and monitor soil salinization. However, an alternative approach to soil salinity assessment, conventional method, is exceptionally slow and expensive, since arranging sampling methods and conducting soil sampling is inefficient on time and requires more labor [*Eltazarov*, 2016]. On the other hand, using the advantages of the Geo-information systems (GIS) tools and Remote Sensing (RS) technologies in soil salinity assessment as an innovative approach, we consider, it makes the assessment procedure more financially efficient and more rapid.

In Uzbekistan, numerous studies have been undertaken on the use of appropriate spectral RS vegetation indices to characterize soil salinity, considering the soil-plant relations [*Akramkhanov et al.*, 2011; 2012; *Platonov et al.*, 2013; *Ivushkin et al.*, 2017] and vegetation canopies. One of the most commonly used RS indices to evaluate soil salinity during these studies is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) because these scientists perceived that vegetation is a good proxy, accurately reflecting the level of soil salinity, and this proxy can be captured by the NDVI. However, Huete [1988], Bannari et al. [1995] and Xue and Su [2017] also found an opposite soil brightness effect on the Perpendicular Vegetation Index (PVI) and the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) such that brighter soils resulted in higher index values for a given quantity of incomplete vegetation cover.

Considering all the above, we hypothesized that the SAVI-based results in soil salinity assessment give statistically valid illustrations and salinity patterns. In this article, we aimed at analyzing remotely sensed images of the Sirdarya province to comparatively conduct monitoring on soil salinization dynamics in several years concerning the years when the governmental institutions of Uzbekistan have carried out in-situ soil salinity assessments.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

Study area

Sirdarya province (fig. 1) is one of the agricultural regions of Uzbekistan, located in the center of the country on the left bank of the Syrdarya River. The province shares borders with Kazakhstan, Tajikistan, and Tashkent and Jizakh provinces of Uzbekistan. Sirdarya province covers an area of 4 300 km^2 and the Mirzachul Steppe takes a large bulk of the province's total area. Sirdarya province is divided into 9 administrative districts. One of the districts, Mirzaabad, was

[1] Uzgeodezkadastr. State Committee for Land Resources, Geodesy, Cartography and State Cadasters of the Republic of Uzbekistan. Annual National Reports, 2006−2019. Tashkent, Uzbekistan (in Uzbek language)

taken to monitor soil salinization processes since it is the most susceptible territory of the province to soil salinization and provides a considerably less agricultural product in contrast to the other districts.

In Mirzaabad District, anthrosol, solonetz, and solonchak soils are widespread and its total area of arable land accounts for 144 752 ha. The texture of the irrigated soils of the district is as follows: clay — 1.9 %, heavy loamy — 11.7 %, medium loamy — 49.6 %, lightly loamy soils — 30.0 %, sandy soils — 6.2 %, and desert — 6 % [Atlas of Uzbekistan, 2017].

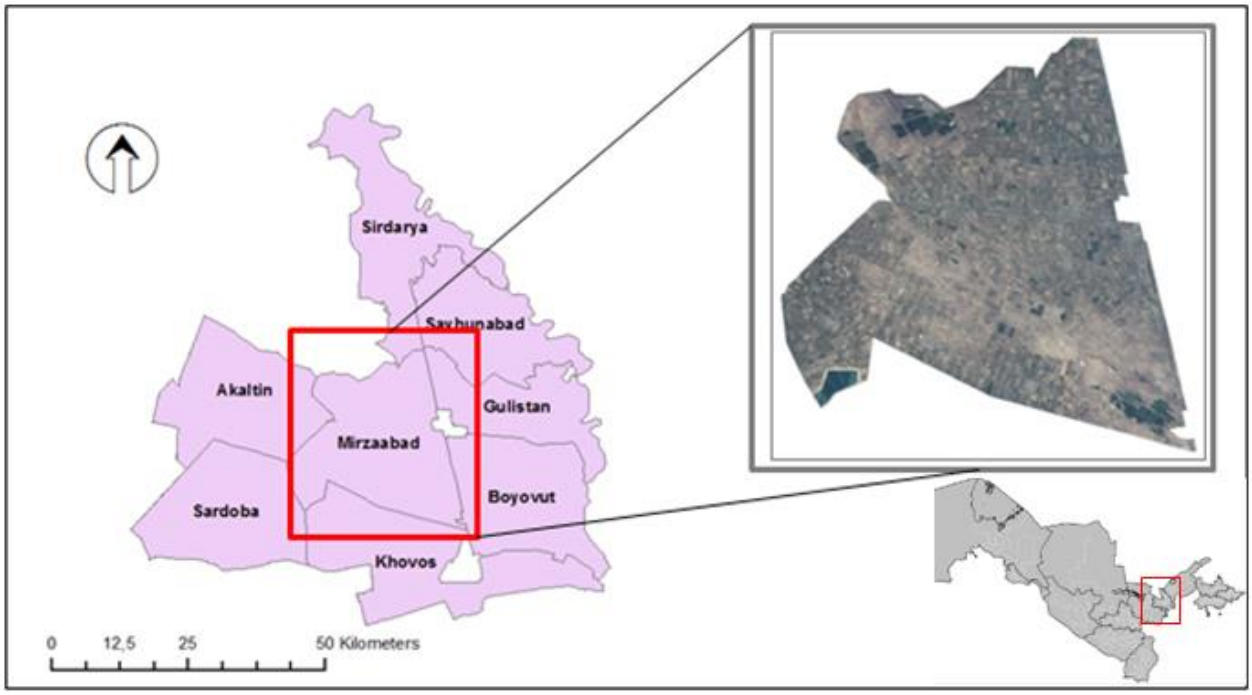


Fig. 1. Location of the study area

Materials

In this paper, we used satellite images, acquired from Landsat TM 5 and Landsat OLI 8 from open sources (glovis.usgs.gov and earthexplorer.usgs.gov) in August because the maximum growing season of cotton can be observed in this month [*Khamidov et al.*, 2009]. As we discussed above, the vegetation indices are highly sensitive to the crop type. The field soil salinity assessments in this district were performed in October and November after the vegetation period of the agricultural calendar. The brief information about the satellite data acquisition from sensors is given in table 1.

Table 1. Dates of field soil salinity assessments and analyzed satellite images

No	Name of sensors and data acquisition of satellite images		Month of in-situ soil salinity assessments by the governmental institutions (Uzgeodezkadastr, 2015)
1	Landsat TM 5	13/08/2005	October, 2005
2	Landsat TM 5	15/08/2009	November, 2009
3	Landsat OLI 8	10/08/2014	October, 2014

As a secondary data to compare our results, the Soil Quality Index (SQI) values (fig. 2) determined in the indicated years in table 1 were chosen. Mean values of SQI were taken out of three massives (polygons) of the district, given in the annual reports of the governmental institutions (Uzgeodezkadastr, 2006−2015) and were mapped in the ArcMap (ver. 10.6) software to enhance better visualization. The SQI values, ranging from 0 (completely unsuitable) to 100

(perfectly suitable) denote for the actual soil condition of arable land, determining how the soil is ready for agricultural purposes, against different criteria (i.e., soil salinity level, erodibility, and actual soil organic matter).

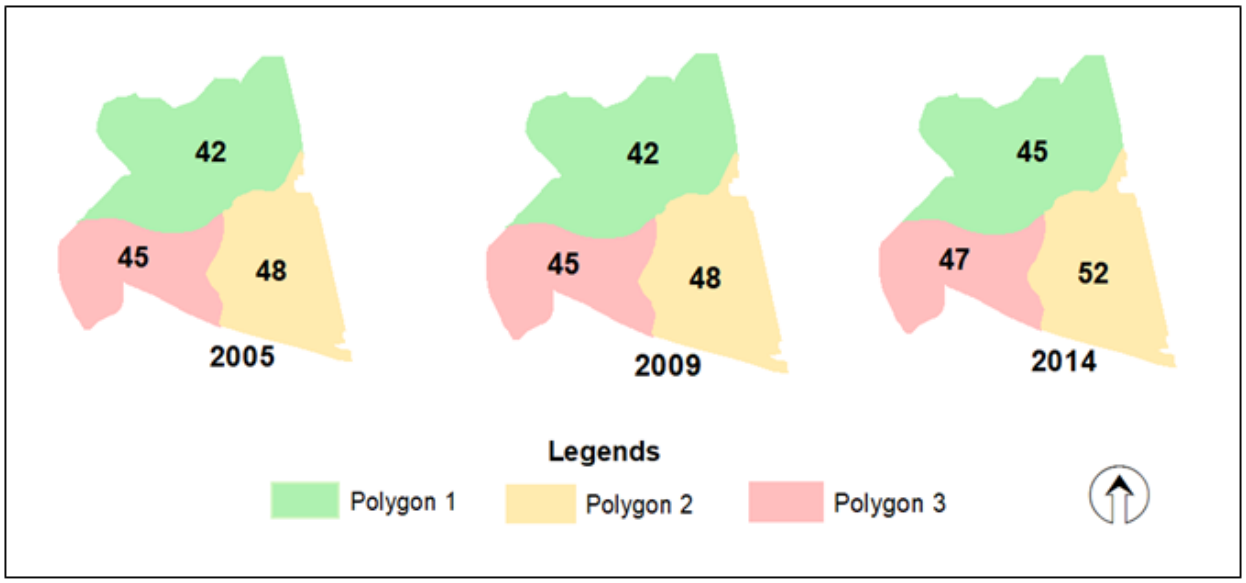


Fig. 2. Soil Quality Index values in different reference years in three massives of Mirzaabad district

Methods

After having downloaded remotely sensed images, some pre-processing steps for satellite images such as atmospheric and geometric corrections were executed according to the principles of Hadjimitsis et al. [2010]. We next applied and tested the SAVI how it works on soil salinity assessment concerning the aridic climate of Uzbekistan. The originality of this index lies in the development of a simple model that allows describing concisely the soil-vegetation system. The SAVI can be defined by the following Equation 1 [*Huete*, 1988]:

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED+L}(1+L) \quad (1)$$

where, *NIR* is the near infrared band of the satellite image; *RED* is the red band of the satellite image and *L* is a soil adjustment factor.

Based on a simplified radiative transfer model, Huete [1988] has shown that a value, standing for $L = 0.5$, permits the best adjustment, i.e., to minimize the secondary backscattering effect of canopy-transmitted soil background reflected radiation. The range of the SAVI is between -1.5 and 1.5. On the condition that the *L* value is zero ($L = 0$), the SAVI is equal to the NDVI [*Bannari et al.*, 1995], so, we took *L* in this study with the optimal (0.5) value and the proposed classification of the SAVI was detailed in table 2 below [*Mobasheri et al.*, 2010; *Poggio et al.*, 2013; *Yoshino et al.*, 2015; *Zeraatpisheh et al.*, 2017].

In such areas where canopy cover is low (i.e., < 40 %) and the soil surface is bare, the reflectance of bright in the red and near-infrared spectra can significantly impact vegetation index values [*Bannari et al.*, 1995]. This is especially difficult when contrasts are being made across dissimilar soil types that may imitate diverse uncertain quantities of light in the red and near-infrared wavelengths while applying the NDVI. The SAVI was developed as a modification of the NDVI to correct for the effect of soil brightness when canopy cover is low [*Huete*, 1988].

We above determined the proposed RS vegetation index for soil salinity assessment and accomplished the pre-processing steps of satellite image analysis, after having successfully stacked

band layers in the Erdas Imagine 2014 software. During processing the satellite images, ignoring zero in statistics has to be ticked. In this way, either the calculation of no-data or the number, which is equal to zero, is ignored and isolated in the analysis.

The next step is calculating the SAVI in the Erdas Imagine software. One of the main advantages of this software is that most of the vegetation indices are automatically calculated upon saving much time and more simply rather than the ArcGIS software.

Table 2. SAVI classification range in regards to the level of soil salinity

Range	SAVI classification
-1.5….0	Water
0.01-0.37	High salinity
0.38-0.76	Moderate salinity
0.77-1.10	Weak salinity
1.11-1.50	No-salinity

The adjacent operation was selecting an appropriate *L* value. The range of this value is between 0 and 1, and we discussed above, *L=0.5* is more premising and commonly used for SAVI calculations. Prior to running the calculation process, ignoring zero value in statistics is important. Once we have calculated the SAVI for each downloaded remotely sensed images in Erdas Imagine, the SAVI images were then processed in the ArcGIS program. Through the '*extract by mask'* function, we snipped the study area of interest and three massives were also allocated from the study area. The allocation of three massives of the study area from the SAVI images enabled us to derive average SAVI values to make a comparison between our results and the reference in-situ data. To validate our comparison, we applied statistical analysis at the end of the results part.

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSION

Concerning the used methodology to analyze the Landsat images of three years (2005, 2009 and 2014), we found out that continuous improvement of the soil quality, which was the same as the in-situ results, has been occurring throughout the selected time period. We created SAVI maps for each year to visually track the patterns (fig. 3). In a glance at these maps, a decrease in the high salt content on topsoil can be noticed over 10 years.

As we plotted the dynamics of soil salinization over the ten years in fig. 3, we then quantified the actual territory of each soil salinity class. Fig. 4 below demonstrates detailed numeric information about the dynamics of soil salinity levels in the Mirzaabad District.

Generally summarizing the analyzed data on the dynamics of saline areas in the Mirzaabad district, we can see that highly saline areas decreased by a factor of two over the decade, while non-saline areas remarkably rose from the negligible point of the chart to just over 10 000 ha. Interestingly, oscillatory trends for weak and moderate saline areas were fairly uncertain throughout the period due to the significant changes in the non-saline and highly saline areas.

We analyzed remotely sensed images of Mirzaabad district, and in regards to our secondary data to examine our results, hinged on the SQI values of arable land determined by the governmental in-field soil survey, three massives characterized three different SQI values of arable land in the Mirzaabad District in different years. Visually, we identified similar patterns as in the results of the in-situ soil survey in our SAVI-based soil salinity maps. Specifically, according to the result of governmental soil survey, it was revealed that arable land suitability for agricultural purposes has been improving year by year, and our research held on this district also proved that there was a gradual decrease on high salt contents on the soil surface and land quality has been ameliorated.

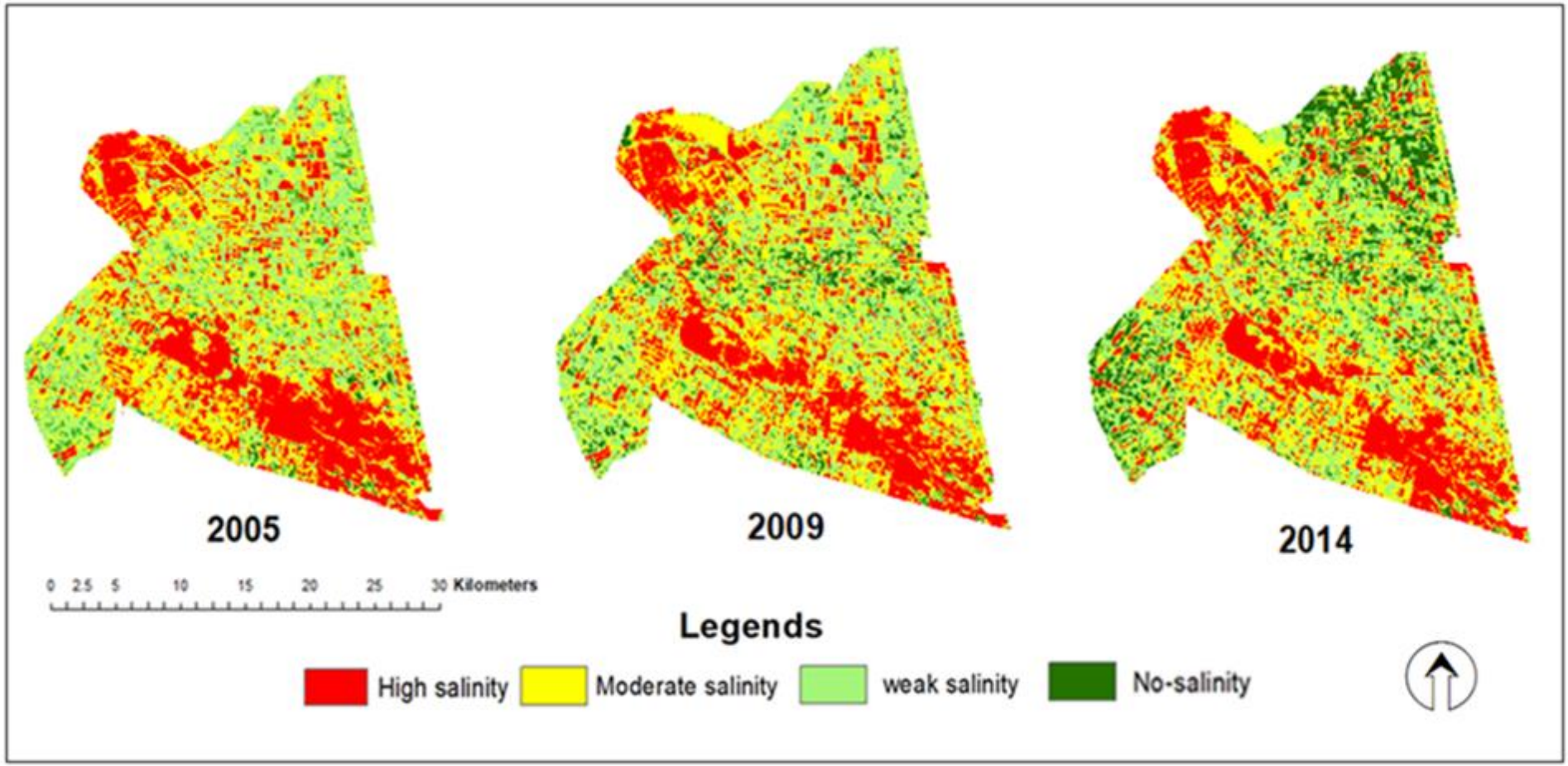


Fig. 3. SAVI-based soil salinity maps of Mirzaabad district in different years

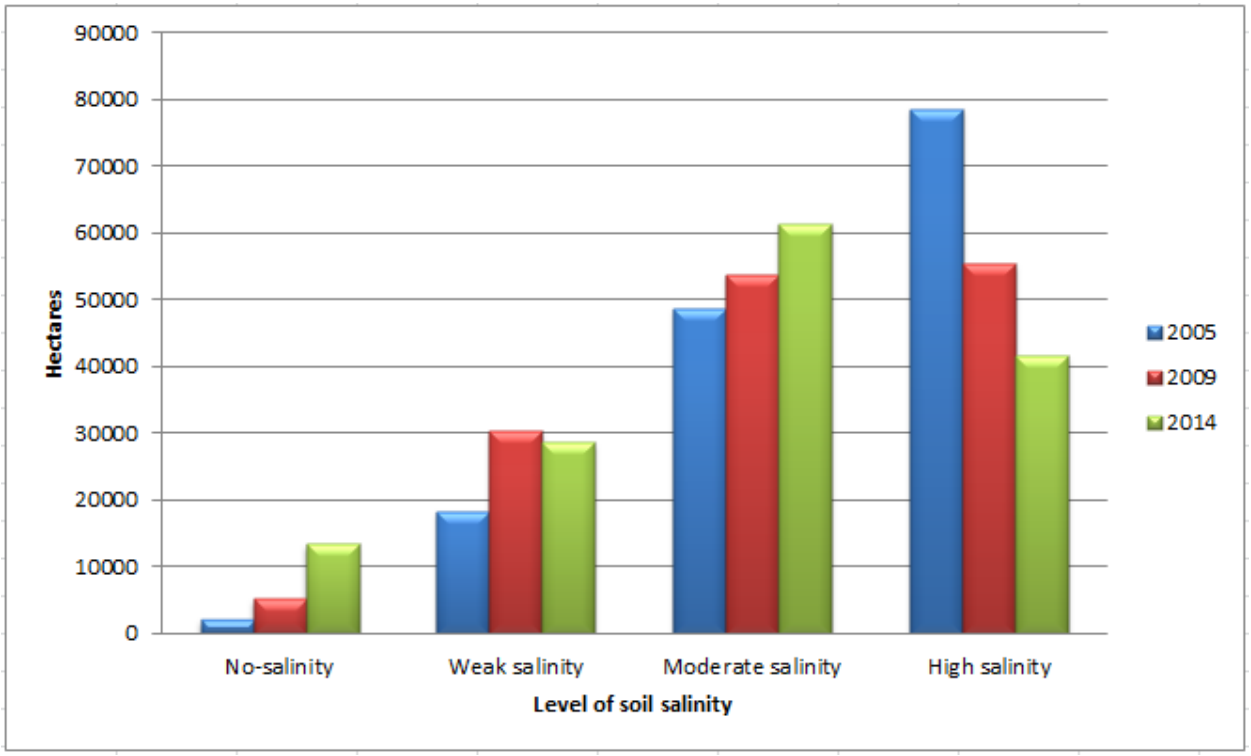


Fig. 4. Dynamics of salt-affected areas over time in MirzachulMirzaabad district, in hectares

To make appropriate evidence to support our research results, some statistical analyses were carried out in this paper. The point of interest by performing the statistical analysis was to correlate the SAVI to the SQI values and to check the statistical significance of our findings. However, the simple linear regression analysis (R^2) gave an unexpected value, accounting for $R^2 = 0.09$ (fig. 5).

In addition to fig. 5, below we attached a full output of the regression statistics (table 3). Despite having insignificant values to produce a higher R^2, we then tested how these insignificant values can make our findings statistically significant using a *p-test*.

Prior to running the *p-test*, we selected the SQI values as the variable against the average SAVI values. Also, unexpectedly, the *p-test* proved our findings in comparing the SAVI-based soil salinity assessment to the in-situ governmental soil survey outputs statistically significant ($p < 0.05$) and the results of the *p-test* were given in table 4.

The R^2 value that we derived was considerable low, but the p-value statistically validates it. In this case, we assume that as the primary reason for the results of less R^2 reflected on either the complicated atmospheric and geometric corrections in the pre-processing steps of satellite images.

"All models are wrong", says George E.P. Box. Based on this quote, we consider that some errors may occur, which significantly impact the outcome of the statistical analysis, since the pre-processing steps of satellite images are built on the models. Inaccurate processed satellite data may reflect the waves differently, leading to misclassifying the values, serving to derive the SAVI maps [*Tokotoko et al.*, 2018]. Regarding the time-related issues as the source of error for the R^2, this comes after using different spatial patterns that were taken on different days of each reference year.

Soil salinity assessment studies by using different types of RS vegetation indices have still not been well investigated and validated. The widespread and common method for this assessment is the NDVI. The NDVI does not consider the soil characteristics while processing the satellite image, whereas the SAVI is adjusted to the soil reflectance [*Huete*, 1988]. Ivushkin et al. [2017]

validated that there is a significant correlation between satellite-derived canopy temperature and soil salinity levels, using MODIS satellite thermal images together with the NDVI, the Enhanced Vegetation Index and a traditional soil salinity map. Other studies have also been conducted on soil salinity assessment using the NDVI, a lack of a statistical test for significance is disabling these studies fully explored [*Akramova*, 2008; *Eltazarov*, 2016; *Platonov*, 2015]. On the other hand, the application of the SAVI for the arid zone to assess desert extension based on the soil relations in Uzbekistan has already been investigated by Khasanov [2019]. However, the application of the SAVI to soil salinity assessment is still lacking in past studies.

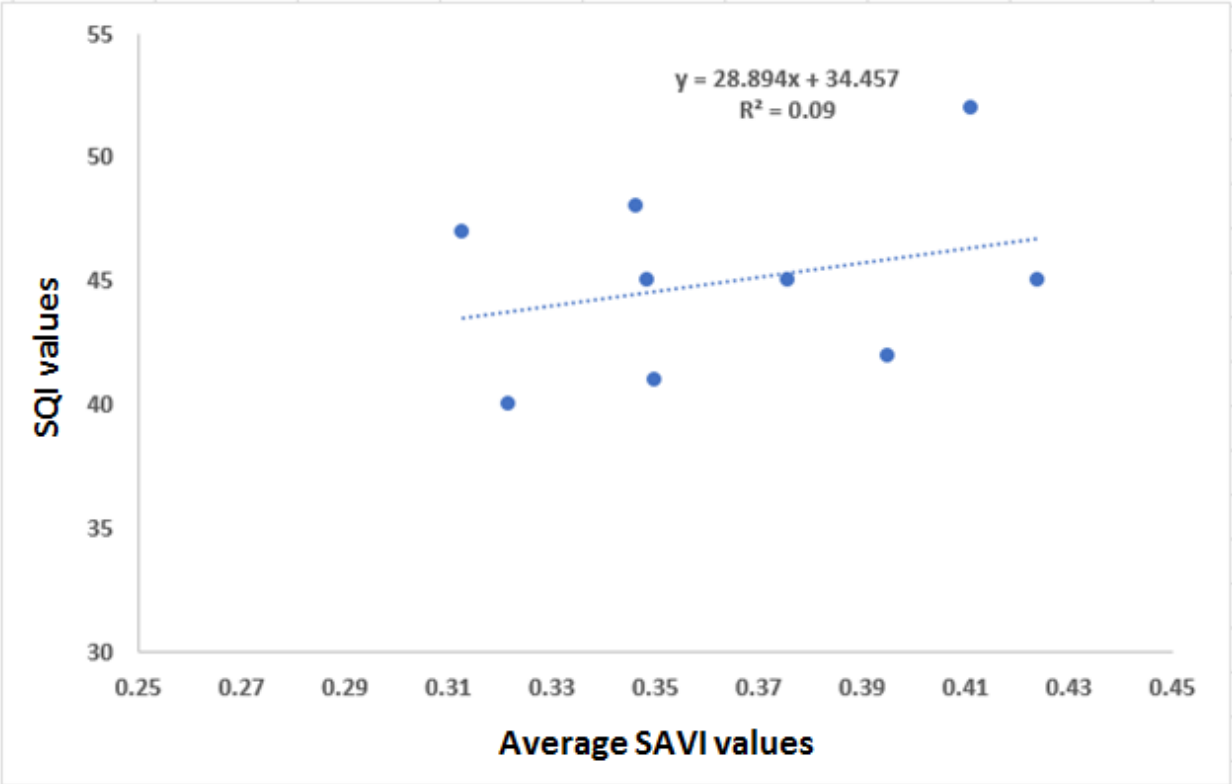


Fig. 5. Output of the simple linear regression analysis

Table 3. Detailed output of the regression analysis

Regression statistics	
Multiple R	0.30006
R Square	0.09004
Adjusted R Square	0.03995
Standard error	3.81568
Observation	9

Table 4. Output of the p-test

	Standard error	**t-Stat**	**p-value**
SQI values	12.73211	2.70631	0.03036

The SAVI is usually calculated to understand the extent of healthy vegetation cover in the area. Additionally, to enhance the differentiation of saline areas, suppressing the vegetation, two indices, for example, the Salinity Index and the Normalized Difference Salinity Index is calculated depending on the spectral response of salt-affected soils [*Ivushkin*, 2014].

In the case of vegetation indices, Elnaggar and Noller [2009] found that vegetation indices had a weak correlation with the electrical conductivity measurements and suggested that halophytes could not be used to identify salt-affected soils under vegetation cover. However, with the SAVI, soil salinity mapping can be performed considering the proposed classification for saline areas. This mapping method, in this study, is statistically tested and valid ($p > 0.05$) to disseminate to other aridic regions across the republic.

CONCLUSIONS

Salt affected soils are widespread over the world, especially semi-arid and arid regions. Soil salinity can be occurred by natural or human-induced processes and is a major environmental risky hazard. Recent advances in remote sensing technologies have opened new techniques to conduct inventories, characterization, and monitoring of degraded soils. Especially, the vegetation indices allow us time-efficient monitoring and assessment of soil salinity in multiple saline zones simultaneously.

Thus, in this paper, we used satellite images to map saline areas of the Mirzaabad district and compared our results with the governmental in-situ soil salinity assessment results which have executed by Uzgeodezkadastr in several years. Both results prove that there is an improvement in the arable land quality for agricultural purposes. Despite having a weak significance of derived values from the SAVI-based analysis according to the simple regression analysis, we continued our statistical analysis in the p-test which proved our experiment as significant. Using the SAVI for validation of the results of remote sensing analysis is a good option as far as this index is not as so rapidly changing as salinity is. In the opposite, we can see that remote sensing data give more detailed information about the salinity status of soils. We assume that the methodology, the SAVI, is considered as a possible vegetation index to evaluate salt content in arable land of either Uzbekistan or other aridic zones, and our hypothesis is not rejected.

ACKNOWLEDGEMENTS

We express our gratitude to Mr. Sayidjakhon Khasanov, an assistant professor at the Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, for his supervision throughout the experiment.

REFERENCES

1. *Akramkhanov A., Martius C., Park S., Hendrickx J.* Environmental factors of spatial distribution of soil salinity on flat irrigated terrain. GEODERMA, 2011. No 163. P. 55–62.
2. *Akramkhanov A., Vlek P.L.* The assessment of spatial distribution of soil salinity risk using neural network. Environmental Monitoring and Assessment, 2012. No 184 (4). P. 2475−2485.
3. *Akramova I.* Mapping spatial distribution of soil salinity using Remote Sensing and GIS. A master thesis. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research, 2008. 62 p.
4. Atlas of Uzbekistan. A collection of different types of maps of Uzbekistan. Tashkent, Uzbekistan: National Center of Geodesy and Land Resources, 2017.
5. *Bannari A., Morin D., Bonn F., Huete A.R.* A review of vegetation indices. Remote sensing reviews, 1995. No 13 (1−2). P. 95−120.
6. *Elhag M., Bahrawi J.A.* Soil salinity mapping and hydrological drought indices assessment in arid environments based on remote sensing techniques. Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems, 2017. No 6 (1). P. 149.
7. *Elnaggar A.A., Noller J.S.* Application of remote-sensing data and decision-tree analysis to mapping salt-affected soils over large areas. Remote Sensing, 2009. No 2 (1). P. 151−165.

8. *Eltazarov S.* Soil salinity assessment in Syrdarya Province, Uzbekistan. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research, 2016. P. 75.
9. *Hadjimitsis D.G., Papadavid G., Agapiou A., Themistocleous K., Hadjimitsis M.G., Retalis A., ... Clayton C.R.I.* Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2010. No 10 (1). P 89−95.
10. *Huete A.R.* A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote sensing of environment, 1988. No 25 (3). P. 295−309.
11. *Ivushkin K.* Soil salinity assessment using Remote Sensing and GIS techniques in Syrdarya province of Uzbekistan. A master thesis. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research, 2014. P. 71.
12. *Ivushkin K., Bartholomeus H., Bregt A.K., Pulatov A.* Satellite thermography for soil salinity assessment of cropped areas in Uzbekistan. Land Degradation & Development, 2017. No 28 (3). P. 870−877.
13. *Khamidov M.K., Shukurlayev K.I., Mamataliyev A.B.* Hydro-technical reclamation of arable land. Textbook for universities. Tashkent, Uzbekistan: Sharq Publications, 2009. 389 p. (in Uzbek).
14. *Khasanov S.* Assessment of desert extension and soil salinity in Mirzachul Steppe, Uzbekistan. A master thesis. Wageningen, the Netherlands: Wageningen University and Research, 2019. 93 p.
15. *Mobasheri M.R., Chahardoli M., Farajzadeh M.* Introducing PASAVI and PANDVI methods for sugarcane physiological date estimation, using ASTER images. Journal of Agricultural Science and Technology, 2010. No 12. P. 309−320.
16. *Nkonya E., Gerber N., von Braun J., De Pinto A.* Economics of land degradation. IFPRI Issue Brief, 2011. 68 p.
17. *Platonov A., Karimov A., Prathapar S.* Using satellite images for multi-annual soil salinity mapping in the irrigated areas of Syrdarya province, Uzbekistan. Journal of Arid Land Studies, 2015. No 25 (3). P. 225−228.
18. *Platonov A., Noble A., Kuziev R.* Soil salinity mapping using multi-temporal satellite images in agricultural fields of Syrdarya province of Uzbekistan. Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation. Dordrecht: Springer, 2013. P. 87−98.
19. *Poggio L., Gimona A., Brewer M.J.* Regional scale mapping of soil properties and their uncertainty with a large number of satellite-derived covariates. GEODERMA, 2013. No 209. P. 114.
20. *Tokotoko J., Flouvat F., Goiran C., Hédouin L., Collin A., Selmaoui-Folcher N.* Supervised classification of satellite images with spatially inaccurate training field data. 2018 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW). P. 1381−1388.
21. *Xue J., Su B.* Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. Journal of Sensors, 2017. P. 17.
22. *Yoshino K., Zou T., Nyamsambuu K., Pham T.D., Okabe H.* Spatial Dependency of Soil Line Coefficients Derived from Landsat ETM+ And Modis Imagery in Kyrgyzstan. Ibaraki, Japan: Tsukuba University Press, 2015.
23. *Zeraatpisheh M., Ayoubi S., Jafari A., Finke P.* Comparing the efficiency of digital and conventional soil mapping to predict soil types in a semi-arid region in Iran. Geomorphology, 2017. No 285. P. 186−204.

ГИС И КАРТОГРАФИЯ ДЛЯ ТУРИЗМА

GIS AND CARTOGRAPHY FOR TOURISM

УДК: 912.4 (911:52) **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-334-348**

Э.А. Шеремет[1], Н.Н. Калуцкова[2]

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЛАНДШАФТНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ НА ТЕРРИТОРИИ КАТОН-КАРАГАЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

АННОТАЦИЯ

Национальные парки относятся к наиболее значимой категории особо охраняемых природных территорий в Республике Казахстан. Одной из важных задач национальных парков является развитие экологического туризма и просвещения с учётом природных и культурных особенностей территории. Катон-Карагайский государственный национальный природный парк (ГНПП) — самый большой по площади национальный парк в Казахстане с быстрым темпом развития в сфере туризма. Главным аргументом при его создании в 2001 г. стала высокая степень сохранности природных ландшафтов и биологического разнообразия. В настоящее время Катон-Карагайский национальный парк является одной из составных частей трансграничного биосферного резервата «Большой Алтай», созданного в 2017 г. В пределах национального парка выделено 4 функциональные зоны: заповедная, буферная, туристской и рекреационной деятельности и ограниченной хозяйственной деятельности. Основная функция по развитию туризма возложена на зону туристской и

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail*: **elina7-sheremet@mail.ru**
[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail*: **nat_nnk@mail.ru**

рекреационной деятельности. Сегодня на территории национального парка функционирует сеть туристических маршрутов, которые в большинстве своём проложены в этой зоне. В статье оценивается ландшафтное разнообразие туристических маршрутов, сопряжённое с оценкой ландшафтного разнообразия зоны туристской и рекреационной деятельности. Для этого впервые была составлена авторская ландшафтная карта на всю территорию национального парка в масштабе 1:500 000. Было выделено 63 вида ландшафтов, входящих в 5 классов ландшафтов. Оценка ландшафтного разнообразия всех туристических маршрутов проводилась с применением геоинформационных технологий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ландшафтное разнообразие, национальный парк, Катон-Карагай, ГИС-технологии, туристический маршрут

Elina A. Sheremet[1]**, Natalia N. Kalutskova**[2]

THE USE OF GIS TECHNOLOGIES FOR THE ASSESSMENT OF TOURIST ROUTES LANDSCAPE DIVERSITY ON THE KATON-KARAGAY NATIONAL PARK TERRITORY

ABSTRACT

National parks belong to the most important category of specially protected natural territories in the Kazakhstan. One of the most important tasks of national parks is to promote ecological tourism and education with reference to the natural and cultural peculiarities of their territory. The Katon-Karagay State National Natural Park is the largest national park with the highest rate of growth in terms of touristic activities in Kazakhstan. It was created in 2001 due to good state of its natural landscapes and biodiversity. At present, the Katon-Karagay National Park is a part of the Big Altai transboundary biosphere reserve organized in 2017. Within the national park 4 functional zones are established: the strictly protected, buffer, tourist and recreational activity, and limited economic activity. The touristic and recreational activity zone plays a major role for tourism development. In this zone the most tourist routes are functioned. In the article we assess both the landscape diversity of the tourist routes and tourist and recreational activity zone. For this the original landscape map was compiled for the national park territory at 1: 500 000 scale. We identify 63 landscapes types combined into 5 landscape classes. Assessment of landscape diversity was carried out on the basis of geographic information technologies.

KEYWORDS: landscape diversity, national park, Katon-Karagay, GIS technology, tourist route

ВВЕДЕНИЕ

Решение о создании Катон-Карагайского ГНПП общей площадью 643,5 тыс. га было принято в 2001 г. Цель создания национального парка заключалась в защите и восстановлении уникальных природных комплексов Южного Алтая, имеющих особую экологическую, научную, культурную и рекреационную ценность, осуществлении рационального использования территории и развитии экологического туризма и просвещения населения [*Крыкбаева, Зинченко*, 2008].

Существенную роль в функционировании НП имеет его трансграничное положение с ООПТ Казахстана (государственный природный заповедник Маркаколь), России (Катунский биосферный заповедник, природный парк «Белуха» и национальный парк «Зона покоя

[1] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia; *e-mail*: **elina7-sheremet@mail.ru**
[2] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russia; *e-mail*: **nat_nnk@mail.ru**

Укок»), Китая (заповедник Ханаси) и Монголии (национальный парк Алтай Таван Богд). В 2014 г. Катон-Карагайский национальный парк вошёл в список особо охраняемого наследия ЮНЕСКО [*Калуцкова, Шеремет*, 2017]. С включением в июне 2017 г. территории национального парка в сеть биосферного резервата «Большой Алтай» спектр задач был значительно расширен. Помимо восстановления нарушенных природных комплексов, одной из задач являлось создание благоприятных условий для развития туристско-рекреационной деятельности с внедрением научно-обоснованных методов охраны для обеспечения устойчивого развития территории [*Крыкбаева, Челышев,* 2006].

Территория национального парка относится к Алтае-Саянской горной провинции [Национальный атлас…, 2010]. Под воздействием ледниковых и эрозионных процессов здесь сформировались отдельные горные хребты, массивы и межгорные котловины, эрозионно-денудационные процессы образовали современный рельеф среднегорий и низкогорий. Наиболее протяжёнными на территории являются хребты Сарымсакты, Алтайский Тарбагатай и Южный Алтай [*Нехорошев*, 1967]. Хребет Листвяга представлен только южным макросклоном, который занимает северную часть национального парка. Самая северная граница НП проходит по Катунскому хребту, через южные и восточные склоны горы Белуха. Горные хребты, простирающиеся на высоте от 2000 м н.у.м. и выше, сильно расчленены, с широко развитыми ледниковыми формами рельефа: трогами, цирками, карами, моренами и др.

Среди объектов культурно-исторического значения особый интерес представляют Северная ветвь Великого Шёлкового пути, Берельские курганы и Австрийская дорога 1914–1916 гг. постройки [*Иващенко,* 2009].

На территории национального парка проведено функциональное зонирование, выделены 4 зоны: заповедная, буферная, туристско-рекреационной и ограниченной хозяйственной деятельности. Каждая зона имеет свое предназначение и выполняет определённые функции. Функция развития туризма возложена на туристско-рекреационную зону, через которую проложены основные туристические маршруты. Цель нашего исследования — оценить ландшафтное разнообразие туристических маршрутов в пределах этой зоны с использованием ГИС-технологий.

Туристическую деятельность можно назвать одной из традиционных областей, в которой применяются геоинформационные технологии. Для регионов, обладающих уникальным природным потенциалом и богатым историко-культурным наследием, существует необходимость создания прикладных ГИС более широкого профиля. Именно они позволяют создавать топографические планы и проектировать туристические маршруты [*Jovanovic, Njegus,* 2008].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу данной работы легли полевые исследования, проведённые одним из авторов в 2014–2015 гг., фондовые и литературные источники, картографические материалы и данные дистанционного зондирования (ДДЗ). Для решения поставленной цели первым и необходимым условием являлось создание авторской ландшафтной карты на территорию Катон-Карагайского национального парка. Карта была составлена в масштабе 1: 500 000, где операционно-территориальными единицами послужили виды ландшафтов (рис. 1).

Использование ГИС-технологий позволило связать описательную информацию с пространственной [*Кизим,* 2011]. С помощью программного обеспечения Google Earth были оцифрованы современные границы Катон-Карагайского национального парка. Для создания ландшафтной карты программа позволила более детально дешифрировать вершинные и долинные виды ландшафтов, а также перенести туристические маршруты посредством привязки растровых данных.

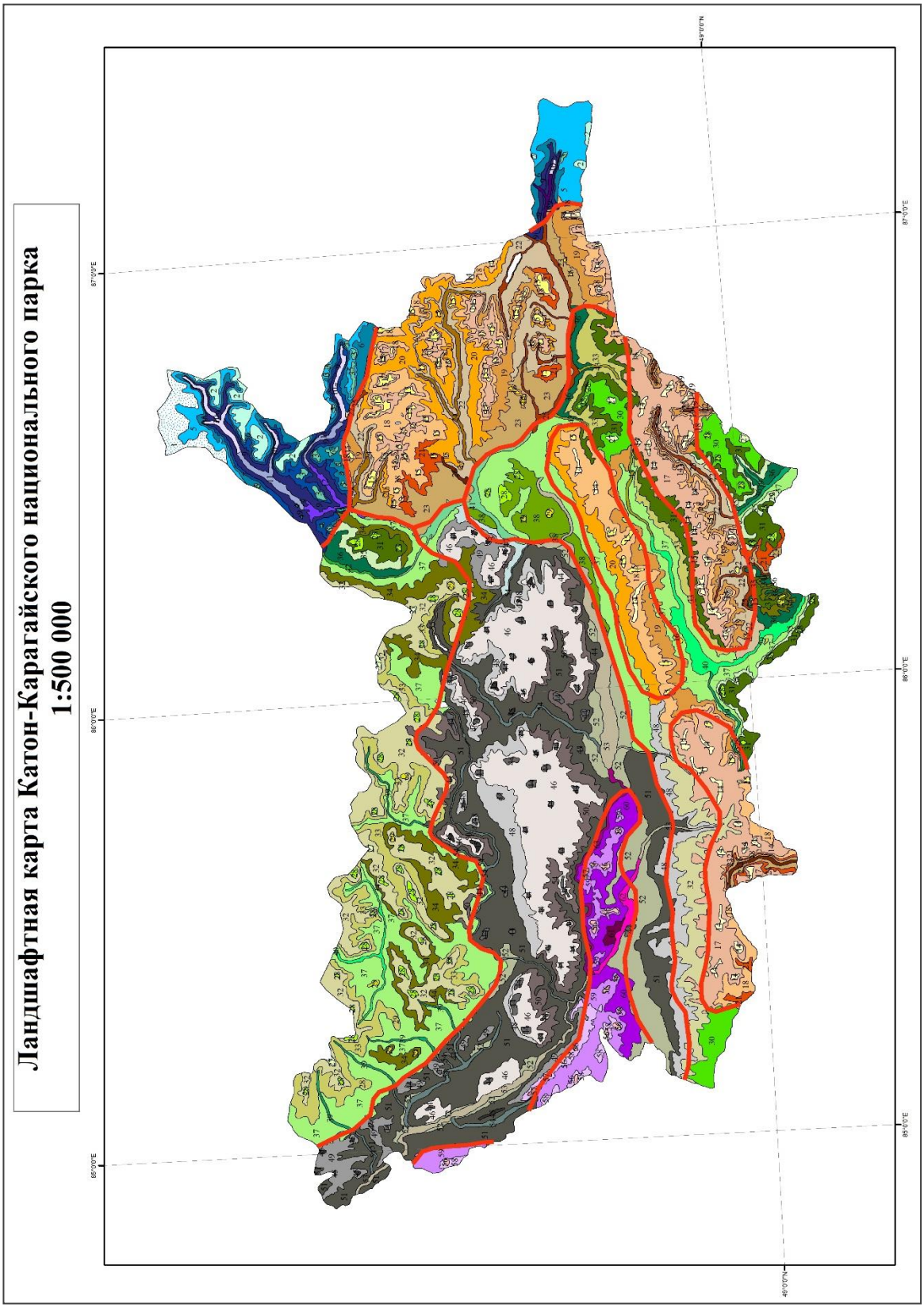


Рис. 1. Ландшафтная карта на территорию Катон-Карагайского НП
Fig. 1. Landscape map of the Katon-Karagay National Park

Легенда к ландшафтной карте Катон-Карагайского национального парка

I. Высокогорье с альпийскими формами рельефа, современным оледенением, сложенное гранитами, гранодиоритами, габбро, с единичными цветковыми растениями, лишайниками, мхами

А. Вершинные поверхности

1. Горные вершины покрытые льдами (3200–4506 м н.у.м.)
2. Горные вершины с временными снегами (2700–3500 м н.у.м.)
3. Безлесные горные вершины (2200–3400 м н.у.м.)
4. Залесённые горные вершины (1800–2200 м н.у.м.)

Б. Склоновые поверхности

5. Верхние части склонов лишённые растительности (2400–3800 м н.у.м.)
6. Верхние части склонов (2200–3500 м н.у.м.) под – альпийскими лугами с зарослями карликовой березы
7. Средние части склонов (1700–2100 м н.у.м.) под – кедровыми лесами
8. Средние части склонов (2000–2600 м н.у.м.) под – лиственничными, сосновыми лесами
9. Нижние части склонов (1100–1900 м н.у.м) под – смешанными лесами с преобладанием пихты, лиственницы, кустарниками жимолости, караганы и таволги

В. Речные долины

10. Речные долины с лиственничными лесами
11. Речные долины с еловыми и кедровыми лесами
12. Речные долины со смешанными лесами из березы белоствольной, тополя черного, осины, ивы
13. Речные долины с лиственными лесами с примесью сосны сибирской, березы круглолистной

II. Высокогорье с останцами поверхностей выравнивания, с древнеледниковыми формами рельефа, сложенное сланцами, кварцитами, гнейсами, яшмами, с субальпийскими и альпийскими лугами, луго-степями, лугами-сазами на горно-луговых и высокогорных лугово-степных почвах

Г. Вершинные поверхности

14. Горные вершины с временными снегами (2700–3773 м н.у.м.)
15. Безлесные горные вершины (2300–3700 м н.у.м.)
16. Залесённые горные вершины (1600–2300 м н.у.м.)

Д. Склоновые поверхности

17. Верхние части склонов лишенные растительности (2600–3600 м н.у.м.)
18. Верхние части склонов (2400–3300 м н.у.м.) под – альпийскими лугами с зарослями круглолистной березы, карликовой ивы, жимолости
19. Средние части склонов (1800–2400 м н.у.м.) под – лиственничными и кедровыми лесами с примесью ели и сосны
20. Средние части склонов (2000–2200 м н.у.м.) под – пихтово-елово-лиственничными лесами с примесью березы низкой
21. Средние части склонов (1700–2000 м н.у.м.) под – березово-осиновыми, ивово-березовыми, хвойно-березовыми лесами с подлеском из кустарников
22. Нижние части склонов (700–1800 м н.у.м.) под – елово-пихтовыми лесами

Рис. 1 (продолжение)
Fig. 1 (the continuation)

23. Нижние части склонов (400–1500 м н.у.м.) под – лиственными лесами с преобладанием березы круглолистной, осины

Е. Речные долины

24. Речные долины с еловыми лесами

25. Речные долины со смешанными лесами из ели сибирской, лиственницы сибирской, пихты, березы и осины

26. Речные долины со смешанными березово-тополевыми, хвойно-березовыми, ивово-кустарниковыми лесами

III.Среднегорье поверхностей выравнивания, сложенное песчаниками, кварцитами, известняками, гранитами, с субальпийскими и альпийскими лугами на горно-луговых почвах и лугами-сазами на луговых почвах

Ж. Вершинные поверхности

27. Горные вершины с временными снегами (2400–2850 м н.у.м.)

28. Безлесные горные вершины (1200–2600 м н.у.м.)

29. Залесённые горные вершины (1000–2500 м н.у.м.)

3. Склоновые поверхности

30. Верхние части склонов лишенные растительности (2400–2800 н.у.м.)

31. Верхние части склонов (1400–2600 м н.у.м.) под – смешанными густыми елово-пихтово-кедровыми лесами

32. Верхние части склонов (1500–2600 м н.у.м.) под – лиственничным и кедровым редколесьем

33. Средние части склонов (1400–2000 м н.у.м.) под – лиственничными лесами

34. Средние части склонов (1200–1900 м н.у.м.) под – еловыми, лиственничными лесами с примесью березы кустарниковой

35. Средние части склонов (700–1200 м н.у.м.) под – елово-пихтово-кедровыми лесами с примесью осины и березы

36. Нижние части склонов (600/700–1400 м н.у.м.) под – берёзово-пихтовыми лесами

37. Нижние части склонов (400–1400 м н.у.м.) под – березово-осиновым, березово-сосновым редколесьем

38. Склоны под сельско-хозяйственными угодьями

И. Речные долины

39. Речные долины с березово-осиновыми и хвойно-березовыми лесами

40. Речные долины с ивовыми и ивово-разнокустарниковыми сообществами с фрагментами елово-лиственничного редколесья

41. Речные долины с лиственными и смешанными формациями, объединяющими березово-ивовые, ивовые и березово-лиственничные насаждения

42. Речные долины с еловыми лесами

43. Речные долины с кедрово-лиственничными лесами

Рис. 1 (продолжение)
Fig. 1 (the continuation)

IV. Среднегорье увалисто-грядовое, сложенное известняками, алевролитами, гравелитами, песчаниками с лиственничными лесами на горно-лесных серых оподзоленных почвах

К. Вершинные поверхности

44. Безлесные горные вершины (1300–2500 м н.у.м.)

45. Залесённые горные вершины (1200–2200 м н.у.м.)

Л. Склоновые поверхности

46. Верхние части склонов (1400–2100 м н.у.м.) под – кедрово-лиственничным редколесьем

47. Верхние части склонов (1500–2000/2100 м н.у.м.) под – кедровыми и кедрово-лиственничными лесами

48. Средние части склонов (900–1700 м н.у.м.) под – светлыми лиственничными лесами

49. Средние части склонов (600–1200 м н.у.м.) под – елово-пихтово-кедровыми лесами

50. Средние части склонов (700–1600 м н.у.м.) под – лиственничным, сосново-лиственничным редколесьем

51. Нижние части склонов (400–1000 м н.у.м.) под – лиственными лесами с преобладанием берёзы повислой, осины, ивы тонкосерёжчатой

52. Склоны под сельско-хозяйственными угодьями

М. Речные долины

53. Речные долины с лиственнично-елово-березовыми лесами с подлеском из кустарников

54. Речные долины с пойменными ивово-березовыми и березово-осиновыми лесами

55. Речные долины с еловыми лесами

V.Низкогорье грядово-увалистое, сложенное осадочно-вулканогенными породами, гранитами, с типчаковой и ковыльно- типчаковой горной растительностью, с участием кустарников, разнотравных лугов на горных каштановых почвах

Н. Вершинные поверхности

56. Безлесные горные вершины (1200–1600 м н.у.м.)

57. Залесённые горные вершины (700–1100 м н.у.м.)

О. Склоновые поверхности

58. Верхние части склонов (1100–1500 м н.у.м.) под – кедрово-лиственничными лесами

59. Средние части склонов (800–1200 м н.у.м.) под – смешанным редколесьем из березы круглолистной, осины, кедра сибирского, сосны обыкновенной

60. Нижние части склонов (400–700 м н.у.м.) под – лиственным редколесьем с преобладанием березы круглолистной, ивы карликовой

61. Склоны под сельско-хозяйственными угодьями

П. Речные долины

62. Речные долины со смешанными лесами из кедра сибирского, пихты сибирской, сосны сибирской и березы повислой

63. Речные долины с березово-осиновыми лесами с примесью лиственницы сибирской, сосны сибирской, тополя дрожащего, ивы остролистой

Рис. 1. (продолжение)
Fig. 1. (the continuation)

В процессе создания ландшафтной карты использовался метод наложения слоёв Overlay, совмещающий обработку данных двух и более слоёв определённой географической области. Чтобы открыть оцифрованные объекты в ArcGIS 10.3, файлы формата «.kmz» через программу Global Mapper 15 были преобразованы в формат «.shp». Последующее нанесение границ видов ландшафтов осуществлялось при помощи оцифровки полигональным способом опираясь на данные разномасштабных топографических карт, а также материалы фондовых и полевых наблюдений. На заключительном этапе исследования на составленную нами ландшафтную карту был наложен слой с туристическими маршрутами (рис. 2).

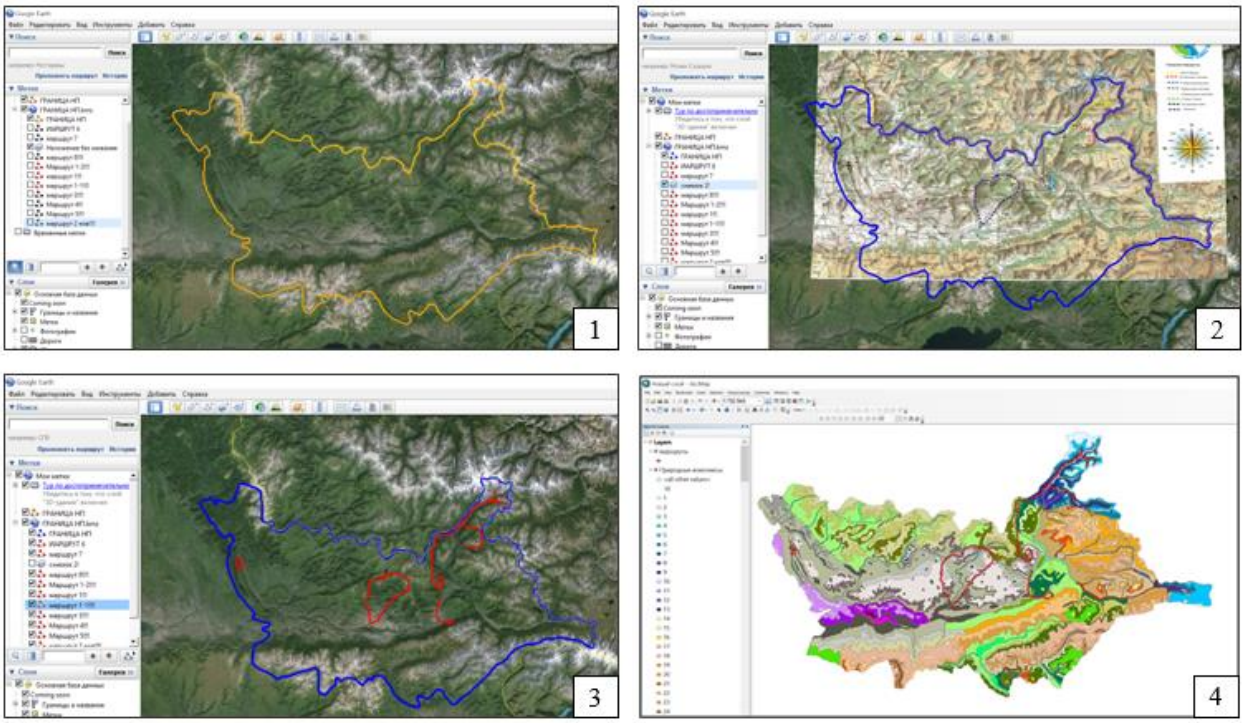


Рис. 2. Наложение слоя с туристическими маршрутами на ландшафтную карту
Fig. 2. Overlaying tourist routes on a landscape map

Автоматический расчёт площадей видов ландшафтов проводился в пределах четырёх функциональных зон. На первом этапе работы последовательно обрезалась каждая функциональная зона с помощью команды: Analysis Tools → Extract → Select. В открывшемся окне выборки «Select» был установлен «Input Features» — shp-файл с функциональными зонами, для «Output Features Class» присвоено новое название. Более детальные параметры для «Expression» были заданы в конструкторе запросов «Query Builder». Второй этап (непосредственно сам расчёт) проводился через командное меню Analysis Tools → Extract → Clip: «Input Features» — shp-файл с видами ландшафтов, «Clip Features» — ранее созданные shp-файлы по функциональным зонам. Для расчёта площади видов ландшафтов в км^2 изначально устанавливаем параметр «Kilometers». Открыв атрибутивную таблицу образованных слоёв, мы увидим, что в колонке «F Area» будут представлены данные расчётов площадей видов ландшафтов, оказавшихся в пределах рассматриваемых функциональных зон. Данные на выходе позволили осуществить анализ ландшафтного устройства каждой функциональной зоны и провести комплексную природную оценку всех туристических маршрутов внутри них.

Для анализа сложности прохождения каждого из восьми маршрутов было проведено моделирование территории. Построение модели проводилось в программе Global Mapper 15 при помощи функции «Show 3D View» с использованием космических снимков SRTM. Подгрузив слой с туристическими маршрутами, вдоль каждого из них при помощи функции «3D Path Profile/Line of Sight Tool» прокладывался путь с автоматическим построением графиков. На их основе проведён анализ маршрутов относительно перепада высот на местности (рис. 3).

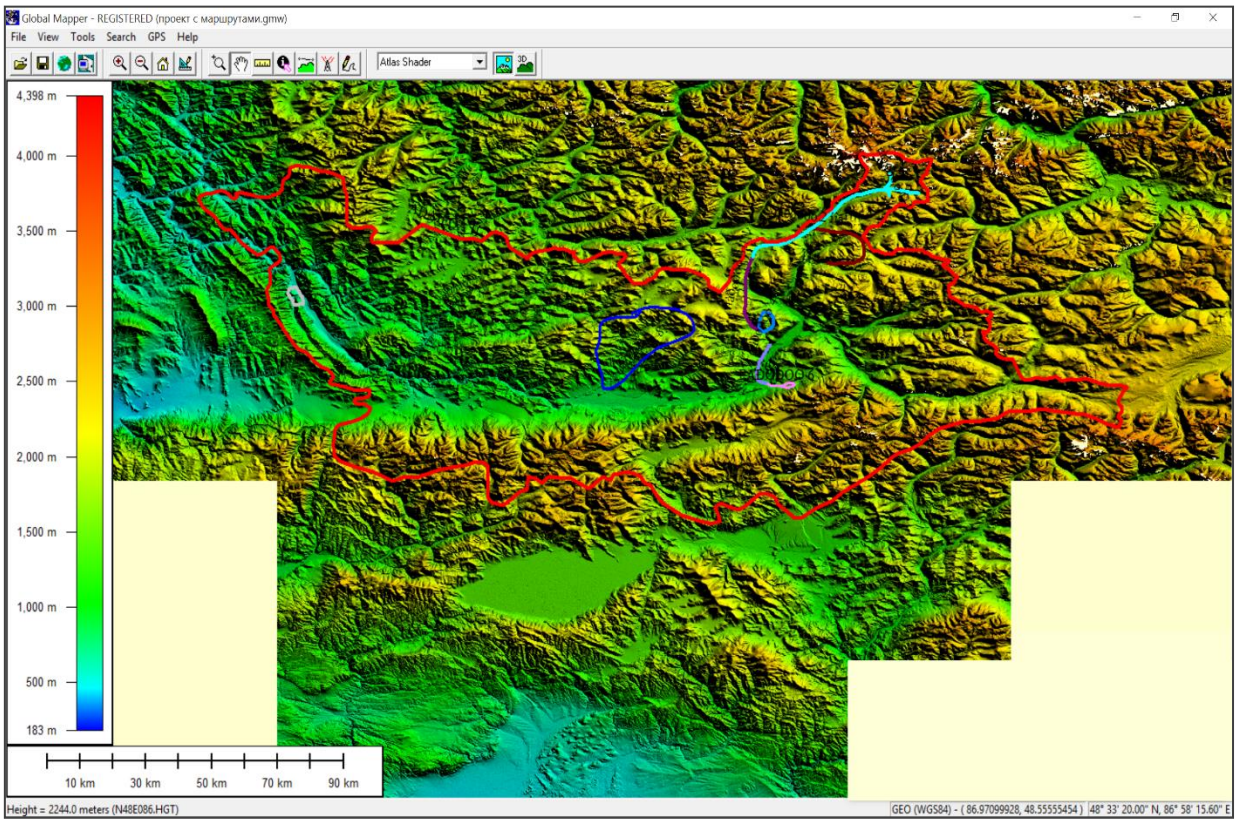


Рис. 3. Моделирование территории в программе Global Mapper 15
Fig. 3. Territory modeling in Global Mapper 15

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ ландшафтной структуры Катон-Карагайского национального парка показал, что функциональные зоны выделены с учётом специфических особенностей территории. Все четыре функциональные зоны охватывают разнообразные ландшафты, характерные для всего Алтайского региона. Ландшафтные особенности, включающие разнообразие растительного и почвенного покрова, необходимо учитывать в осуществление какого-либо вида деятельности на территории национального парка [*Шеремет, Калуцкова,* 2018].

Оценка ландшафтного разнообразия туристических маршрутов проводилась в пределах зоны туристско-рекреационной деятельности, т.к. именно через неё проходит основная часть туристических маршрутов. Особенность данной зоны заключается в том, что она протягивается с северо-востока от Катунского хребта на юго-запад и охватывает живописные горные массивы с редкими хвойными и лиственными лесами, горные реки (Белая и Черная Берель, Язёвая, Черновая, Белая) и озёра (Черновое, Язёвое, Маралье, Кокколь).

В качестве детального примера нами рассмотрен туристический маршрут «Алтайскими тропами» в районе горы Белухи. Маршрут был предложен ещё до создания национального парка. Начало маршрута проходит практически по границе с заповедной зоной,

но при этом полностью находится в пределах зоны туристской и рекреационной деятельности. Особое разнообразие маршрута связано с тем, что он пересекает высокогорные ландшафты. В пределах класса высокогорных ландшафтов с останцами поверхностей выравнивания маршрут пересекает следующие виды ландшафтов: ландшафт речных долин с еловыми лесами на аллювиальных дерновых и лесолуговых почвах (№ 24); ландшафт нижних частей склонов под берёзово-осиновыми, хвойно-берёзовыми лесами на серых лесных почвах (№ 22); ландшафт средних частей склонов под лиственничными и кедровыми лесами на горных дерново-подзолистых почвах (№ 19).

В пределах класса высокогорных ландшафтов с альпийскими формами рельефа с современным оледенением маршрут пересекает ландшафт речных долин с еловыми и кедровыми лесами на аллювиальных дерновых и лесолуговых почвах (№ 11); ландшафт нижних частей склонов под смешанными лесами с преобладанием пихты, лиственницы и кустарников на серых лесных почвах (№ 9); ландшафт средних частей склонов под кедровыми лесами на бурых лесных почвах (№ 7); ландшафт безлесных горных вершин на примитивных горно-тундровых почвах (№ 3) (рис. 4).

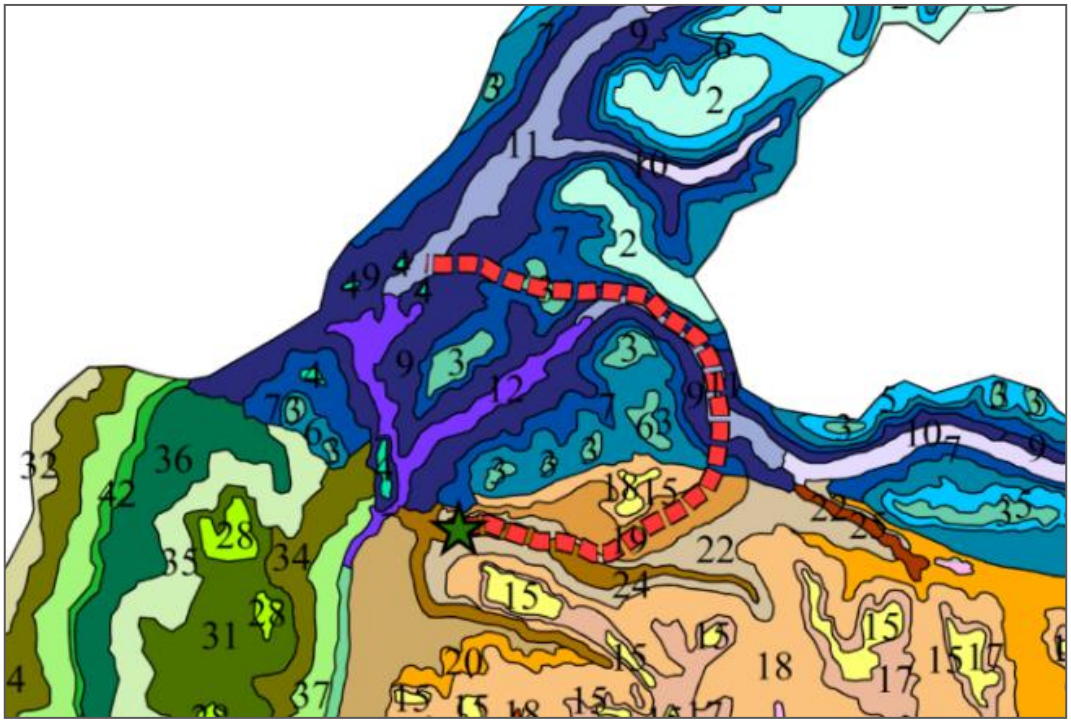


Рис. 4. Пример туристического маршрута «Алтайскими тропами»
Fig. 4. Example of tourist route "Altay trails"

Анализируя график перепада высот по маршруту, на расстоянии первых 10 км отчётливо выделяется долина реки Арасанки, находящаяся на уровне 1750–1820 м н.у.м. Далее по маршруту отмечается подъём до отметки 2500 м н.у.м. Перепад высот при прохождении этого участка составляет 750 м. Достигнув максимальной отметки в 2500 м н.у.м., отмечается спуск по склону к долине р. Чёрная Берель. Протяжённость этого участка составляет около 15 км с увеличением высоты до 1850 м н.у.м. Далее вновь наблюдается подъём до отметки 2200 м н.у.м. Это самая высокая часть маршрута, с которой открывается панорамный вид на протянувшуюся долину р. Белая Берель. Затем наблюдается постепенный спуск к речной долине Белой Берели до уровня 1550–1570 м н.у.м. Разница между максимальной и минимальной отметкой составила около 950 м (рис. 5).

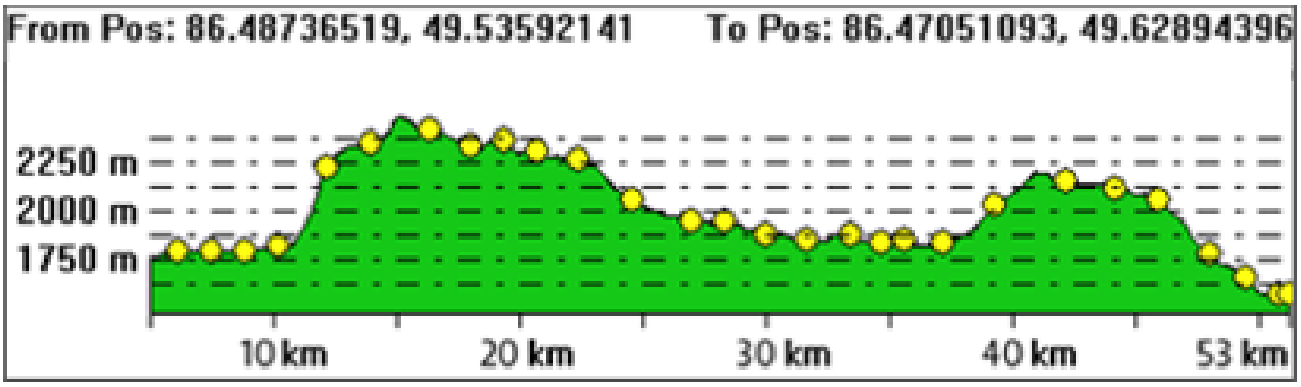


Рис. 5. График перепада высот по маршруту «Алтайскими тропами»
Fig. 5. Altitude change graph along the route "Altay trails"

Подробный анализ ландшафтного разнообразия туристических маршрутов нами был проведён для каждого из 8 маршрутов в пределах зоны туристской и рекреационной деятельности национального парка. Это дало возможность оценить использование ландшафтного потенциала всей зоны в целом. Для этого нами были рассчитаны площади всех видов ландшафтов в пределах Катон-Карагайского национального парка.

Зона туристской и рекреационной деятельность представлена четырьмя классами ландшафтов. Класс высокогорных ландшафтов с альпийскими формами рельефа в пределах национального парка включает 13 видов ландшафтов, в туристско-рекреационной зоне встречается 11 видов. Туристические маршруты проходят через 7 видов ландшафтов (рис. 6).

Рис. 6. Доля видов ландшафтов в пределах класса высокогорных ландшафтов с альпийскими формами рельефа
(№ видов ландшафтов в легенде к ландшафтной карте)
Fig. 6. The proportion of landscape types within the high-mountain landscapes class related to alpine terrain
(landscape type is shown by No in the legend of the landscape map)

Преобладающими в пределах зоны являются ландшафты верхних частей склонов с альпийскими лугами на горно-луговых альпийских почвах (№ 6), которые занимают 5 % от площади всех выделенных видов ландшафтов в пределах национального парка, и

ландшафты нижних частей склонов под пихтовыми, лиственничными лесами на серых лесных почвах (№ 9) — 5,2 %.

Класс высокогорных ландшафтов с останцами поверхностей выравнивания также включает 13 видов ландшафтов, из которых 11 встречается в зоне туристской и рекреационной деятельности. Максимальные площади здесь занимают ландшафты средних частей склонов с пихтово-елово-лиственничными лесами на тёмно-серых почвах (№ 20) — 4,8 % и ландшафты верхних частей склонов под альпийскими лугами с зарослями кустарников на горно-луговых альпийских почвах (№ 18) — 3,7 %. Однако эти комплексы не пересекаются туристическими маршрутами. Маршруты проложены только через 3 вида ландшафтов, среди которых можно выделить ландшафты речных долин с еловыми лесами на аллювиальных дерновых и лесолуговых почвах (№ 24) и ландшафты нижних частей склонов с берёзово-осиновыми, хвойно-берёзовыми лесами на серых лесных почвах (№ 22). Следует отметить, что редкие ландшафты речных долин со смешанными еловыми, лиственничными и берёзовыми лесам на аллювиальных дерновых и лесолуговых почвах (№ 25) и речных долин со смешанными берёзово-тополевыми, хвойно-берёзовыми, ивово-кустарниковыми лесами на пойменных лугово-чернозёмных и луговых почвах (№ 26) маршрутами не пересекаются (рис. 7).

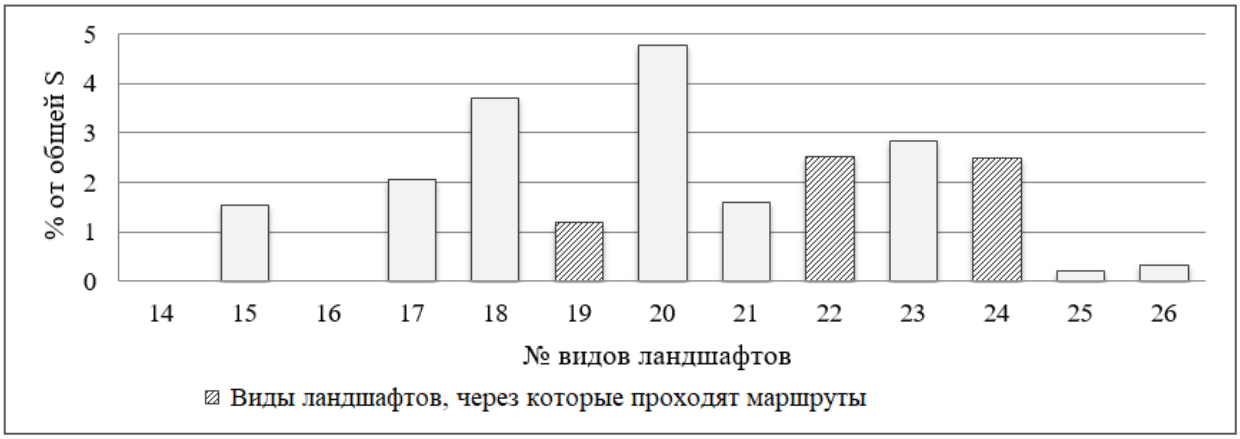


Рис. 7. Доля видов ландшафтов в пределах класса высокогорных ландшафтов с останцами поверхностей выравнивания (№ видов ландшафтов в легенде к ландшафтной карте)
Fig. 7. The proportion of landscape types within the high-mountain landscapes class related to residual outcrop of planation terrain (landscape type is shown by No in the legend of the landscape map)

В пределах класса среднегорных ландшафтов поверхностей выравнивания выделяется наибольшее число видов ландшафтов — 17. В границах туристско-рекреационной зоны нами отмечено только 12. Максимальную площадь (6 % от общей площади национального парка) занимают ландшафты нижних частей склонов с берёзово-осиновыми и берёзово-сосновыми лесами на горных тёмно-серых почвах (№ 37) — 6 %, эти комплексы пересекаются туристическими маршрутами. Ландшафты верхних частей склонов с лиственничным и кедровым редколесьем на дерново-подзолистых почвах (№ 32), занимающие 4,5 % площади парка, маршрутами не пересекаются. Таким образом, из 12 видов ландшафтов маршрутами пересекаются только 5 (рис. 8).

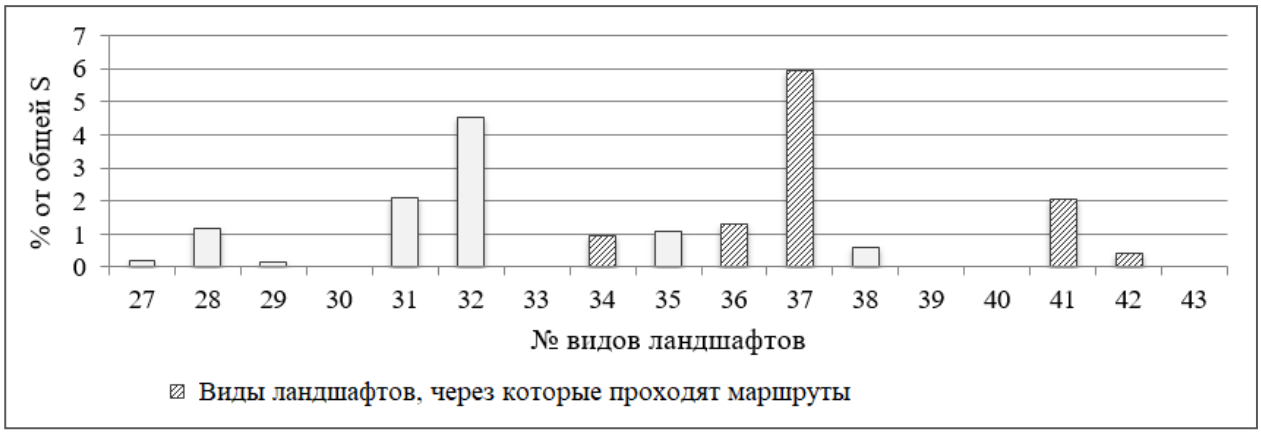


Рис. 8. Доля видов ландшафтов в пределах класса среднегорных ландшафтов поверхностей выравнивания (№ видов ландшафтов в легенде к ландшафтной карте)
Fig. 8. The proportion of landscape types within the mid-mountain landscapes class related to planation terrain (landscape type is shown by No in the legend of the landscape map)

Класс увалисто-грядовых среднегорных ландшафтов включает в себя 12 видов ландшафтов, 10 из которых отмечены в функциональной зоне туристской и рекреационной деятельности. Маршруты проходят через 7 видов ландшафтов, среди которых явно преобладают ландшафты средних частей склонов под лиственничным и сосново-лиственничным редколесьем на серых лесных почвах (№ 50). Наиболее редкие ландшафты залесённых горных вершин с лиственничным редколесьем на бурозёмах (№ 45) и ландшафты верхних частей склонов с кедрово-лиственничным редколесьем на дерново-подзолистых почвах (№ 46) маршрутами не пересекаются (рис. 9).

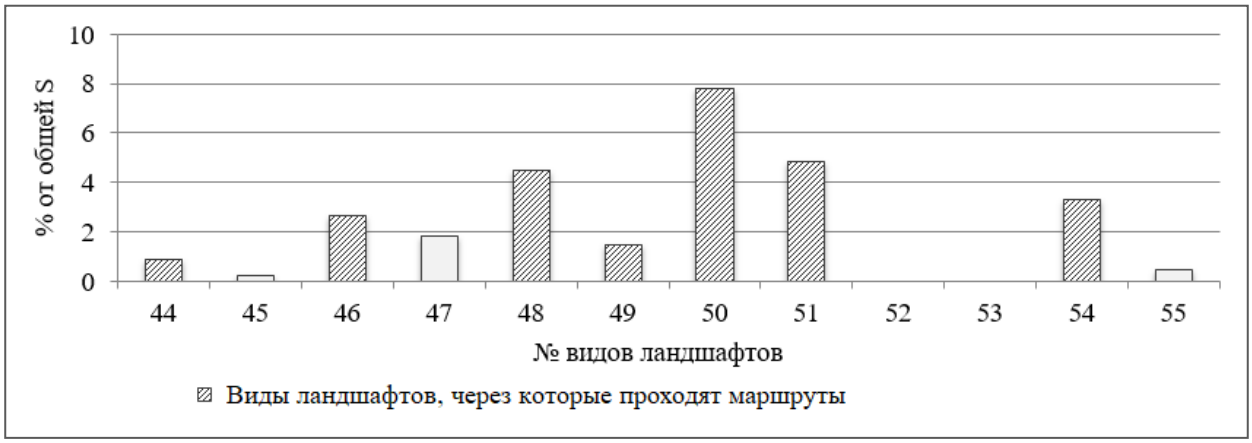


Рис. 9. Доля видов ландшафтов в пределах класса среднегорных ландшафтов увалисто-грядовых (№ видов урочищ в легенде к ландшафтной карте)
Fig. 9. The proportion of landscape types within the mid-mountain hill-ridged landscapes class (landscape type is shown by No in the legend of the landscape map)

Подробный анализ структуры четырех ландшафтов внутри наиболее значимой туристско-рекреационной функциональной зоны позволил нам максимально оценить ландшафтное разнообразие туристических маршрутов. Из 44 видов ландшафтов, выделенных в пределах рассматриваемой зоны, туристические маршруты охватывают 22 вида. Это показывает, что ландшафтное разнообразие зоны ещё недостаточно используется при организации маршрутов.

ВЫВОДЫ

Впервые создана авторская ландшафтная карта на всю территорию Катон-Карагайского национального парка в масштабе 1: 500 000. Выделено 63 вида ландшафта в пределах 5 классов ландшафтов.

Проведён анализ ландшафтного разнообразия 8 туристических маршрутов, сопряжённый с анализом ландшафтного устройства зоны туристской и рекреационной деятельности с применением ГИС-технологий.

Отмечено, что все туристические маршруты проложены в пределах высокогорных ландшафтов с альпийскими формами рельефа и среднегорных увалисто-грядовых ландшафтов. На основе комплексного анализа с использованием авторской ландшафтной карты было определено, что именно в этих ландшафтах наблюдается максимальное ландшафтное разнообразие туристических маршрутов.

Выявлено, что ландшафтное разнообразие зоны туристской и рекреационной деятельности намного шире, чем ландшафтное разнообразие маршрутов, что даёт возможность для рекомендации организации новых туристических маршрутов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иващенко А.А.* Заповедники и национальные парки Казахстана. Алматы: «Алматы кітап баспасы», 2009. 87 с.
2. *Калуцкова Н.Н., Шеремет Э.А.* Информационное обеспечение экологического туризма в Катон-Карагайском национальном парке (Казахстан). Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования. Т. 12. М.: АНО «Диалог культур», 2017. С. 91–97.
3. *Кизим А.В*. Информационные технологии в туризме: учебно-методическое пособие. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2011. 146 с.
4. *Крыкбаева Р.Н., Зинченко Ю.К.* Катон-Карагайский государственный национальный природный парк. Усть-Каменогорск: [б. и.], 2008. 102 с.
5. *Крыкбаева Р.Н., Челышев А.Н.* Труды Катон-Карагайского национального парка. Т. 1. Усть-Каменогорск: «Профит», 2006. 278 с.
6. Национальный атлас Республики Казахстан. Т. 1. Природные условия и ресурсы. Алматы: 2010. 109 с.
7. *Нехорошев В.П.* Геология СССР. Т. 41. Восточный Казахстан. М.: Недра, 1967. 467 с.
8. *Шеремет Э.А., Калуцкова Н.Н.* Ландшафтный подход при функциональном зонировании Катон-Карагайского национального парка (Казахстан). Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов. Материалы XIII Международной ландшафтной конференции. Воронеж: ИСТОКИ, 2018. С. 134–135.
9. *Jovanovic V., Njegus A.* The application of GIS and its components in tourism. Yugoslav Journal of Operations Research, 2008. No 18 (2). P. 261–272. DOI: 10.2298 / yujor0802261j.

REFERENCES

1. *Ivashchenko A.A.* Nature reserves and national parks of Kazakhstan. Almaty: “Almaty Kitap Baspasy”, 2006. 284 p. (in Russian).
2. *Jovanovic V., Njegus A.* The application of GIS and its components in tourism. Yugoslav Journal of Operations Research, 2008. No 18 (2). P. 261–272. DOI: 10.2298 / yujor0802261j.

3. *Kalutskova N.N., Sheremet E.A.* Ecotourism information support in Katon-Karagay National Park (Kazakhstan). Tourism and recreation: fundamental and applied research, Moscow: Dialogue of Cultures, 2017. V. 12. P. 91–97 (in Russian).
4. *Kizim A.V.* Information technology in tourism: a teaching aid. Astrakhan: Astrakhan University Publishing House, 2011. 146 p. (in Russian).
5. *Krykbaeva R.N., Chelyshev A.N.* Proceedings of the Katon-Karagay National Park. Ust-Kamenogorsk: “Profit”, 2006. V. 1. 278 p. (in Russian).
6. *Krykbaeva R.N., Zinchenko Yu.K.* Katon-Karagay State National Natural Park. Ust-Kamenogorsk: [s.n.], 2008. 102 p. (in Russian).
7. National atlas of the Republic of Kazakhstan. Natural conditions and resources. Almaty, 2010. V. 1. 109 p. (in Russian).
8. *Nekhoroshev V.P.* Geology of the USSR. Eastern Kazakhstan. Moscow: Nedra, 1967. V. 41. 467 p. (in Russian).
9. *Sheremet E.A., Kalutskova N.N.* The landscape approach for the functional zoning of the Katon-Karagay National Park (Kazakhstan). Proceedings of the XIII International Landscape Conference: The current landscape-ecological state and the problems of optimizing the natural environment of the regions. Voronezh: ISTOKI, 2018. P. 134–135 (in Russian).

УДК: 912.4 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-349-358**

И.Н. Тикунова[1], М.Ю. Щербатова[2]

ФОРМИРОВАНИЕ ТУРИСТСКОГО БРЕНДА НА ПРИМЕРЕ БОЛЬШОГО АЛТАЯ

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена трансграничная территория Большого Алтая (Россия-Монголия-Казахстан-Китай) в контексте международного сотрудничества и развития туризма, как особой формы межкультурных коммуникаций. Проанализированы природные и культурные особенности, исторические обстоятельства и современные условия для развития приграничного сотрудничества в области туризма. На основе анализа подходов к формированию брендов стран в отечественной и зарубежной литературе дано определение бренда территории. Выявлены отличия в формировании национальных и транснациональных брендов, главное из которых — учёт особенностей каждой трансграничной территории (разный туристский потенциал, организационно-хозяйственная структура, политическое устройство, приоритеты в развитии туризма). Проведена оценка туристского потенциала рассматриваемых территорий с помощью кластерного анализа по 8-ми показателям: количество объектов ЮНЕСКО, плотность историко-культурных и природных объектов, доля площади особо охраняемых природных территорий (ООПТ), ёмкость гостиничного фонда, визовый статус, степень участия в проекте Большого Алтая, комплексный показатель транспортной доступности, в свою очередь состоящий из 4-х показателей (плотность железнодорожных, автомобильных дорог, пассажиропоток, количество контрольно-пропускных пунктов). Сформированы суббренды по каждому региону и выделен общий потенциальный бренд Большого Алтая, который может быть использован по продвижению Большого Алтая как туристской территории.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: туристский бренд, суббренд территории, туристско-рекреационный потенциал, туристская территория, трансграничная территория Большого Алтая (Россия-Монголия-Казахстан-Китай)

Irina N. Tikunova[3] , Maria Yu. Sherbatova[4]

FORMATION OF A TOURIST BRAND ON THE EXAMPLE OF THE BIG ALTAI

ABSRACT

The cross-border territory of the Greater Altai (Russia-Mongolia-Kazakhstan-China) is considered in the context of international cooperation and tourism development as a special form of intercultural communication. The article analyzes natural and cultural features, historical circumstances and modern conditions for the development of cross-border cooperation in the field of tourism. Based on the analysis of approaches to the formation of country brands in domestic and

[1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail:* **irina.tikunova@icloud.com**

[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail:* **sherbatova.mary@mail.ru**

[3] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia; *e-mail:* **irina.tikunova@icloud.com**

[4] Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia; *e-mail:* **sherbatova.mary@mail.ru**

foreign literature, the definition of the territory brand is given. There are differences in the formation of national and transnational brands, the main of which is taking into account the characteristics of each cross-border territory (different tourist potential, organizational and economic structure, political structure, priorities in the development of tourism). The evaluation of the tourism potential of the territories using cluster analysis on 8 indicators: number of UNESCO sites, the density of historical, cultural and natural sites, the proportion of the area of specially protected natural territories (SPNT), the capacity of hotel rooms, visa status, degree of participation in the project of greater Altai, the complex index of transport accessibility, in turn consisting of 4 parameters (density of the railway, highways, passenger traffic, number of crossings). Sub-brands have been formed for each region and a common potential brand of the Greater Altai has been identified, which can be used to promote the Greater Altai as a tourist territory.

KEYWORDS: tourist brand, sub-brand of the territory, tourist and recreational potential, tourist territory; cross-border territory of the Greater Altai (Russia-Mongolia-Kazakhstan-China)

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость выработки новых основ как глобального, так и регионального международного сотрудничества является важнейшей задачей начала третьего тысячелетия. На фоне новых формирующихся моделей сотрудничества типа «Евразия», «Большая Азия», «Новый Шёлковый путь» открываются и новые перспективы укрепления международных связей в уникальном с природной, геополитической и геокультурной точек зрения Алтайском регионе. В науке сформировалось несколько названий этой трансграничной территории, расположенной на стыке границ России, Казахстана, Китая и Монголии: Алтайский регион, Большой Алтай, трансграничный Алтай. Будем в дальнейшем использовать более общепринятое название: Большой Алтай.

Предпосылками для приграничного сотрудничества этой территории являются как объективные природные предпосылки и исторические обстоятельства, так и сложившиеся современные условия. Многочисленные торгово-экономические, этнические, политические и культурные нити в течение многих веков связывали обширное горное пространство Большого Алтая. К началу XXI в. сформировались условия для выхода регионального международного сотрудничества между четырьмя расположенными здесь государствами на качественно иной уровень. В сущности, мы имеем здесь пример евразийского сотрудничества народов, нацеленного в будущее и обладающего ярко выраженными отличиями, если сравнить, например, с европейскими формами и механизмами регионального сотрудничества.

В 2000 г. начался уникальный международный проект, объединивший в своих рядах широкие политические, научные, общественные и предпринимательские круги четырёх сопредельных государств на Алтае: России, Монголии, Казахстана и Китая. Он получил название Международный координационный совет «Наш общий дом — Алтай» (МКС). Проект официально закрепил понятие Большого Алтая на региональном и международном уровне, выделив эту трансграничную территорию по административно-территориальным границам. Трансграничная территория включает в себя китайский регион Алтайского округа Синьцзян-Уйгурского автономного района; два монгольских аймака Ховда и Баян-Улгия, казахстанский регион Восточно-Казахстанской области и российские регионы Алтайского край и Республики Алтай. В настоящее время точная граница с Китаем не определена, она меняется в зависимости от целей исследования. В нашем случае будем принимать за южную границу территории Алтайский округ Синцзяна, т.к. в целях туризма представляет важность только часть Синьцзяна на северо-западе. Именно на этой территории идёт развитие туризма, осуществляется транзит туристов из Китая через плато Укок в Россию. В его рамках в настоящее время реализуются многие двухсторонние и многосторонние международные программы различной направленности. Они связаны со сферами инфраструктуры, здравоохранения, транспорта, культуры, образования, торговли, в частности,

туризма. Другими словами, территория Большого Алтая была выделена не только в целях развития туризма. Необходимость формирования бренда конкретно на этой трансграничной территории обусловлена желанием привлечь большее количество туристов, которые будут путешествовать и знакомиться со всей территорией Большого Алтая, а не отдельных регионов.

Актуальность исследования заключается в создании благоприятного, сильного и запоминающегося бренда, эффективно используя туристский потенциал региона. В нашем случае речь идёт о потенциальных возможностях развития туризма и рекреации на территории Большого Алтая.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В теоретическом плане исследование опирается на труды отечественных [*Панкрухин,* 2004; *Важенина,* 2006; *Замятин, Замятина*, 2007; 2011; *Попов,* 2010; *Степанычева,* 2012; *Шалыгина и др.,* 2013; *Замятин,* 2013;] и зарубежных учёных [*Аакер*, 2009; *Anholt*, 2009; *Динни,* 2017 и др.], рассматривающих понятия туристского образа, имиджа и бренда территории и разграничение этих понятий. Выявлены факторы, влияющие на формирование бренда территории, и проанализированы подходы к формированию бренда страны в зависимости от выбранной цели. В работе использованы материалы «Атласа Большого Алтая: природа, история, культура» и монографии А.С. Ужакина [2017].

Применены общенаучные методы анализа и синтеза по проблеме исследования, а также статистические методы обработки данных. Для этого были использованы сервисы поисково-информационной картографической службы Яндекс, Карты, Wikimapia и карты Google. Для оценки туристского потенциала трансграничной территории Большого Алтая применялся кластерный анализ. Для визуализации использовались пакеты QuantumGIS, ArcGIS и CorelDraw. Определение количества запросов объекта в среднем в месяц проведено в статистической системе wordstat.yandex.ru.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе анализа подходов к брендированию дано определение, отражающее все характеристики этого понятия. Так, бренд территории — это разновидность ярко выраженного положительного имиджа территории с элементами уникальности и оригинальности, характеризующийся совокупностью уникальных качеств, непреходящих общечеловеческих ценностей, отражающих своеобразие, неповторимые потребительские характеристики данной территории сообщества, широко известные, получившие общественное признание и пользующиеся стабильным спросом потребителей данной территории.

По итогам рассмотрения культурно-исторического и природного наследия всех регионов трансграничной территории был выделен общий бренд Большого Алтая международного уровня, который может быть использован в качестве представления туристского потенциала территории за рубежом. Для его формирования были выделены суббренды по методике Замятиной [2011]. Она выделяет три важнейших предпосылки формирования бренда — ***содержательное ядро, система ценностей и система символов***.

Система общекраевых ценностей только зарождается и пока плохо проработана. Соответственно не разработан пока и сам бренд всей трансграничной территории Большого Алтая. Поэтому мы вводим понятие потенциального бренда территории.

Для формирования ***суббрендов*** по каждому входящему в территорию региону по типу «зонтичного бренда» использовалась представленность в сети Интернет. Применена система wordstat.yandex.ru., которая выявляет среднее количество запросов за месяц, и использован показатель наличия объектов на официальных туристических сайтах региона. Были взяты объекты с максимальным количеством показов в месяц в среднем. Кроме того, учитывалось развитие преобладающих видов туризма по регионам и по территории Большого Алтая в целом.

Рассмотрим формирование ***суббренда*** регионов трансграничной территории. Для **Алтайского округа Синцзян-Уйгурского района Китая** характерно преобладание следующих видов туризма: познавательный (уникальные археологические раскопки), этнографический (традиции и культура казахов и тувинцев), научный (изучение видового разнообразия природных объектов, занятие фотографией). В качестве ***суббрендов*** китайского Алтая было выделено 2 природных объекта: **озеро Канас** и **озеро Улюнгур**. Эти объекты пользуются наибольшей популярностью в системе wordstat.yandex.ru. На их территории можно заниматься любым из вышеперечисленных видов туризма. Культурный туризм охватывает изучение уникальных природных свойств озёр. Этнографический туризм связан с изучением традиций казахов и тувинцев, проживающих на территории оз. Канас. Научный туризм охватывает исследования учёными видового разнообразия флоры и фауны озёр, а также использование живописных мест для профессионального занятия фотографией.

В качестве ***бренда китайского Алтая*** можно выделить уникальный регион природного разнообразия, включающий озёра Канас и Улюнгур, с богатым видовым разнообразием и этническим наследием (преобладающие казахи). Регион (оз. Канас) также характеризуется крупнейшим скоплением ледников в Алтайской горной системе (210 ледников общей площадью 400 км²).

Для Ховдского аймака Монголии характерно преобладание следующих видов туризма: культурный и научный (множество археологических раскопок), этнокультурный (фестивали и праздники коренных народов — монголов, тувинцев и казахов). В качестве ***суббрендов*** Ховдского аймака был выделен 1 историко-культурный и 3 природных объекта (объединены в один объект): руины стен старой китайской крепости «Сангийнхэрэм» и озёра Хараус-Нур, Хаар-Нур и Доран-Нур. На территории этих объектов можно заниматься как научным, культурным, так и событийный туризмом, изучая уникальные архитектурные раскопки руин крепости, традиции местных народов и исследуя видовое разнообразие озёр.

Баян-Ульгийский аймак представлен следующими видами туризма: научный, культурный (изучение рисунков бронзового века, самых ранних мест человеческого обитания в Монголии (700 000 лет назад)), спортивный (покорение вершины Дунхэгэр (3315 м)) и событийный (фестивали и праздники коренных народов: монголов, тувинцев и казахов). В качестве ***суббрендов*** Баян-Ульгийского аймака было выделено 3 объекта (1 историко-культурный, 2 природных): петроглифы Монгольского Алтая (объект ЮНЕСКО), р. Онон и оз. Хотон-Нуур.

В качестве ***бренда монгольского Алтая*** можно выделить уникальный регион природного и этнокультурного разнообразия (традиции монголов, тувинцев и казахов), включающий археологические объекты (руины крепости «Сангийнхэрэм», петроглифы Монгольского Алтая) и природные (озёра Хараус-Нур, Хаар-Нур, Доран-Нур, Хотон-Нуур и р. Онон) с богатым археологическим наследием особого охранного статуса (петроглифы-объект ЮНЕСКО, недалеко от них были обнаружены самые ранние места человеческого обитания в Монголии).

Для **Восточно-Казахстанской области** Казахстана характерно преобладание следующих видов туризма: спортивный (восточная вершина г. Белуха, различные горнолыжные базы («Нуртау», «Алтайские Альпы», «Эдельвейс» и др), экологический (рыбалка и охота – озеро Маркаколь), лечебно-оздоровительный (грязи Мыншункыр, Рахмановские ключи), культурный и научный (обилие значимых археологический памятников), пляжный (побережья оз. Алаколь, Бухтарминского вдхр. и Сибинских озёр). В качестве ***суббрендов*** казахстанского Алтая было выделено 4 объекта (2 историко-культурных и 2 природных): памятник природы Киин-Кериш, Берельские курганы, термальные источники Рахмановские ключи и оз. Маркаколь. Эти суббренды объединяют почти все виды туризма, встречающиеся на территории. Культурный и научный туризм охватывает изучение уникального памятника природы Киин-Кериш (ценность-наивысшая насыщенность костными остатками континентальных отложений среди подобных памятников всей Евразии, видовое

разнообразие флоры и фауны оз. Маркаколь), Берельские курганы — как центр зарождения тюркской цивилизации (1-е тысячелетие до н.э.). Экологический туризм распространяется на территории оз. Маркаколь (видовое разнообразие флоры и фауны). Лечебно-оздоровительный туризм охватывает использование термальных источников Рахмановских Ключей (лечебные гидрокарбонатно-кальциевые воды источников).

В качестве **бренда казахстанского Алтая** можно выделить уникальный регион природного разнообразия, включающий богатое археологическое наследие (Киин-Кериш и Берельские курганы (центр зарождения тюркской цивилизации – 1-е тысячелетие до н.э.), лечебные источники (Рахмановские Ключи) и объект экологического туризма (оз. Маркаколь — рыбная ловля).

Для **Республики Алтай** России характерно преобладание следующих видов туризма: спортивный (г. Белуха, Семинский хр., конные прогулки по району Мультинских озер, сплав по р. Катунь и др.), сельский (комплексы р. Катунь, оз. Телецкое), пляжный (оз. Телецкое, курорт Белокуриха), культурный и научный (курганы пазырыкской культуры, оз. Кучерлинское — наблюдения за снежным барсом), гастрономический (целебный мёд, панты марала, фитопродукция), лечебно-оздоровительный (медицинский) (фармацевтическая продукция на основе лекарственных растений), экологический (рыбалка и охота), этнокультурный (фестивали и праздники местных народов: алтайцы, казахи). В качестве ***суббрендов*** республики Алтай было выделено 5 объектов (1 историко-культурный и 4 природных): Чуйский тракт (более 12 000 показов в месяц), курганы Пазырыкской культуры, р. Катунь, оз. Телецкое (объект ЮНЕСКО), г. Белуха (объект ЮНЕСКО). Эти суббренды объединяют все виды туризма, перечисленные выше.

Для **Алтайского края** России характерно преобладание следующих видов туризма: пляжный (ОЭЗ ТРТ «Бирюзовая Катунь», оз. Ая), сельский (оз. Ая, Белокуриха), экологический (рыбалка и охота), событийный (Шукшинские дни, международный фестиваль «Праздник сыра»), культурный и научный (Денисова пещера — в ней в 2008 г. были обнаружены костные останки человека, разновидность которого ранее не была известна учёным, Тавдинская пещера), лечебно-оздоровительный (оз. Колыванское, оз. Малиновое, оз. Яровое), деловой (Белокуриха) и этнокультурный (праздники и фестивали местных народов: немцы, русские, украинцы и др.). В качестве ***суббрендов*** территории было выделено 5 объектов: 2 из них относятся к выдающейся личности, 3 — природные объекты: В.М. Шукшин (писатель, кинорежиссер и актёр; положительный персонаж шукшинских рассказов — как воплощение типичного жителя Алтайского края) — 199 124 показов в месяц в среднем, М.Т. Калашников (известный конструктор одноименного стрелкового оружия) — 275 720 показов в месяц; Белокуриха, ОЭЗ ТРТ «Бирюзовая Катунь», уникальная местная продукция (целебный мёд, панты марала, фитопродукция, фармацевтическая продукция на основе лекарственных растений).

В качестве ***бренда российского Алтая*** можно выделить уникальный регион природного и этнокультурного разнообразия, включающий природные объекты международного уровня — ЮНЕСКО (г. Белуха, оз. Телецкое (2 из наших суббрендов), выдающихся исторических личностей (В.М. Шукшин и М.Т. Калашников), археологическое наследие пазырыкской культуры. Данную территорию недаром называют колыбелью тюркских народов, о чём говорят многочисленные археологические находки. Это центр историко-культурного наследия бывших и современных народов, где сочетаются православные, буддийские, исламские и языческие религиозно-культурные традиции, дополняя друг друга.

Общий потенциальный **бренд территории Большого Алтая** будет выглядеть следующим образом. К этой территории относится уникальный регион природного и этнокультурного разнообразия, который включает природные комплексы: заснеженный горный ландшафт (г. Белуха) с разнообразием водных объектов, преимущественно озёр, (оз. Телецкое, оз. Канас, Коккольский водопад), ледников; курорт Белокуриху, ОЭЗ ТРТ «Бирюзовая Катунь», лечебные источники (Рахмановские ключи); историко-культурные комплексы —

археологические раскопки (Денисова пещера — новый вид человека «человек алтайский»), Петроглифические комплексы Монгольского Алтая, Курганы Пазырыкской культуры; колыбель тюркских народов с сохранением их культурного и традиционного наследия; уникальную пищевую и фармацевтическую продукцию: целебный мёд, панты марала, лекарства на основе лекарственных растений. Также был создан ***логотип*** территории Большого Алтая (рис. 1), который включает логотип г. Белуха, логотип петроглифов, марала и целебного мёда. По методике Н.Ю. Замятиной содержательным ядром здесь будут выступать сами объекты, система ценностей — особенности и уникальные свойства объектов, система символов пока не разработана до конца, т.к. нет чёткого символа того или иного объекта [2011].

Рис. 1. Предлагаемый логотип бренда Большого Алтая
Fig. 1. Proposed brend's logotype of Big Altai

Степень аттрактивности страны/региона зависит от множества факторов. В целях исследования было использовано 8 показателей. Регионы ранжировались по каждому показателю с помощью кластерного анализа с учётом весов, полученных экспертным путем. Наибольший вес 5 имеют такие показатели, как количество объектов ЮНЕСКО на территории, частота встречаемости природных объектов по всей территории Большого Алтая (количество/км^2) и доля ООПТ от общей площади Большого Алтая (%). Эти показатели в наибольшей степени отражают территориальную привлекательность региона с точки зрения туризма, т.к. в целом вся территория отличается богатым природным наследием, которое в первую очередь и определяет её аттрактивность. Именно они имеют ресурсную основу для развития тематического туризма.

Вес 4 был присвоен таким показателям, как транспортная доступность (баллы) и номерной фонд (количество мест в коллективных средствах размещения). Эти показатели составляют инфраструктурную основу развития туризма. Они отражают степень развитости страны, а большую часть туристов привлекают именно развитые страны, которые могут предложить хорошие условия проживания и перемещения. В свою очередь транспортная доступность была оценена по 4 отдельным показателям: плотность автомобильной сети

(км/км^2), плотность железнодорожной сети (км/км^2), пассажиропоток (количество человек) и количество контрольно-пропускных пунктов. Всё это имеет очень важное значение для оценки степени доступности регионов для туристов. Однако степень развития инфраструктуры имеет меньшее значение, чем наличие богатого природного наследия. Поэтому этим показателям присвоен уже меньший вес.

Вес 3 был присвоен показателю частоте встречаемости историко-культурных объектов на всей площади Большого Алтая (количество/км^2). Этот показатель оказывает меньшее влияние на оценку аттрактивности территории, хотя по отдельным регионам играет большую роль в оценке туристской привлекательности.

Вес 2 имеет показатель визового статуса. Здесь мы рассматриваем только посещение страны с туристическими целями. Из всех регионов, входящих в трансграничную территорию, только Казахстан требует от Китая визу до 30 дней для въезда в страну. Это самая закрытая в плане визового режима страна. Для остальных стран (Россия и Монголия) виза не нужна. Для въезда в Китай и в Россию виза не нужна для населения трансграничных территорий. В случае с Китаем виза не требуется для других стран до 15 дней для туристической группы от 5 до 50 человек. Россия предоставляет безвизовый режим для Казахстана до 90 дней, Монголии — до 30 дней, для Китая — до 15 дней для группы от 5 до 50 человек. Это самые открытые для въезда страны, соответственно это касается Алтайского округа Синьцзян-Уйгурского автономного района, Алтайского края и Республики Алтай.

Вес 1 получил такой показатель, как степень участия региона в проекте «Большой Алтай» по представленности в сети Интернет. Была использована система wordstat.yandex.ru., которая показывает количество запросов в среднем за месяц. Это достаточно субъективный показатель, поэтому ему был присвоен минимальный вес.

В результате по каждому региону рассчитана интегральная оценка степени его туристской привлекательности. На основании этой оценки все страны были поделены на 3 группы.

В первую группу вошли регионы с высоким туристским потенциалом. Сюда попали регионы России: Алтайский край и Республика Алтай. Алтайский край по 4 показателям из 8 занимает лидирующие позиции, имеет максимальные значения плотности автомобильной сети (0,1 км/км^2), плотности железнодорожной сети (0,1 км/ км^2), пассажиропотока (более 0,5 млн чел., наличия историко-культурных объектов (30/км^2), ёмкости номерного фонда (12 364 номеров) и визового статуса (помимо ещё двух регионов). По протяжённости автомобильных дорог (16 691 км) регион занимает третье место по России и первое в Сибирском федеральном округе. По визовому статусу Алтайский край имеет наивысшую оценку, т.к. предоставляет безвизовый въезд для всех стран трансграничной территории. Республика Алтай лидирует по 2 показателям: наличие природных объектов (16,6 /км^2) и площади, занятой ООПТ (22 800 км^2 — 2,91 % от всей территории Большого Алтая). Это объясняется тем, что регион обладает одной из самых развитых сетей ООПТ в России. На территории республики Алтай встречается самое большое количество категорий ООПТ: заповедники, национальные парки, природные парки и заказники.

Богатство природного наследия характеризуется аттрактивностью рельефа с высокими хребтами, большой расчленённостью, обширной гидрографической сетью (более 20 000 водотоков, около 7 000 озёр). Отчасти нетронутость участков природно-территориальных комплексов может быть связана с недостаточной развитостью сети автомобильных дорог (4 место по значениям показателя плотности автомобильной сети), отсутствием сети железнодорожных дорог, низким пассажиропотоком (3 место) и количеством контрольно-пропускных пунктов (1 пункт). Однако даже все эти ограничения не являются лимитирующим фактором, судя по значениям сформированного рейтинга.

Во вторую группу (регионы со средним туристским потенциалом) вошла только Восточно-Казахстанская область Казахстана. Регион занимает высокие позиции по показателю транспортной доступности: 2 место по плотности автомобильной сети (0,04 км/км^2),

плотности железнодорожной сети (0,004 км/км^2). Также область занимает 2 место по ёмкости номерного фонда (6557 номеров). Регион находится на последней строчке только по показателю визового статуса, здесь нет объектов ЮНЕСКО.

В третью группу (регионы с низким туристским потенциалом) вошло три региона: Алтайский округ Синцзян-Уйгурского автономного района, Ховдский и Баян-Ульгийский аймаки Монголии. Алтайский округ имеет оценку выше, чем регионы Монголии. По транспортной доступности уступает регионам России и Казахстана. Занимает 2 место по количеству контрольно-пропускных пунктов (3), по пассажиропотоку также 2 место (371 0900 человек), 4 место по плотности автомобильной сети (0,009 км/км^2), железнодорожная сеть в этом регионе отсутствует. Низкие позиции Алтайский округ занимает по таким показателям, как количество объектов ЮНЕСКО, доля ООПТ (1,48 % от общей площади Большого Алтая). Регионы Монголии обладают самым худшим туристским потенциалом из всех рассмотренных территорий. Особенно это касается Ховдского аймака Монголии. Единственный показатель, по которому лидирует этот регион, это доля ООПТ (2,98 % от общей площади Большого Алтая). Но даже этот факт не привлекает большое количество туристов.

ВЫВОДЫ

Формирование национального бренда от транснационального отличается тем, что формирующийся бренд страны рассматривается более комплексно за счёт меньших размеров территории и культурной близости проживающих здесь народов. Транснациональная территория сталкивается с проблемой учёта интересов каждой из трансграничных стран, имеющих свои задачи по развитию туризма. Можно привести пример Кавказского региона, где эти приоритеты значительно разнятся в зависимости от составляющих его субрегионов: Северная и Центральная Азия (Армения, Азербайджан, Грузия и Россия), Южная и Юго-Западная Азия (Иран и Турция).

В итоге рассмотрения культурно-исторического и природного наследия всех регионов трансграничной территории был выделен общий бренд Большого Алтая, который может быть использован в качестве представления туристского потенциала территории за рубежом. Сформированы суббренды по каждому входящему в территорию региону по типу «зонтичного бренда». Они могут быть использованы для развития туризма в рамках внутреннего туризма региона.

Был предложен общий потенциальный ***бренд и логотип территории Большого Алтая,*** который включает логотип г. Белуха, логотип петроглифов, марала и целебного мёда. Содержательным ядром здесь будут выступать сами объекты, система ценностей — особенности и уникальные свойства объектов, система символов пока не разработана до конца, т.к. нет конкретного символа того или иного объекта. Данная разработка потенциального бренда Большого Алтая может быть применена в рамках государственных программ в области туризма. Она также может быть включена в формирование различного рода маршрутов и туристических кластеров международного или регионального уровня.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, грант № 19-511-44012.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, grant No 19-511-44012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аакер Д.* Создание сильных брендов. Издательство: РГБ, 2009.
2. *Важенина И.С.* Имидж и репутация территории как основа продвижения в конкурентной среде. Маркетинг в России и за рубежом, 2006. № 6. С. 49–57.

3. *Динни К.* Брендинг территорий. Лучшие мировые практики. Litres, 2017.
4. *Замятин Д.Н.* Геокультурный брендинг территорий: концептуальные основы. 2013. С. 220−269.
5. *Замятин Д.Н., Замятина Н.Ю.* Гуманитарная география: предмет изучения и основные направления развития. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2011. №. 5. С. 97–108.
6. *Замятин Д.Н., Замятина Н.Ю.* Имиджевые ресурсы территории: идентификация, оценка, разработка и подготовка к продвижению имиджа. Гуманитарная география: науч. и культурно-просветительский альманах. Вып. 4. М.: Институт наследия, 2007. С. 227–250.
7. *Замятина Н.Ю.* Концептуальные основы изучения региональных образов. Региональные исследования, 2011. № 2. С. 24−35.
8. *Панкрухин А.П.* Маркетинг территорий: маркетинг региона. Маркетинг в России и за рубежом, 2004. № 2. С. 9–11.
9. *Попов А.В.* Категориальный статус и проблемное поле маркетинга и брендинга территорий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Имидж страны/региона как стратегия интеграции России и АТР в XXI веке» (28−30 июня 2010 г.). Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2010.
10. *Степанычева Е.В.* Концептуальный поход к формированию бренда территории. Социально-экономические явления и процессы, 2012. №. 12.
11. *Ужакин А.С.* Большой Алтай. Историко-географический справочник. Изд-во URSS, 2017. 454 с.
12. *Шалыгина Н.П., Селюков М.В., Курач Е.В.* О роли брендинга в формировании туристской привлекательности региона. Фундаментальные исследования, 2013. Т. 5. №. 8.
13. *Anholt S.* Branding place and nations. The Economist newspaper, 2009. No 4. P. 213–224. Visit Britain. Official Corporate Website. Web resource: http://www.visitbritain.org/ (accessed 10.05.2016).

REFERENCES

1. *Aaker D.* Consructing strong brands. Publisher: RSL, 2009 (in Russian).
2. *Anholt S.* Branding place and nations. The Economist newspaper, 2009. No 4. P. 213–224. Visit Britain. Official Corporate Website. Web resource: http://www.visitbritain.org/ (accessed 10.05.2016).
3. *Dinny K.* Branding territories. Best world practice. Litres, 2017 (in Russian).
4. *Pankrukhin A.P.* Marketing of territories: marketing of the region. Marketing in Russia and Abroad, 2004. No 2. P. 9–11 (in Russian).
5. *Popov A.V.* Categorical status and problem field of marketing and branding of territories. Proceedings of the all-Russian scientific and practical conference “Image of the country/region as a strategy for integration of Russia and the Asia-Pacific region in the XXI century” (June 28–30, 2010). Ulan-Ude: Publishing House of ESSUTM, 2010 (in Russian).
6. *Shalygina N.P., Selyukov M.V., Kurach E.V.* About the role of branding in the formation of tourist attractiveness of the region. Fundamental Study, 2013. V. 5. No 8 (in Russian).
7. *Stepanycheva E.V.* Conceptual approach to the formation of the territory’s brand. Socio-economic phenomena and processes, 2012. No 12 (in Russian).
8. *Uzhakin A.S.* Greater Altai. Historical and geographical reference. URSS Publishing House, 2017. 454 p. (in Russian).
9. *Vazhenina I.S.* Image and reputation of the territory as a basis for promotion in a competitive environment. Marketing in Russia and abroad, 2006. No 6. P. 49–57 (in Russian).
10. *Zamyatin D.N.* Geocultural branding of territories: conceptual foundations, 2013. P. 220−269 (in Russian).

11. *Zamyatin D.N., Zamyatina N.Yu.* Humanitarian geography: subject of study and main directions of development. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical series, 2011. No 5. P. 97–108 (in Russian).
12. *Zamyatin D.N., Zamyatina N.Yu.* Image resources of the territory: identification, evaluation, development and preparation for image promotion. Humanitarian geography: scientific and cultural and educational almanac. V. 4. Moscow: Russian Heritage Institute, 2007. C. 227–250 (in Russian).
13. *Zamyatina N.Yu.* Conceptual foundations for the study of regional images. Regional studies, 2011. No 2. P. 24–35 (in Russian).

УДК: 069+379.85 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-359-366**

М.В. Рыгалова[1]**, Е.В. Рыгалов**[2]

ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА СРЕДСТВАМИ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается актуальная тема, связанная с популяризацией регионального туризма. В связи с ростом интереса со стороны государства, региональных органов власти, этот вопрос поднимается в контексте социально-экономического и культурного развития. Важным аспектом этого является разработка маршрутов познавательного туризма, направленного в том числе на популяризацию историко-культурного наследия региона. Исследование ориентировано на междисциплинарный характер работы в силу применения методов и технологий, прежде всего, геоинформационных систем (ГИС), которые ориентированы на отражение пространственных особенностей объектов. Зарубежные и отечественные исследователи находят применение ГИС-технологий в создании программного продукта туристско-рекреационного типа, который отражает необходимые в данной отрасли объекты инфраструктуры. Некоторые из реализованных проектов доступны в онлайн режиме. Алтайский край с точки зрения туристического развития, в том числе познавательного туризма, имеет большие перспективы. ГИС «Музейная сеть Алтайского края» позволяет обозначить типологию, групповую принадлежность и познавательные возможности музейной сети региона, учесть особенности пространственного размещения объектов относительно действующих туристических маршрутов. С учетом имеющихся рекреационных возможностей территории выявить потенциал разработки новых туристических маршрутов с включением музеев, позиционировать музеи как объекты для самостоятельного посещения туристами, находящимися в близлежащих к музеям зонам отдыха. Конечная цель реализации проекта предполагает онлайн-доступ к ГИС и тематическим картам. Это позволит получать актуальную информацию о туристических маршрутах, музеях как потенциальных объектах посещения, даст возможность построить маршрут с учётом индивидуальных потребностей туристов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоинформационные технологии, познавательный туризм, туристический маршрут, музей, Алтайский край

Maria V. Rygalova[3]**, Evgeny V. Rygalov**[4]

POSSIBILITIES OF STUDYING THE TOURIST POTENTIAL OF A REGION BY MEANS OF GIS TECHNOLOGIES

ABSTRACT

The article discusses a relevant topic related to the study and popularization of regional tourism by means of geoinformational technologies. In connection with the growing interest from the state and regional authorities, this issue is raised in the context of socio-economic and cultural development. An important aspect of this is the development of educational tourism routes, aimed,

[1] Алтайский государственный институт культуры, ул. Юрина, д. 277, 656055, Барнаул, Россия; *e-mail*: **mariya_rygalova@mail.ru**
[2] Алтайский государственный университет, пр. Ленина, д. 61, 656049, Барнаул, Россия; *e-mail*: **rugalov@mail.ru**
[3] Altai State Institute of Culture, Yorin str., 277, 656055, Barnaul, Russia; *e-mail*: **mariya_rygalova@mail.ru**
[4] Altai State University, Lenin str., 61, 656049, Barnaul, Russia; *e-mail*: **rugalov@mail.ru**

inter alia, the promotion of historical and cultural heritage of the region. The study is focused on the interdisciplinary nature of the work due to the application of methods and technologies, primarily geoinformational systems (GIS), which are focused on reflecting the spatial features of objects. Foreign and domestic researchers are using GIS technology to create a tourist-recreational type of software product that reflects the infrastructure needed in this industry. Some of the completed projects are available online. The Altai Territory has great prospects in terms of the development of educational tourism. GIS "Museum Network of the Altai Territory" allows you to identify the typology, group affiliation and cognitive capabilities of the museum network of the region, take into account the spatial distribution of objects relative to existing tourist routes. Taking into account the existing recreational opportunities of the territory, the GIS toolkit allows you to identify the potential for developing new tourist routes with the inclusion of museums, positioning museums as objects for independent visits by tourists located in recreation areas adjacent to museums. Final target of the project involves online access to GIS and thematic maps. This will allow receiving up-to-date information on tourist routes, museums, as potential objects of visit, and will make it possible to build a route taking into account the individual needs of tourists.

KEYWORDS: geoinformational technologies, educational tourism, tourist route, museum, Altai Territory

ВВЕДЕНИЕ

Россия уникальна с точки зрения природных и историко-культурных богатств. Огромная территория с её историей, природными местами, достопримечательностями, многонациональными традициями делают страну привлекательной для туристов. К тому же актуальность развития внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации сегодня очень высока, поддерживается и развивается на государственном уровне.

Целям развития познавательного туризма могут способствовать музеи как центры притяжения туристов, которые позволяют за короткий период времени составить комплексное представление о территории, объектах природного и историко-культурного наследия. Неотъемлемой частью при планировании маршрутов и ориентировании были и остаются географические карты. Конечно, сегодня изменился их вид, они стали электронными [*Артемьева*, 2015]. Вместе с тем задачи их остались прежними: дать представление о местах расположения объектов. Кроме этого, современные электронные карты позволяют также представить исчерпывающую информацию об этих объектах. Основным инструментом создания подобных карт являются геоинформационные системы (ГИС), обладающие комплексом программных средств, которые позволяют представить большие объёмы данных в виде упорядоченного комплекса атрибутивных характеристик с возможностью визуального их представления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

ГИС постепенно охватывают всё новые сферы в области исследования, практической деятельности. Туристическое направление не стало исключением. Но, несмотря на то что картографирование и туризм являются неотделимыми, ГИС-технологии стали использоваться для разработки этого направления относительно недавно. Однако опыт различных регионов РФ показывает, что вполне успешно.

При исследовании туристского потенциала территорий и разработке программ их освоения возникает необходимость работы с большим количеством информации, которая характеризует различные стороны пространства. Подходящим средством обработки такого рода информации являются ГИС. Они обладают широким функционалом, обеспечивающим возможности обработки массивов данных: пространственность, структурированность данных, обеспечение комплексного подхода к исследованию, совместимость, наложение карт, одновременный анализ различных параметров, характеризующих пространство

[*Вишневская и др.*, 2012]. Первыми появились интерактивные карты туристических объектов Москвы и Санкт-Петербурга, но они не динамичны, не отражают информацию в реальном времени.

ГИС туристско-рекреационного типа направлены на районирование территории, выделение наиболее перспективных и востребованных туристических зон и маршрутов. При этом можно выделить туристско-ориентированные ГИС, рассчитанные на смешанный, познавательный, экологический туризм. Основным результатом использования ГИС-технологий в туризме являются генеральные планы туристско-рекреационного районирования территорий различного уровня [*Кружалин*, 2007, с. 37].

В Астраханской области примером развития туристско-ориентированной ГИС является проект картографирования экологических троп в «Богдинско-Баскунчакском заповеднике». На протяжении всей длины маршрута выделены географические объекты, составляющие экскурсионную ценность. Произведено биогеографическое описание местности, сделаны фотографии, представленные в ГИС, доступной в онлайн-режиме [*Il'manbetova et al.*, 2016]. ГИС «Рекреация и туризм в Восточном Прибайкалье» представлена трёхмерными моделями рельефа и растительности территории [*Унагаев*, 2009].

Подробная пошаговая методическая работа представлена новосибирскими исследователями Сибирской государственной геодезической академией. Они разработали геопортал Новосибирской области с представлением особо охраняемых природных территорий[1].

Туристско-ориентированные ГИС позволяют планировать и затем развивать туризм в регионе. Примером является проект по созданию ГИС «Туристско-рекреационные ресурсы и туризм Алтае-Саянского региона», разработанный барнаульскими специалистами. Созданная ГИС позволяет выявлять места сосредоточения элементов опорного каркаса для определения туристических районов [*Дунец и др.,* 2012, с. 119].

Один из крупных проектов, охватывающий природно-климатические и исторические особенности, ГИС «Телецкое озеро», содержит более 10 тематических слоёв, отражающих природные достояния объекта (озёра, полезные ископаемые и пр.). Ряд информационно-тематических блоков посвящён непосредственно туризму — туризм и рекреация, где отмечены турбазы, туристические маршруты и экскурсии, интересные объекты (памятники археологии, пещеры), районы отдыха. Здесь же содержится информация о местах размещения, стоимости. Окончательный вариант ГИС представлен в среде ArcView [*Ермакова и др.*, 2000].

Проект нижегородских исследователей по разработке природно-рекреационного районирования пригорода Нижнего Новгорода средствами ГИС представляет комплекс информации (природно-климатические особенности, культурно-исторические и природные памятники, социальная инфраструктура), которую можно использовать в справочных целях органам власти в сфере управления туризмом, непосредственно туристическими фирмами [*Полянский*, 2007].

Ещё один проект, направленный на решение задач создания эффективных туристических продуктов, «Рекреация и туризм в Саратовской области как инструмент эффективного управления рекреационной и туристской деятельностью в регионе» создан в среде MapInfo Professional. На интерактивной карте обозначены крупные исторические центры, рекреационно значимые территории, историко-культурные и архитектурные памятники, памятники природы, существующие и планируемые туристические маршруты[2].

Примером комплексного изучения туристических ресурсов является анализ ГИС, посвящённой рекреационному пространству Оренбургской области. В отдельные слои

---

[1] Портал ГИС-приложений Новосибирской области. Электронный ресурс: https://maps.nso.ru/CoGIS/Catalog

[2] Макаров В.З., Пролёткин И.В., Чумаченко А.Н., Фёдоров А.В. К созданию географической информационной системы «Рекреация и туризм в Саратовской области». Электронный ресурс: http://ogis.sgu.ru/ogis/gis_otd/publ2.htm

выделены природные, историко-культурные объекты, санаторно-курортные зоны, социально-инфраструктурное пространство. В результате проведено рекреационное районирование территории с выделением пространств, имеющих определённые особенности, которые могут вызвать интерес туристов (спортивный туризм, туризм выходного дня и пр.) [*Чибилева и др*., 2019].

Доступный онлайн-проект «Туристический портал Республики Крым» включает в себя места активного отдыха, экскурсионные маршруты, инфраструктурные объекты, интересные туристам. В онлайн-версии можно получить подробное описание достопримечательных мест и историко-культурных объектов, музеев [*Закаличная*, 2017]. Однако к карте они не привязаны[1].

Обзор опыта разработки ГИС в туристско-рекреационных целях показывает существенный потенциал в развитии направления, перспективы создания объединённых ГИС с крупными туристическими центрами [*Тюлендеева*, 2018]. Необходимым условием в развитии туризма является перспективное планирование и мониторинг, что и способны обеспечить ГИС-технологии в полном объёме с учётом точной территориальной привязки и визуализации [*Барлиани*, 2016].

Изучив подобный опыт туристско-ориентированных ГИС, остановимся на потенциале Алтайского края в сфере создания подобного ресурса. При этом акцентируем внимание на объектах познавательного туризма, в частности музеях. Алтайский край является одним из крупнейших регионов Российской Федерации, обладающих богатыми туристическими ресурсами. В регионе развита музейная сеть, состоящая из различных групп музеев (государственные, муниципальные, частные, ведомственные, учебные, школьные). При этом анализ функционирования музеев показывает стабильно увеличивающийся интерес к ним, но чаще всего к одним и тем же. Это связано с их сформированным положительным имиджем или с местоположением объектов. В Алтайском крае множество музеев, которые обладают уникальными историко-культурными коллекциями, но остаются совершенно не востребованными.

Конечно, сложно представить туриста, который поедет в далекий регион в небольшой музей вдалеке от города, например, в муниципальный музей. Однако при грамотном планировании маршрутов это может стать вполне возможным и привлекательным. В ходе реализации проекта была разработана ГИС по музеям Алтайского края, одно из направлений анализа которой посвящено туристическому потенциалу в регионе.

Техническая часть работы включала в себя несколько этапов.

1. ***Подготовительный этап*** включал анализ структуры имеющейся информации о музеях, выбор оптимальной унифицированной модели хранения данных, что позволило определить конкретный перечень информации для включения в базу данных (БД) ГИС. Таким образом, была определена структура БД, состоящая из следующих полей: LOCALITY (населённый пункт, в котором расположен объект), NAME (наименование музея), PROFILE (профиль), CONTACTS (контактная информация), DIRECTOR (руководитель), EXPOSITIONS (экспозиции), UNIQUE EXHIBITS (уникальные экспонаты), HISTORICAL INFORMATION (историческая справка), COMMENTS (примечания). Кроме того, на данном этапе была подготовлена картографическая основа, содержащая весь необходимый перечень населённых пунктов, в которых расположены музеи.

2. ***Наполнение базы данных.*** Для каждой категории музеев были подготовлены отдельные таблицы данных в ГИС (слои): школьные музеи, муниципальные музеи, ведомственные музеи, мемориальные музеи, частные музеи. Информация вносилась в ГИС как вручную (локализация объектов в населённом пункте), так и с помощью функции «геокодирование» (автоматический режим геопривязки базы данных в формате excel). На данном

[1] Туристический портал Крыма. Электронный ресурс: https://www.krym4you.com/

этапе возникли некоторые трудности технического характера, связанные с ограниченным числом знаков, вмещаемых полями БД (254 знака, включая пробелы). Для решения проблемы приходилось прибегать к общепринятым сокращениям в некоторых полях с данными, содержащими подробное описание: EXPOSITIONS (экспозиции), UNIQUE EXHIBITS (уникальные экспонаты), HISTORICAL INFORMATION (историческая справка).

3. ***Моделирование (картографирование) ситуации*** в зависимости от поставленных задач. Структура БД и технические возможности ГИС позволяют создавать запросы по выбранному критерию (период образования и др.) и создавать на основе запросов или без их использования тематические карты [*Рыгалова и др*., 2019].

Поскольку в Алтайском крае достаточно активно развивается туризм, и уже сформировались определённые рекреационные зоны, был проанализирован потенциал музеев, находящихся вблизи них. Выяснилось, что можно разработать туристические маршруты с включением мест отдыха и музеев, организуя таким образом туристические маршруты с включением в них музеев, разнообразив рекреационный потенциал территории. Наглядно это представлено на рисунке.

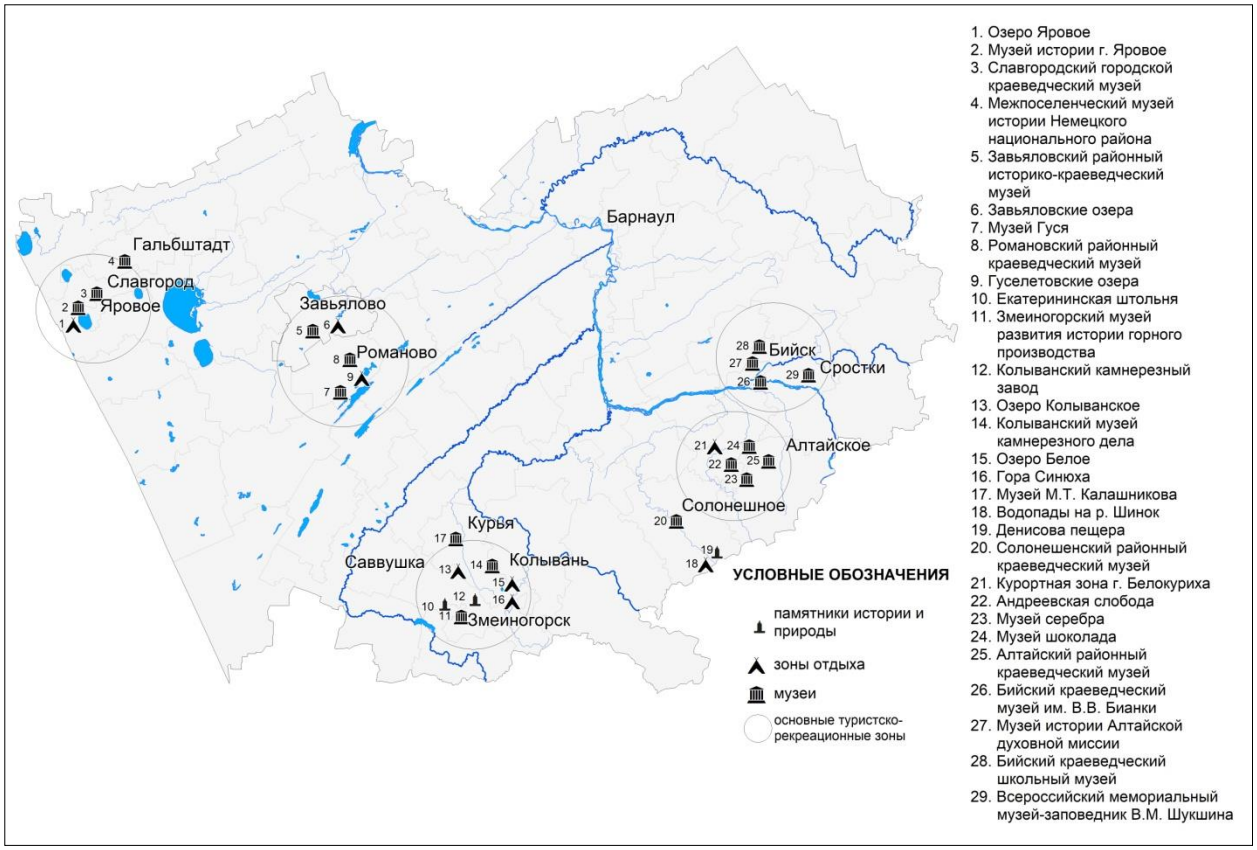


Рис. 1. Интеграция рекреационных зон и музеев
Fig. 1. Integration of recreational areas and museums

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Безусловным примером является город-курорт федерального значения Белокуриха. На его территории расположен музей под открытым небом Андреевская слобода, демонстрирующий этнографическое наследие второй половины XIX – нач. XX вв. (деревянные хозяйственные постройки, дом). Кроме того, на территории курортного комплекса функционируют музей серебра и шоколада. Стоит отметить, что эти музеи пользуются большим спросом у туристов, поскольку расположены они непосредственно в местах отдыха.

Однако, например, городской музей Белокурихи работает только по запросу и преимущественно с большими группами. Хотя он также мог бы стать привлекательным объектом туристов, рассказать о становлении территории, её развитии и превращении в курортную зону всероссийского масштаба.

В ближайших к курортным зонам районах, Алтайском и Солонешенском, находятся крупные муниципальные музеи. Алтайский районный краеведческий музей обладает крупными этнографическими коллекциями (крестьянский быт, быт переселенцев, православная культура). Кроме того, в музее представлены экспозиции, посвящённые первому детскому дому в Сибири, промышленности района, в частности технологии производства сыра. Один из залов рассказывает о Центрально-Азиатской экспедиции Н. Рериха и жизни семьи Рерихов на Алтае. Таким образом, представленные в музее экспозиции гораздо шире районного уровня, охватывают историческое развитие Сибири. На территории Солонешенского района расположен природный памятник — Денисова пещера. Районный музей организует экскурсии к памятнику, на стоянку древнего человека «Карама», другие пещеры, обнаруженные в результате раскопок, скифские курганы. Однако широкой популярности среди туристов эти маршруты не получили в силу отсутствия информации о них в широком доступе.

Город-курорт Яровое является местом притяжения туристов. Вблизи зон отдыха расположены музеи, в которых экспонируются крупнейшие этнографические коллекции, посвящённые немцам в России и на Алтае (Славгородский краеведческий музей, музей Немецкого национального района, музей города Яровое). Однако они не являются востребованными среди туристов.

Бийск является транзитным городом на пути в крупнейший туристический регион — Республику Алтай. Город также расположен близ маршрута в Белокуриху. В этой связи его можно включить сразу в несколько туристических маршрутов. Бийск является одним из старейших сибирских городов. Здесь расположен краеведческий музей имени В.В. Бианки с уникальными коллекциями по истории края, города, музей Алтайской духовной миссии, музей часов при школе № 4 имени В.В. Бианки, который является одним из трёх крупных музеев часов в России. Однако о нём мало кто знает даже среди самих жителей города, не говоря уже о туристах.

Регион горной Колывани привлекает большие потоки туристов, которые стремятся к природному отдыху. Однако в этих районах находятся крупнейшие историко-культурные объекты и музеи. Старейший в Сибири Змеиногорский музей истории развития горного дела на Алтае имени А.Н. Демидова, основанный в 1827 г., хранит исторические факты, связанные с зарождением сереброплавильных заводов на Алтае, непосредственно с историческим развитием территории. На расстоянии менее 40 км расположены интересные с точки зрения познавательного туризма объекты: Колыванский музей истории камнерезного дела на Алтае и исторический объект Колыванская шлифовальная фабрика (Колыванский завод), основанная в 1802 г. Именно здесь создана знаменитая царица ваз, которая находится на хранении в Эрмитаже. Сегодня на заводе проводятся обзорные экскурсии, на которых можно узнать историю развития территории, фабрики, посмотреть на производство в современных условиях. Эти объекты могут составить комплексный познавательный маршрут, который будет востребован среди туристов, выбирающих в качестве места отдыха близлежащие зоны.

Менее масштабные, но значимые в рамках региона зоны отдыха расположены в Романовском и Завьяловском районах. Здесь же находятся муниципальные музеи, в которых сформированы богатые коллекции по региональной истории, отражающие особенности заселения территории, освоение целины, сведения о героях Великой Отечественной войны. Богатый этнографический материал собран в Романовском районном краеведческом музее. Также на территории района вблизи зон отдыха открыт частный Музей гуся.

ВЫВОДЫ

Созданный ГИС-ресурс «Музейная сеть Алтайского края» и его комплексный анализ с акцентом на туристический потенциал региона позволили наглядно продемонстрировать возможности края в сфере познавательного туризма. Кроме непосредственно территорий, занятых в туристической отрасли (Белокуриха, Яровое, Романовский, Завьяловский, Алтайский районы), Алтайский край имеет существенные перспективы развития в этом направлении. В результате пространственного анализа удалось установить территориальную близость многих рекреационных зон, природных памятников и музеев, которые в значительной степени отражают своеобразие региона, позволяют компактно представить историю и культуру края. Технические возможности ГИС позволяют создавать тематические карты, отражать основные объекты интереса и наиболее оптимальные маршруты. На следующем этапе реализации проекта предполагается создание веб-ресурса с доступом к объектам через сеть Internet, который может помочь туристам, планирующим свой маршрут. В свою очередь, музеи, находящиеся на пути туристических маршрутов, могут осуществлять взаимодействие в направлении привлечения посетителей, разрабатывать совместные культурные программы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 18-39-00112.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Foundation of Basic Research, project No 18-39-00112.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемьева О.В.* Современная картография для целей развития туризма северо-западного региона РФ. Туризм и рекреация: инновации и ГИС-технологии. Астрахань: Астраханский университет, 2015. С. 3–7.
2. *Барлиани И.Я.* Использование геоинформационных систем в туристическом бизнесе. Интерэкспо Гео-Сибирь. Новосибирск: Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 2015. Т. 6. № 1. С. 103–107.
3. *Вишневская Е.В., Богомазова И.В., Литвинова М.И.* Актуальные проблемы использования ГИС в развитии регионального туризма Белгородской области. Фундаментальные исследования, 2012. № 3. С. 177.
4. *Дунец А.Н., Крупочкин Е.П.* Опыт использования ГИС-технологий для оценки освоенности туристско-рекреационного пространства Алтае-Саянского региона. Известия Алтайского государственного университета, 2012. № 3–2. С. 115–119.
5. *Ермакова Н.Н., Цхай А.А.* ГИС «Телецкое озеро». Ползуновский альманах, 2000. № 4. С. 99–102.
6. *Кружалин В.И.* Научно-методическое обоснование проектирования туристско-рекреационных зон. Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования. Москва: Рекламно-информационное бюро «Турист», 2007. С. 30–38.
7. *Полянский А.Г.* Природно-рекреационное районирование пригородной зоны Нижнего Новгорода. Проблемы региональной экологии, 2007. № 3. С. 109–115.
8. *Рыгалова М.В., Рыгалов Е.В., Ерёмин А.А.* Картографирование музейной сети региона: возможности пространственно-географического анализа. Геополитика и экогеодинамика регионов, 2019. Т. 5 (15). Вып. 3. С. 193–200.
9. *Тюлендеева А.Х., Безуглова М.С., Шарова И.С., Романова А.А.* Использование ГИС в туризме. Современные проблемы в географии. Астрахань: Астраханский университет, 2018. С. 36–38.

10. *Унагаев А.С.* Трёхмерные карты рельефа и растительности: ГИС «Рекреация и туризм в Восточном Прибайкалье». Вестник Санкт-Петербургского университета, 2009. № 2. С. 100–104.
11. *Чибилева Т.В., Яковлев И.Г.* Опыт ГИС-картографирования туристско-рекреационного пространства Оренбургской области. Геополитика и экогеодинамика регионов, 2019. Т. 5 (15). Вып. 3. С. 247–253.
12. *Il'manbetova E.B., Grigoriev K.M., Sharova I.S., Bezuglova M.S.* Mapping of eco-trails in the territory of reserve Bogdinsko-Baskunchakskogo. European Geographical Studies, 2016. V. 10. No 2. P. 57–62.

REFERENCES

1. *Artem'eva O.V.* Modern cartography for the development of tourism in the northwestern region of the Russian Federation. Tourism and recreation: innovation and GIS technology. Astrakhan': Astrakhan University, 2015. P. 3–7 (in Russian).
2. *Barliani I.Ya.* The use of geographic information systems in the tourism business. Interekspo Geo-Sibir'. Novosibirsk: Siberian State University of Geosystems and Technologies, 2015. V. 6. No 1. P. 103–106 (in Russian).
3. *Chibileva T.V., Yakovlev I.G.* Experience in GIS mapping of the tourist and recreational space of the Orenburg region. Geopolitics and ecogeodynamics of regions, 2019. V. 5 (15). No 3. P. 247–253 (in Russian).
4. *Dunets A.N., Krupochkin E.P.* Experience in the use of GIS technologies to assess the development of the tourist and recreational space of the Altai-Sayan region. Izvestiya of Altai State University, 2012. No 3–2. P. 115–119 (in Russian).
5. *Ermakova N.N., Tskhai A.A.* GIS "Teletskoye Lake". Polzunovsky almanac, 2000. No 4. P. 99–102 (in Russian).
6. *Il'manbetova E.B., Grigoriev K.M., Sharova I.S., Bezuglova M.S.* Mapping of eco-trails in the territory of reserve Bogdinsko-Baskunchakskogo. European Geographical Studies, 2016. V. 10. No 2. P. 57–62.
7. *Kruzhalin V.I.* Scientific and methodological justification for the design of tourist and recreational areas. Tourism and recreation: basic and applied research. Moscow: Advertising and information bureau "Tourist", 2007. P. 30–38 (in Russian).
8. *Polyanskii A.G.* Natural and recreational zoning of the suburban zone of Nizhny Novgorod. Regional Environmental Issues, 2007. No 3. P. 109–115 (in Russian).
9. *Rygalova M.V., Rygalov E.V., Eremin A.A.* Mapping the museum network of a region: Spatial-geographic analysis capabilities. Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions, 2019. V. 5 (15). No 3. P. 193–200 (in Russian).
10. *Tyulendeeva A.Kh., Bezuglova M.S., Sharova I.S., Romanova A.A.* The use of GIS in tourism. Modern problems in geography. Astrakhan': Astrakhan University, 2018. P. 36–38 (in Russian).
11. *Unagaev A.S.* Three-dimensional relief and vegetation maps: GIS "Recreation and Tourism in the Eastern Baikal Region". Vestnik of Saint Peterburg University, 2010. No 2. P. 100–104 (in Russian).
12. *Vishnevskaya E.V., Bogomazova I.V., Kitvinova M.I.* Actual problems of the use of GIS in the development of regional tourism of the Belgorod region. Fundamental research, 2012. No 3. P. 177 (in Russian).

УДК: 528.9 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-367-379**

А.А. Смирнов[1]

РЕКРЕАЦИОННОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ СИХОТЭ-АЛИНЯ

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены основные возможности развития горного туризма в Приморском и Хабаровском краях Российской Федерации, на территории которых расположена горная система Сихотэ-Алинь. Освоение данной территории началось недавно, примерно в 1930-х гг., поэтому туристическая инфраструктура не развита. Также довольно суровы природные условия, транспортная доступность ограничена, почти для видов всех видов горного туризма характерны многодневные маршруты. С другой стороны, бóльшая часть природных объектов сохранилась в первозданном виде, что повышает интерес туристов к малоисследованным территориям. Для гор правильная организация зон отдыха и научные разработки по этой проблематике имеют особое значение, потому что противоречия между целями массового отдыха и задачами охраны окружающей среды в горных регионах обострены. В различных географических условиях при определённых экономических обстоятельствах бывает выгоднее организовать отдых, чем предпринимать эксплуатацию природных ресурсов промышленностью и сельском хозяйством.

Ведущий критерий рекреационного районирования — локализация ресурсного потенциала. Она определяет типологию основных видов туризма, их реальную и потенциальную пригодность для эффективного развития. В основе выделения территориальных единиц и их таксономической соподчинённости лежит комбинация ресурсов, использование которых предопределяет возможное развитие тех или иных видов туризма в пределах крупных природных комплексов.

В работе проанализированы проблемы развития и особенности различных видов горного туризма (водного, прогулочно-промыслового, альпинистско-горно-туристского, скалолазного, спортивно-прогулочного, спелеологического, оздоровительного). Указано, в каких районах и в какое время года следует проводить определённый вид отдыха. Для картографирования почти каждого вида понадобились различные способы моделирования, составление карты проводилось в приложении ArcMap 10, также для обработки данных дистанционного зондирования использовался программный продукт ENVI 4.2. При этом были указаны роль особо охраняемых природных территорий в организации туристских маршрутов. Даны рекомендации по решению проблем взаимодействия рекреации с другими видами природопользования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: горный туризм, особо охраняемые природные территории, транспортная доступность, зимний и летний отдых, моделирование

[1] Московский государственный университет геодезии и картографии, Гороховский пер., д. 4, корп. 1, 105064, Москва, Россия; *e-mail:* **andreyoriginal@mail.ru**

Andrey A. Smirnov[1]

RECREATIONAL ZONING OF SIKHOTE-ALIN

ABSTRACT

In the article fundamental directions of mountain tourism development in Primorsky and Khabarovsky regions of Russian Federation (on their territories Sikhote-Alin mountain system stretch) are considered. An improvement of this territory begins about 1930s, so touristic infrastructure is not developed. Also, nature conditions are enough hard, transport availability is limit, multi-days routes are typical for almost all varieties of mountain tourism. From other side, large part of nature objects preserved in its original form, so tourist interest to scantily explored territories is rise. For mountains right organization of tourist areas and scientific works of this problem are important so contradictions between aims of mass recreation and problems of nature protection are become strained. In different geographical conditions under the definite economical circumstances an organization of rest more profitable than nature management resources in industry and farm.

Leading criteria of recreational zoning is localization of resource potential. It definite the typology of fundamental varieties of tourism and them real and potential suitability for effective development. In basis of allocation of territorial units and them taxonomical subordination present combination of resources using of them definite the potential development of different varieties of tourism in areas of large nature complexes.

The problems of development and peculiarities of different tourism types (water, walking and large-scale, mountaineering, climbing, sports and walking, speleological, sanative) are reviewed. Tourists should spend the rest at winter and at summer in definite areas. The different methods of modelling needs for almost type, mapping produce in ArcMap 10, also for processing of Earth remote sensing data ENVI 4.2 program are used. Nature protection areas and principal rules regulating visits them was described. The recommendations to address the issue of recreation relationship with other varieties of nature using are made.

KEYWORDS: mountain tourism, specially protected natural areas, transport availability, winter and summer vacation, modeling

ВВЕДЕНИЕ

Сихотэ-Алинь расположен на Дальнем Востоке Российской Федерации. Он представляет собой вулканическое поле области мезозойской складчатости, простирается от южного Приморья (р-он г. Находки) до устья Амура на севере Хабаровского края. В переводе с маньчжурского языка Сихотэ-Алинь означает «хребет больших западных рек».

С севера на юг горная система тянется на 1200 км, с запада на восток — на 250 км. Высшие точки — горы Тордоки-Яни (2090 м) и Ко (2003 м); обе вершины находятся в Хабаровском крае.

Ресурсный потенциал для развития туризма на Сихотэ-Алине велик, разнообразен, отличается особым колоритом, перспективен для многоаспектного использования. Многообразие объектов и явлений требует их систематизации и определённой упорядоченности.

Специфика горных условий (пестрота и малая устойчивость природных комплексов, повышенная интенсивность природно-географических процессов, большая роль снежно-ледниковых явлений, особенности климата) порождает подходы к решению рекреационных проблем. Складывается горно-рекреационная тематика научных исследований,

[1] Moscow State University of Geodesy and Cartography, Gorokhovskiy Lane, 4−1, 105064, Moscow, Russia;
e-mail: **andreyoriginal @mail.ru**

включающая: учёт и районирование рекреационных условий и ресурсов, классификацию, зонирование и планировку особо охраняемых природных территорий (ООПТ), антропоэкологические и медико-географические исследования, оценку эстетичности ландшафта, транспортную доступность и др.

Проблемы рекреационного освоения гор охватывают также поиск путей дальнейшего развития горной рекреации, совершенствование структуры горных поселений, в значительной степени зависящих от посещаемости, влияния туризма на коренное население. Итогом этих исследований должны явиться комплексные рекомендации для всех видов горного туризма и оценка природных и экономико-географических условий для рекреации в горах.

Процедура проведения туристического районирования основана на анализе особенностей природной среды региона и специфики его освоения. Дифференциацию территории можно осуществлять:

- по локализации наиболее привлекательных для развития туризма ресурсов в пределах крупных природных таксономических единиц;
- по функциональности использования туристических ресурсов;
- по доступности туристических ресурсов;
- по обеспеченности инфраструктурой и др.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как правило, высочайшие вершины Сихотэ-Алиня имеют резко очерченный контур и на обширных пространствах покрыты крупнокаменными россыпями. Формы рельефа напоминают разрушенные цирки и кары горного оледенения. Они сложены песчано-сланцевыми отложениями с многочисленными прорывами интрузий, что обусловило наличие залежей золота, олова и полиметаллов. В тектонических впадинах находятся залежи каменного и бурого угля.

Северный Сихотэ-Алинь представляет собой сильно пересечённый горный рельеф с таёжной растительностью, чаще всего встречаются нагромождения скал и глубокие распадки, в которых текут реки или ручьи. В предгорьях обычны базальтовые плато, их участки встречаются также на главном водоразделе. Крупнейшее — Зевинское плато, на водоразделе верховьев Бикина и рек, впадающих в Татарский пролив.

Южный Сихотэ-Алинь по линии главного водораздела делится на Япономорский (восточный и южный) и Уссури-Ханкайский (западный), макросклоны которых отличаются друг от друга по строению рельефа и природно-климатическим факторам. Это вызвано как различием геолого-тектонического плана, так и преимущественным распространением на восточном склоне циркуляции переувлажнённых холодных воздушных масс. Они поступают с Японского моря в весенне-летний период, а осенью и зимой преобладают относительно тёплые, но также влажные воздушные массы.

Для Япономорского макросклона характерно повсеместное распространение обвальных, осыпных и оползневых процессов, эрозионных и абразионных обрывов, денудационных уступов и останцов. Большие пространства покрыты лиственничными лесами с торфянисто-глеевыми переувлажнёнными почвами.

Уссури-Ханкайский макросклон морфологически подразделяется на Центральный и Западный Сихотэ-Алинь. Горные цепи Центрального Сихотэ-Алиня имеют преимущественно направление север — северо-восток. К этой части горной области приурочены наиболее возвышенные участки массивного среднегорья с абсолютными обметками до 1850 м и превышениями 150–300 м. Реки крутые, горные с порогами и перекатами. Крутизна склонов здесь меньше, чем на восточном макросклоне, но обильно-осыпные явления, эрозия, оползни и солифлюкция проявлены также достаточно интенсивно. Западный Сихотэ-Алинь состоит из отдельных хребтов северо-восточного простирания, разделённых межгорными впадинами и рассечённых широкими поперечными речными долинами рек

Уссури, Малиновка, Большая Уссурка, Бикин и др. Высоты гор редко превышают 1000 м, относительные превышения 50–150 м, а склоны более пологие, по сравнению с Центральным Сихотэ-Алинем.

Растительность Сихотэ-Алиня разнообразна: южная и центральная часть этой горной страны до высот около 500 м покрыта хвойно-широколиственными лесами с преобладанием маньчжурских видов растительности, в северной части хвойные леса из ели аянской и пихты белокорой. На больших высотах отмечается горная тундра. В низинах гор трава может достигать высоты 3,5 м, причём сплошным ковром.

Климат зимы на восточных склонах мягкий, что определяется частыми вторжениями циклонов из Японского моря. Средние температуры января составляют -10–15 °С. Количество осадков за год велико (до 800–1000 мм), но большая их часть выпадает в летний период. Снежный покров формируется в октябре-ноябре и разрушается в марте-апреле. Продолжительность залегания снежного покрова до 120–150 дней. Распределение выпадения осадков в течение зимнего периода равномерное.

В течение зимнего периода довольно часты обильные снегопады, интенсивные метели и глубокие оттепели. Продолжительность лавиноопасного периода до 90 дней, с пиком лавинной деятельности в январе-марте, в зависимости от характера выпадения осадков в течение холодного периода. Объёмы лавин невелики. На большей части лавиноопасной территории встречаются лавины объёмом менее 10 тыс. м^3 и лишь некоторые из них в пригребневых участках центральной части Сихотэ-Алиня могут достигать 30–50 тыс. м^3.

Районы с высокой степенью лавинной опасности отсутствуют. Большую часть территории Сихотэ-Алиня занимают районы с низкой степенью лавинной опасности. Лишь верховья рр. Бикин, Хор, Анюй, Коппи и Самарги относятся к районам со средней лавинной опасностью.

Как и все горные территории, Сихотэ-Алинь начинал осваиваться человеком по долинам крупных рек, прежде всего по Амуру и Уссури; по плодородным равнинам низовий рек средней величины, таким как Анюй, Хор, Бикин, Уссурка. Первые центры цивилизации возникали также вблизи удобных морских гаваней в приустьевых частях рек морского бассейна. Активное наступление цивилизации на верховья рек в этом регионе началось сравнительно недавно — 70–80 лет назад с появлением первых рудников.

В настоящее время горные районы Сихотэ-Алиня остаются почти не заселёнными человеком. Большинство городов и крупных посёлков расположены в предгорьях в Южном Приморье как наиболее благоприятной для жизни местности — по долинам рек Уссури и Амур и вдоль побережья Японского моря. В центральной и северной части небольшие населённые пункты имеются вдоль единственной проложенной здесь железной дороги.

Экологические проблемы связаны с существенным преобразованием поверхности и, как следствие, с уничтожением и деградацией почвенного, растительного покровов, изменением гидрологического режима поверхностных и подземных вод, нарушением криологического режима, а также изменением среды обитания фауны и потерей эстетической привлекательности ландшафтов [*Коптюг,* 1997].

Основным препятствием для развития горной рекреации на Сихотэ-Алине являются экологические проблемы функционирования лесопромышленного комплекса (ЛПК) [*Бакланов*, 2003]. Как отрасль производства лесная промышленность охватывает обширные площади региона. Она «вторгается» в основной средостабилизирующий компонент природы в горах — растительный покров, лес, выполняющий ландшафтно-стабилизирующие функции — а через него воздействует на остальные компоненты природной среды (почву, воздух, воду и т.д.) и социальные условия жизни (рекреация, комфортность проживания населения, вплоть до разрушения среды обитания человека). В результате затянувшегося в стране общего кризиса часть предприятий ЛПК была перепрофилирована, некоторые вынужденно сократили объём производства или совсем прекратили работу. Однако экологические проблемы, вызванные многолетним функционированием ЛПК, существуют и

сегодня. Анализ причин их возникновения и классификация последствий необходимы как для оценки состояния территории, так и для выработки регламентов предстоящей хозяйственной деятельности в новых условиях.

Основные обрабатывающие отрасли производства сосредоточены главным образом в ведущих промышленных центрах южной части Сихотэ-Алиня. По глубине и охвату преобразования экосистем выделяется горнорудное производство. Оно как азональный тип природопользования имеет достаточно широкое распространение на территории практически всей горной системы. Разработка ведётся, как правило, открытым способом [*Алимов*, 1998]. Напряжённая экологическая обстановка наблюдается на участках масштабной добычи полезных ископаемых (карьеры, разрезы, горно-обогатительные комбинаты).

При освоении и развитии минерально-сырьевой базы необходима оптимизация природопользования и исправление негативных последствий. Также очень важна превентивная охрана окружающей среды прогнозируемых горнорудных районов задолго до начала их освоения. Участки добычи полезных ископаемых после отработки месторождений следует рекультивировать. Основной экологической проблемой освоенных горнорудных районов является нормирование загрязнения на основе научно обоснованных геохимических и экологических циклов: утилизация, повторное использование отходов.

Важным правовым рычагом в деле борьбы с загрязнением является его нормирование [*Израэль*, 1984]. Разрешением этой проблемы в идеальном случае должно быть сохранение экологического равновесия. Особенно трудным является выявление допустимых воздействий и нагрузок, допустимых и критических реакций экосистем в целом и отдельных элементов биосферы в конкретных ландшафтных условиях. Причина — дефицит соответствующей информации [*Борисова,* 1990].

Основным видом сельскохозяйственных угодий на Сихотэ-Алине являются пашни. В настоящее время накоплен значительный и достоверный объём информации, свидетельствующий о негативных экологических последствиях применения больших доз минеральных удобрений, не говоря уже о пестицидах и других химикатах. В практике мирового земледелия в последнее время наступило вполне обоснованное разочарование в традиционных путях увеличения продуктивности растениеводства, базирующееся на интенсивной механизации. Тем не менее, существующие на сегодня альтернативные системы земледелия, такие как «органическое», «точное», контурно-мелиоративное и др., по ряду причин (острый недостаток рабочей силы, низкий уровень механизации и автоматизации труда, развал в животноводстве и др.) не всегда удаётся успешно осваивать и применять в условиях Дальнего Востока.

Большинство территорий Сихотэ-Алиня представляют собой малоплодородные, тяжёлые по физическому составу земли, на них точечное овощеводство и тепличное хозяйство возможно только с учётом потребностей населения, проживающего в этих районах [*Иваненко*, 2016]. Возрождение и развитие животноводства требует повышения и улучшения качества пастбищ, сенокосов, что под силу крупным агропромышленным предприятиям, но не ведению «эффективного» сельского хозяйства на одном га земли, который выдаётся населению и о котором сейчас много говорится.

Особую роль в формировании экологической ситуации на Дальнем Востоке в последние два десятилетия играли пожары, которые в 1998 г. носили характер экологического бедствия. Пожары, охватившие площадь в 2,5 млн га (по данным спутниковой системы наблюдений — около 6 млн га), не могли не повлиять на общую экологическую обстановку. Сохраняющаяся на гарях высокая пирогенная уязвимость, значительная их площадь предопределяют длительный период времени естественного восстановления лесов, что не позволит данным территориям выйти из этого состояния в ближайшие десятилетия [*Десятов,* 2005].

Также серьёзным препятствием для развития туризма является отрицательное влияние фауны на здоровье человека (большую опасность для отдыхающих представляет

обилие энцефалитного клеща и гнуса). Наиболее интенсивны энцефалитные клещи в Приморском крае. За последние два десятилетия участились случаи заражения холерой, это говорит о том, что усиливается загрязнение рек и озёр.

Развитие туризма на Сихотэ-Алине имеет большой потенциал, однако в настоящее время не очень развито из-за плохой транспортной доступности и отсутствия соответствующей инфраструктуры. Также с февраля 2020 г. закрыта граница с Китаем из-за угрозы коронавируса, прерваны авиационное и морское сообщение с другими зарубежными странами. Согласно карте районирования территории Хабаровского края по туристическому потенциалу с учётом административно-территориального деления м-ба 1: 2 000 000 и туристской карте Приморского края м-ба 1: 3 000 000, наиболее высоким туристическим потенциалом обладают северо-западная и южная, средним — восточная, и низким — юго-западная и центральная части Сихотэ-Алиня.

Следует отметить, что рекреационное районирование Сихотэ-Алиня в рамках административно-территориального деления ориентировано в большей степени на сравнительный анализ потенциальных возможностей административных районов. При этом анализ был основан только на имеющихся данных о туристических объектах административных районов и в дальнейшем может быть детализирован при условии пополнения базы данных. В целях же эффективного управления туризмом важен не только проведённый анализ по привлекательности района для использования в том или ином виде туризма, но и его географические условия, уровень инфраструктуры [*Супруненко,* 2003].

С этой точки зрения, развитие туризма следует начинать с разработки приключенческо-экстремальных, промысловых, экологических туров, не требующих высокого уровня комфорта, способных функционировать и при низком уровне туристской инфраструктуры. Полученную экономическую выгоду с добавлением бюджетных средств можно будет использовать для развития объектов инфраструктуры, базы питания, гостеприимства и т.д., что позволит в дальнейшем предложить потребителю туристический продукт с более высоким уровнем комфортности [*Фролов,* 2000].

В картографическом плане наиболее часто осуществляется разложение поверхностей на фоновую и остаточную составляющие и создание двух производных карт. Первая из них — карта фоновой поверхности, или тренда — показывает размещение ведущего фактора, а вторая — карта остаточной поверхности — передаёт размещение региональных аномалий [*Берлянт*, 1969]. В математическом смысле создание этих моделей заключается в отделении генерального тренда от случайных отклонений, отчасти объясняемых влиянием второстепенных причин.

Согласно И.Д. Дебелой и З.Г. Мирзехановой, наиболее перспективными направлениями туризма на Сихотэ-Алине являются прогулочно-промысловый и водный туризм (название горной системы говорит о том, что последний возможен на большей части её территории). На карте районирования территории Хабаровского края по туристическому потенциалу масштаба 1: 2 000 000 показано, что северо-западная часть Сихотэ-Алиня (Нанайский, Имени Лазо, Вяземский, Бикинский р-ны) имеет высокий туристический потенциал, северо-восточная (Ванинский р-н) — средний, восточная (Советско-Гаванский р-н) — низкий. На схеме территориального планирования м-ба 1: 200 000 и туристской карте Приморского края м-ба 1: 3 000 000 показано, что прогулочно-промысловый и водный туризм являются основными и в южной части Сихотэ-Алиня [*Мирзеханова,* 2009].

Соответственно, вышеуказанные карты являются картами двух трендов. Остальные виды туризма распространены неравномерно. Их картографирование требует разнообразных методов.

Для оценки альпинизма использовалась сеть с квадратными ячейками [*Тикунов,* 1997]. Наиболее значимыми факторами данного вида туризма являются следующие 8 показателей: 1) воздействие ЛПК; 2) экологическая обстановка в районах разработки полезных ископаемых; 3) степень сельскохозяйственной освоенности территории;

4) альпинотипный рельеф; 5) кол-во вершин, рекомендуемых для восхождений; 6) транспортная доступность; 7) лавинная опасность; 8) пожарная опасность. Опасности заражения энцефалитом и холерой рассматривались как равнозначные для всей территории Сихотэ-Алиня.

Сторона квадрата рассчитывалась как среднее расстояние между наиболее популярными горными вершинами (Быгда, Тордоки-Яни, Аник и др.) и соответствовала на местности 85 км. Таким образом, территорию Сихотэ-Алиня покрыло 30 квадратов. В пределах каждого квадрата подсчитывались осреднённые характеристики перечисленных выше показателей, для оценки которых использовались геолого-экономическая карта Хабаровского края м-ба 1: 5 000 000, схема территориального планирования Приморского края м-ба 1: 2 500 000, карта пожарной опасности по условиям погоды м-ба 1: 10 000 000 и космические снимки MODIS с разрешением 250 м. Привязка основных картографических материалов и составление карты рекреационного районирования Сихотэ-Алиня проводились в приложении ArcMap 10, для обработки космических снимков использовался программный продукт ENVI 4.2. Результатом явилось выделение 3-х групп квадратов, позволивших оценить возможность развития альпинизма на исследуемой территории (рис. 1).

Также сеть квадратов использовалась для оценки спортивно-прогулочного туризма. Если в пределах квадрата был обнаружен хотя бы один пешеходный маршрут, то территория считалась возможной для данного вида туризма. В целях исследования туристских маршрутов в различных частях Сихотэ-Алиня была произведена статистическая обработка массива данных, состоящего из 2 рядов: 1 — пешеходные маршруты имеются, 0 — пешеходные маршруты отсутствуют. Для измерения связи между рядами использовались коэффициенты контингенции. Число рядов количеству альтернативных показателей равно 2, поскольку рассматривались общедоступные территории и ООПТ (см. далее).

Следует отметить, что за последние несколько лет на Дальнем Востоке новым этапом развития современного экологического туризма является глэмпинг. Это отдых на природе со всеми удобствами и полноценным отельным обслуживанием, при этом туристы размещаются в лёгких домиках посреди дикой природы и удалении от цивилизации. Наиболее известен глэмпинг-парк «Заповедные места» на территории национального парка «Анюйский» в Хабаровском крае. Также планируется организовать глэмпинг на территории национального парка «Бикин».

Удовлетворительные результаты получены при использовании коэффициентов корреляции (или взаимной сопряжённости) качественных показателей, выражаемых характеристиками 1 или 0, и вычисляемых по формуле

$$r = \frac{ad-bc}{\sqrt{(a+b)(b+d)(a+c)(c+d)}},$$

где a — количество совпадений единиц в сравниваемых рядах, b — число сочетаний 1 и 0 в двух рядах, c — количество сочетаний 0 и 1 в рядах и d — число совпадений нулевых значений.

Для показа сходства всех квадратов лишь с самыми интересными, эталонными квадратами было выбрано 10 ключевых участков общедоступных территорий, где спортивно-прогулочный туризм наиболее популярен. Также были рассмотрены как существующие, так и планируемые ООПТ и зависимость организации маршрутов от природных условий. Например, в Сихотэ-Алинском государственном природном биосферном заповеднике имени Константина Абрамова насчитывается 5 действующих маршрутов — «Мыс Северный», «Озеро Благодатное», «Бухта Голубичная», «Ключ Кабаний», «Гора Лысая». Последний маршрут был открыт в 2018 г., его преодоление требует хорошей физической формы. В заповеднике отмечают, что обустройство новых троп на других участках пока не планируется. Но действующие тропы требуют доработки и ежегодной профилактики. В планах

сотрудников заповедника — восстановить тропу «Урочище Ясная», пострадавшую от тайфуна «Лайонрок» в 2016 г. Она находится в лесу с преобладанием хвойных пород, что существенно отличает её от маршрутов на побережье.

Горнолыжный туризм на территории Сихотэ-Алиня имеет следующие особенности. Сами базы и курорты немногочисленны; последние почти полностью находятся в Приморском крае. Однако очень популярны многодневные лыжные маршруты, самый оптимальный месяц для них — февраль, когда зимние морозы утихают. Реки, используемые для сплавов, зимой замерзают, и на них очень удобно кататься на снегоходах. В некоторых ООПТ есть возможности организации зимних маршрутов. Например, в Ботчинском заповеднике, рельеф которого горный, функционируют несколько экскурсионных туристских маршрутов, которые в зависимости от времени года могут быть пешими, конными или лыжными (один из них называется «Заповедная лыжня»).

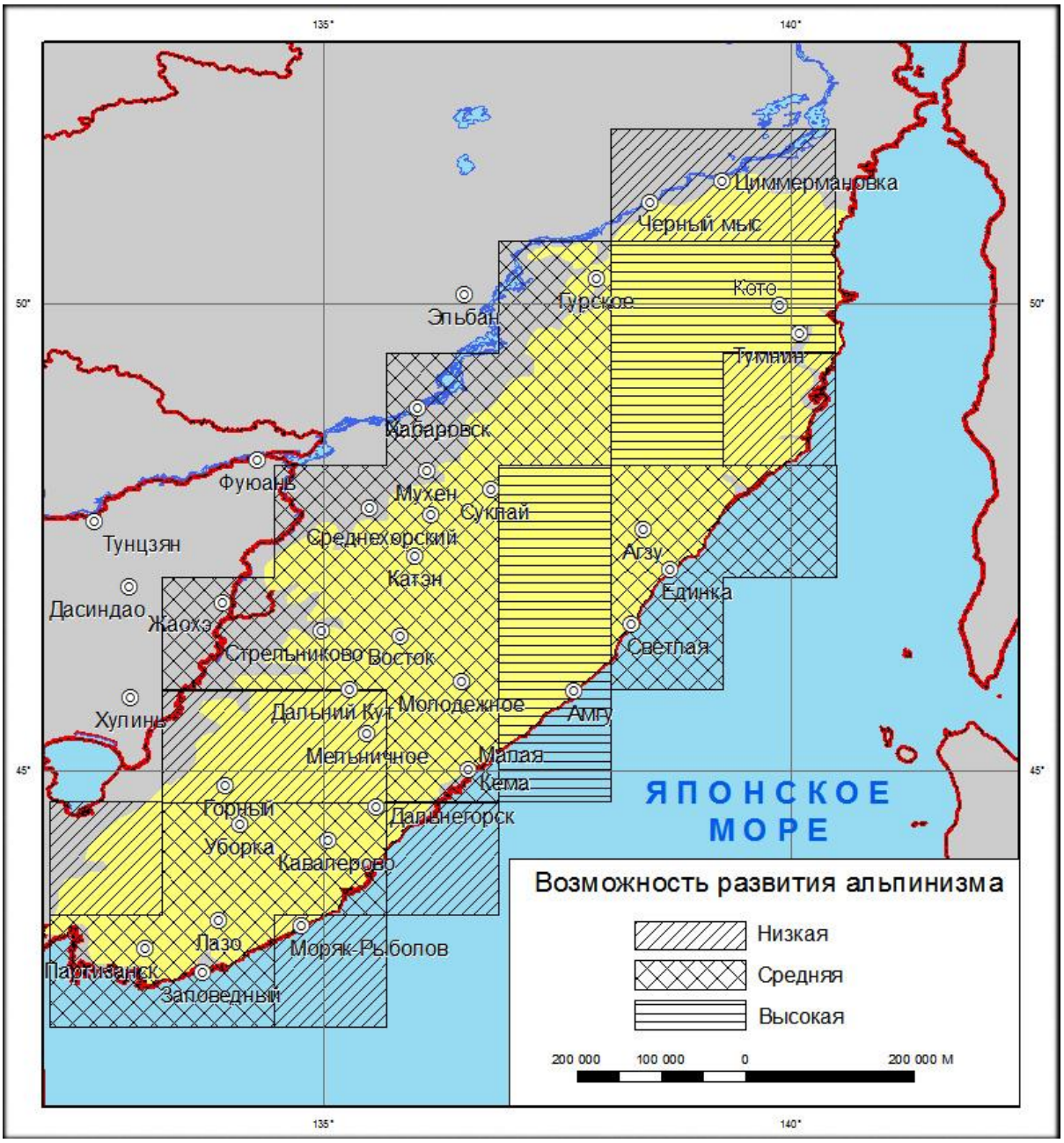


Рис. 1. Возможность развития альпинизма на Сихотэ-Алине
Fig.1. The possibility of the development of mountaineering on Sikhote-Align

Цель прогнозирования развития горнолыжного туризма рассматривалась как задача, состоящая в нахождении функции y при значении аргумента x, лежащего вне исследуемого интервала ($x_1 \div x_n$). При этом использовалась регрессионная модель в самой простой форме — линейной. Потенциал развития горнолыжного туризма рассматривался как случайная величина y, распределение которой зависит от некоторой зависимой переменной x. Соотношение линейной регрессии между x и y представлялось в виде

$$y = a_0 + a_1x + v,$$

где a_0 — число функционирующих лыжных маршрутов, a_1 — число маршрутов, проводимых на снегоходах по рекам в зимний период или число возможных зимних маршрутов в пределах ООПТ, v — число горнолыжных курортов (остаток, характеризующий величину отклонения линии регрессии от истинных значений функции $x(y)$).

Если у исследуемых рек, на которых в зимний период возможны маршруты на снегоходах, имелись притоки, использовались регрессионные уравнения более высоких степеней, которые в общем виде можно представить многочленом степени m:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2^2 + \ldots + a_mx_m^m + v.$$

Таким образом, для цели картографирования горнолыжного туризма сначала использовалась функция $y = a_0 + a_1x$, затем переход к функции $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ и т. д. до тех пор, пока вследствие малости квадратов остающихся отклонений полином не начинал удовлетворять по точности решения поставленной задачи [*Тикунов,* 1997].

Сихотэ-Алинь, обладая значительными природными ресурсами, относится к категории регионов с огромным потенциалом для развития оздоровительного туризма. Одним из инструментов такого развития может послужить создание особых экономических зон туристско-рекреационного типа, назначением которых является деятельность по санаторно-курортному лечению. Однако у решения данной задачи очень долгий путь, поскольку наряду с отсутствием развитой инфраструктуры даёт о себе знать отрицательная сторона климатических условий горной территории — достаточно непродолжительный летний период, суровые погодные условия в зимний период.

Территории Сихотэ-Алиня были разделены на перспективные и освоенные для оздоровительного туризма [*Краснокутская*, 2010]. Перспективные территории — это районы в северной части и центральной горной системы. Здесь располагаются источники минеральных вод: холодные (Мухенские, Тунчинский, Альчинский, Джугда), горячие (Тумнинские, Садынку, Тутто, Тёплый Ключ). Эти районы имеют достаточно благоприятные климатические условия, способствующие развитию сети санаторно-курортных учреждений. Однако эти территории в настоящее время практически не используются. Лечебно-оздоровительные ресурсы этих мест широко используются местными жителями в частном порядке.

Освоенные территории — это районы, расположенные южной части Сихотэ-Алиня. Здесь уже более 100 лет разведаны месторождения минеральных источников и целебных грязей, расположены все действующие курорты. Эти территории используются широко.

Для оценки оздоровительного туризма на территории Сихотэ-Алиня использовались следующие показатели:

- месторождения минеральных вод;
- состояние экологической обстановки;
- транспортная доступность;
- климатические условия.

При картографировании исходными материалами послужили карта геологических памятников и уникальных геологических объектов Хабаровского края м-ба 1: 5 000 000 и карта полезных ископаемых и подземных вод Приморского края м-ба 1: 2 500 000. Было применено квадратомическое дерево [*Samet*, 1990]: вначале вся территория была разбита на крупные квадраты, которые рекурсивно подразделялись на более мелкие ячейки до тех пор, пока каждая из них не начинала содержать однородные данные. Все показатели для последующих расчётов приводились в данной сетке.

Расчёты для перспективных и освоенных территорий велись раздельно. Для перспективных территорий очень важна транспортная доступность, для освоенных — наличие курортов. Остальные показатели рассматривались как равнозначные для обоих типов территорий. Границей между ними послужили долины рек Бикина, Большого Килоу и Дагды. Были произведены вычисления евклидовых расстояний, что сделало их варьирующими от нуля до единицы. Получилось так, что системы изолиний в перспективных и освоенных для оздоровительного туризма территорий легко состыковались вместе.

Для оценки спелеологического туризма понадобились карты геологических памятников и уникальных геологических объектов Хабаровского края м-ба 1: 5 000 000 и туристская карта Приморского края м-ба 1: 3 000 000. В первом субъекте Федерации самыми известными являются пещеры Кокдзяму в центральной части края, Прощальная (крупнейшая на Дальнем Востоке) и Зубатка в южной. Во втором субъекте очень много пещер сосредоточено в южной части. Наиболее известные из них расположены в окрестностях Дальнегорска — пещеры Сверчков, Венюкова, Николаевская, Мокрушинская.

Также не пришлось моделировать скалолазный туризм. Основные его объекты находятся в Нанайском (Анюйские столбы, Малмыжский утёс и др.) и Ванинском (скалы Нанайка и Богомол) р-нах Хабаровского края, также недалеко от Хабаровска находится сопка «Два брата», где для скалолазания оборудованы трассы. В Приморском крае скалолазы часто посещают хребет Пржевальского, Екатерининский массив, камень «Чёртов Палец».

Для картографирования скалолазного туризма использовались космические снимки MODIS с разрешением 250 м. На их основе в приложении ArcMap 10 была построена цифровая модель рельефа. Трёхмерное изображение позволило выявить все части горной системы, где возможен скалолазный туризм.

Табл. 1. Рекреационное районирование Сихотэ-Алиня
Table 1. Recreational zoning of Sikhote-Alin

№№	**Рекреационный район**	**Подрайон**	**Виды (горного) туризма**
1	Северный	Гурско-Кенайский	Водный, спелеологический, АГТ, ПП
		Хорский	Водный, АГТ, ПП, СП
		Тумнинско-Мухенский	Водный, оздоровительный, ПП, скалолазный
		Агзинский	Водный, СП, горнолыжный
2	Центральный	Катэнский	Водный, горнолыжный, АГТ, СП, спелеологический, скалолазный
		Вяземский	Водный, оздоровительный, СП
		Стрельниково-Тернейский	Спелеологический, АГТ, скалолазный, водный, ПП
		Амгинский	Водный, оздоровительный, ПП, СП, АГТ
		Малиновский	АГТ, ПП, скалолазный, СП
3	Южный	Дальнегорский	АГТ, скалолазный, ПП, СП, водный, оздоровительный, спелеологический
		Партизанский	АГТ, скалолазный, ПП, СП, водный, оздоровительный, горнолыжный, спелеологический

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В целом недостаточная хозяйственная освоенность усиливает рекреационную притягательность территорий Сихотэ-Алиня. Спрос на рекреационные ресурсы в горах превышает существующий уровень их использования. Для взаимоотношения рекреации с другими отраслями хозяйства характерны гибкость реагирования и соблюдение баланса интересов, благодаря чему многие проблемы организации отдыха в горах разрешимы.

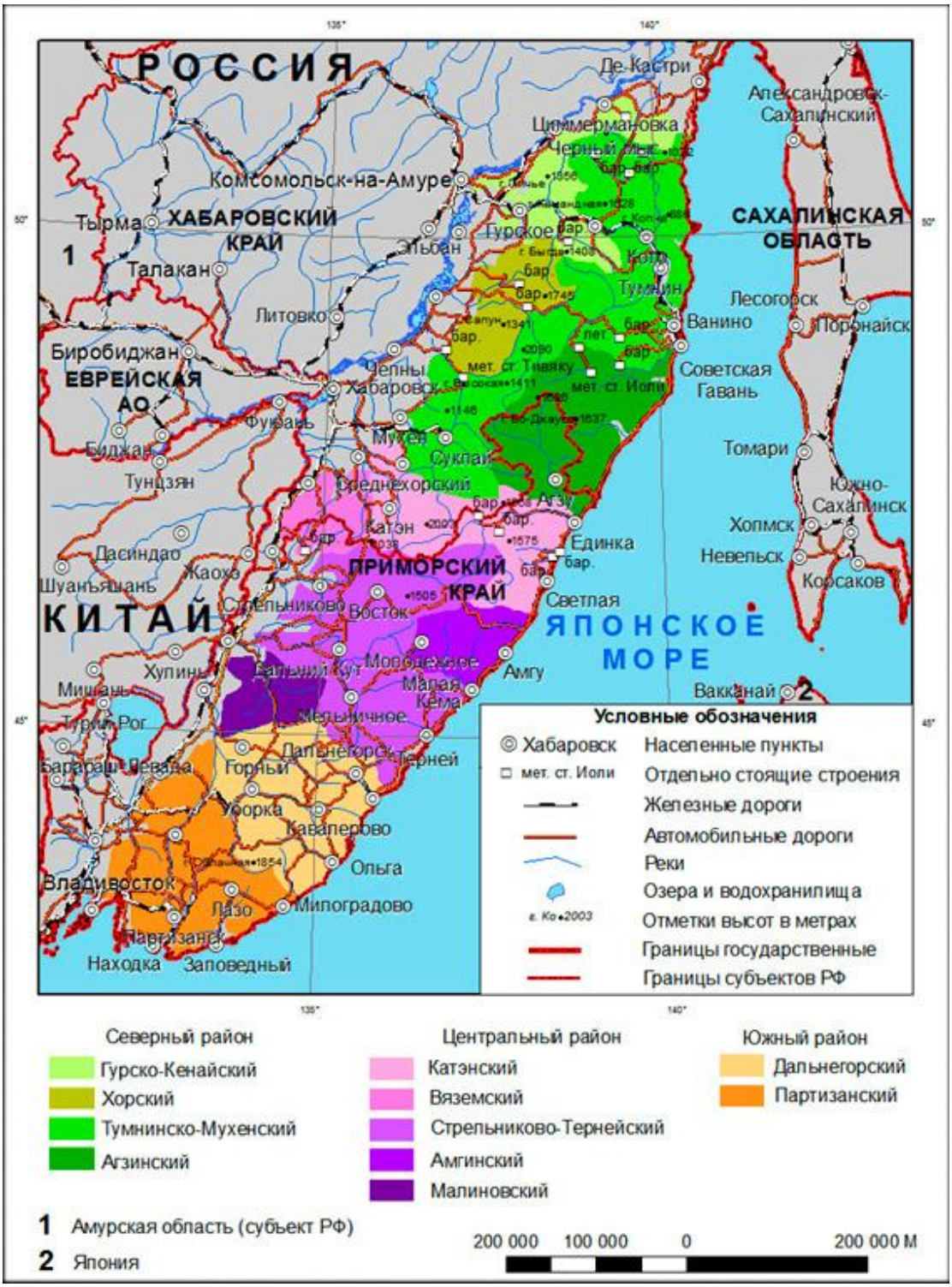


Рис. 2. Карта рекреационного районирования Сихотэ-Алиня
Fig 2. Map of recreational zoning of Sikhote-Alin

После оценки различных видов горного туризма и анализа возможностей их развития составлена синтетическая карта рекреационного районирования Сихотэ-Алиня; на ней отражена многокомпонентность и функциональные возможности горной территории. Последняя разделена на 3 рекреационных района: Северный, Центральный и Южный. В состав каждого входят подрайоны, где преобладают определённые виды туризма (табл. 1, рис. 2), среди которых: АГТ — альпинистско-горно-туристский, СП — спортивно-прогулочный, ПП — прогулочно-промысловый. Районирование проведено с инвентаризацией всех природных достоинств, с выделением территорий, для которых организация отдыха будет одним из наиболее интенсивных видов хозяйствования.

Поскольку Сихотэ-Алинь расположен на приграничной территории Российской Федерации, для развития туристической инфраструктуры полезно вести сотрудничество с иностранными специалистами. Также нужно знакомить туристов с охраняемыми видами растений и животных, организовывать и совершенствовать экологические маршруты в пределах ООПТ, проводить природоохранные мероприятия для предохранения малоосвоенных территорий от антропогенного воздействия.

ВЫВОДЫ

Чтобы Сихотэ-Алинь сохранял привлекательность для туристов, планы регионального и местного развития данной горной территории должны строиться с учётом сезонности развития туризма. Поэтому необходимы районирование ресурсов (в т.ч. рекреационных), оценка природного потенциала для выработки стратегических и тактических направлений всех видов освоения. Поскольку горный туризм не сильно требователен к комфорту, большое развитие получают многие виды активного отдыха, среди них появляются новые. Научные концепции развития рекреационно-охранных территорий для сохранения природного и культурного разнообразия необходимо разрабатывать с представителями коренного населения, учитывая их интересы и предпочтения. Организация в национальных парках туристских маршрутов приобщает туристов к природоохранному этикету.

Картографический метод оценки природных и социально-экономических условий заключается в отображении на карте информации, необходимой для отдыхающих и организаторов отдыха. Использование оценок целесообразно там, где существует множество оцениваемых объектов и их нужно ранжировать по степени пригодности для освоения. При этом очень важно вести картографирование в среде геоинформационных систем, в которых с каждым годом появляется больше приложений, и использовать при этом данные дистанционного зондирования Земли. Создание карты позволяет в будущем производить и другие, более сложные виды оценок для экономической эффективности рекреационного освоения. Но и само по себе картографическое моделирование — один из наиболее эффективных методов исследования территориально-рекреационных систем.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит профессора Московского Государственного Университета, доктора географических наук Тикунова В.С. за подбор литературы.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors accord most heartfelt thanks to the professor of Moscow State University, doctor of geographical sciences V.S. Tikunov for the selection of literature.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алимов Р., Жохова Л.* Анализ эффективности размещения производственных сил Сибири и Дальнего Востока. М.: Финансы, 1979. 78 с.

2. *Десятов В.М.* Эндо-экологический фактор от последствий химического загрязнения реки Амур и воздействия лесных пожаров. Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Дальневосточная весна». Комсомольск-на-Амуре: Издательство КнАГТУ, 2005. С. 31–39.
3. *Иваненко Н.В., Голов В.И., Ацунобу К.* Экологическое состояние и использование земельных ресурсов Дальнего Востока России. Территория новых возможностей. Владивосток: Дальнаука, Издательство ВГУЭС, 2016. С. 166–175.
4. *Коптюг В.А., Матросов В.М., Левашов В.К., Демянко Ю.Г.* Устойчивое развитие цивилизации и место в ней России: проблемы формирования национальной стратегии. Владивосток: Дальнаука, 1997. 84 с.
5. *Краснокутская Н.В.* География лечебно-оздоровительного туризма Хабаровского края. Комсомольск-на-Амуре: Издательство АмГПГУ, 2010. С. 46–57.
6. *Мирзеханова З.Г., Дебелая И.Д.* Особенности туристического районирования Хабаровского края: картографическое обеспечение. Геодезия и картография. Хабаровск, Владивосток: ДВО РАН, 2009. № 6. С. 15–22.
7. *Супруненко Ю.П.* Горы зовут... (Горно-рекреационное природопользование). М.: Тровант, 2003. 368 с.
8. *Тикунов В.С.* Моделирование в картографии: Учебник. М.: Издательство Московского университета, 1997. 405 с.
9. *Фролов Н.М., Балаганский Н.М.* Природопользование. Природные ресурсы и природопользование в Российской Федерации и в Хабаровском крае: учебное пособие для вузов. Хабаровск, 2000. 576 с.

REFERENCES

1. *Alimov Y.P., Zhokhova V.P.* Analyze of efficiency placement of production forces in Siberia and Far East. Moscow: Finances, 1979. 78 p. (in Russian).
2. *Desyatov V.M.* Endo-ecological factor from chemical pollution consequences of Amur river and influences of forest fires. Proceedings of International scientific-practical conference “Far Eastern Spring”. Komsomolsk-on-Amur: KnASTU, 2005. P. 31–39 (in Russian).
3. *Frolov N.M., Balagansky N.M.* Nature management. Nature resources and nature management in Russian Federation and in Khabarovsk region: Textbook for universities. Khabarovsk, 2000. 576 p. (in Russian).
4. Ivanenko N.V., Golov V.I., Atsunobu K. Ecological state of soil and land resources of the Russian Far East. Territory of new possibilities. Vladivostok: Dalnauka, Vladivostok State University of Economics and Service, 2016. P. 166–175 (in Russian).
5. Koptyug V.A., Matrosov V.M., Levashov V.K., Demyanko Y.G. Stable development of civilization and place in it of Russia: problems of national strategy creation. Vladivostok: Dalnauka, 1997. 84 p. (in Russian).
6. Krasnokutskaya N.V. Geography medical and health tourism of Khabarovsk territory. Komsomolsk-on-Amur, Amur State University of Humanities and Pedagogy, 2010. P. 46–57 (in Russian).
7. Mirzekhanova Z.G., Debelaya I.D. Peculiarities of touristic zoning of Khabarovsky Krai: cartographical provision. Geodesy and Cartography. Khabarovsk, Vladivostok: Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (FED RAS), 2009. No 6. P.15–22 (in Russian).
8. Suprunenko Y.P. Mountain call... (Mountain-recreational nature management). Moscow: Trovant, 2003. 368 p. (in Russian).
9. Tikunov V.S. Modelling in cartography: Textbook. Moscow: Moscow University Press, 1997. 405 p. (in Russian).

УДК: 379.851 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-380-390**

О.В. Ивлиева[1], А.В. Шмыткова[2]

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАЙОНОВ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА В ЮЖНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

АННОТАЦИЯ

В последние десятилетия в мире растёт интерес к объектам археологического наследия и возможностям развития археологического туризма. Памятники археологии являются отдельным феноменом в системе культуры и рассматриваются как отдельное явление в области наследования и сбережения культурной идентичности. Доходы от археологического туризма могут быть использованы для сохранения объектов и образовательных целей, что фактически способствует устойчивости археологических памятников, включая экологические, социальные, культурные, политические, экономические и образовательные аспекты.

Потребность изучения пространственных закономерностей распределения археологических памятников определила активное использование методов картографирования. Геоинформационные технологии позволяют интегрировать существующие реестры археологических памятников и картографические материалы в единый структурированный геоинформационный продукт.

Многочисленные памятники материальной культуры, выявленные на территории Южного федерального округа, отражают последовательные этапы культурно-исторического развития макрорегиона с древнейших времен до средневековья. Археологические памятники на территории ЮФО условно подразделяются на погребальные, поселенческие и ритуально-культовые памятники и представляют значительный интерес не только для археологов, но и для туристов.

Целью данной работы является геоинформационная идентификация районов археологического туризма на территории Южного федерального округа. В качестве базовой ГИС-платформы выступает ArcGIS (ESRI), исходными данными выступают сведения из Единого государственного реестра объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации. Территориальное распределение археологических памятников по административно-территориальным единицам Южного федерального округа отражает степень археологической изученности территории и перспективные районы для развития археологического туризма.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: археологический туризм, памятники археологии, культурное наследие, раскопки, Южный федеральный округ

[1] Южный федеральный университет, Высшая школа бизнеса, ул. Большая Садовая, д. 105/42, 344006, Ростов-на-Дону, Россия; *e-mail:* **ivlieva.o@mail.ru**

[2] Южный федеральный университет, Высшая школа бизнеса, ул. Большая Садовая, д. 105/42, 344006, Ростов-на-Дону, Россия; *e-mail:* **annav1109@mail.ru**

Olga V. Ivlieva[1], **Anna V. Shmytkova**[2]

GEOINFORMATION IDENTIFICATION OF ARCHAEOLOGICAL TOURISM AREAS IN THE SOUTHERN FEDERAL DISTRICT

ABSTRACT

The interest in archaeological heritage sites and the possibilities for the development of archaeological tourism have been growing in the world in recent decades. Monuments of archeology are a separate phenomenon in the cultural system and are considered as a separate phenomenon in the field of inheritance and preservation of cultural identity. Revenues from archaeological tourism can be used to preserve archaeological objects and for educational purposes, which actually contributes to the sustainability of archaeological sites, including environmental, social, cultural, political, economic and educational aspects.

The need to study the spatial patterns of the distribution of archaeological sites has determined the active use of mapping methods. Geoinformation technologies allow integrating existing registers of archaeological sites and cartographic materials into a single structured geoinformation product.

Numerous monuments of material culture, identified on the territory of the Southern Federal District, reflect the successive stages of the cultural and historical development of the macroregion from ancient times to the Middle Ages. Archaeological sites on the territory of the Southern Federal District are conventionally divided into funerary, settlement, and ritual-religious monuments and are of significant interest not only for archaeologists, but also for tourists.

The aim of this work is the geoinformation identification of areas of archaeological tourism in the territory of the Southern Federal District. ArcGIS (ESRI) acts as the basic GIS- platform, the initial data are information from the Unified State Register of Cultural Heritage Sites (historical and cultural monuments) of the peoples of the Russian Federation. The territorial distribution of archaeological sites in the administrative-territorial units of the Southern Federal District reflects the degree of archaeological study of the territory and promising areas for the development of archaeological tourism.

KEYWORDS: archaeological tourism, archeological sites, cultural heritage, excavations, Southern Federal District

ВВЕДЕНИЕ

Культурный туризм (heritage tourism) — это путешествия, предназначенные для знакомства с местами и видами деятельности, которые достоверно представляют истории и людей прошлого [*Hoffman, Kwas*, 2002]. Археологический туризм (или археотуризм) является частью культурного туризма [*Herbert*, 1995]. Археологический туризм определяется как такой вид туризма, в котором археологические ресурсы становятся достопримечательностями для туристов и/или когда основной мотивацией поездки является посещение археологических зон [*Tresserras*, 2004]. Археологический туризм включает туристские посещения известных мест (например, исторических достопримечательностей, памятников и раскопок) и полученный там опыт деятельности [*Pacifico, Vogel*, 2012; *Ramsey, Everitt*, 2008; *Willems, Dunning*, 2015]. Данное определение раскрывает ключевую роль раскопок в археологическом туризме.

[1] Higher School of Business of Southern Federal University, Sadovaya str., 105/42 B, 344006, Rostov-on-Don, Russia; *e-mail:* **ivlieva.o@mail.ru**

[2] Higher School of Business of Southern Federal University, Sadovaya str., 105/42 B, 344006, Rostov-on-Don, Russia; *e-mail:* **annav1109@mail.ru**

Археологическое наследие является частью историко-культурного наследия, состоит из материальных остатков прошлого, результатов и знаний, полученных в результате их исследований и охраняемых памятников археологии. Археологическое наследие является важным источником исторической памяти.

Число посетителей археологических памятников ежегодно растёт, что было поддержано декларациями о культурном наследии человечества со стороны ЮНЕСКО [*Moreno, Sariego Lypez*, 2017]. Достаточно упомянуть лишь несколько примеров: в 2016 г. в Канкун, Мексика, прибыло 13 млн туристов, из которых 2,1 млн посетили археологическую зону Чичен-Ицу, 1,7 млн человек посетили Тулум, и 655 тыс. — Паленке. Число туристов, посещающих Мачу-Пикчу в Перу, значительно возросло за последние десятилетия — от 77 тыс. посетителей в 1991 г. до 1,4 млн туристов в 2016 г.

С момента объявления области Ангкор в Камбодже объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО в 1992 г. развитие туризма позволило Камбодже укрепить свою экономику. В 1993 г. страна приняла немногим более 100 тыс. туристов, в 2008 г. уже более 2 млн, а в 2018 г. — 6,8 млн туристов. Аналогичным примером является Гватемала, туризм которой стал одним из основных источников дохода после окончания гражданской войны в 1996 г., археологические памятники являются одной из главных туристских достопримечательностей страны, наряду с этническим и культурным разнообразием [*Sanchez-Espinosa*, 2017].

В зрелых туристических дестинациях, таких как Великобритания, Испания и Греция, количество и масштаб посещений археологических памятников туристами ежегодно увеличивается. Например, в Испании исследовательские проекты и расширение археологического наследия позволили получить доступ к значительной части археологических ресурсов страны с перспективой выхода на международный рынок, вложены средства в новое музейное оборудование, реконструкцию музеев и музеизацию крупных археологических памятников.

Археологический туризм стал особенно важным экономическим активом для развивающихся стран, где археологические памятники часто расположены в отдаленных местах и их посещение открывает возможности для развития других видов туризма, например, экологического.

Вместе с тем археология и туризм имеют противоречивые отношения. Хотя посещение туристами археологических памятников и музеев во всем мире растет, археологическое сообщество не имеет согласованной позиции в отношении этого явления [*Pinter,* 2005] Для некоторых археологов туристская деятельность — это способ привлечь ресурсы для исследований и защиты территории. Для других туристская деятельность чрезвычайно разрушительна, поскольку интересы рынка конкурируют с научными интересами. С другой стороны, туристический бизнес видит в археологах и их организациях препятствия для развития туристских направлений [*Walker, Carr,* 2013].

Археологи и государственные структуры, которые занимаются управлением археологическими объектами в качестве туристских объектов, сталкиваются со многими проблемами в попытке сбалансировать просветительские цели, проблемы устойчивости и сохранения наследия. Всё больше археологов обращаются к общественности за поддержкой их исследований. Однако, чтобы получить общественное признание и столь необходимую финансовую поддержку, археологам необходимо продемонстрировать, что археологические объекты обладают уникальной ценностью [*Beltran, Rojas,* 1996].

В дискуссии об устойчивом туризме на объектах Всемирного наследия Энн Дрост подчеркивает, что туризм может предоставить потенциальные средства для их сохранения [*Drost*, 1996]. Если доходы от археологического туризма могут быть использованы для сохранения объектов и образовательных целей, то это может фактически способствовать устойчивости археологических памятников, включая экологические, социальные, культурные, политические, экономические и образовательные аспекты.

Потребность изучения пространственных закономерностей распределения археологических памятников, причин их приуроченности к элементам ландшафта, а также их исторической судьбы определила активное использование методов картографирования.

Геоинформационные технологии позволяют интегрировать существующие реестры археологических памятников и картографические материалы в единый структурированный геоинформационный продукт, обеспечивающий переход от простого учёта и картографирования к более глубоким аналитическим операциям — пространственно-временному анализу, геомоделированию, пространственной статистике, созданию прогнозных моделей.

В России рядом отдельных научно-исследовательских организаций ведётся разработка геопорталов и ГИС историко-культурного наследия национального и регионального масштабов. При Институте археологии РАН (г. Москва) создана геоинформационная аналитическая система «Археологические памятники России», в которой собрана информация, включающая описание и пространственные привязки по 15 тыс. памятникам археологии [*Макаров, Зеленцова*, 2016]. Кафедрой информационных систем и компьютерного моделирования Волгоградского государственного университета разработаны Археологический геопортал ВолГУ и ГИС AGISVolSU-2.0, которые представляют собой общероссийскую справочную ГИС, содержащую описание и 3D-модели основных археологических памятников страны [*Андреева, Краснопрошин*, 2014]. Успешным примером реализации проекта регионального уровня является геопортал «Историко-культурное наследие Пермского края», разработанный Центром геоинформационных систем и технологий и лабораторией исторической и политической информатики Пермского государственного национального исследовательского университета [*Корниенко, Круглова*, 2015]

В Белгородском государственном национальном исследовательском университете была создана геоинформационная аналитическая система «Археологические памятники Крыма», впервые в России был реализован подход к пространственному анализу археологических памятников с учётом специфики землепользования и правового статуса земель, на которых они расположены [*Буряк, Лисецкий*, 2018].

Значительную роль для российского общества играют не только вопросы изучения, систематизации и сохранения объектов археологического наследия, но и проблемы их практического использования, в том числе для активизации развития сферы туризма в регионах. Целью данной работы является геоинформационная идентификация районов археологического туризма на территории Южного федерального округа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве базовой ГИС-платформы выступает ArcGIS (ESRI), обладающая широким набором инструментов для создания картографических моделей. В качестве исходных данных использованы сведения из Единого государственного реестра объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации[1]. Картографическая основа построена по принципу административно-территориального деления субъектов Российской Федерации, а также районных муниципальных образований и городских округов Южного федерального округа (за исключением Республики Крым и г. Севастополя).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Многочисленные памятники материальной культуры, выявленные на территории Южного федерального округа, отражают последовательные этапы культурно-исторического развития населения этого пёстрого в этническом отношении макрорегиона страны с

[1] Сведения из Единого государственного реестра объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации. Электронный ресурс: https://opendata.mkrf.ru/opendata/ (дата обращения 10.12 2019)

древнейших времён до средневековья. Изучение их имеет важное значение для воссоздания исторического прошлого народов юга России, их социально-экономического, культурного и этнического развития. В силу своего географического положения данный регион играл важную роль в древней и средневековой истории Восточной Европы. Находясь на важнейшем пути, связывавшем Юго-Восточную Европу с Закавказьем и культурными центрами Ближнего Востока, регион издревле служил зоной активных контактов и культурно-исторических взаимодействий населения степей Восточной Европы с оседло-земледельческими племенами и народами Кавказа, а через него и с цивилизациями Передней Азии.

Археологические памятники юга России дают представление о развитии земледелия и скотоводства, ремесленного производства, позволяют проследить процессы урбанизации, возникновения городской культуры.

Археологические памятники на территории ЮФО представляют собой объекты материальной культуры и условно могут подразделяться на погребальные памятники (курганный могильник, одиночный курган, некрополь и т.д.), поселенческие памятники (городище, поселение, селище, стоянка и т.д.) и ритуально-культовые памятники (храмовые комплексы, мегалиты, в т.ч. дольмены и т.д.)

Объекты археологического наследия на территории субъектов ЮФО имеют большое значение для изучения разных стадий развития материальной культуры: ямной северокавказской, майкопской, восточноманычской, салтово-маяцкой, катакомбной, срубной, полтавкинской, новотитаровской, кобяковской, кобанской, дольменной, меотской, скифской, сарматской, аланской, золотоордынской и т.д.

Территориальное распределение археологических памятников по административно-территориальным единицам представлено на рис. 1. Настоящая картосхема Южного федерального округа отражает степень археологической изученности территории и перспективные районы для развития археологического туризма.

Краснодарский край часто называют археологическим заповедником России. Древнейшие следы человеческой деятельности на территории Краснодарского края относятся к дошелльскому периоду. Присутствие человека в регионе устойчиво фиксируется с Ашеля.

В Мезмайской пещере (долина р. Курджипс) открыты погребение младенца (неандертальца), датированное около 45 тыс. лет назад. На стоянках между Туапсе и Адлером присутствует и микролитический инвентарь. В степном Прикубанье и Восточного Закубанье известны в основном погребения ямной культуры.

Начало бронзового века связано с майкопской культурой, в ареал которой входила вся территория Краснодарского края, где расположены Майкопский и Новосвободненский курганы, давшие название культуре и её позднему этапу.

В степном Прикубанье эти древности сменяет новотитаровская культура, для которой характерны погребения с повозками.

Вдоль Черноморского побережья по обеим сторонам Главного, или Водораздельного хребта Большого Кавказа распространилась дольменная культура. Волконский дольмен (район Большого Сочи) — единственный сохранившийся в мире полноразмерный дольмен монолитного типа, т.е. его камера полностью высечена в песчаниковой скале через небольшое входное отверстие.

В среднем бронзовом веке степная зона входила в ареал предкавказской катакомбной культуры, Закубанье — в ареал северокавказской культуры. К концу бронзового века в западной части Краснодарского края относятся несколько поселений кобяковской культуры (ст. Кобяково), в восточных районах распространяется кобанская культура.

В начале раннего железного века степные территории Краснодарского края входили в зону памятников «киммерийского периода», затем скифской археологической культуры. На значительной части современной территории края развивалась меотская археологическая культура. С VI в. на Таманском полуострове появились греческие колонии, вскоре объединённые в Боспорское государство. В его «азиатской» части, включавшей в периоды

расцвета земли от устья Кубани до современного города Новороссийска, располагались Фанагория, Гермонасса, Горгиппия, Патрей, Кепы, Киммерик, Корокондама, Тирамба и др. [*Анисимова и др.*, 2016]. С IV в. до н. э. в кубанских степях распространяются сарматские археологические культуры, среди их носителей — савроматы, сираки, аорсы, аланы.

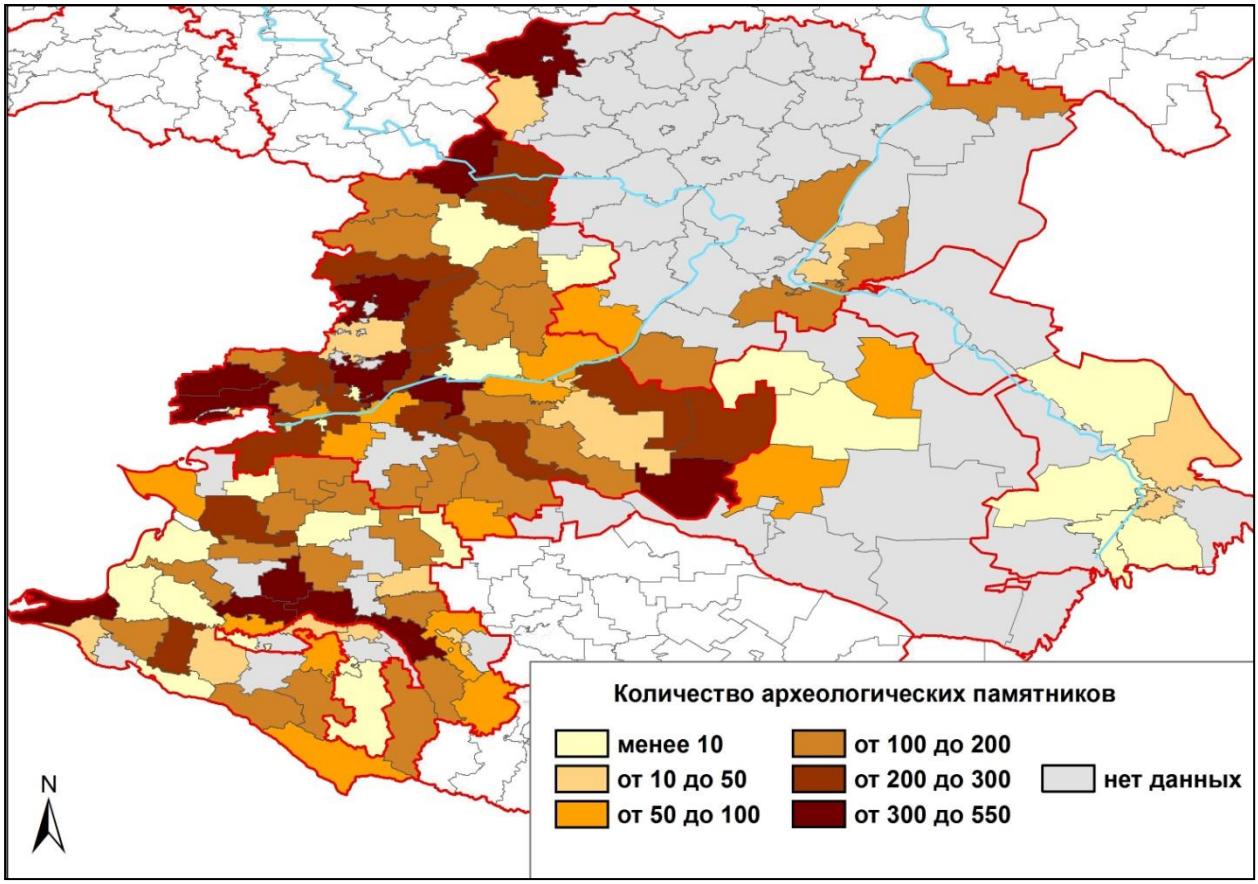


Рис. 1. Территориальное распределение археологических памятников ЮФО по муниципальным районам и городским округам
Fig. 1. Territorial distribution of archaeological sites of the Southern Federal District by municipal districts and urban districts

Со второй половины V в. на Кавказе возрастает византийское влияние. В 560-е гг. Северный Кавказ вошёл в сферу влияния Первого Тюркского каганата. В последней трети VII в. ведущей силой на юге Восточной Европы стал Хазарский каганат, власть которого распространилась и на значительную часть территории современного Краснодарского края. К концу I-го тыс. относятся памятники в районе современной Анапы (Уташское поселение), свидетельствующие о наличии здесь важного христианского центра. После гибели Хазарского каганата основной силой в степи стали печенеги, которых сменили половцы (на Кубани их могильники и каменные бабы датируют не ранее XII в.);

На территории современного Сочинского района к последней четверти I-го тыс. − 1-й четверти II-го тыс. относится ряд христианских храмов, крепостей, поселений и могильников. С X в. юго-восточная территории Краснодарского края являлись частью государства Алания. Здесь открыты христианские храмы, склепы, поселения, крепости и города, принадлежавшие кавказским аланам. В 1230-х гг. основная часть территории современного Краснодарского края была завоёвана монголо-татарами, с середины XIII в. она находилась в составе Золотой Орды.

По числу памятников археологии в Краснодарском крае выделяются Курганинский (547), Темрюкский (380), Кореновский (330), Динской (350), Усть-Лабинский (317) р-ны. Значительную часть археологического наследия этих районов составляют курганы — погребальные или культовые сооружения, которое имеют большое значение для изучения эпох от бронзы до средневековья Северо-Западного Кавказа.

На территории Темрюкского района находится уникальное Таманское городище Гермонасса-Тмутаракань, имеющее всемирно-историческое значение. Это единственное городище, жизнь на котором беспрерывно продолжается уже более 2 000 лет — со времени основания здесь греческой колонии в первой половине VI в. до н.э. и вплоть до наших дней. К настоящему времени от городища осталось чуть больше половины его первоначальной площади — северная часть его размыта морем.

На территории Республики Адыгея человек известен с нижнего палеолита. Ашельский период представлен рядом местонахождений в среднем течении р. Белой (Фортепьянка, Абадзехское и др.), найдены памятники Мустье (Фарс, Колосовка), верхнего палеолита (Каменномостская пещера). К эпохе неолита относятся верхние слои Каменномостской пещеры, энеолита — Мешоко, Свободное и др. Эпоха ранней бронзы (кон. IV-го – III-е тыс. до н. э.) представлена майкопской культурой: на раннем этапе — курганы типа Бол. Майкопского, грунтовые могильники (Псекупский), поселения (Серёгинское, Мешоко); позднее — каменные подкурганные гробницы, открытые у станицы Новосвободная.

В эпоху средней бронзы в предгорной части современной Адыгеи известны дольмены и поселения дольменной культуры. Наибольшее распространение дольмены получили в Майкопском районе Адыгеи: дольмен «Хамышки», дольмены «Усть-Сахрайские-1», Кожжохская дольменная группа (28 дольменов и курганов), а также 337 дольменов «Богатырские хатки».

К эпохе поздней бронзы относятся поселения кобяковской культуры (Красногвардейское I, II, Лесное), к раннему железному веку — протомеотские грунтовые могильники (Николаевский, Фарс) и поселения (Красногвардейское II).

К середине VII в. до н. э. завершается формирование культуры меотов. Появляются богатые курганные погребения (Клады, Хаджох, Уашхиту, Келермес), в инвентаре которых отражено участие меотов в скифских походах (колесницы, вещи переднеазиатского происхождения).

К скифо-меотскому времени относятся другие курганные и грунтовые могильники (Ульские курганы, Серёгинский, Кужорский курган, Курджипс и др.), святилища (Уляп, Начерезий). В меото-сарматский период известны городища с цитаделями (Тахтамукаевское, Ассоколайское, Нововочепшийское и др.), грунтовые могильники (Чернышевский, Серёгинский и др.), богатые курганы (Хатажукай, Курджипс).

С последней трети VI в. территория Адыгеи входила в зону контроля Тюркского каганата. О влиянии кочевников свидетельствуют материалы погребений VII в. Мешоко. К XX в. к р. Кубань продвинулись группы адыгов из Причерноморья и горных территорий.

В 1238–39 гг. территория современной Адыгеи была захвачена монголами. Во 2-й половине XIII в. — 2-й половине XV в. большое влияние на культурно-историческое развитие региона оказали генуэзские города-колонии Причерноморья. С XIV–XV вв. началось расселение адыгов в центральной части Северного Кавказа и их разделение на несколько этнических групп. К этому времени относятся находки из Белореченских курганов.

Древнейшие памятники человеческой деятельности на территории Ростовской области (600–300 тыс. лет назад) — Герасимовка в Приазовье, Хрящи и Михайловское в устье Северского Донца и др. К уникальным памятникам региона относится Левенцовка — комплекс археологических памятников на западной окраине города Ростов-на-Дону, включающее поселение I энеолита и бронзового века, Левенцовско-Каратаевскую крепость начала II-го тыс. до н. э., I–IV грунтовые могильники IV–I-го тыс. до н. э., Каратаевские могильники.

В низовьях р. Дон известны памятники меотской археологической культуры, Танаис и др. центры древнегреческой колонизации, вошедшие в Боспорское государство. Танаис стал самым северным пунктом древнегреческой цивилизации. В настоящее время заповедник Танаис — один из крупнейших в России археологических музеев-заповедников, территория которого насчитывает более 3 тыс. га и объединяет ансамбль памятников истории и культуры разных времен и народов.

К 4-й четверти IV в. регион вошёл в державу гуннов одна из её «баз» с оседлым населением была на месте Танаиса. С конца VI в. Подонье было западным форпостом Первого и Западного Тюркских каганатов, которые сменил Хазарский каганат (памятники типа Соколово и салтово-маяцкой культуры, в т.ч. Саркел — раннесредневековое укреплённое поселение на Дону). После его распада здесь господствовали печенеги. После монголо-татарского нашествия территория современной Ростовской области вошла в состав Золотой Орды (среди крупных городов в регионе — Азак).

Наибольшее число памятников археологии на территории Ростовской области сконцентрировано в Неклиновском (466), Каменском (462) Верхнедонском (455), Ремонтненском (479), Октябрьском (369) Матвеево-Курганском (350) и Семикарокорском (313) районах и преимущественно представлены курганами.

Значительный интерес представляет Елизаветовское городище — остатки древнего поселения Наварис близ станицы Елизаветинской Азовского р-на Ростовской области, существовавшего с VI по III вв. до н. э. На территории Елизаветовского городища существовало две греческие колонии: первая во второй половине IV в. до н. э., а вторая в первой трети III в. до н. э., её появление было связано с Боспорским царством.

На территории Республики Калмыкия наиболее древние памятники человеческой деятельности относятся к мезолиту. Неолит представлен стоянками и поселениями (поселение Джангар). Есть памятники майкопской культуры.

Бронзовый век на территории Калмыкии представлен многочисленными курганами (Целинский, Сарпинский, Октябрьский, Кетченеровский районы) с погребениями ямной, северокавказской, восточноманычской катакомбной, срубной культурами. Железный век представлен савроматской и сарматскими археологическими культурами.

В эпоху Великого переселения народов степи Прикаспийской низменности контролировали гунны и другие объединения кочевников, эти земли входили в состав I Тюркского каганата, затем — Хазарского каганата, объединений печенегов, а также половцев (с которыми связаны изваяния — каменные бабы).

Со 2-й половины 1230-х гг., наряду с половецкими, появились погребения, оставленные монголами и другими пришедшими с ними из Азии народами, которые входили в Золотую Орду.

Древнейшие памятники на территории Волгоградской области — стоянки эпох мустье (Волгоградская стоянка, Челюскинец), верхнего палеолита (Шляховский), мезолита (Ураков бугор). Неолит известен по памятникам типа Орловка, энеолит — по поселению у хутора Репин. К раннему и среднему бронзовому веку относятся курганные погребения ямной культуры, катакомбной культуры, полтавкинской культуры, к позднему бронзовому веку — погребения и поселения срубной культуры

В середине I-го тыс. до н. э. на территории современной Волгоградской области обитали кочевые племена савроматов, в IV в. до н. э. — IV в. н. э. — сарматов, позднее здесь проходили гунны. В последней трети VI–X вв. эта территория входила в состав Тюркского каганата и Хазарского каганата. В IX–XIII вв. здесь кочевали печенеги, огузы, половцы. В XIII—XV вв. территория современной Волгоградской области входила в состав Золотой Орды, здесь располагались её вторая столица Сарай Новый (Царёвское городище), города Бельджамен, Водянское городище, Тартанлы (Мечетное городище).

На территории современного Урюпинского района Волгоградской области сконцентрировано более 340 памятников археологии, в первую очередь курганов, в прошлом эта

зона распространения культур бронзового века, в эпоху раннего железного века здесь кочевали сарматы. В средневековье на Хопре обитали печенеги, половцы. Территория района входила в состав первых государств, возникших в степных районах — Хазарского каганата и Золотой Орды.

Древнейшие памятники на территории Астраханской области представлены стоянками эпохи мезолита и неолита, принадлежащими сероглазовской культуре. В эпоху раннего бронзового века на территории области распространилось производящее хозяйство, памятники археологии этого времени относятся к ямной культуре. Бронзовый век представлен катакомбной культурой. По территории современной Астраханской области проходила одна из трасс Великого шёлкового пути. В эпоху Великого переселения народов через Астраханскую область из Азии в Европу мигрировали тюркоязычные кочевники — гунны, авары, тюрки, хазары и др.

В VII–X вв. территория входила в состав Хазарского каганата, в конце X– начале XIII вв. определяющую роль в регионе играли кочевники — печенеги и половцы. С середины XIII в. низовья Волги стали центром Золотой Орды, здесь возникли города Сарай, Хаджи-Тархан (Астрахань) и др.

ВЫВОДЫ

Памятники археологии являются отдельным феноменом в системе культуры и должны рассматриваться как отдельное явление в области наследования и сбережения культурной идентичности.

Проблемы древнейшего расселения людей, «неолитической революции» и становления раннеземледельческих культур, развития первобытного искусства, раннего этногенеза, культурно-исторических взаимодействий оседлых и кочевых племён и народов в древности и средние века, возникновения и развития древних и средневековых городов, истории и культуры Тюркского и Хазарского каганатов, передвижения племён в эпоху Великого переселения народов способны вызвать интерес не только у специалистов-археологов, но и туристов. На территории Южного федерального округа уже реализуется глобальный туристский проект «Золотое кольцо Боспорского царства», маршрут которого проходит по территории 12 городов Краснодарского края, Ростовской области и Республики Крым и города Севастополя, включает в себя 35 площадок, тематически связанных с историей Боспора.

Результаты геоинформационной идентификации археологических памятников характеризуют Южный федеральный округ как один из перспективных регионов страны в отношении археологического туризма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреева И.И., Краснопрошин А.И., Хоперсков А.В.* Информационные модели баз данных геопортала для археологов. Южно-Сибирский научный вестник, 2014. № 3 (7). С. 65–69.
2. *Анисимова В.В., Романова И.А., Некрасова М.Л.* Археологический туризм как перспективное направление развития туризма в Краснодарском крае. Инновации в науке: Сборник статей по материалам LXII международной научно-практической конференции. № 10 (59). Новосибирск: СибАК, 2016. С. 85–95.
3. *Буряк Ж.А., Лисецкий Ф.Н., Ильяшенко С.В.* Геоинформационная аналитическая система «Археологические памятники Крыма». Геодезия и картография, 2018. Т. 79. № 12. С. 29–40. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-942-12-29-40.
4. *Корниенко С.И., Круглова А.С., Пьянков С.В.* Геопортал «Историко-культурное наследие Пермского края» как новый полиинформативный источник и программно- технологический инструмент для реализации междисциплинарных исследовательских проектов. Информационный бюллетень ассоциации «История и компьютер», 2015. № 43. С. 87–91.

5. *Макаров Н.А., Зеленцова О.В., Коробов Д.С., Черников А.П., Ворошилов А.Н.* Россия как археологическое пространство: первые итоги работы по созданию национальной географо-информационной системы «Археологические памятники России». Российская археология, 2016. № 4. С. 5–15.
6. *Beltran E., Rojas M.* Diversified funding methods in Mexican archaeology. Annals of tourism research, 1996. V. 23 (2). P. 463–478.
7. *Drost A.* Developing sustainable tourism for World Heritage Sites. Annals of tourism research, 1996. V. 23 (2). P. 479–492.
8. *Herbert D.T.* Heritage, tourism and society. London: Mansell, 1995. 228 p.
9. *Hoffman T.L., Kwas M.L., Silverman H.* Heritage tourism and public archaeology. The SAA archaeological record, 2002. V. 2. P. 30–32.
10. *Moreno Melgarejo A., Sariego Lypez I.* Relaciones entre turismo y arqueologia: El turismo arqueolygico, una tipologia turistica propia. Pasos. Revista de turismo y Patrimonio Cultural, 2017. V. 15 (1). P. 163–180 (in Spanish). DOI: 10.25145/j.pasos.2017.15.010.
11. *Pacifico D., Vogel M.* Archaeological sites, modern communities, and tourism. Annals of tourism research, 2012. V. 39 (3). P. 1588−1611. DOI: 10.1016/j.annals.2012.04.002.
12. *Pinter T.L.* Heritage tourism and archaeology: critical issues. The SAA archaeological record, 2005. V. 5 (3). P. 9–12.
13. *Ramsey D., Everitt J.* If you dig it, they will come: Archaeology heritage sites and tourism development in Belize, Central America. Tourism management, 2008. V. 29. P. 909–916. DOI: 10.1016/j.tourman.2007.11.002.
14. *Sanchez-Espinosa G.* Turismo etnico en el Reino Tz'utujil. Proceso de turistificacion en Lago Atitlan, Guatemala. Tesis de maestra en antropologia, posgrado en antropologia. Mexico City: Universidad Nacional Autynoma de Mexico, 2017. 180 p. (in Spanish).
15. *Tresserras Juan J.* El arqueoturismo o turismo arqueológico: un paso más parala valorización del patrimonio arqueológico. Portal Iberoamericano de gestión cultural, Boletín GC: Gestión Cultural, 2004. No 9. Web resource: http://www.gestioncultural.org/boletin/2004/boletinArqueoturismo.htm (accessed 03.12.2019) (in Spanish).
16. *Walker C., Carr N.* Tourism and archaeology: sustainable meeting grounds. Walnut Creek, LA: Left Coast Press, 2013. 301 p.
17. *Willems A., Dunning C.* Solving the puzzle: the characteristics of archaeological tourism. Crossing borders and connecting people in archaeological heritage management. Leiden: Sitestone Press, 2015. P. 68–71.

REFERENCES

1. *Andreeva I.I., Krasnoproshin A.I., Khoperskov A.V.* Information models of geoportal databases for archaeologists. South Siberian Scientific Bulletin, 2014. No 3 (7). P. 65–69 (in Russian).
2. *Anisimova V.V., Romanova I.A., Nekrasova M.L.* Archaeological tourism as a promising direction for the development of tourism in the Krasnodar Territory. Innovations in science: LXII International scientific-practical conference proceedings. Novosibirsk: SibAK, 2016. No 10 (59). P. 85–95 (in Russian).
3. *Beltran E., Rojas M.* Diversified funding methods in Mexican archaeology. Annals of tourism research, 1996. V. 23 (2). P. 463–478.
4. *Buryak Zh.A., Lisetskiy F.N., Ilyashenko S.V.* Geoinformation analytical system "Archeological monuments of Crimea". Geodesy and Cartography, 2018. V. 79. No 12. P. 29–40. DOI: 10.22389 / 0016-7126-2018-942-12-29-40 (in Russian).
5. *Drost A.* Developing sustainable tourism for World Heritage Sites. Annals of Tourism Research, 1996. V. 23 (2). P. 479–492.
6. *Herbert D.T.* Heritage, tourism and society. London: Mansell, 1995. 228 p.
7. *Hoffman T.L., Kwas M.L., Silverman H.* Heritage tourism and public archaeology. The SAA archaeological record, 2002. V. 2. P. 30–32.

8. *Kornienko S.I., Kruglova A. S., Pyankov S.V.* Geoportal “Historical and cultural heritage of the Perm Territory” as a new polyinformative source and software and technology tool for implementing interdisciplinary research projects. News bulletin of Association “History and Computer”, 2015. No 43. P. 87–91 (in Russian).
9. *Makarov N.A., Zelentsova O.V., Korobov D.S., Chernikov A.P., Voroshilov A.N.* Russia as an archaeological space: the first results of work to create a national geographic information system “Archaeological monuments of Russia”. Russian archeology, 2016. No 4. P. 5–15 (in Russian).
10. *Moreno Melgarejo A., Sariego Lypez I.* Relaciones entre Turismo y Arqueologia: El turismo arqueolygico, una tipologia turistica propia. Pasos. Revista de turismo y patrimonio cultural, 2017. V. 15 (1). P. 163–180 (in Spanish). DOI: 10.25145/j.pasos.2017.15.010.
11. *Pacifico D., Vogel M.* Archaeological sites, modern communities, and tourism. Annals of tourism research, 2012. V. 39 (3). P. 1588–1611. DOI: 10.1016/j.annals.2012.04.002.
12. *Pinter T.* Heritage tourism and archaeology: critical issues. The SAA archaeological record, 2005. V. 5 (3). P. 9–12.
13. *Ramsey D., Everitt J.* If you dig it, they will come: Archaeology heritage sites and tourism development in Belize, Central America. Tourism management, 2008. V. 29. P. 909–916. DOI: 10.1016/j.tourman.2007.11.002
14. *Sanchez-Espinosa G.* Turismo etnico en el reino tz’utujil. Proceso de turistificacion en Lago Atitlan, Guatemala. Tesis de maestrнa en antropologia, posgrado en antropologia. Mexico City: Universidad Nacional Autynoma de Mexico, 2017. 180 p. (in Spanish).
15. *Tresserras Juan J.* El arqueoturismo o turismo arqueológico: un paso más parala valorización del patrimonio arqueológico. Portal Iberoamericano de gestión cultural, Boletín GC: Gestión Cultural, 2004. No 9. Web resource: http://www.gestioncultural.org/boletin/2004/boletinArqueoturismo.htm (accessed 03.12.2019) (in Spanish).
16. *Walker C., Carr N.* Tourism and archaeology: sustainable meeting grounds. Walnut Creek, LA: Left Coast Press, 2013. 301 p.
17. *Willems A., Dunning C.* Solving the puzzle: the characteristics of archaeological tourism. Crossing borders and connecting people in archaeological heritage management. Leiden: Sitestone Press, 2015. P. 68–71.

УДК: 911.6 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-391-403**

В.С. Проскурин[1]

ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНО-РЕКРЕАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МЕТОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА)

АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты интегральной оценки ландшафтно-рекреационного потенциала (далее — ЛРП) территории Центрального Кавказа с использованием ГИС-технологий. Ландшафты, расположенные в пределах данной территории, представляют особый интерес для развития рекреации и туризма. Следует отметить, что на территории Центрального Кавказа ранее не проводилось оценки ЛРП ландшафтов. Процесс оценки ЛРП проводился в ГИС Quantum GIS, зонирование для отдельных видов туризма также было произведено в Quantum GIS. Проведены и уточнены границы Центрального Кавказа. Отображены границы групп ландшафтов в пределах границ Центрального Кавказа. Обоснована методика оценки ЛРП территории ландшафтов, в основе которой был использован балльный подход, позволяющий учитывать природные ресурсы для развития отдельных видов рекреации. Для расчёта каждого показателя и визуализации полученных результатов исследования применялся способ картограмм. При анализе отдельных компонентов ландшафтов использовался метод гексагональных операторов со стороной 5 км. После расчёта основных показателей для каждого полигона была проведена классификация каждого компонента (слой) на 5 классов (баллов), для классификации применялся алгоритм естественных границ Дженкенса. Все оценочные факторы рассчитывались для каждой операционной ячейки. Результатом покомпонентной оценки ландшафтов стала совокупная карта ландшафтно-рекреационного потенциала групп ландшафтов Центрального Кавказа. Компоненты ландшафта имеют разное значение для развития отдельных видов туризма. На основе экспертного опроса был введен коэффициент взвешивания для каждого компонента ландшафта и возможности его влияния на конкретный вид туризма. Полученная интегральная оценка ландшафтно-рекреационного потенциала позволяет выделить зоны различной степени благоприятности в ландшафтах для отдельных видов туризма (альпинизма, треккинга, рафтинга, горнолыжных видов). Проведённое зонирование позволяет определить векторы развития туризма в ландшафтах Центрального Кавказа, а также депрессивные территории. Согласно полученным данным интегральной оценки сделан вывод о наиболее перспективных ландшафтах, в которых необходимо развивать различные туристские направления. Полученные данные необходимо учитывать в документах территориального планирования. Выделенные зоны в ландшафтах потенциального развития различных видов туризма при соответствующих решениях создадут более конкурентную среду в республиках Северного Кавказа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ландшафтно-рекреационный потенциал, ГИС, Центральный Кавказ, ландшафт, геоинформационная оценка

[1] Северо-Кавказский федеральный университет, ул. Пушкина, д. 1, 355009, Ставрополь, Россия;
e-mail: **stavr.pro@mail.ru**

Vitaly S. Proskurin[1]

ASSESSMENT OF LANDSCAPE AND RECREATIONAL POTENTIAL USING GEOINFORMATION METHODS (EXAMPLE OF CENTRAL CAUCASUS)

ABSTRACT

The article presents the results of an integrated assessment of the landscape and recreational potential (hereinafter referred to as LPR) of the territory of the Central Caucasus using GIS technologies. Landscapes located within the Central Caucasus are of particular interest for the development of recreation and tourism. In the territory of the Central Caucasus, there has not been an assessment of the LPR of landscapes before. The process of assessing the PSR was performed using the Quantum GIS, zoning for certain types of tourism was also performed in Quantum GIS. The borders of the Central Caucasus were drawn and clarified. The displayed boundaries of groups of landscapes, which are located within the Central Caucasus. The method of assessment of landscape LPR is justified, which is based on a ball approach that allows taking into account natural resources for the development of certain types of recreation. To calculate each indicator and visualize the results of the study, the method of cartograms was used. When analyzing individual landscape components, the method of 5 km-side hexagonal operators was used. After calculating the main indicators for each polygon, we classified each component (layer) into 5 classes (points). The Jenkens natural boundary algorithm was used for classification. All evaluation factors were calculated for each operating cell. Individual components of the landscape have different significance for the development of certain types of tourism. We introduced a weighting coefficient for each landscape component and estimated its impact on a specific type of tourism. The weighting coefficient is calculated based on a survey of experts in the field of tourism and recreation. An integral assessment of the landscape and recreational potential of groups of landscapes in the Central Caucasus has been carried out, which allows us to identify zones of various degrees of favorability in the landscapes for certain types of tourism (mountaineering, trekking, rafting, and skiing). The result of the component-by-component assessment of landscapes was a combined map of landscape and recreational potential of landscape groups in the Central Caucasus. The zoning of landscapes allows us to determine the vectors of tourism development in municipalities located within the Central Caucasus, as well as depressed territories. According to the obtained data of the integrated assessment, the conclusion is made about the most promising landscapes in which it is necessary to develop various tourist destinations. The received data must be taken into account in the territorial planning documents. The selected zones in the landscapes of potential development of various types of tourism, with appropriate solutions, will create a more competitive environment in the republics of the North Caucasus.

KEYWORDS: landscape and recreational potential, GIS, Central Caucasus, landscape, geoinformation assessment

ВВЕДЕНИЕ

Важную роль для развития рекреации и туризма на юге России играет территория Центрального Кавказа. Разнообразные группы ландшафтов получили широкое распространение в пределах Центрального Кавказа. Совокупность благоприятных условий создаёт мощный потенциал для решения практических задач развития туристского комплекса юга России.

[1] North Caucasus Federal University, Pushkin str., 1, 355009, Stavropol, Russia; *e-mail:* **stavr.pro@mail.ru**

Существующие стратегии развития туристской отрасли (Стратегия развития туризма в Российской Федерации, Стратегия развития туризма на территории Северо-Кавказского федерального округа) расставляют социально-экономические приоритеты, совершенно не учитывая природно-ландшафтные особенности территории для потенциального развития туристско-рекреационной деятельности и соответствующей отрасли хозяйства.

В региональных географических исследованиях Центрального Кавказа отсутствуют оценки ландшафтно-рекреационного потенциала для развития различных видов туризма. Группы ландшафтов, расположенных в пределах Центрального Кавказа, обладают повышенной сложностью и динамичностью. Ландшафты среднегорных и высокогорных подобластей являются центрами формирования туризма на Северном Кавказе. На сегодня туризм является вторым по значимости направлением в экономике, уступая лишь сельскому хозяйству.

Следует отметить, что для полноценного развития рекреационного хозяйства необходима детальная комплексная оценка ландшафтно-рекреационного потенциала в целях выявления уникальных рекреационных зон и мест концентрации различных видов рекреационных ресурсов [*Дунец и др*., 2011].

Ландшафтно-рекреационный потенциал, по нашему мнению, представляет собой меру (количественную и качественную) возможного выполнения ландшафтом социально-экономических функций как совокупности природных ресурсов и условий, оказывающих положительное влияние на человеческий организм путем сочетания физических и психологических факторов восстановления работоспособности человека. Полученное зонирование позволит выявить зоны перспективного развития для отдельных видов туризма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Существует множество методических подходов к оценке рекреационного потенциала территории. Оценка ЛРП основывается на ландшафтном подходе. Ландшафт представляет совокупность своих главных свойств: территориальность, структурированность (морфологическая и компонентная), функциональность.

Данное исследование опирается на опыт по оценке природно-рекреационного потенциала [*Колбовский*, 2006; *Гудковских*, 2017; *Проскурин*, 2019; *Шахбазян, Проскурин*, 2019], а также на исследования по оценке туристско-рекреационного потенциала [*Дирин и др.,* 2017].

Ландшафтно-рекреационный потенциал изучается нами на основе типологической схемы ландшафтов Северного Кавказа [*Шальнев,* 2007]. В пределах выделенных групп ландшафтов проводилась оценка ландшафтно-рекреационного потенциала. Важно учитывать способность ландшафта обеспечить территорию необходимыми средствами для организации туристской деятельности и жизнедеятельности в целом.

В рамках оценки ЛРП разработана программа интегральной оценки ландшафтов для отдельных видов туризма. Нами были определены 4 вида туризма: рафтинг, альпинизм, горные лыжи (сноуборд) и пешеходный туризм (треккинг), для которых проводилась интегральная оценка и последующее зонирование. На наш взгляд, предложенные виды туризма являются основными в туристском направлении рассматриваемой территории. В методике оценки ЛРП использовались оценки отдельных компонентов важных для туристской деятельности.

В качестве исходных материалов используются данные стационарных наблюдений и полевых обследований (климатических, гидрологических, инженерно-геологических, почвенных, геоботанических и др.), выполненных соответствующими официальными структурами РФ и их территориальными органами (Территориальным органом Федеральной службы статистики по Северному Кавказу, Росгидрометом и пр.). Применялись данные годовых отчетов Министерства курортов и туризма КБР, Северной Осетии, а также научные издания и др.

Интегральная оценка ландшафтно-рекреационного потенциала состоит из нескольких взаимосвязанных и последовательных этапов:

1) **Сбор и анализ данных.** Для создания пространственно-атрибутивной основы и базы данных использовались картографические материалы, данные спутниковых снимков (Landsat 7–8, STRM), интерактивная карта ООПТ России, статистические данные по климату, лесам, а также реестр памятников природы. Результатом данного этапа стала подготовка картографической основы и выделение границ ландшафтов. Приведённая легенда относится ко всей серии на рис. 1–6.

Рис. 1. Фрагмент ландшафтной карты Северного Кавказа [Шальнев, 2007]
Fig. 1. Fragment of landscape map of the North Caucasus [Shallnev, 2007]

2) **Проведение оценки отдельных компонентов в ландшафтах.** Объектами нашего внимания стали расположенные в пределах Центрального Кавказа ландшафты. Оценивались следующие компоненты ландшафта: рельеф, гидрология, климат и биота, в целом

по набору частных характеристик, свойственных каждому компоненту по 5-балльной шкале. Шкала балльной оценки компонентов ландшафта представлена ниже.

Табл. 1. Шкала балльной оценки компонентов ландшафта
Table 1. Score scale for landscape components

Наименование показателя	Ед. изм.	Баллы				
		1	2	3	4	5
Рельеф: линейно-эрозионное расчленение	м	0–44238	44239–139146	139146–290595	290595–571599	571599–1108335
Гидрология: общая протяженность речной сети	м	0–16086	16086–45036	45036–83476	83476–152396	152396–266995
Гидрология: суммарная площадь озер	га	0–156	156– 615	615– 1660	1660–5925	5925–8860
Гидрология: количество минеральных источников	ед.	0	0–1	1–2	2–3	3–8
Биота: лесистость	га	0–600,9	600,9–1695,3	1695,3–2858,2	2858,0–4815,8	4815,8–10359,0
Биота: ООПТ (Общая площадь)	га	0–1117,0	1117–6683	6683– 28419	28419–43633	43633–72738
Климат: годовое количество осадков	мм	280–480	480–660	660–820	820–1015	1015–1385
Климат: количество снежных дней в году	дней	0–31	31–40	40–51	51–65	65–79
Климат: средняя скорость ветра в год	м/с	0–6	6–9	9–10	10–12	12–15
Климат: средняя температура теплого периода (апрель-октябрь)	˚С	0–13	13–16	16–19	22–26	19–22
Климат: средняя температура холодного периода (ноябрь-март)	˚С	от –4 до –2	от –2 до –1	+1–3	+3–5	–5–8

3) **<u>Определение коэффициента взвешенности для отдельных видов туризма.</u>** Важной особенностью оценки является учёт специфики компонентов в ландшафтах для развития определенного вида туризма. Очевидно, что отдельные компоненты имеют разный вес, в зависимости от вида туризма. Для этого нами был введен коэффициент взвешивания для каждого компонента ландшафта и оценки его влияния на конкретный вид туризма. Коэффициент взвешивания был получен путем опроса 20 экспертов в сфере туризма, рекреации и территориального планирования. Ниже представлены коэффициенты взвешивания компонентов ландшафта для различных видов туризма.

Табл. 2. Коэффициенты взвешивания компонентов ландшафта для различных видов туризма
Table 2. Landscape component-weighting factors for different types of tourism

Компонент ландшафта	Оценочные показатели	Вид туризма			
		Рафтинг	Пешеходный (в том числе (трекинг)	Альпинизм	Горные лыжи (сноуборд)
Рельеф	Расчленённость рельефа	1,3	1,9	2	2
	Абсолютная высота	0,5	2,0	2,0	2,0
Биота	Лесной покров	0,1	1,6	0,2	0,7
	Видовое разнообразие растительности	0,1	2,0	0,3	0,2
	Наличие ООПТ	0,1	0,5	0,1	0,1
	Количество уникальных ландшафтных форм	1,0	2,0	0,1	0,1
Гидрология	Наличие озёр, искусственных водоемов	2,0	1,2	0,9	0,1
	Наличие рек	2	1,1	0,1	0,1
	Наличие пресных и минеральных источников	0,1	1,3	0,1	0,1
Климат	Климатические показатели (ветер, средняя скорость в год)	0,2	1,0	1,4	1,1
	Климатические показатели (осадки, годовое количество)	0,7	1,2	0,3	1,4
	Климатические показатели (температура холодного времени года)	0,1	0,4	0,1	1,0
	Климатические показатели (температура тёплого времени года)	0,1	0,4	0,1	0,1
	Климатические показатели (количество снежных дней в году)	0,1	0,1	0,1	2,0

4) **Получение интегральной оценки групп ландшафтов и проведение ландшафтно-рекреационного зонирования для отдельных видов туризма.**

Интегральная оценка ландшафтно-рекреационного потенциала для отдельных видов туризма была получена путем суммирования баллов с учетом коэффициента взвешивания для каждой категории туризма. В соответствии с полученными данными, итоговые значения классифицированы на 5 классов: низкий, относительно низкий, средний, относительно высокий, высокий. Далее нами произведено зонирование территории с целью выделения наиболее перспективных зон в ландшафтах. Данное зонирование учитывает как свойства ландшафтов в целом, так особенности отдельных компонентов или их сочетаний.

5) **Рекомендации и предложения.** Предложения по определению ключевых участков перспективного развития выделенных видов туризма и возможность использования полученной базы данных различными группами населения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результатом покомпонентной оценки ландшафтов стала совокупная картосхема ландшафтно-рекреационного потенциала групп ландшафтов Центрального Кавказа. Анализ ландшафтно-рекреационного потенциала, основанный на данных, которые

представлены выше, позволяет выделить ландшафты, имеющие достаточно высокий потенциал для развития туризма.

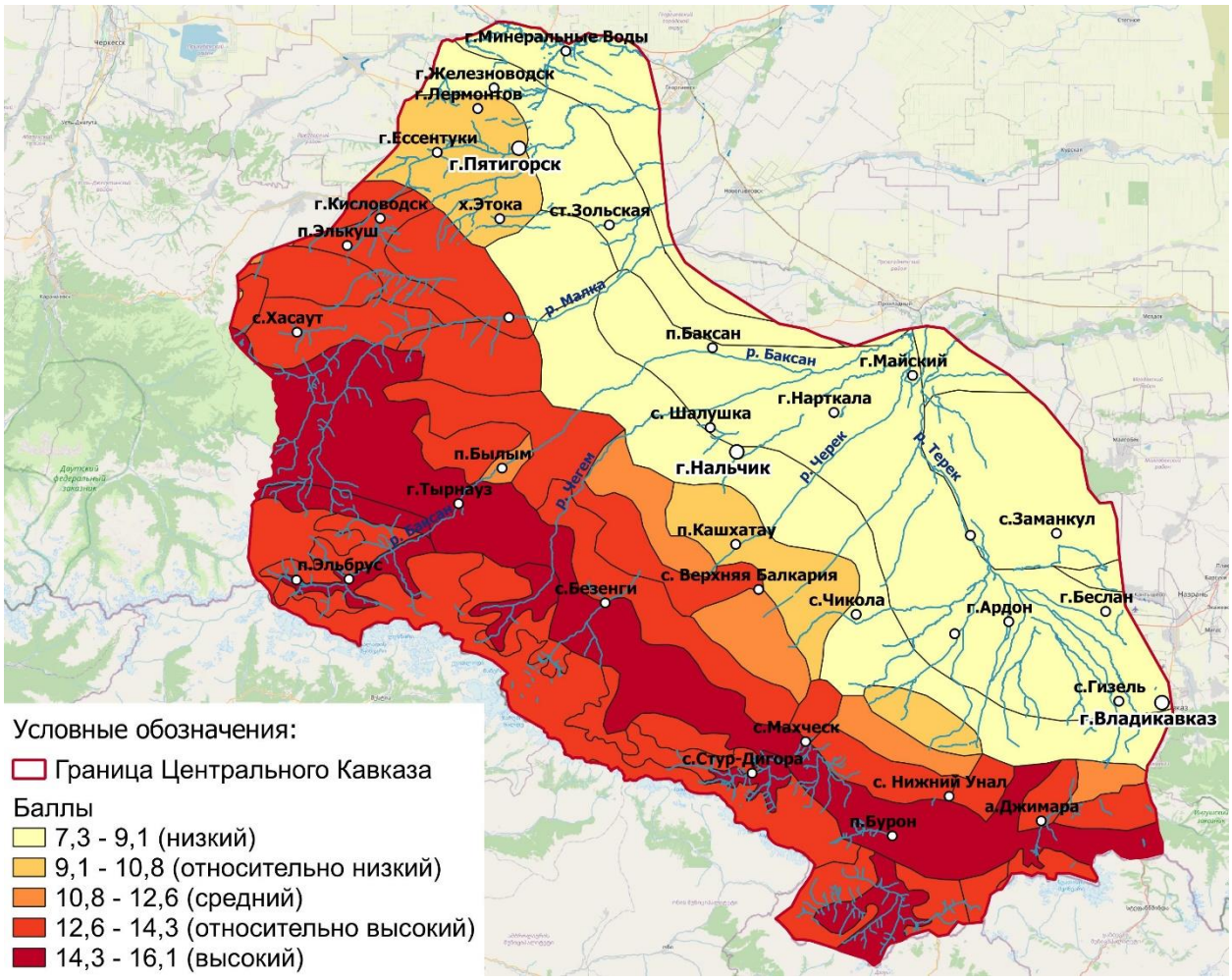


Рис. 2. Ландшафтно-рекреационный потенциал групп ландшафтов Центрального Кавказа для развития туризма
Fig. 2. Landscape-recreational potential groupings of landscapes of the Central Caucasus for the development of tourism

Максимальные значения получили 4 группы ландшафтов, в которых представлены все виды ресурсов для организации и развития туризма. Это группы ландшафтов высокогорных областей Большого Кавказа, которые представлены культурно-природными и окультуренными природными ландшафтами высоких хребтов с ледниковой и нивальной обработкой, субальпийскими и альпийскими лугами на горно-луговых почвах (№ 2, 3), области природных ландшафтов меридиональных троговых долин с сосновыми лесами (№ 14), а также природно-культурные и культурно-природные ландшафты складчато-эрозионных межгорных депрессий (№ 9).

В пределах данных ландшафтов наблюдается высокая степень расчленённости рельефа, который формирует уникальный микроклимат. Данные ландшафты в нескольких геоботанических поясах. Большое количество ландшафтов, расположенных в пределах Передового хребта, имеют относительно высокий потенциал, но немногим уступают ранее приведенным ландшафтам Бокового и Главного Кавказских хребтов.

По мере удаления на северо-восток потенциал ландшафтов снижается. Наименьший потенциал для развития туризма наблюдается в ландшафтах равнин и низменностей

Предкавказья. Это обусловлено высоким антропогенным воздействием на ландшафты. В основном эти ландшафты используются под сельское хозяйство.

Проведенная интегральная оценка ландшафтно-рекреационного потенциала групп ландшафтов Центрального Кавказа позволяет выделить зоны различной степени благоприятности для отдельных видов туризма.

Максимальные значения для развития альпинизма получили высокогорные группы ландшафтов Главного Кавказского и Бокового хребтов. Для альпинизма технологически обязательным ресурсом является наличие горных вершин, высокая степень расчленённости рельефа и др.

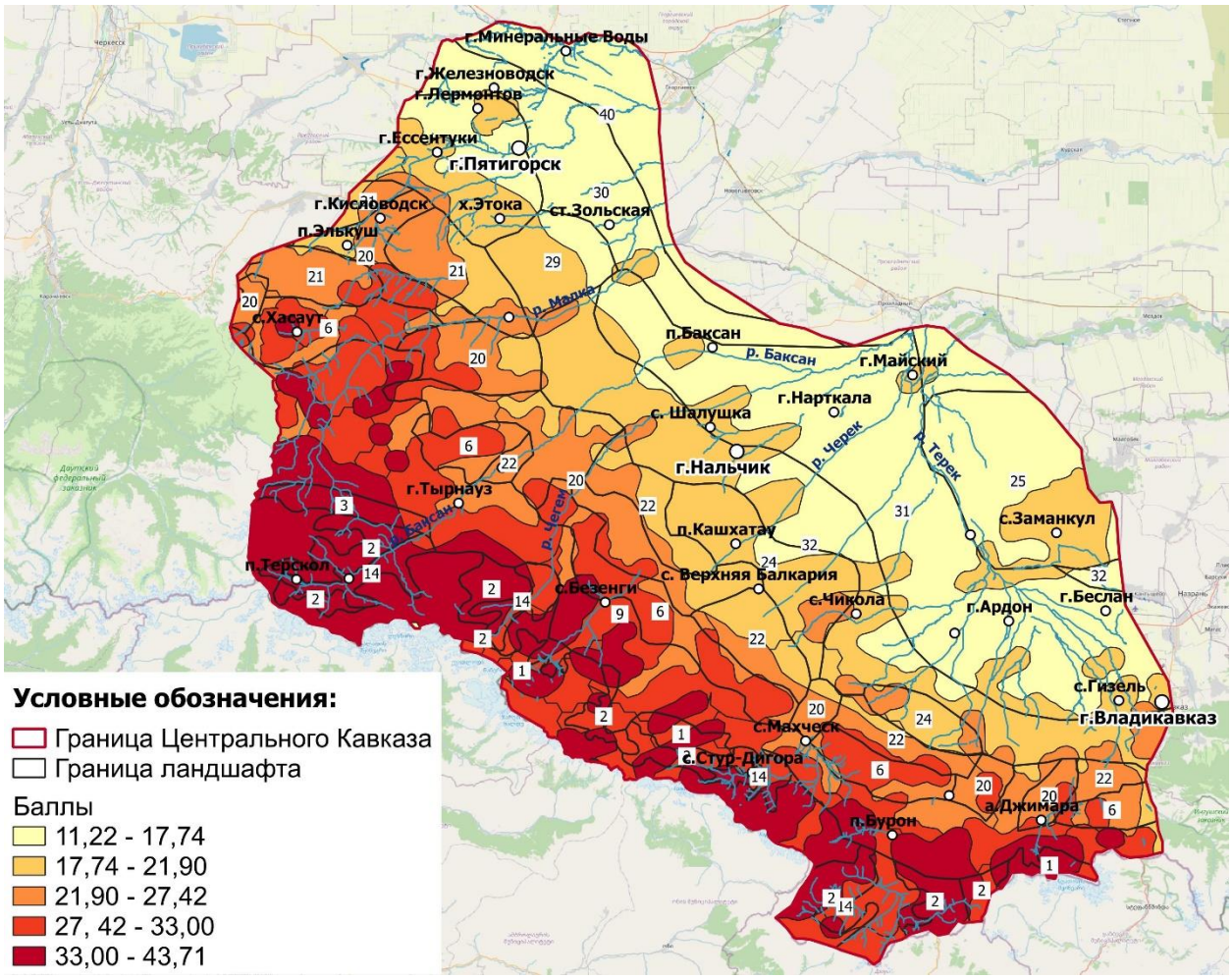


Рис. 3. Зонирование групп ландшафтов Центрального Кавказа для альпинизма
Fig. 3. Zoning group of landscapes of Central Caucasus Mountains for mountaineering

Максимальные значения получили участки ледников, вечных снегов, скал и осыпей (№ 1), культурно-природные ландшафты высоких хребтов (№ 2) и культурно-природные и окультуренные природные ландшафты меридиональных троговых долин (№ 14). Потенциал данных ландшафтов расположен в диапазоне от 33 до 44 баллов.

Немногим уступают группы ландшафтов высоких известняковых куэст, ландшафты складчато-эрозионных межгорных депрессий и меридиональных речных долин (№ 6, 9). Относительно высокие значения имеют небольшие участки природно-культурных ландшафтов поперечных речных долин и продольных эрозионно-тектонических депрессий в известняках, а также культурно-природные ландшафты куэстовых хребтов (№ 20, 21). Остальные ландшафты имеют низкий потенциал развития для данного вида туризма. В

целом можно сказать, что 33,5 % от всей площади изучаемой территории имеют высокий потенциал для развития альпинизма как одного из ведущих экстремальных видов спорта.

Рафтинг как вид туризма приурочен к водным объектам. Расположенные здесь реки пересекают все группы ландшафтов. Бассейн рр. Малки, Баксан, Терек, Черек обладают наивысшим потенциалом развития. При этом их потенциал снижается, удаляясь вниз по течению. Остальные реки мелководны и не представляют интереса для развития рафтинга.

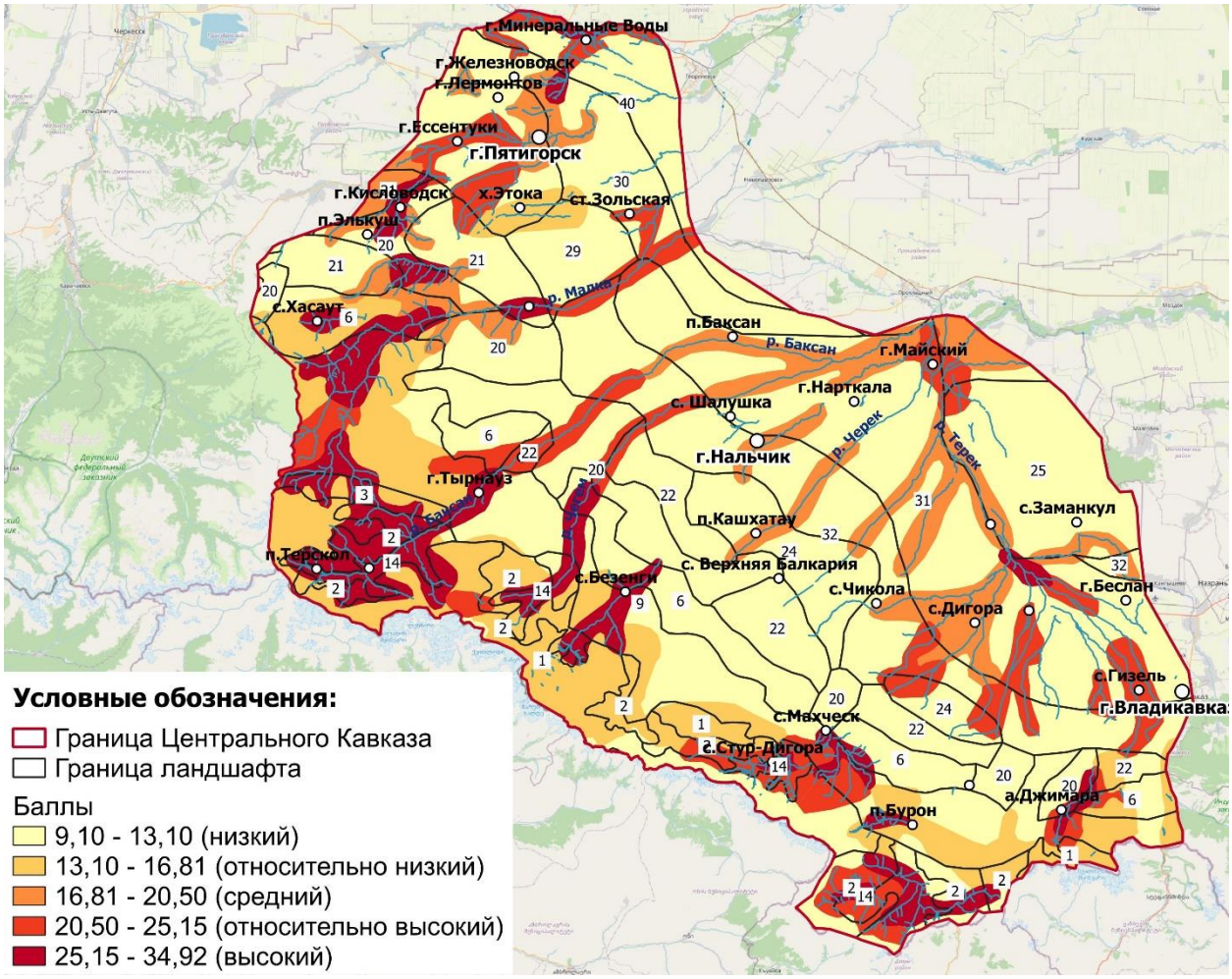


Рис. 4. Зонирование групп ландшафтов Центрального Кавказа для рафтинга
Fig. 4. Zoning group of landscapes of Central Caucasus Mountains for rafting

В рамках развития горнолыжных видов туризма мы можем выделить зоны с наивысшими баллами, которые расположены в пределах ландшафтов высоких хребтов нивального пояса (№ 1). Очень высокие показатели для развития горнолыжных видов спорта имеют следующие группы ландшафтов: природные ландшафты высоких хребтов, с ледниковой и нивальной обработкой (№ 2), ландшафты высоких известняковых куэст (№ 6) и природные ландшафты троговых долин (№ 14).

Сочетание длительного зимнего сезона и подходящего рельефа создают условия развития данного направления для любых категорий туристов как профессионалов, так и менее опытных спортсменов.

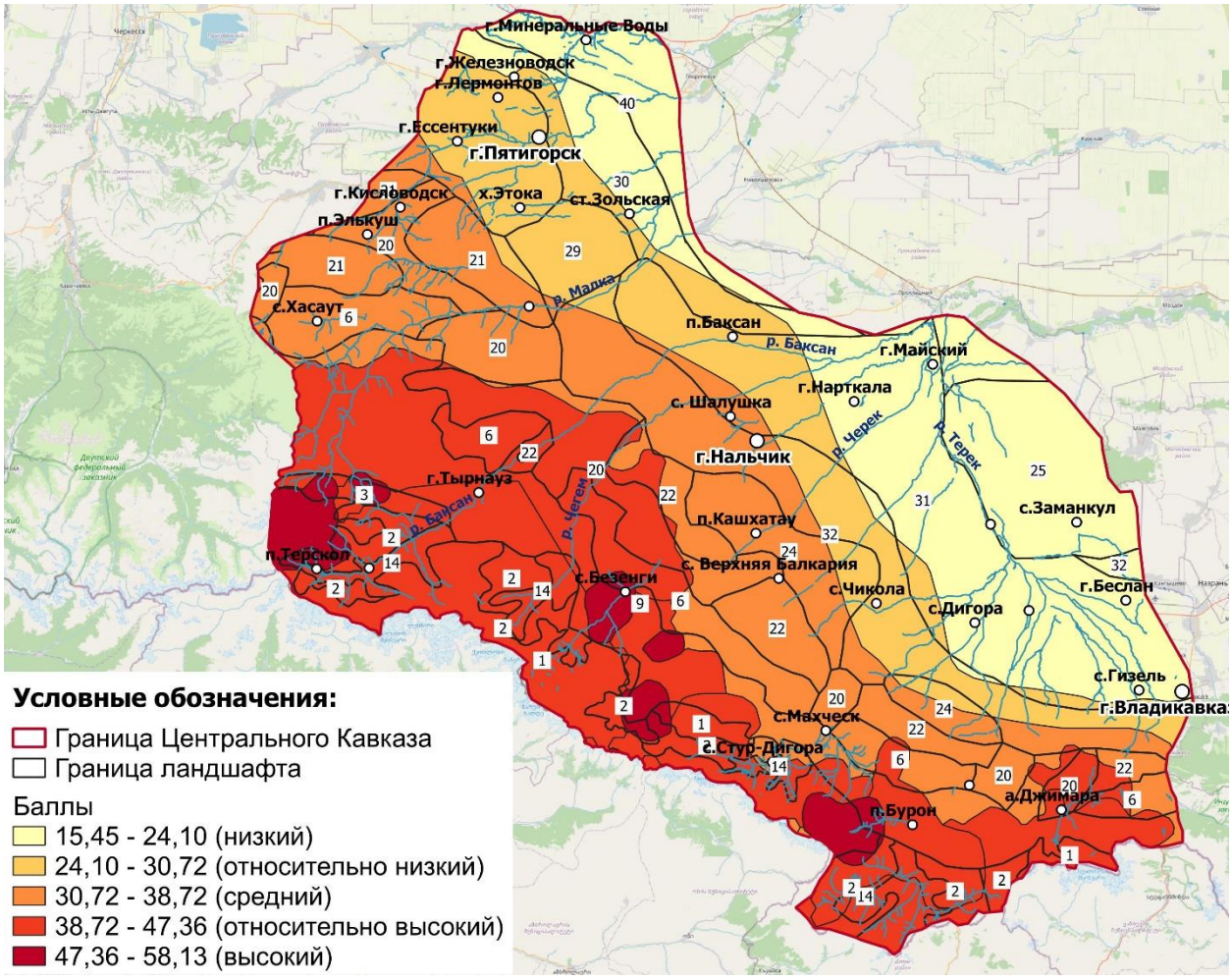


Рис. 5. Зонирование групп ландшафтов Центрального Кавказа для горнолыжных видов спорта
Fig. 5. Zoning group of landscapes of Central Caucasus Mountains for alpine skiing sports

Пешеходный туризм или треккинг является наиболее популярным и доступным среди населения. Согласно полученным данным зонирования, наибольшее значение получил природный ландшафт высоких хребтов с субальпийскими и альпийскими лугами на горно-луговых почвах. Выделяются обширные области высоких показателей потенциала для развития пешеходного туризма в пределах складчато-эрозионных межгорных депрессий, с субальпийскими лугами (№ 9). Выделенные участки характеризуются биотическим разнообразием. В пределах выделенных территорий протекают горные реки, воды которых привлекают большое число туристов. В выделенных зонах характерны максимальные амплитуды высот, имеются участки с уникальными формами рельефа, которые также являются объектами притяжения рекреантов. Стоит также упомянуть, что в пределах зон с относительно высоким и высоким потенциалом располагаются особо охраняемые природные территории.

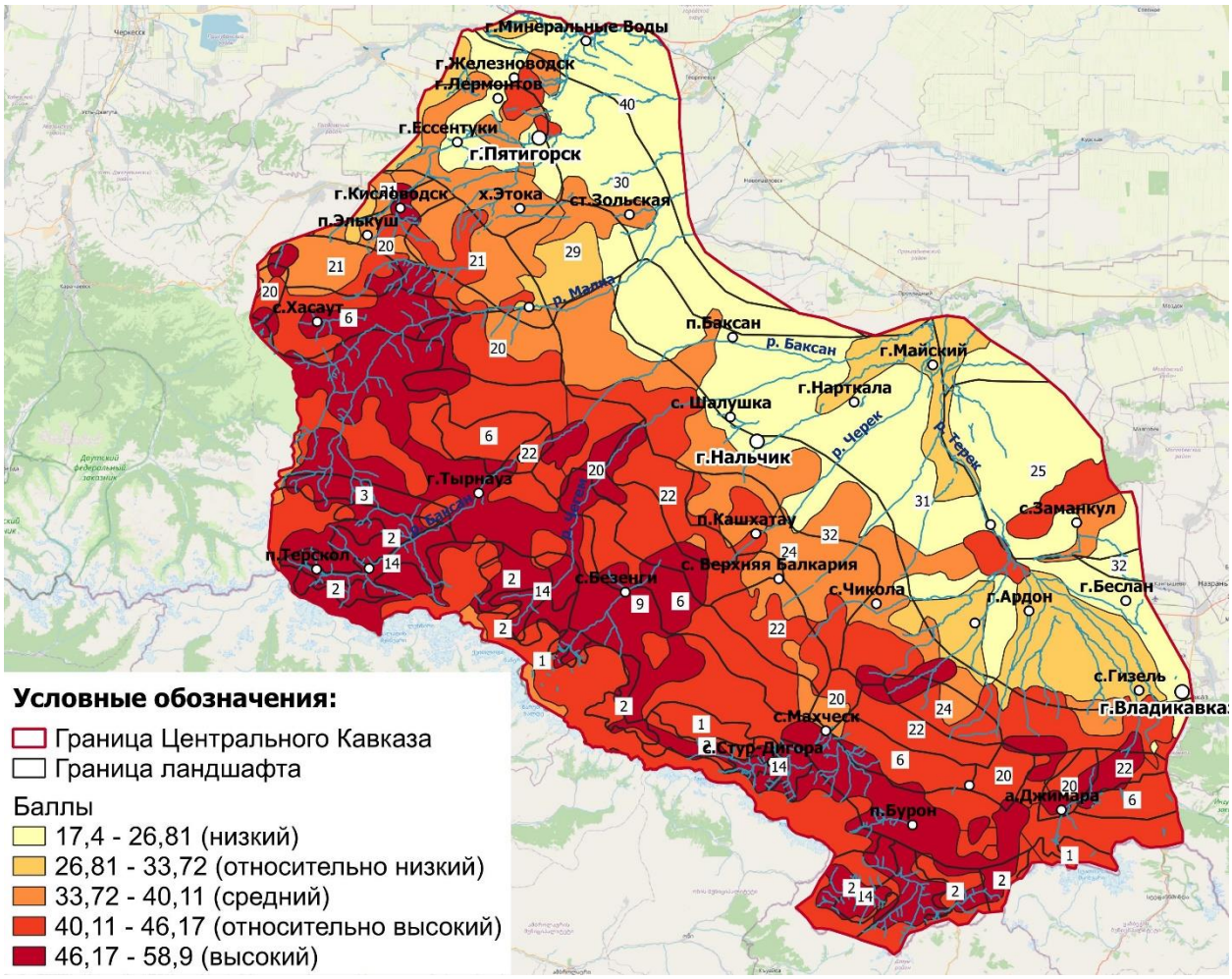


Рис. 6. Зонирование групп ландшафтов Центрального Кавказа для пешеходного туризма (треккинга)
Fig. 6. Zoning group of landscapes of Central Caucasus Mountains for pedestrian tourism (tracking)

Наименьшими значениями для трекинга обладают природно-культурные ландшафты аллювиальных равнин и ландшафты предгорных аллювиальных террасированных наклонных равнин, с остепнёнными лугами (№ 31, 40, 25). Ландшафты характеризуются высокой степенью антропогенной нарушенности и низкой степенью аттрактивности и привлекательности.

На данном этапе развития туризма Центральный Кавказ выступает в роли ведущего региона, характеризующегося развитием старых (Приэльбрусье) и формированием новых туристских дестинаций (Армхи, Мамисон и др.).

Полученная база данных может быть использована на различных уровнях. Базовый уровень рассчитан на пользователей интернета и туристов, приезжающих с целью удовлетворения собственных потребностей. Экспертный уровень рассчитан на специалистов, обладающих компетенциями в области туризма, рекреации и бизнеса. Управленческий уровень направлен на создание и реализацию проектов в области туризма. Данный уровень сформирован для органов местного и регионального самоуправления, а также для министерств и органов федерального самоуправления [*Панин и др.*, 2014].

Полученная база данных может служить обоснованием в вопросах территориального планирования:

- поиск подходящих участков для размещения объектов туристской инфраструктуры, изменение при необходимости границ населённых пунктов, планирование постройки коллективных средств размещения, спортивных и развлекательных комплексов, благоустройство территории;
- размещение инвестиционных площадок;
- выявление и картографирование недостающих объектов туристской инфраструктуры в зонах потенциально высокого ландшафтно-рекреационного потенциала.

ВЫВОДЫ

Интегральная оценка ландшафтно-рекреационного потенциала является наиболее объективной и достоверной. Результаты оценки позволяют выявить наиболее перспективные зоны, в зависимости от различных целей и задач. При этом в рамках оценки удается сохранить основные характеристики компонентов ландшафтов и избежать детализации на локальном уровне. Ландшафты Центрального Кавказа обладают высоким потенциалом, который был выявлен при покомпонентном анализе. Дифференциация ландшафтно-рекреационных ресурсов напрямую связана с физико-географическим положением исследуемой территории. Территориальная дифференциация для различных видов туризма показала, что ряд ландшафтов Центрального Кавказа обладает высоким и относительно высоким потенциалом для организации различных видов туризма. В то же время большое число ландшафтов имеют средний и относительно низкий потенциал. Наивысшую интегральную оценку получили культурно-природные и окультуренные природные ландшафты высоких хребтов (№ 2), культурно-природные ландшафты высоких хребтов (№ 3), природно-культурные и культурно-природные ландшафты складчато-эрозионных межгорных, местами глубоко расчлененных меридиональными долинами рек депрессии (№ 9) и культурно-природные и окультуренные природные ландшафты меридиональных троговых долин (№ 14), а наименьшие значения соответствуют природно-культурным ландшафтам низких слабо расчлененных хребтов и синклинальных депрессий (№ 25) и природно-культурным ландшафтам аллювиальных равнин предгорных впадин (№ 31). Собранная база данных позволяет в дальнейшем более гармонично развивать туризм в пределах Центрального Кавказа. Полученные материалы могут служить обоснованием при поиске подходящих участков для размещения объектов туристской инфраструктуры, размещения инвестиционных площадок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гудковских М.В.* Методика комплексной оценки туристско-рекреационного потенциала. Географический вестник, 2017. № 1 (40). С. 102–116. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-102-116.

2. *Дирин Д.А., Крупочкин Е.П., Рыгало Е.В.* Геоинформационная оценка туристско-рекреационного потенциала степных территорий (на примере Кулундинской степи). ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобального изменения климата: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2017. Т. 23. № 2. С. 89–102. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-2-23-89-103.

3. *Дунец А.Н., Крупочкин Е.П., Тельцова А.А.* Оценка туристско-рекреационного потенциала для целей территориального планирования. Известия АлтГУ, 2011. № 3−2. Электронный ресурс: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-turistsko-rekreatsionnogo-potentsiala-dlya-tseley-territorialnogo-planirovaniya (дата обращения 04.01.2020).

4. *Колбовский Е.Ю.* Геоэкологические подходы к проектированию региональных туристско-рекреационных систем. Человек в зеркале современной географии. Смоленск: Смоленский гуманитарный университет, 1996. С. 83–85.

5. *Панин А.Н., Тикунов В.С., Фурщик М.А.* Геоинформационное обеспечение туризма в России: Подходы, методы, технология. М.: Диалог культур, 2014. 80 с.

6. *Проскурин В.С.* Ландшафтно-рекреационный потенциал территории Кавказских Минеральных Вод для развития туризма. Наука. Инновации. Технологии, 2019. № 2. С. 45–60.
7. *Шальнев В.А.* Эволюция ландшафтов Северного Кавказа. Ставрополь: Ставропольский государственный университет, 2007. 310 с.
8. *Шахбазян Т.З., Проскурин В.С.* Ландшафтно-рекреационный потенциал лесостепных ландшафтов Ставропольской возвышенности. Актуальные направления сбалансированного развития горных территорий в контексте междисциплинарного подхода. Карачаевск: КЧГУ, 2019. С. 279–283.

REFERENCES

1. *Gudkovskii M.V.* Method of integrated assessment of tourist and recreational potential. Geographical messenger, 2017. No 1 (40). P. 102–116. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-102-116 (in Russian).
2. *Dirin D.A., Krupochkin E.P., Rygalo E.V.* Geoinformation assessment of tourist and recreational potential of steppe territories (on the example of Kulundin steppe). InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories in a global environment climate change: Proceedings of the International conference. Moscow: Moscow University Press, 2017. V. 23. Part 2. P. 89–102. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-2-23-89-103 (in Russian).
3. *Dunets A.N., Krupochkin E.P., Teltsova A.A.* Assessment of tourist and recreational potential for territorial planning purposes. News of AltSU, 2011. No 3−2. Web resource: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-turistsko-rekreatsionnogo-potentsiala-dlya-tseley-territorialnogo-planirovaniya (accessed 04.01.2020) (in Russian).
4. *Kolbovsky E.Y.* Geoecological approaches to the design of regional tourist and recreational systems. A man in the mirror of modern geography. Smolensk: Smolensk State University, 1996. P. 83–85 (in Russian).
5. *Panin A.N., Tikunov V.S., Furchik M.A.* Geoinformation support of tourism in Russia: Approaches, methods, technology. Moscow: Dialogue of Cultures, 2014. 80 p. (in Russian).
6. *Proskurin V.S.* Landscape and recreational potential of the territory of Caucasus Mineral Waters for tourism development. Science. Innovations. Technologies, 2019. No 2. P. 45–60 (in Russian).
8. *Shahbazyan T.Z., Proskurin V.S.* Landscape and recreational potential of forest-steppe landscapes of Stavropol High. Current directions of balanced development of mountain territories in the context of interdisciplinary approach. Karachaevsk: KChSU, 2019. P. 279–283 (in Russian).
7. *Shallnev V.A.* Evolution of landscapes of the North Caucasus. Stavropol: Stavropol State University, 2007. 310 p. (in Russian).

УДК: 528.946 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-404-415**

Р.К. Махмудов[1], Н.В. Верозуб[2], В.С. Проскурин[3]

МЕТОДИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПРИРОДНО-РЕКРЕАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТУРИЗМА

АННОТАЦИЯ

Показана связь природных компонентов с организацией туризма как вида хозяйственной деятельности. Сформулированы рекомендации по выбору показателей природных компонентов, подлежащих оценке при планировании организации рекреационной деятельности. Проведена оценка природных ресурсов методами построения математико-картографических моделей. Оценка каждого компонента включала как функциональные, так и эстетические параметры. Биологическое разнообразие растительности рассчитывалось путём выделения полигонов высот и экспозиций склонов по данным SRTM. Анализ рельефа проводился по двум параметрам: абсолютной высоты над уровнем моря и степени расчленённости местности. Расчёт абсолютных высот подготовлен методом построения картограммы путём анализа количественного значения точек. Расчёт расчленённости рельефа подготовлен методом построения картограммы путём расчёта общей длины изолиний, проведённых через 100 м. Построены картограммы густоты речной сети, площадей и количества водоемов. Получены численные данные природных компонентов, формирующих рекреационный потенциал территории. Проведена интегральная оценка туристического потенциала Северного Кавказа путём сложения числовых значений отдельных компонентов в пределах минимальной территориальной единицы. В результате работы геоинформационными методами определены зоны наибольшей и наименьшей концентрации природных ресурсов для организации туристической деятельности. На территории Западного Кавказа зоны наибольшей концентрации природных ресурсов (4–5 баллов) для организации туристической деятельности располагаются в пределах Черноморского и Азовского побережий в районе Большого Сочи, а также южной оконечности Республики Адыгея, располагающейся на отрогах Скалистого хребта. Наименьшую оценку (1–2 балла) получили северные районы Краснодарского края, расположенные в степной, лесостепной зоне, подверженные сельскохозяйственному освоению и обширной распашке земель. В пределах Центрального Кавказа зоны с наибольшей оценкой находятся в предгорьях Кавказских Минеральных Вод, в среднегорных районах в пределах Бокового и Скалистого хребтов. На территории Восточного Кавказа зоны с наибольшими значениями (4–5 баллов) располагаются в пределах Богосского и Самурского хребтов. На этой территории преобладают широколиственные леса, переходящие в субальпийские луга с богатым видовым разнообразием растительности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геоинформационный анализ, природно-рекреационные ресурсы, зонирование, аттрактивность

[1] Северо-Кавказский федеральный университет, ул. Пушкина, д. 1, 355009, г. Ставрополь, Россия;
e-mail: **rakimkam@mail.ru**
[2] Северо-Кавказский федеральный университет, ул. Пушкина, д. 1, 355009, г. Ставрополь, Россия;
e-mail: **verozub_95@mail.ru**
[3] Северо-Кавказский федеральный университет, ул. Пушкина, д. 1, 355009, г. Ставрополь, Россия;
e-mail: **stavr.pro@mail.ru**

Rakim K. Mahmudov[1], **Natalia V. Verozub**[2], **Vitaly S. Proskurin**[3]

METHODOLOGY OF GEOINFORMATION MAPPING OF NATURAL RECREATIONAL RESOURCES OF THE NORTH CAUCASUS FOR TOURISM DEVELOPMENT

ABSTRACT

The relationship of natural components with the organization of tourism as a type of economic activity is shown. Recommendations are formulated on the selection of indicators of natural components to be assessed when planning the organization of recreational activities. The assessment of natural resources by the methods of constructing mathematical-cartographic models. Evaluation of each parameter was both functional and aesthetic parameters. The biological diversity of vegetation was calculated by identifying polygon heights and slope exposures according to SRTM data. The relief analysis was carried out according to two parameters: absolute altitudes above sea level and the nature of dissection. The calculation of the absolute heights is prepared by the method of constructing a cartogram by analyzing the quantitative value of points. The calculation of the terrain relief is prepared by the method of constructing a cartogram by calculating the sum of the distances of isolines in the polygon. Cartograms of the density of the river network, the area and the number of water bodies were constructed. The numerical data of the natural components forming the recreational potential of the territory are obtained. An integral assessment of the North Caucasus on the availability and use of natural and recreational resources by adding the numerical values of the individual components in the aisles of the minimum territorial unit is carried out. As a result of the work by geoinformation methods, the zones of the greatest and smallest concentration of natural resources for the organization of tourist activity were determined. In the Western Caucasus, the zones of the highest concentration of natural resources (4, 5 points) for the organization of tourism are located within the Black Sea and Azov coasts in the Greater Sochi region, as well as the southern tip of the Republic of Adygea located on the spurs of a rocky ridge. The lowest mark (1, 2 points) was received by the northern regions of the Krasnodar Territory, located in the steppe, forest-steppe zones, subject to agricultural development and extensive land cultivation. Within the Central Caucasus, the zones with the highest rating are located in the foothills of the Caucasian Mineral Waters, in the mid-mountain areas within the Lateral and Rocky Ranges. On the territory of the Eastern Caucasus, zones with a rating of 4, 5 points are located within the Bogos and Samur ranges. Broad-leaved forests prevail on this territory, turning into subalpine meadows with rich species diversity.

KEYWORDS: geoinformation analysis, natural and recreational resources, zoning, attractiveness

ВВЕДЕНИЕ

Индустрия внутреннего туризма в России сталкивается с ростом конкуренции между отдельными регионами, а внутри регионов — между туристическими кластерами и курортами.

Туристический поток на Северный Кавказ ежегодно увеличивается и на 2018 г. составляет 1,5 млн туристов[4]. Кроме того, ежегодно растёт объём туристических услуг, однако экономический вклад отрасли в валовой региональный продукт всё ещё остаётся низким.

---

[1] North-Caucasian Federal University, Pushkin str., 1, 355000, Stavropol, Russia; *e-mail*: **rakimkam@mail.ru**
[2] North-Caucasian Federal University, Pushkin str., 1, 355000, Stavropol, Russia; *e-mail*: **verozub_95@mail.ru**
[3] North-Caucasian Federal University, Pushkin str., 1, 355000, Stavropol, Russia; *e-mail*: **stavr.pro@mail.ru**
[4] Министерство РФ по делам Северного Кавказа. Режим доступа: http://www.minkavkaz.gov.ru/. — Загл. с экрана

Объективная оценка конкурентоспособности регионов, грамотное планирование и управление туризмом невозможны без оценки туристско-рекреационного потенциала, который следует рассматривать в качестве исходной базы для создания предпосылок и оценки перспектив развития отрасли рекреации.

Заниженная конкурентоспособность региона на общероссийском рынке туризма обуславливается недостаточным уровнем развития социально-экономической сферы и уровнем обслуживания. Главным фактором, привлекающим туристов из других регионов России, а также из-за рубежа, остаются природные ресурсы. Учёт и выделение зон с наиболее привлекательными природными условиями для туристической деятельности необходимы для принятия управленческих решений в планах развития курортов и освоения новых территорий, а также при создании документов стратегического и территориального развития регионов.

Основная цель исследования — выявление степени аттрактивности (способности местности заинтересовывать людей своей уникальностью) территории Северного Кавказа, проведение зонирования в баллах, максимально привлекательных с точки зрения туриста территорий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Авторы ведут работу по внедрению картографо-геоинформационных методов в анализе территории для развития туристической отрасли при создании документов стратегического и территориального планирования регионов.

При выполнении исследования в работе были использованы следующие научные методы — системный подход и системный анализ, геоинформационные — плотность точек, сумма расстояний, метод картограмм и центрографический.

В качестве базовой ГИС-платформы выступает геоинформационная система QGIS, обладающая широким набором приложений и инструментов для подготовки картографических моделей.

Основным источником получения информации о таксономических единицах высотной поясности растительности являлись растровые данные SRTM, в которых заложена информация о высоте, многоканальные космические снимки Sentinel, Landsat. Подтипы высотной поясности определялись путём выделения промежутков высот рельефа и экспозиции склонов в геоинформационной системе QGIS.

Основным источником месторасположения ООПТ, гидроминеральных источников являлись открытые данные Министерства природных ресурсов и экологии РФ, данные карт Генштаба м-ба 1: 100 000 и крупнее.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К рекреационным ресурсам, как правило, относят саму рекреационную территорию, объекты и свойства природной и социально-культурной среды, непосредственно используемые в рекреационной деятельности, и объекты, поддерживающие осуществление рекреационной деятельности. Свойствами рекреационных ресурсов являются:

• территориальная приуроченность — рекреационный ресурс связан с конкретной рекреационной территорией;

• уникальность — рекреационную значимость представляют территории, отличающиеся от соседних и имеющие эстетическую, историческую значимость.

В исследованиях природно-рекреационного потенциала местности в качестве главного объекта выступают ПТК разных рангов, а природные ресурсы рассматриваются как отдельные компоненты ПТК (рельеф, биота, гидрология) [*Чижова*, 2011]. Для подсчёта этих компонентов в исследовании используется система оценки в баллах и геоинформационные методы математико-картографического моделирования процессов. Основной

территориальной единицей, в пределах которой производился расчёт отдельных показателей и их сумма, выступает ячейка (гексагональный оператор) стороной 15 км.

Самостоятельное значение в организации рекреации имеет рельеф. Он влияет как на общее визуальное восприятие местности, так и на формирование других природных компонентов — климата, растительности, гидрографии. А отдельные его уникальные формы, образовавшиеся в процессе эрозии, становятся объектами обязательного посещения на туристических маршрутах.

Анализ рельефа проводился по двум параметрам: абсолютные высоты над уровнем моря и степень расчленённости местности.

Расчёт абсолютных высот подготовлен методом построения картограммы путём выведения среднего значения высоты, отражённой в пикселях растра, в пределах векторного полигона (рис. 1).

Рис. 1. Схема расчёта абсолютной высоты естественными интервалами Дженкенса
Fig. 1. The scheme of calculating the absolute height by natural Jenkens intervals

Следует отметить, что ценность высоты местности различна для отдельных видов туризма. Абсолютные высоты при организации спортивных видов туризма колеблются от 2000 до 4000 м, принимая во внимание расположение верхних станций канатных дорог на популярных курортах — Домбай, Архыз, Красная Поляна, Приэльбрусье, а также горы с наибольшим количеством посещений — Фишт, Оштен, Столовая. Высоты для организации экскурсионного вида туризма не превышают 3000 м, это объясняется физическими возможностями туристов данной категории. Для лечебно-оздоровительного туризма рекомендуется умеренно-пересечённая местность с высотами до 1000 м, например, территории курортов КМВ и предгорий КЧР, Адыгеи.

Расчёт расчленённости рельефа подготовлен методом построения картограммы, путём расчёта общей длины изолиний, проведённых через 100 м. Для этого использовалась функция «сумма расстояний» геоинформационной системы QGIS (рис. 2).

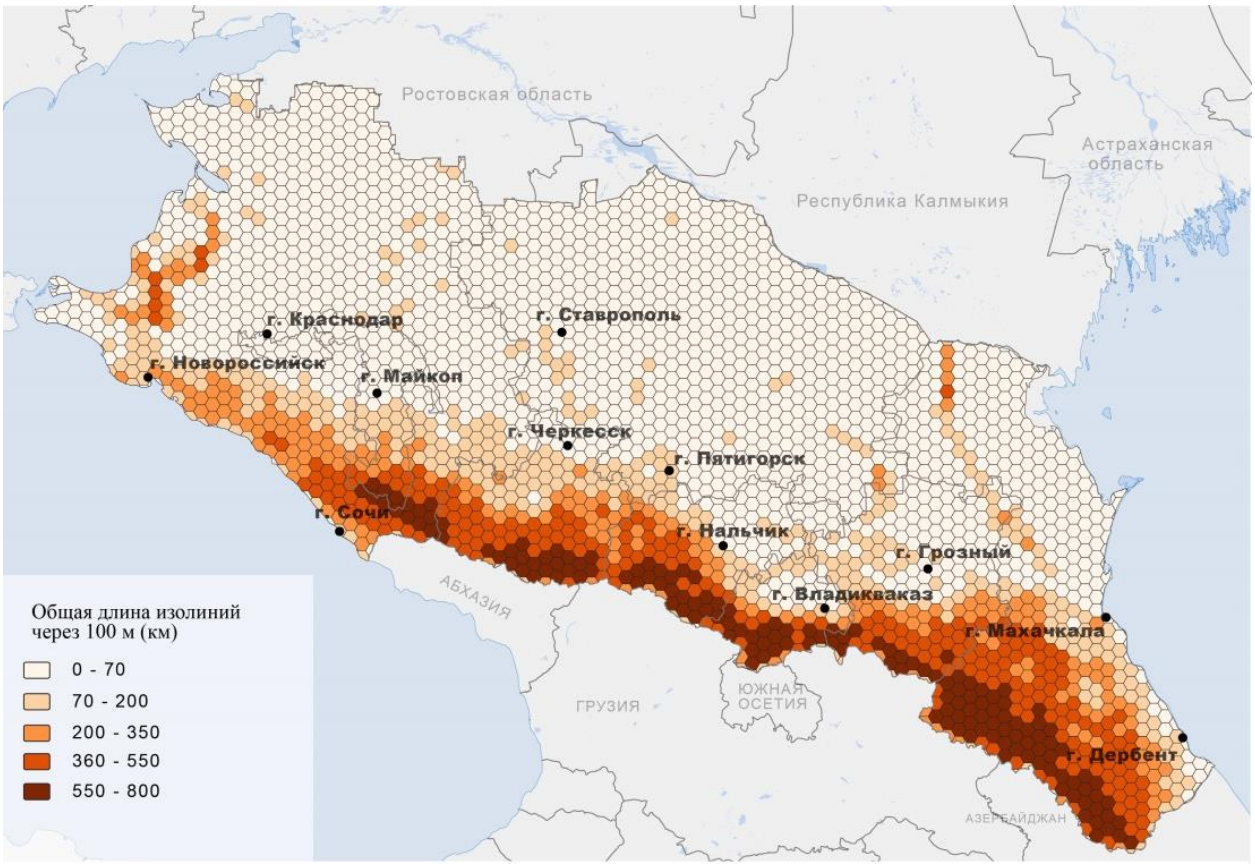


Рис. 2. Схема расчёта степени расчленённости рельефа естественными интервалами Дженкенса
Fig. 2. The scheme for calculating the degree of dissection of the relief by natural Jenkens intervals

Во многих способах освоения территории рельеф играет базисную роль и выступает как природный компонент, определяющий тип туристического использования [*Колбовский*, 2006].

При организации туризма большое значение имеют биологические ресурсы, в частности для проектирования терренкуров в лечебно-оздоровительном виде отдыха или при создании экологических троп. В целом же видовое разнообразие растений определяет уникальность окружающего ландшафта, его сезонную динамику и привлекательность для организации рекреационной деятельности.

Дифференциация растительного покрова подчиняется зонально-высотным закономерностям, она является отражением комплекса условий и их изменения от подножия гор к их вершинам.

Видовое разнообразие растительности определялось путём выделения типов и подтипов высотной поясности, в пределах которых произрастают определённые виды растений. Наибольшей таксономической единицей являлись типы поясности, определённые ранее в работе над картой «Зоны и типы поясности России и сопредельных территорий» [*Сафронова и др.*, 1999]. В пределах типов поясов микроклиматические условия разделяются благодаря неоднородности орографического строения территорий. В связи с этим основным источником получения информации о более мелких таксономических единицах (подтипов) являлись растровые данные SRTM, в которых заложена информация о высоте. Подтипы высотной поясности определялись путём выделения промежутков высот рельефа и экспозиции склонов в геоинформационной системе QGIS.

Рис. 3. Подтипы высотной поясности Северного Кавказа
Fig. 3. Subtypes of altitudinal zonation of the North Caucasus

В результате были получены таксономические единицы наиболее мелкого уровня, в пределах которых возможно определение доминирующих видов произрастающей растительности. Следующим этапом была произведена оценка каждого подтипа в баллах (1–5). Высокий балл получили наиболее ценные с точки зрения организации туристических маршрутов и сезонной динамики подтипы: Широколиственные леса с преобладанием бука, темнохвойные леса с преобладанием пихты, субальпийские, альпийские луга с зарослями рододендрона, берёзовым криволесьем, богатым травостоем, обладающие наибольшей эстетической привлекательностью. Наименьший балл получили подтипы степных, лесостепных зон, а также нивальный подтип.

Кроме этого, следует отметить, что рекреационная ценность лесов определялась открытостью ландшафта:

А) открытый тип — минимальное (10 %) заполнение территории древостоем;

Б) умеренный тип — до 50 % заполнения;

В) закрытый тип — 60 % и больше заполняемость древостоем.

Данный показатель отражается в такой характеристике, как «многоплановость пейзажа», т.е. возможность туриста охватить взором пространство впереди себя на определённом расстоянии.

Для сохранения разнообразия растительного мира, типичных и уникальных природных ландшафтов предназначены особо охраняемые природные территории.

Расчёт площадей, покрываемых ООПТ, производился с помощью переноса значения площади полигона в центроид. В дальнейшем происходило построение картограммы по взвешенным значениям центроидов каждого полигона ООПТ [*Гладкий, Скляров*, 2017].

Стоит отметить, что наличие ООПТ на потенциально привлекательной местности может как ограничивать, так и увеличивать потенциал территории. [*Чижова, Шлякова*, 2017].

Положительная составляющая ООПТ для развития туризма состоит в том, что зачастую охраняемые территории создаются на нетронутых участках природы с уникальными формами рельефа, гидрологии и растительного разнообразия, что является главным фактором для желания туриста совершить посещение данной местности.

Ограничивающими факторами развития туристической деятельности являются охранные ограничения по возведению построек, обустройству троп, а в заповедниках — и самого нахождения туриста на охраняемой природной территории.

В организации туризма не менее важны гидроминеральные ресурсы. Базовыми критериями, по которым проводилась оценка данного компонента, являются: наличие крупных рек и притоков; искусственных водоёмов; заозёренность территории; наличие источников минеральных вод и месторождений лечебных грязей.

Расчёт количества минеральных источников подготовлен методом построения картограммы с помощью функции «количество точек в полигоне» (рис. 4).

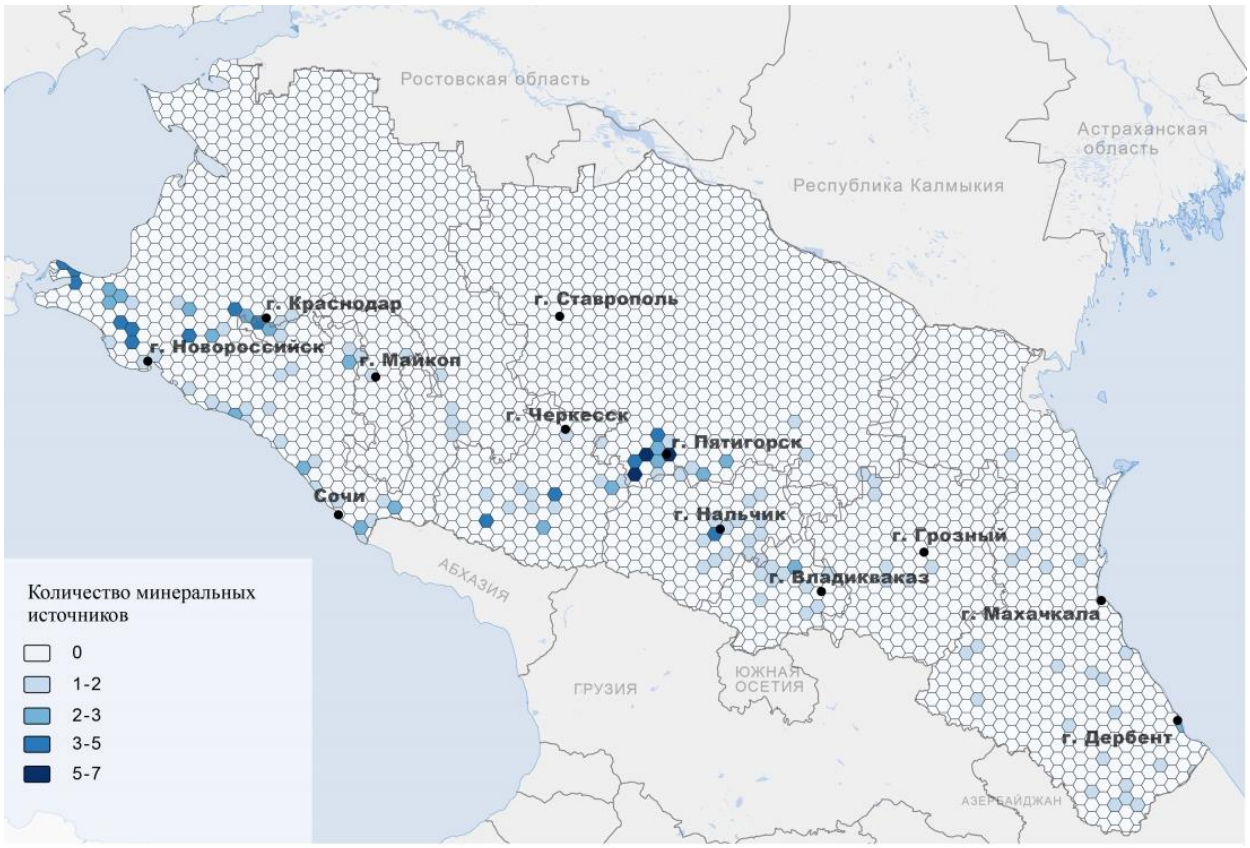


Рис. 4. Схема расчёта количества минеральных источников естественными интервалами Дженкенса
Fig. 4. The scheme for calculating the number of mineral springs by natural Jenkins intervals

Расчёт протяжённости речной сети подготовлен методом построения картограммы с помощью функции «сумма расстояний» (рис. 5) [*Шевырёв*, 2017].

Речная сеть участвует в формировании окружающего ландшафта, а также играет роль главного ресурса в отдельных видах туризма, например, экстремальном [*Тульская, Шабалина,* 2012]. На Северном Кавказе спортивный сплав наиболее часто организуют на

рр. Белая, Кубань, Зеленчук, Теберда, Аксау, Терек. Пригодные для сплава участки имеют реки Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, но используются в значительно меньшей степени, несмотря на то что местные реки обладают всеми необходимыми параметрами скорости течения, порожистости и ширины русла.

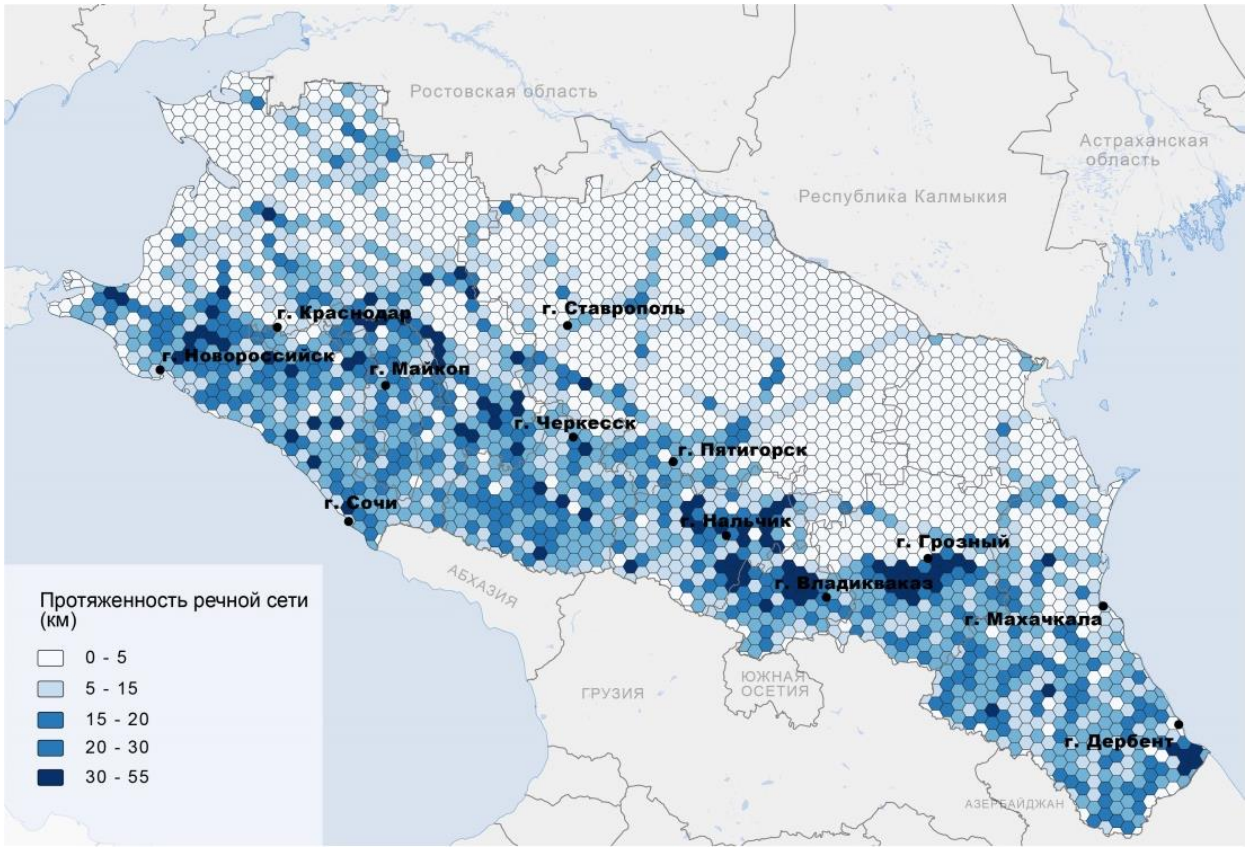


Рис. 5. Схема расчёта протяжённости речной сети естественными интервалами Дженкенса
Fig. 5. The scheme for calculating the length of the river network by Jenkens natural intervals

Озёра как природный ресурс имеют разное значение для организации туризма в зависимости от происхождения [*Кружалин*, 2006].

Для пешеходного, экологического, экскурсионного видов туризма главное значение играют роль карстовые, ледниковые, вулканические озёра. Котловины таких озёр имеют небольшие размеры в масштабах изучаемой территории и поддаются количественной оценке в пределах одной территориальной единицы (ячейки) [*Краак, Ормелинг*, 2005].

При организации пляжно-развлекательного туризма определяющим фактором размещения является наличие пляжной полосы и её ширина. Здесь имеет значение подсчёт площади водных ресурсов в одной территориальной единице (ячейке) (рис. 6).

Лидирующее положение в системе расчёта гидрологических ресурсов Северного Кавказа занимает протяжённость морской береговой линии. Черноморское и Азовское побережья являются одним из главных курортных центров России, привлекающих ежегодно несколько миллионов туристов.

Итогом частной, покомпонентной оценки природных ресурсов является интегральная оценка, которая складывается из суммы средних значений основных природных компонентов: гидрографических объектов, рельефа, биоразнообразия (рис. 7).

Каждый показатель, рассчитанный в своих собственных единицах измерения, отнесён к определённому баллу (1–5). Далее проводилось суммирование баллов в отдельных блоках компонентов (рельеф, гидрография, растительность) и расчёт среднего значения баллов в каждом блоке. Заключительным этапом стало суммирование значений каждого блока компонентов (рис. 7).

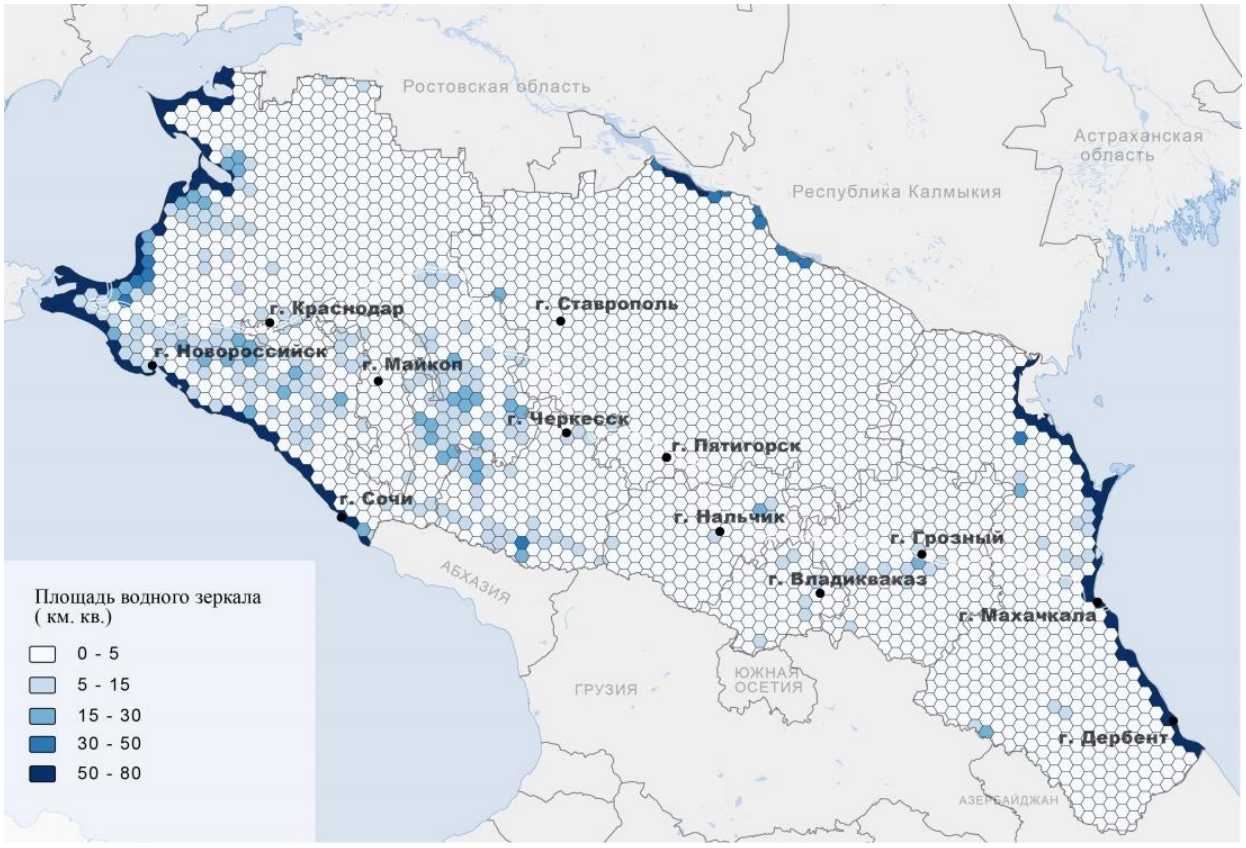


Рис. 6. Схема расчёта площади водоемов естественными интервалами Дженкенса
Fig. 6. The scheme for calculating the area of water bodies at Jenkens natural intervals

В результате суммирования баллов всех компонентов оценки получено зонирование территории по степени благоприятности использования природных ресурсов.

На территории Западного Кавказа зоны наибольшего потенциала (4–5 баллов) для организации туристической деятельности располагаются в пределах Черноморского и Азовского побережий в районе Большого Сочи, а также южной оконечности Республики Адыгея, располагающейся на отрогах скалистого хребта.

Наименьшую оценку (1–2 балла) получили северные районы Краснодарского Края, расположенные в степной, лесостепной зонах, подверженные сельскохозяйственному освоению и обширной распашке земель.

В пределах Центрального Кавказа зоны с наибольшей оценкой находятся в предгорьях Кавказских Минеральных Вод, среднегорных районах в пределах Бокового и Скалистого хребтов.

На территории Восточного Кавказа зоны с наибольшей оценкой располагаются в пределах Богосского и Самурского хребтов. На этой территории преобладают широколиственные леса, переходящие в субальпийские луга с богатым видовым разнообразием растительного покрова.

Потенциал природных ресурсов для организации туристско-рекреационной деятельности уменьшается с юга на север — от высокогорий Большого Кавказа к территориям с высокой антропогенной освоенностью и сельскохозяйственным использованием земель. По этой причине лесостепные, степные природные зоны, за исключением Ставропольской возвышенности и района озера Маныч-Гудило, имеют низкий природно-ресурсный потенциал для развития туризма.

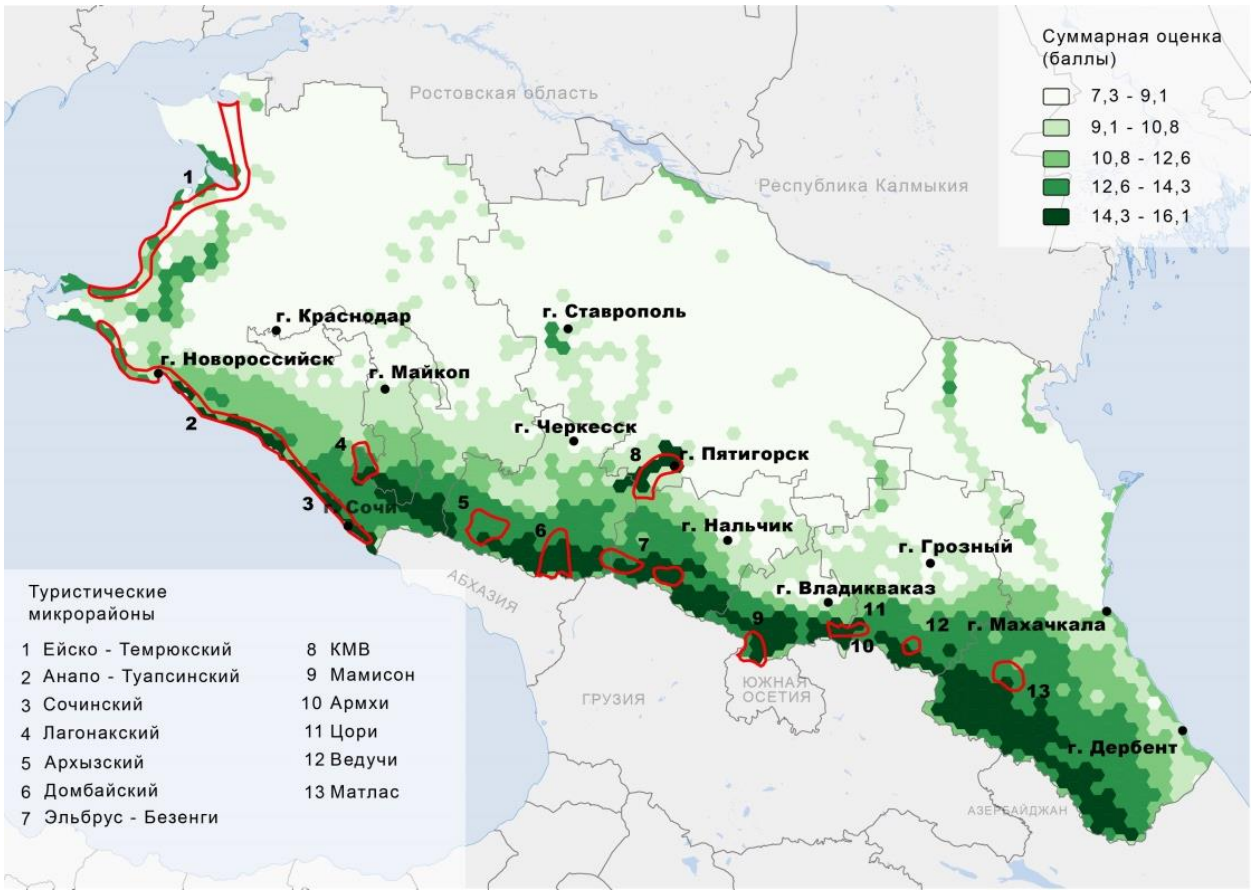


Рис. 7. Схема интегральной оценки природно-рекреационных ресурсов
Fig. 7. Scheme of integrated assessment of natural and recreational resources

ВЫВОДЫ

Проведённая интегральная оценка природно-рекреационных ресурсов Северного Кавказа позволяет выделить следующее.

На сегодняшний день потенциал природно-рекреационных ресурсов используется не полностью. Связано это с различной освоенностью территории, а также низким потенциалом республик.

Исторически сложившаяся большая экономическая освоенность Западного и Центрального Кавказа сказалась на более высоком уровне развития и благоустройства таких туристических микрорайонов, таких как Домбай, Архыз, Приэльбрусье, Большой Сочи. Ведущим природным компонентом формирования рекреационного потенциала данных курортов является рельеф. В свою очередь, в зависимости от выбора вида рекреационной деятельности, влияние основного компонента может изменяться.

Полученные в баллах значения отражают дифференциацию территории по степени возможного формирования различных видов рекреационной деятельности. Итоговая

интегральная оценка природно-рекреационного потенциала показывает необходимость включения курортных зон Восточного Кавказа (Мамисон, Армхи, Ведучи) в стратегию развития туризма в Северо-Кавказском федеральном округе. Полученные в ходе работы картографические материалы могут быть использованы для обоснования предложений документов территориального планирования, для развития отстающих, недостаточно развитых центров туризма, а также поддержки уже устоявшихся крупных микрорайонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гладкий А.В., Скляров А.А.* Современные картографические модели и особенности их использования в туризме. Псковский регионологический журнал, 2017. № 1 (29). 34 с.
2. *Колбовский Е.Ю.* Экологический туризм и экология туризма. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 145 с.
3. *Краак М. Я., Ормелинг Ф.* Картография: визуализация геопространственных данных. М.: Научный мир, 2005. 350 с.
4. *Кружалин В.И.* Теория и методы рекреационно-географических исследований: состояние и перспективы. Труды Международной научно-практической конференции. М.: РИБ «Туризм», 2006. 213 с.
5. *Сафронова И.Н., Юрковская Т.К., Микляева И.М., Огуреева Г.Н.* Карта «Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий». М., 1999.
6. *Тульская Н.И. Шабалина Н.В.* Математико-картографическое моделирование для оценки туристско-рекреационного потенциала территории (на примере Центрального федерального округа). Мат-лы Всероссийской научно-практической конференции «Картография и геоинформатика в исследованиях изменений природной среды и общества», посвящённой 80-летию кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ. М., 2012. 319 с.
7. *Чижова В. П.* Рекреационные ландшафты: устойчивость, нормирование, управление. Смоленск: Ойкумена, 2011. 65 с.
8. Чижова В.П., Шлякова Е.С. Рекреационный потенциал ландшафтов Алтачейского заказника. Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2017. С. 90–93.
9. Шевырёв С.Л. Алгоритмизация дистанционного анализа структурновещественных парагенезисов золоторудных районов (многовершинное рудное поле, Хабаровский Край). Вестник Воронежского государственного университета. Серия: геология, 2017. № 2. С. 115–121.

REFERENCES

1. *Chizhova V. P.* Recreational landscapes: stability, rationing, management. Smolensk: Oikumena, 2011. 65 p. (in Russian).
2. *Chizhova V.P., Shlyakova E.S.* Recreational potential of the landscapes of the Altachi Reserve. Herald of Moscow University. Series 5. Geography, 2017. P. 90–93 (in Russian).
3. *Gladky A.V., Sklyarov A.A.* Modern cartographic models and features of their use in tourism. Pskov Journal of Regional Studies, 2017. No 1 (29). 34 p. (in Russian).
4. *Kolbovsky E.Yu.* Ecotourism and tourism ecology. Moscow: Publishing Center “Academy”, 2006. 145 p. (in Russian).
5. *Kraak M.J., Ormeling F.* Cartography: visualization of geospatial data. Moscow: Scientific World, 2005. 350 p. (in Russian).
6. *Kruzhalin V.I.* Theory and methods of recreational and geographical research: status and prospects. Proceedings of the International scientific-practical conference. Moscow: RIB “Tourism” 2006. 213 p. (in Russian).
7. Safronova I.N., Yurkovskaya T.K., Miklyaeva I.M., Ogureeva G.N. Map “Zones and types of zones of vegetation of Russia and neighboring territories”. Moscow, 1999 (in Russian).

8. Shevyryov S. L. Algorithmization of remote analysis of structural material paragenesis of gold ore regions (multi-vertex ore field, Khabarovsk Territory). Bulletin of Voronezh State University. Series: Geology, 2017. No 2. P. 115–121 (in Russian).
9. *Tulskaia N.I. Shabalina N.V.* Mathematical and cartographic modeling for assessing the tourist and recreational potential of the territory (for example, the Central Federal District). Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference “Cartography and Geoinformatics in Studies of Changes in the Natural Environment and Society”, dedicated to the 80th anniversary of the department cartography and geoinformatics, Faculty of Geography, Moscow State University. Moscow, 2012. 319 p. (in Russian).

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-416-422

Magsad G. Gojamanov[1], Ilhama A. Garibova[2], Andrey A. Smirnov[3]

RECREATIONAL ZONING OF THE LESSER CAUCASUS

ABSTRACT

In the article fundamental directions of mountain tourism development on the Lesser Caucasus are considered, for winter and summer rest attention is paid. Quantity of tourists rose early with the presence of different landscapes, hospitality of local residents and high level of perfection touristic infrastructure. A high sanative potential (combination of mineral and hot water resources and dense impassable forests on the steep hillsides), an availability of stable snow cover, an absence of strong winds in winter and a moderate summer ensure the successful and effective mountain tourism development in perspective. Apart from Georgia, Armenia and Azerbaijan are considered the part of the Lesser Caucasus on territories of Turkey. Despite the fact that problem of Mountain Karabakh has not been fully solved in our days, in this region tourism is possible. Different factors of tourism development (landscape-aesthetic, hydrological, glacial, orographic, factor of transport accessibility, ect.) are reviewed. The opportunities of enlargement mountain and coastal territories, an establishment of new health resorts and rest areas, the revival and improvement of old touristic objects are described. All types of mountain rest are characterized: mountaineering, climbing, sports and walking, speleological, sanative, water, walking and large-scale. The principal routes and very interesting objects are indicated for every rest variety. Nature protection areas and principal rules regulating visits them was described. The recommendations for solving interaction problems of recreation with other varieties of nature using are made. Mapping produce in ArcMap 10.3.

KEYWORDS: mountain tourism, national park, transport availability, winter and summer vacation

INTRODUCTION

The Lesser Caucasus is a mountain system from ranges, volcanic highlands and plateaus. This system extended on territories of Georgia, Turkey, Armenia and Azerbaijan, included boarding ranges of South Caucasian highland surrounded from north and north-east Javakheti-Armenian province and eastern hillside of Zangezur range.

Aragats mountain (4090 m) in Armenia is the highest summit of system and the final point of the spur of the same name. Summits more 3700 m (for example, Gyamysh, 3724 m) arrange on Murovdag range. The Lesser Caucasus begin on humid subtropics about Batumi and extend by continuous axial chain from north-west to south-east before Karachuch mountain (633 m) on 500 km.

Glacier landforms are typical for the highest ranges (Murovdag, ect.) and found on western ranges less than 3000 m. Snow line pass on 3670 m on average. Aragats range is characterized by significant glaciation.

Floods of lava has formed structural terraces in some transverse valleys (Terter, Debet river). But volcanic forms of relief spread marginally (except for Borjomi − Bakuriani area and basin of Khrami river). Endogenous processes and erosion created canyons of rivers. In so doing underground sources released. Most of them were high-mineral waters (thermae), because volcanic

[1] Baku State University, Ak. Zakhid Khalilov str., 23, AZ 1148, Baku, Azerbaijan; *e-mail:* **mgodja@yandex.ru**
[2] Baku State University, Ak. Zakhid Khalilov str., 23, AZ 1148, Baku, Azerbaijan; *e-mail:* **ilhama33@live.com**
[3] Moscow State University of Geodesy and Cartography, Gorokhovsky lane, 4−1, 105064, Moscow, Russia; *e-mail:* **andreyoriginal@mail.ru**

activity in columns of this highlands not extinguished.

Kura River cleave basic western highland and thermae go out from clefts of mountain rocks on both coasts of river from Vardzia to Borjomi. Hillsides of Meskheti range (Abastumani, Zekari, Sairme) are known for their abundance of mineral waters. On the south-eastern hillsides are located mineral waters sources: Bjni, Arzni, ect.

Tourism on South Caucasus begin its development in 1801 after addition of territory to Russian Empire. Health resorts of Georgia received first tourists; among them were the members of Romanov family. After Great Patriotic War the development of sports tourism has begun, also research of mineral waters and curative muds justified the arrangement of new balneal health resorts. However, routes in southern Georgia were the most popular.

In 1990s after break-up of USSR and destabilization of politic situation quantity of tourists significantly reduced, conflict in Mountain Karabakh continue in our days. But in other areas of the Lesser Caucasus military actions proved by not long and did not lead to disastrous consequences. Opening of boundaries allowed to organize areas of rest on previously inaccessible territories, to increase quantity of tourists from foreign countries and to develop touristic infrastructure with the help of European, American and Turkish specialists.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

We have developed a relief map of the recreational areas of the Lesser Caucasus as a source material for the geographical basis (fig. 1). To design the map, the border of the area was initially introduced to the Global Mapper 19 program and a digital elevation model of the area was obtained. Then, using the ArcGis 10.3 program we obtained the Digital Terrain Model (DTM), and utilizing it the relief map of the territories of the Lesser Caucasus with recreational zones was drawn. The contour interval of the relief map is 400 m.

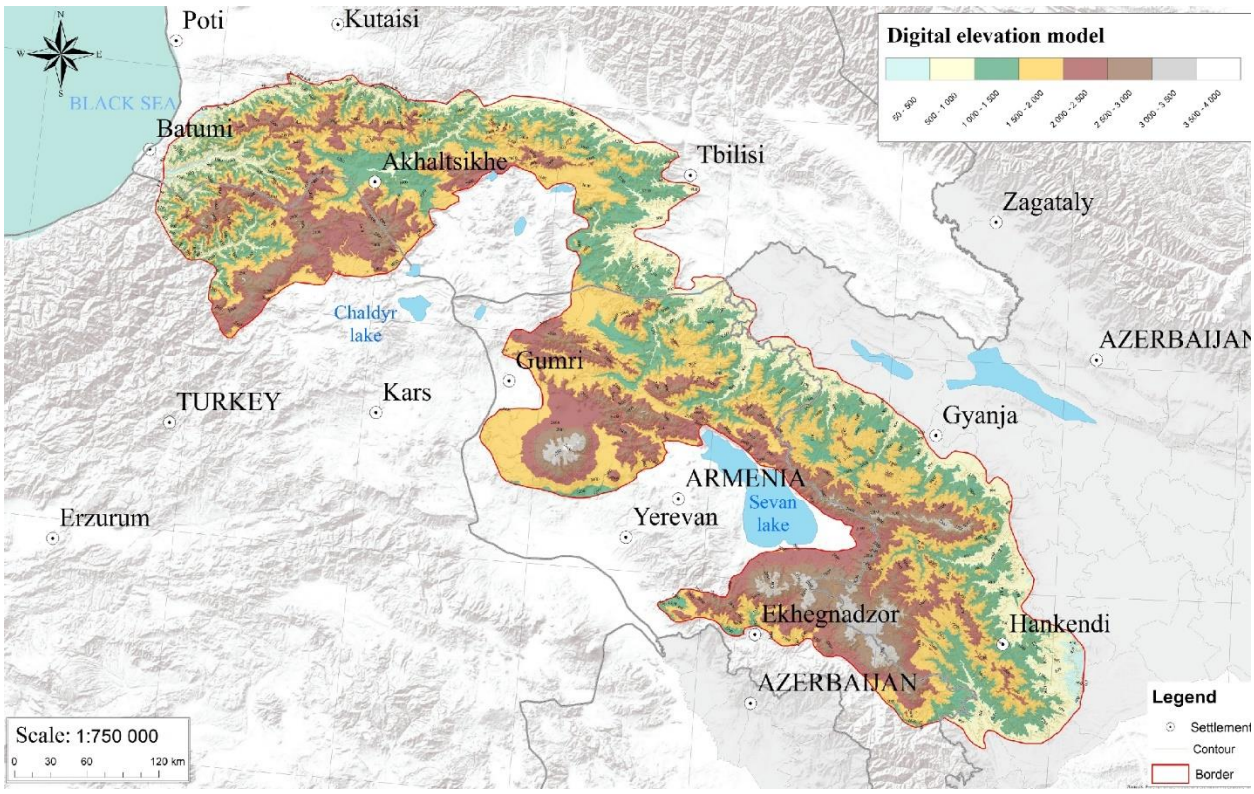


Fig. 1. Relief map of recreational zoning of the Lesser Caucasus

Recreational zoning is one of variety of complex zoning when territories are identified at some factors because a favorable combination of groups of factors is required for organization of mountain active rest [*Melik-Pashaev*, 1975]. Natural factors influence of choice of a particular species of recreation and socio-economic factors determine the quality of touristic infrastructure. Single methods of recreational zoning are absent in our days. The initial criterion in this work was the specific weight of tourist-sanative sector of regional economy and availability of natural and historical objects (zoning of Azerbaijan [*Museibov*, 1961], zoning of Georgia [*Kobakhidze*, 1978; *Beruchashvili*, 1988], zoning of Armenia [*Shaginyan*, 2004]).

Differentiation of the territory according to the types of recreational use is the type of applied zoning that should be based on physical and geographical zoning [*Fedina*, 1973]. The dernier develops a scientifically based scheme which takes into account differences between complexes and reflects the objective existence of units in nature. Certain targeted types of zoning may partially change this pattern and give each designated area a specific name and purpose.

The work on zoning the Greater and the Lesser Caucasus and individual territories of mountain systems was analyzed. Maps from the tourist Atlas (1989) were used as initial cartographic materials for the thematic content of the created map. In Republic of Adygea [*Bormotov*, 2003] degree of openness and prospects for development of areas were among the district-forming features. When the zoning of the Greater and the Lesser Caucasus [*Butrina*, 2011] the organization of spa treatment, health-improving seaside and educational recreation was considered. Zoning for the development of extreme tourism was also studied [*Proskurin*, 2015].

Sports tourism, hunting and fishing are available in many areas and the influence of glacial conditions on the recreational development of the mountain system is insignificant because in the Lesser Caucasus the average height of the mountains is 3700 m. The hydrological factor has a great influence on water and health tourism.

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSION

There are 7 recreational areas within the Lesser Caucasus. They differ in terms of natural conditions and the quality of tourist infrastructure (fig. 2).

Batumi — Bakuriani area unite Meskheti, Shavsheti and Trialeti ranges. They stretch in the latitudinal direction from the Black Sea coast to Tbilisi. Landscape-aesthetic, climatic, hydrological, orographic and glacial factors are fundamental. Subtropical climate of Ajaria pass to cold climate of alpine meadows [*Milkov*, 1976].

The larger part of mountains is covered by dense forests. The landscape of the middle mountains resembles the Carpathian because rocks are scattered on wooded hillsides. This is what the mountains look like on the way from Borjomi to Bakuriani [*Kobakhidze*, 1978]. Sports and walking tourism and mountaineering are principal varieties of summer rest. Many tourist routes are organized on the territories of national parks Mtirala, Machakhela, Kintrishi and Ispani reservation.

This region in period of the Union of Soviet Socialist Republic was inferior in the number of tourists to the Greater Caucasus but was known for area of rest on territory of Borjomi – Kharaguli national park. There are many climatic and balneal health resorts here. Since 1980s rafting in Ajaris − Tskali, Machakhela, Machakhlistkali, Chorokhi, Kintrishi (these 5 rivers are in Ajaria), Kura (on this river in Batumi − Bakuriani area are 2 routes: Quabiskhevi − Borjomi and Chitakhevi − Borjomi) won huge popularity.

Ski holidays are beginning to develop in western Georgia. Currently, work is underway to restore the resort Gomis Mta are likely to be revitalized and a cable car is being built to the Black Sea. But some ski resorts are located in eastern territory of Ajaria in Shuakhevi and Khulo (http://gobatumi.com). In 2011 first winter season was open in Gomarduli. Also ski resorts began to work about villages Kedlebi, Danisparauli, Goderdzi.

Bakuriani is famous than ski resort. In 2016 Mitarbi mountaineering route was open after 30-years break. Government of Georgia approved the plan for a resort location of Didi Mitarbi.

Ice climbing festival takes place near Gorijvare and Khomle. There are many mountaineering routes in the Tedzami river valley.

Artvin-Vardzia area minded on the southern hillside of Meskheti range and embrace Shavsheti, Arsiani and Erusheti mountains. Kolkhidian forests are sparse or replaced by thickets of Georgian oak and pine-tree. To the East the forests are getting poorer.

Fig. 2. Map of recreational zoning of the Lesser Caucasus

Orographic and hydrological factors are fundamental. Tourism is just beginning to develop on our area of Georgia and in adjacent territories of Turkey [*Shaginyan*, 2004]. Rafting routes on Chorokhi, Altiparmak (Barkhali) and Kura River (Mirashkhani − Mtogvi, Vardzia − Pia, Khertvisi − Aspindza) are the most popular. There are grounds for hunters and fishermen on the territory of Turkey, several climbing routes are equipped. A cave complex of XII c. is located in Vardzia. Sanative tourism is feeble, mineral waters are numerous in Aspindza and Uraveli [*Berford,* 2010].

Tsalka − Dmanisi area minded on the southern hillside of Trialeti range. In addition to broad-leaved forests, there are also pine-spruce. High mountains change by long alpine meadows and semi-deserts.

Despite the more arid climate, there is also a natural richness. Orographic, landscape-aesthetic and climatic factors are fundamental. In 2013 canyons of Dashbashi and Birtvisi rivers were declared by territories of nature protection. First object formed in basalt lavas, the canyon contains natural and artificial caves. Second object named by “stone labyrinth”, mountaineering and climbing trips are made in the canyon. Algeti reservation with historical and natural attractions is located about Manglisi. On Algeti lake fishing is allowed, on west there are hunting grounds. Khrami river is used for rafting (in Marneuli area).

But in another territory of Tsalka − Dmanisi area environmental regulations are severely

violated in the presence of a huge recreational and historical and cultural potential. The fault is gold mining about Kazreti. Therefore, tourism is not developed in this territory.

In North Armenian area landscapes form in more continental environment since the mountain system extends to the southeast. The alpine meadows and mountain forest landscapes are predominated. Some of the peaks rise much higher than western share of the Lesser Caucasus and had the glacial forms. Many peaks and sides of gorges are rocky, for example, Aragats. So orographic, climatic, glacial, hydrological and landscape-aesthetic are fundamental factors.

A chief symbol of winter rest in Armenia is Tsakhkadzor ski resort. A short distance to Yerevan is one of the advantages. In this area ideal conditions for preparing for sport competitions are guarantee in any season, the weather at the health resort is rarely abnormal. Not far from Tsakhkadzor ski resort Sevan are located. The height difference does not exceed 400 m, but number of tourists is large in summer because lake Sevan is not far away (http://www.otdyhateli.com). In North Armenia near the border with Georgia in 2019 ski resort Ashotsk was opened.

Sanative tourism is fundamental in summer. Ankavan, Arzakan, Dilijan and Ijevan are the most famous health resorts. Some rivers (Dzoraget, Kassakh, Debed) are suitable for rafting. Also mountaineering gain popularity. When mountain trails dry up in July and August it's time to make the ascents. In winter only experienced climbers can climb because deep snow and snow-ice fields make it dangerous to climb without skis.

Dilijan national park is the most famous territory of nature protection of Armenia. In this area are located some hiking routes and caves in which the animals live, also tourists can collect mushrooms and berries (http://www.itinari.com).

Ijevan is the most important health resort in North Armenia. The hills with dense forests very similar to alpine meadows. The mild climate contributes to excellent rest at any time of the year, so the flow of tourists never stops. In Ijevan mineral water sources are numerous and 10 000-year-old caves are located. Many rivers of North Armenia are suitable for fishing, hunting grounds are located.

However, some types of tourism are restricted due to adverse anthropogenic events. The columns of basalt high of 100 m are located in many canyons. In 2012 were lengthy discussions on the impact of rock climbing on the ecological situation on basalt pillars. Jumpers, which is driven to descend, were recognized as a threat to the ecology of unique areas.

In West Azerbaijan area Sevan (Shakhdag) and Murov-dag ranges are extend. On its northern hillsides the forests are deciduous, southern hillsides are covered with mountain steppes and in the rock summits alpine meadows are located [*Museibov,* 1998]. On hillsides of Murov-dag rocky range many gorges.

Orographic, hydrological and landscape-aesthetic are fundamental factors. In West Azerbaijan area sanative tourism is develop. Ajikend, Dashkesan, Khoshbulag and Naftalan (last town is famous by curative mud) are fundamental balneal health resorts. Some mountaineering bases are located about Ajikend.

The mountains around the Dashkesan are known as the most beautiful pasture of South Caucasus. On the territory of the district there are numerous and various interesting objects despite the fact that the tourist infrastructure is not developed. Dashkesan was built on the site of a temporary geological settlement, development of the iron ore deposit has begun about town, so excursion «The marble mountains and iron monsters» are carry out. Near the Khoshbulag there is a lake where tourists can fish (http://needguide.ru). The ascents on Goshgar summit (3361 m) are popular, many underground water sources.

However, the most famous object of West Azerbaijan area is Geigyol national park. The area used to be a nature reserve, but in 2007 tourist were able to visit this territory. Water in the Geigyol lake is a fresh and look by light blue so the lake got this name. 8 large lakes are located in national park, among them Maralgyol, Zyalilgyol, Garagyol.

Southwest area located on the territories of Armenia and Azerbaijan. Since 1990s the border between the states has been closed. Many highways have not been restored after military

actions.

Continental climate is a specific feature of the Southwest area. Semi deserts are replaced by mountain steppes and arid woodlands. There is no mountain-forest zone. Climatic, hydrological, glacial and factor of transport accessibility are fundamental.

Tourism is developing at an intensive pace despite harsh natural conditions and violations of political stability. Kelbajar and Istisu are the most famous health resorts of Azerbaijan. There are two lakes (Alagyoller and Zalkha) and several caves in the vicinity of Kelbajar, popular collection of medicinal herbs. In Istisu mineral water sources are numerous, the resort area is not inferior in quality to Karlovy Vary.

In turn, Armenia is famous for ski resort and mineral waters of Jermuk area. There are several routes for active tourism on the territory of the country. For example, Vorotan river canyon is suitable for sports and walking, speleological tours and rafting.

Karabakh area is east outskirt of the Lesser Caucasus. Landscapes are formed in more continental conditions since the mountain system extends to the Southeast. The relief consists of extinct volcanic cones which rise high above the plateau.

Military actions periodically break out. However, a definite work of tourism develop is spend. Orographic, landscape-aesthetic, hydrological and factor of transport accessibility are fundamental.

In Mountain Karabakh 13 hiking trails for sports and walking are located. Hunot reservation is the most center of hiking. In reservation some routes for tourists with different interests were created. In Askeran area Azokh cave is located and mineral water source are numerous (for example, Aigestan healing spring). Lachin area is suitable for mountaineering, climbing and rafting (routes on Terter river are the most known). Kar-Kar river canyon about Shusha is not high-altitude (by the standards of mountaineering), but fascinates with its beauty and majesty [*Mekhbaliev*, 2009]. In the forests of area Agdere hunting is allowed.

Created map can be useful for people who want to spent vacation on countries of South Caucasus and for local residence who provide leisure activities at mountain. Types of tourism practiced in poorly known areas can reduce excessive recreational load on Black Sea coast, Borjomi – Bakuriani and Tsakhkadzor areas. In the work hydrological factor of tourism development was analyzed for the first time, climatic factor and factor of transport accessibility was described by extended (table 1).

Table 1. Recreational zoning of the Lesser Caucasus

No	Recreational area	Fundamental factors	Varieties of (mountain) tourism
1	Batumi – Bakuriani	Landscape-aesthetic, climatic, hydrological, orographic, glacial	Sanative, ski mountaineering, water, mountaineering, sports and walking, commercial
2	Artvin – Vardzia	Orographic, hydrological	Water, commercial, sanative, mountaineering, sports and walking
3	Tsalka – Dmanisi	Orographic, landscape-aesthetic, climatic	Climbing, mountaineering, speleological, water, commercial
4	North Armenian	Orographic, climatic, glacial, hydrological, landscape-aesthetic	Mountaineering, sanative, water, ski mountaineering, speleological, commercial
5	West Azerbaijan	Orographic, hydrological, landscape-aesthetic	Mountaineering, sanative, sports and walking, commercial
6	Southwest	Climatic, hydrological, factor of transport accessibility, glacial	Mountaineering, sanative, water, climbing, commercial, ski mountaineering
7	Karabakh	Orographic, landscape-aesthetic, hydrological, factor of transport accessibility	Mountaineering, sanative, water, climbing, commercial, sports and walking

Mountain tourism not very demanding of comfort, in the Lesser Caucasus many types of outdoor activities among which there and more new ones develop very intensively. In order to region retain the attractiveness for tourists, should to organize new routes in the most available territories, to advertise touristic objects intended for specific purposes (for example, certain types of mineral waters suitable for the treatment of specific types of diseases). Organization of new routes in national parks introduces tourists to environmental etiquette.

Plans of regional and local development of the Lesser Caucasus should be built taking into account the seasonality of tourism development and state of environmental and political stoppages in different parts of mountain territory. In our days it is important to use the experience of foreign countries in organization of mountain tourism.

Cartographic method for assessing natural and socio-economic conditions consists in displaying information for vacationers and recreation organizers on the map. The use of estimates is appropriate there the estimated objects are numerous and need to be ranked according to the degree of their development. It is very important to conduct mapping in GIS, new applications are added to them every year, so tourists are increasingly interested in little-explored territories. Map creating in the future allows you to conduct other, more complex types of assessments for the economic efficiency of recreational development.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors accord most heartfelt thanks to the writer and researcher, phD of geographical sciences Y.P. Suprunenko for initializing this work and to the research assistant of Moscow State University, phD of geographical sciences M.V. Gribok for useful tip.

REFERENCES

1. *Bormotov I.V.* Touristic Adygea: history, condition and prospects of development. Maikop: Maikop State Technological University, 2003. 232 p. (in Russian).
2. *Butrina N.A.* Recreation zoning of the Caucasus. Vladikavkaz: Ir, 2011. 28 p. (in Russian).
3. *Fedina A.E.* Physical and geographical zoning. Moscow: Moscow State University, 1973. 196 p. (in Russian).
4. *Jaoshvili V.S., Ilichyov B.A., Beruchashvili N.L.* Mountain territories: rational using of nature, due to development and reselllement. Geography of USSR. Moscow: All-Union Institute of Scientific and Technical Information AS USSR, 1988. 191 p. (in Russian).
5. *Kobakhidze E.D.* With problem of recreational zoning. The problems of territorial organization for tourism and rest. Stavropol, 1978. P. 31–33 (in Russian).
6. *Liparteliani I.I., Ninikashvili T.V.* 100 resorts of Georgia. Tbilisi: KLIO, 2014. 132 p. (in Russian).
7. *Mekhbaliev M.M.* Tourism in caves. Baku: Science and life, 2009. No 1. P. 47–49, 61 (in Azerbaijan).
8. *Milkov F.N., Gvozdetsky N.A.* Physical geography of USSR. Tutorial for students. Moscow: Idea, 1976. 448 p. (in Russian).
9. *Museibov M.A.* Physical geography of Azerbaijan. Baku: Maarif, 1998. 399 p. (in Russian).
10. *Proskurin V.S.* Recreation zoning of the Caucasus for development of extremal tourism. Stavropol: North-Caucasian Federal Univercity, 2015. 30 p. (in Russian).
11. *Shaginyan A.K.* Geography of Armenia: Study cases. Saint Petersburg: Publishing House of Saint Petersburg University. 2004. 56 p. (in Russian).

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-423-434

Sitora-bonu Sadikova[1]**, Sabine Hennig**[2]

NATIONAL NATURE-BASED TOURISM IN SAMARKAND REGION

ABSTRACT

The article analyses the data on the assessment of the potential of nature-based tourism in Samarkand Region. Esri's ArcGIS social Survey 123 Onlinewas created for data collection and subsequent analysis in statistical programs. This method revealed vacation spots Amankutan, Agalyk, Mirankul, Tepa-kul, Nurbulok, Dobusiya, Yukori Chinor, Ming Archa, Kattakurgan Reservoir, Zarafshan river and others on the basis of opinions of representatives of local population of Uzbekistan about each location. The sociological survey identified: the most polluted vacation spots; the pros and cons of specific suburban recreation areas; popular types of active and passive suburban recreation; opinion on effective penalties for vandalism and damage to flora and fauna. Eco tourism and nature tourism should be clearly distinguished.

Natural tourism is all types of tourism that use natural resources in wild or undeveloped natural areas: bird watching, forest trips, safaris, fishing, hunting, photography. It should be noted that ecotourism is distinguished by satisfying the recreational needs of visitors and hosts, for the benefit of the local population and without negative impact on the ecology of the region. "Eco" is obliged to serve for the benefit of nature, its biodiversity and ecology. Consequently, the development of ecotourism contributes to the improvement of the ecological, educational and cultural level of the state society as a whole. The recommendations for effective environment-friendly use of nature-based tourism potential of Samarkand Region of Uzbekistan are presented.

KEYWORDS: ecotourism, nature-based tourism, nature protection, Samarkand Region, Uzbekistan

INTRODUCTION

The leisure, tourism and recreation industries are among the largest and steadily growing ones in Uzbekistan. Particularly, eco-tourism and nature-based recreation are characterized by high growth rates. Both are not only important components of many national, regional, and local economies but they also contribute to quality of life, sense of place, social connection, physical well-being, and learning in many ways.

Literature outlines that eco-tourism and nature-based recreation are related to the performance of different types of outdoor activities (e.g. hiking, trekking, cycling, horse riding, canoeing, snow shoeing and ski mountaineering, nature observation, picnic)[3] [*Immoos, Hunziker*, 2015]. These activities are typically performed in natural settings or otherwise involving elements of nature (e.g. terrain, plants, wildlife, water bodies). Hence, popular designations for eco-tourism and nature-based recreation are areas of certain natural setting and scenic beauty little influenced by man. [*Newsome et al.*, 2001; *Kuenzi, McNeely*, 2016]. This refers to protected areas (e.g. nature parks, protected landscapes, national parks, biosphere reserves and wilderness areas) and especially to many developing counties [*Candrea, Ispas*, 2009].

---

[1] Samarkand State Architectural and Civil Engineering Institute, Department of theory and history of architecture, Lolazor str.,70, Samarkand, Uzbekistan; *e-mail*: **sitorasadykova@gmail.com**

[2] Interfaculty Department of Geoinformatics — Z_GIS, Schillerst, 30, 5020, Salzburg, Austria; *e-mail:* **sabine.hennig@sbg.ac.at**

[3] BN Bundesamt für naturschutzn.d., Natur Sport. Info. https://natursportinfo.bfn.de/.(accessed 24.06.2019)

In Uzbekistan the interest of the local population in eco-tourism and nature-based recreation has been and is increasing.

Quoting the Deputy Prime Minister of the Republic of Uzbekistan, Aziz Abdukhakimov: "... If in 2017 we had 2.7 million tourists, then in 2018 this figure increased to 5.4 million". Abdukhakimov notes, that "only in Ist quarter of 2019, 1 million visitors have already visited Uzbekistan"[1]. According to the State Committee of the Republic of Uzbekistan for Tourism Development there is a comparative data for Uzbekistan visitors November 2018 and 2019[2] (table 1).

The climatic potential of the Republic of Uzbekistan is rich and diverse. The development of ecotourism in Uzbekistan is promoted by state policy in the field of environmental protection and biodiversity conservation. An extensive network of protected natural areas has been created in the Republic. "Great tourist potential have Chatkal, Zaamin, Nurata and other reserves, Ugam-Chatkal National Park, Ecocenter "Dzheyran" and other protected natural areas. Travelers are attracted by the diversity of the animal and plant world. It is also important that favorable weather conditions in our country make it possible to use the mid- and high-mountain regions all year round for skiing and hiking"[3].

"Uzbekistan ranked 5th in the Solo Travel Safety Report 2019, produced by travel website Wegoplaces.me, which offers independent adventurers a guide to where to go and how to stay safe around the world. Singapore is scored the highest with a score of 97, followed by Norway, Iceland, Finland and Uzbekistan. This report focuses on an overview of the safest, riskiest, most peaceful and hostile countries. It also provides helpful tips for solo travel from the Foreign and Commonwealth Office (FCO)"[4]. In addition, it should be emphasized that, in recent years, the liberalization of the visa regime for citizens of foreign countries and the introduction of a visa-free regime have increased the attractiveness of Uzbekistan in the global tourism market. The diagram 1 shows the boost of the level of Uzbek tourism in 3 years.

However, an increase in the flow of tourists will require the urgent implementation of environmental measures: strengthening the responsibility of the organizers of the nature tours for the integrity of nature its natural wealth, for cleanliness and fire safety [*Wood et al.*, 2013]. The author would like to see now a sensitive attitude to nature, not only from visitors, but also from the entire population of Samarkand region and the country as a whole. It must be remembered that the well-being of people here largely depends on the "health" of natural zones.

Nowadays, in social networks in Uzbekistan there are more and more actively developing groups and communities of eco-tourism funs, for example:

- Facebook: MaroCup adventures club@marocupclub; GoTrip.Uz — in Uzbekistan; Uzbekistan Cycling Community, velosoobshestvo, Uzbekistan-the heart of Central Asia etc.
- Instagram: Mysterious Uzbekistan. Climbing tours, hiking in the mountains, skiing in snow-covered valleys, traveling up to the glaciers and mountain lakes, desert tours of Uzbekistan are becoming a very popular type of vacation not only for foreign but mainly local tourists.

Ecological tourism in the Republic is paid attention at the state level to the "Ecological Movement of Uzbekistan" is acting, representing its interests through a group of deputies in the "Supreme Chamber" of the Republic of Uzbekistan.

---

[1] https://nuz.uz/ekonomika-i-finansy/40004-na-42-vyros-turpotok-v-uzbekistan-za-i-y-kvartal-2019-goda.html
[2] https://uzbektourism.uz/ru/research
[3] https://uzbekistan.lv/%D1%83%D0%B7%D0%B1%D0%B5%D0%BA%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD-%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B0-%D1%8D%D0%BA%D0%BE%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B0/
[4] https://tashkenttimes.uz/culture/3440-uzbekistan-ranks-5th-in-solo-travel-safety-report-2019

This requires paying attention and understanding the current situation of eco-tourism and nature-based recreation in Uzbekistan to counteract problems possibly caused by visitors. Along with traditional tourism in our country, there are all prerequisites for the development of ecotourism, which will undoubtedly create favorable investment conditions in the tourism sector.

It would be advisable to give definitions of the concept of Nature based tourism and ecotourism, to identify their common and distinctive features.

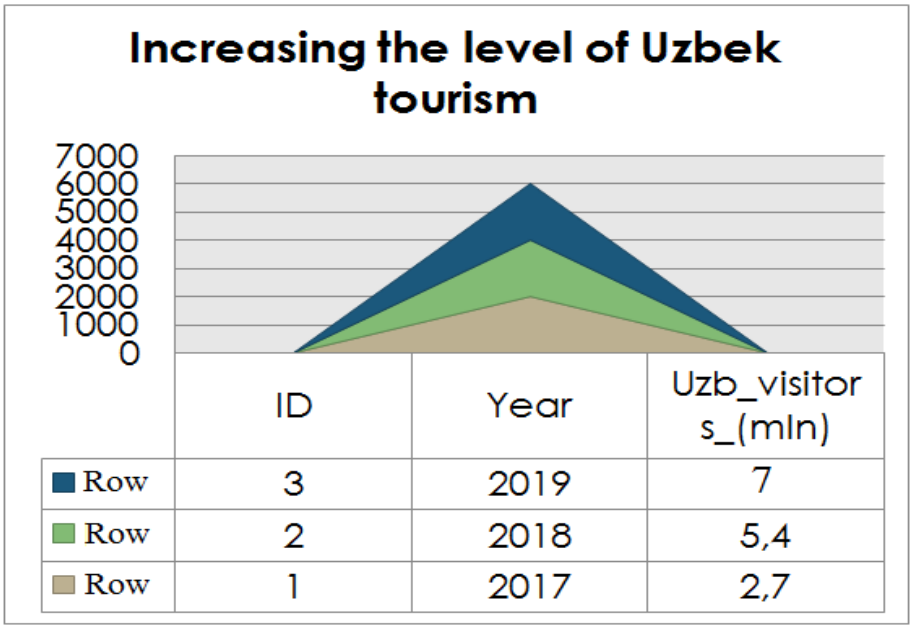


Fig. 1. Increase of the level of Uzbek tourism in 3 years

Table 1. Comparative data of incoming tourism in Uzbekistan, November 2018/19

№	Regions and countries	November 2018	November 2019	% growth
1.	Tourists from the CIS countries	451 508	600 623	33,0
2.	Tourists from far abroad	24 623	33 363	35,5
3.	Stateless persons	87	149	71,3
4.	All	476 218	634135	139,8

Nature based tourism — “is all forms of tourism, enjoying natural resources in a wild or undeveloped natural areas: birdwatching, camping, hiking, fishing, hunting, photography etc.” [Nyapane, 2007].

Ecotourism is defined as “responsible travel to wild naturewhich conserves the environment and improves the welfare of a local people” (The International Ecotourism Society, 2007, No 1).

Distinctive features of ecotourism are the satisfaction of the recreational demand of the visitor and hosts, without negative impact on the ecology of the region and with benefit to local population — “Eco” is obliged to serve for the good of nature, its biodiversity and ecology. It should be emphasized that development of ecotourism contributes to an increase in the environmental, educational and cultural level of society. Related to this there are several open questions which need to be answered:

- What are the features of the development of Uzbek nature-based tourism and ecotourism in Uzbekistan?
- What are the vacation spots of the Samarkand Region and what types of recreation are the most popular among the local population?
- What recommendations can be made to protect places of rural recreation and to improve the nature-based tourism system?

These questions are discussed in context with a case study done in Samarkand Region. In order to make a feasible contribution to the further development of nature based and eco-tourism in Uzbekistan, to identify the real situation in places of recreation in the Samarkand Region, we conducted a study of the features of the nature based tourism potential in these recreation areas.

To identify the public opinion of the local population of Samarkand Region about the preferences of a country vacation in the region a social survey was conducted. The author considered it appropriate to identify the following aspects:

- types of recreation in the lap of nature (active, passive relaxations, health healing & meditation, scientific research, etc.);
- popular active type of rest in the Samarkand Region natural areas (hiking, skiing, bacycling, swimming, climbing, etc.);
- overage duration of rest of the local people in the natural areas;
- concretization by matching popular vocation spots on a map.

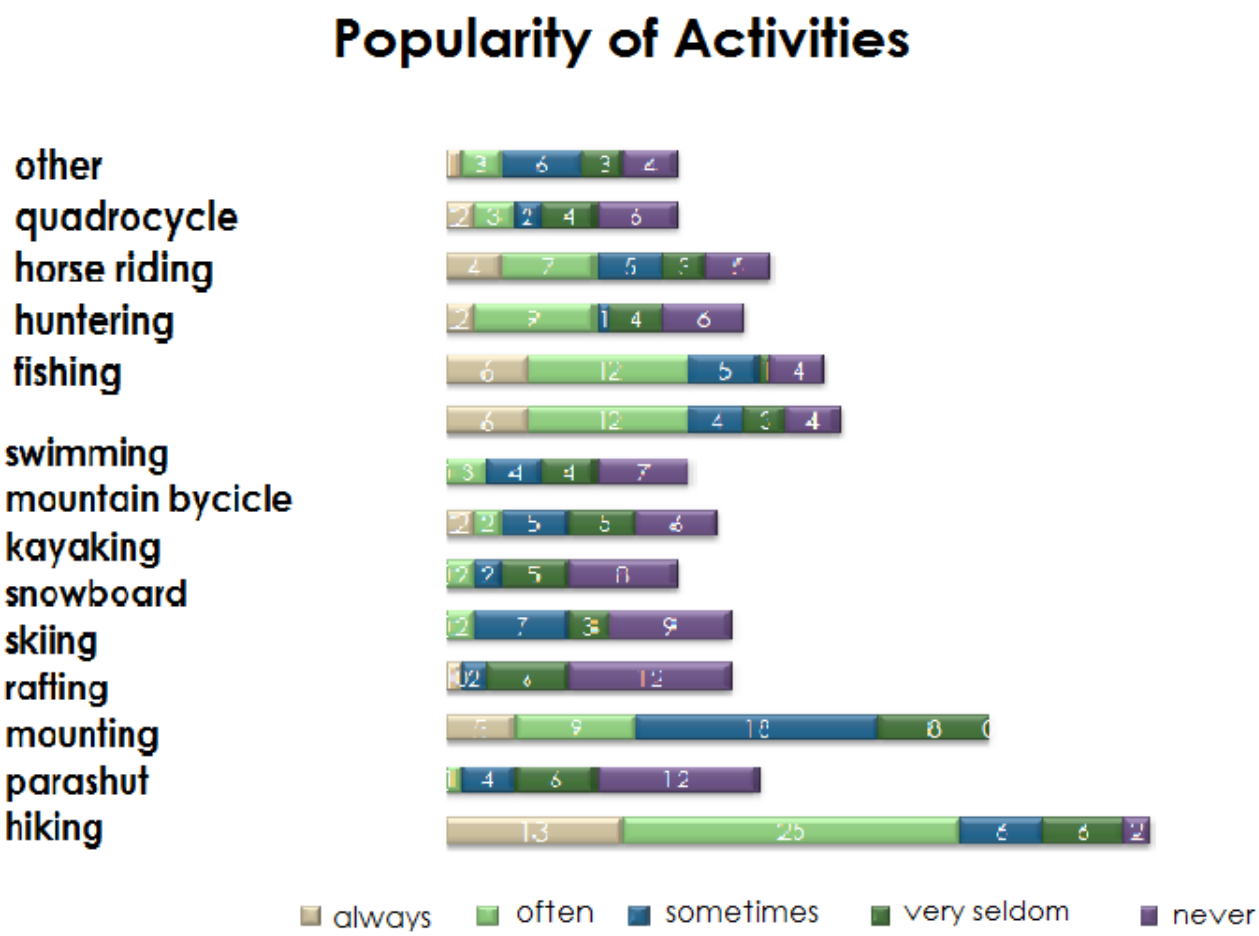


Fig. 2. Popularity of activities of the local people of Samarkand Region

By of compiling this extensive and interactive online social survey, online maps were created. The maps show the preferred vacation spots for the population of the Samarkand Region and age groups who prefer each of that vacation spots, for example Amankutan, Agalyk, Mirankul, Tepa-kul, Nurbulok, Dobusiya, Yukori Chinor, Ming Archa, Kattakurgan reservoir or Zarafshan river bank. In the result the Survey 123 Online from ArcGIS, the following were identified (fig. 2).

Diagram on the fig. 2 demonstrates the types of rest preferred by the people of Samarkand Region in the lap of nature (active, wellness, extreme, child-family, passive relaxation).

Diagram 3 demonstrates the level of popularity of nature based rest places of Samarkand region, such as Zarafshan, Mirankul, Tepa-kul, Agalyk, Nurbulok, Amankutan, Dobusiya, Yukori Chinor, Ming Archa, Kattakurgan reservoir, Zaravshan river bank etc. among all age groups of local population (fig. 3).

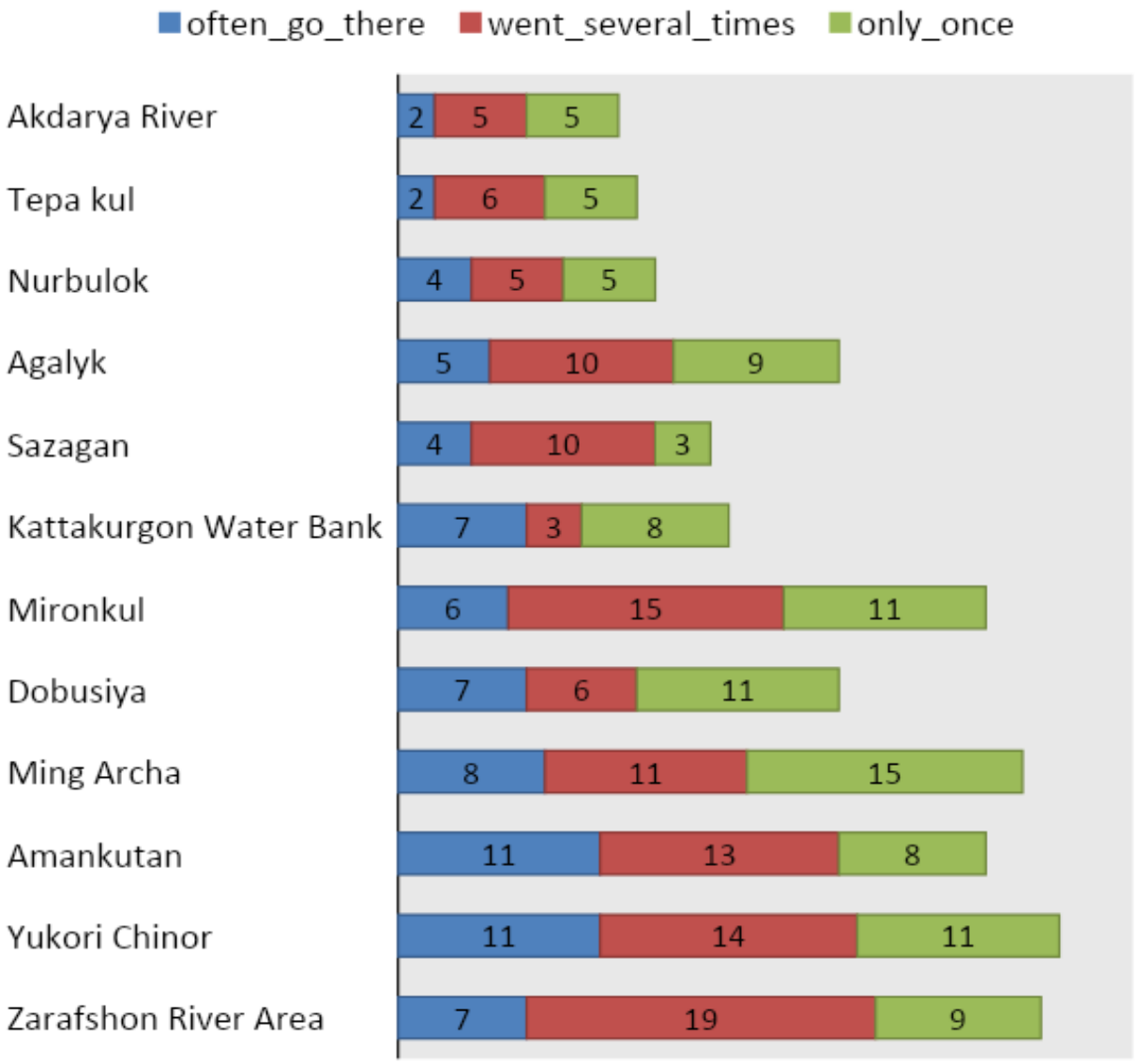


Fig. 3. Popularity of these rest places among the local people of Samarkand Region

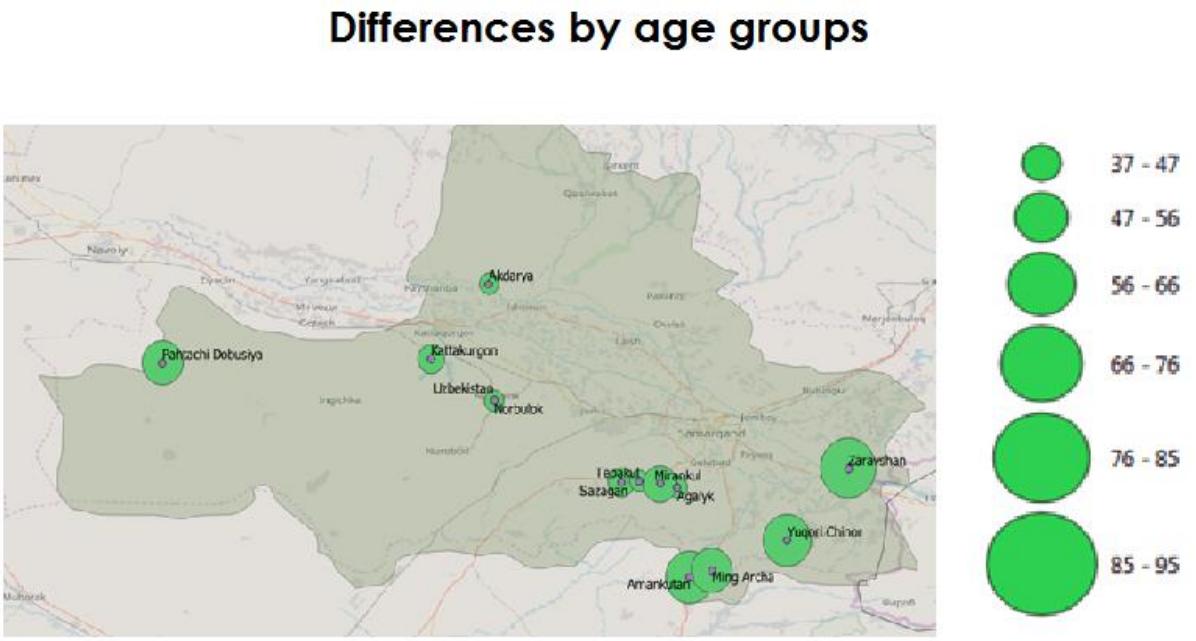


Fig. 4. The map of Samarkand Region, Uzbekistan. Samarkand Region most popular nature-based rest places indicated by different radius dots, according to age groups

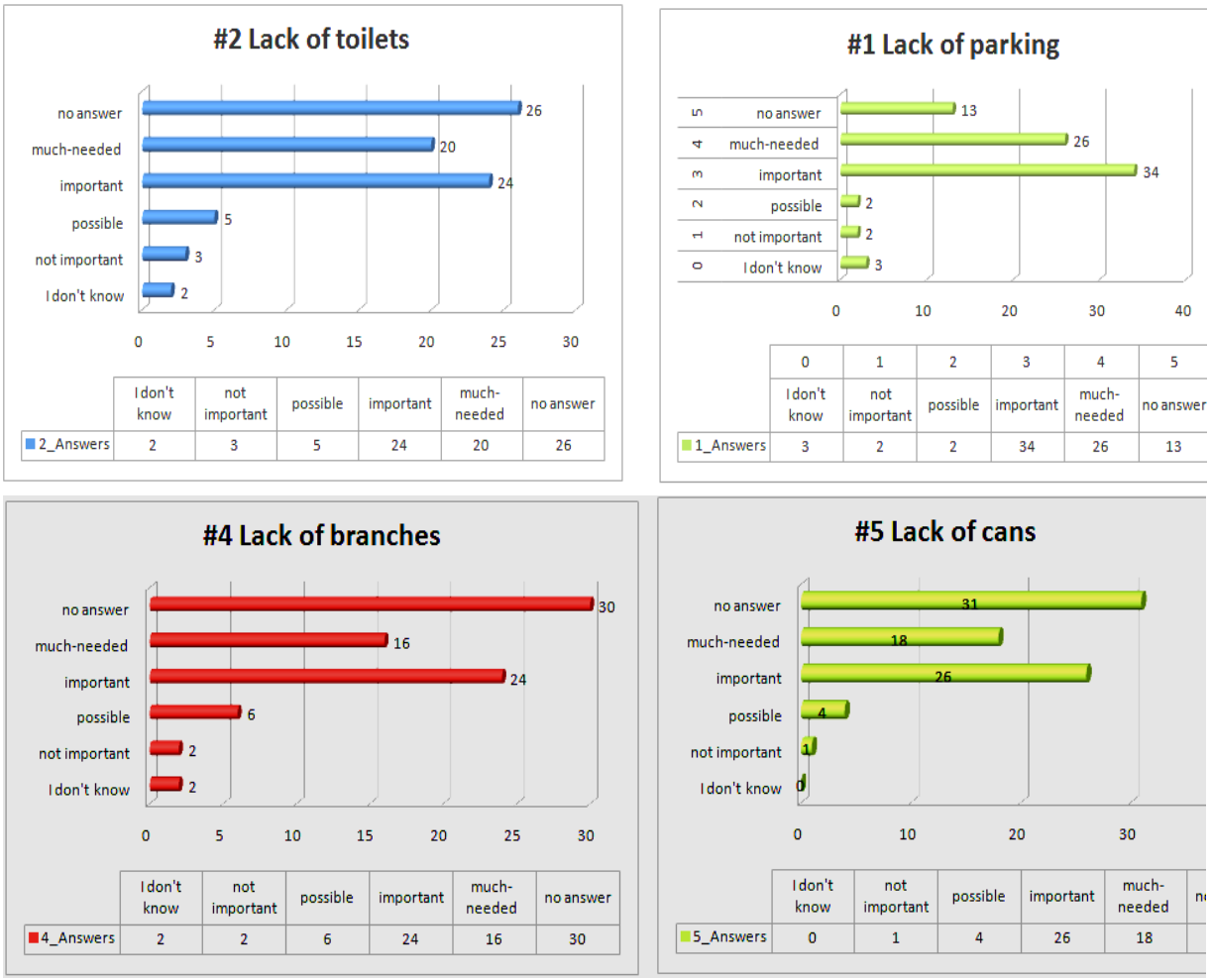


Fig. 5. Visitor's and host's opinions about the deficiency in the nature-based rest places of Samarkand Region

During the social questionnaire, the respondent asked the question: What do your favorite natural recreation area in the Samarkand Region lack most of all? Different versions of answers were suggested to choose from. The fig. 5 shows the most popular answers.

Besides, the author posted open-ended questions in which the respondents were asked to freely express their opinion on “What should be done to improve your favorite natural based area; to create environmental friendly rest zone for nature lovers?” and give practical, relevant advice. The following opinions became the most popular tips for improving natural recreation areas. The most popular recommendations were:

- a) add other modes of transport to a destination (electric train, tram, bus);
- b) improve the quality of roads to this natural area;
- c) ensure protection against natural disasters;
- d) decrease prices and improve the quality of service;
- e) install bio toilets in this recreation area;
- f) ensure environmental cleanliness and conservation of nature.

Diagram on the fig. 6 presents the opinion of the local population about the possible facts of environmental pollution in the above recreation areas. It was proposed to reveal the local people’s opinion on punishment for vandalism and clogging of natural places of rest and damage to nature.

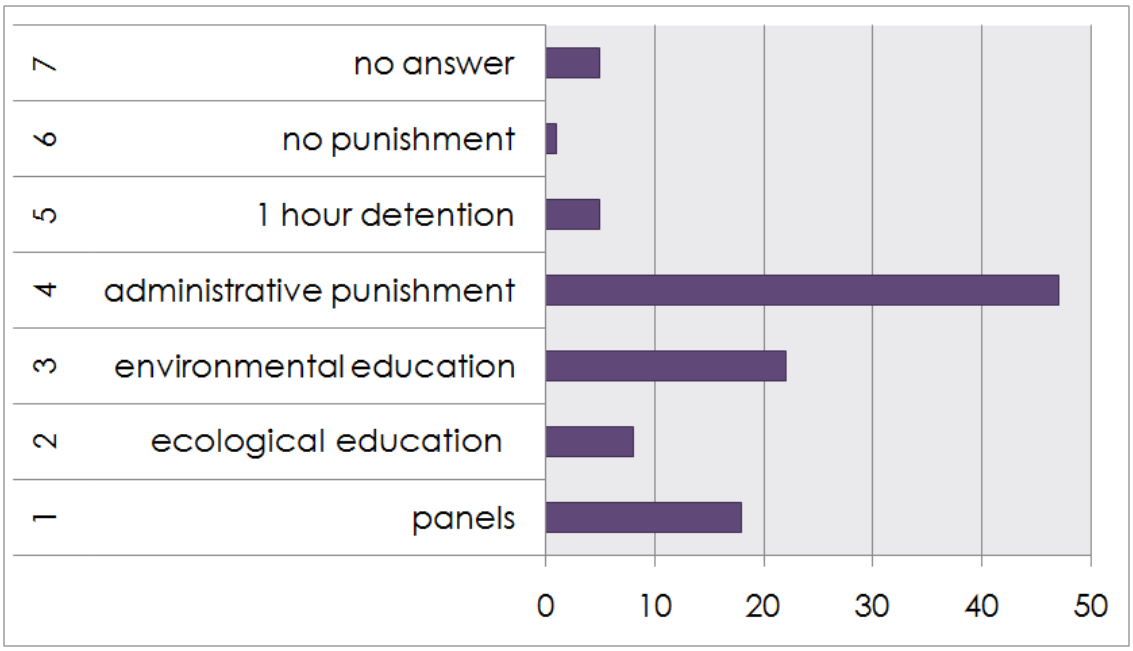


Fig. 6. Type of environment pollution punishment

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

To fully cover all groups of the local population, the authors decided to create a questionnaire in 2 languages and distribute it to all messengers, social networks, applications… And for representatives of the older generation, the questionnaire was printed out and filled out manually by interviewers (Russian version: https://arcg.is/1yffma, Uzbek version: https://arcg.is/10DrK9).

For subsequent work, as part of a scientific study, which is a phased complex system of processing statistical data, it was performed in following programs: Acces, Exell, SPSS.

The authors set the goal to clearly depict the data obtained from the social questionnaire on the map; Sadikova S.N. needed the skill to work with maps, with special programs that process

statistical data. To acquire the ability to work with spatial data, the author studied following programs:

- Basics of the ArcGIS. It is a family of geographic information software products of the American company ESRI, which are widely used in land cadastres, in land management tasks, real estate accounting, engineering communications systems, geodesy and subsoil use, urban planning. Using the ArcGIS program, online maps were compiled by authors showing the preferred vacation spots for the population of the Samarkand region.
- Basics of the Quantum GIS for the ability to map and acquire the skill of working with maps, layers and shapefiles; for creating, editing, visualizing, analyzing and publishing geospatial information.

The step-by-step processing of statistical data required basic knowledge, the basics of SPSS Statistics. This is a special computer program for processing statistical data (it is mainly used by statisticians and economists). Indeed, during the processing of the questionnaire results, the calculation system "Statistical Package for Social Sciences" significantly accelerated the process of calculating and processing the data obtained and increased the effectiveness of the study (fig. 2).

In order to obtain enough reliable data, recommendations on (online) questionnaire design were taken into account. For the effectiveness of the questionnaire, the amount of time spent on its passage was regulated (10 min); questions that could be interpreted ambiguously were excluded from the questionnaire. In addition, in order to ensure the effectiveness of the questionnaire, its key aspects were raised by several questions at once. The questionnaire consisted of 24 questions.

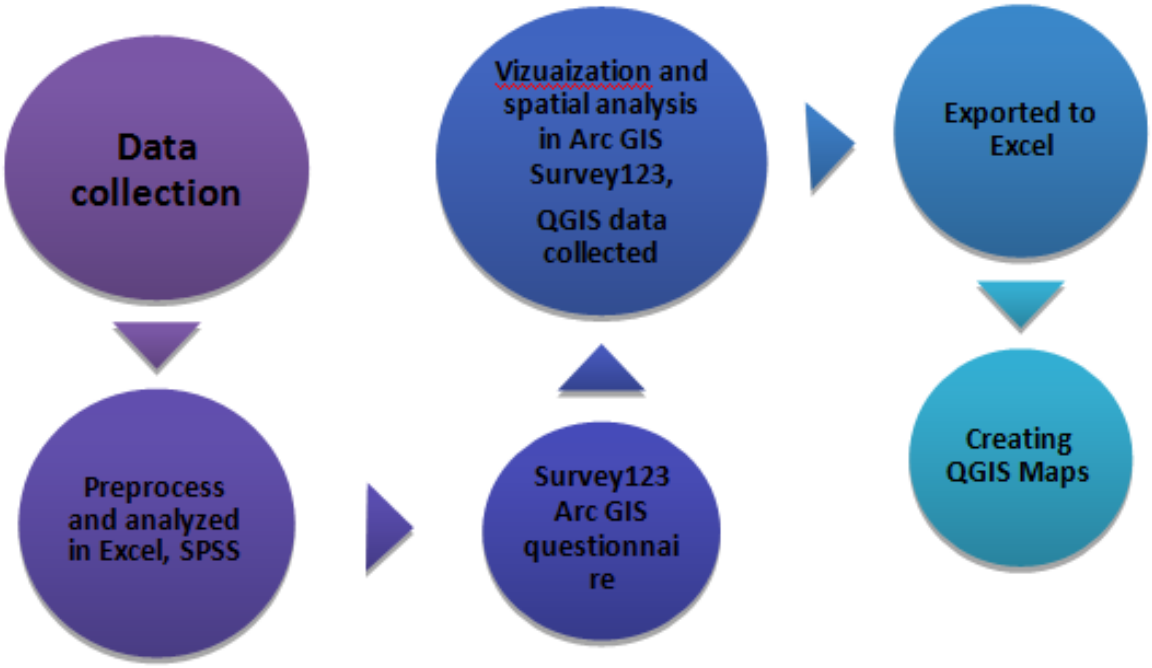


Fig. 7. An overview on the workflow and the related working steps

The questionnaire was put in operation in summer 2019. The URL under which the questionnaire is available was spread using email, social media (e.g. Facebook, Telegram, WhatsApp, Instagram, via e-mail) and personal contacts. Before analysis the submitted responses were validated and preprocessed. This includes statistics of closed question answers and the coding of open-

ended question answers (i.e. assigning one or more codes to responses: e.g. regarding gender of respondents, preferred holiday season, shortcomings, tips for improving the revenge of a nature based places of Samarkand Region etc.). Further, data from answers given to different questions were combined to be used together to be presented and discussed.

The Uzbek version	**Russian version**
9 open questions	10 open questions
12 closed questions	12 closed questions
3 questions with concretization of location on the map)	3 questions with concretization of location on the map)
Filling time: 10−12min	Filling time: 10−12min
Uzbek version: https://arcg.is/10DrK9	**Russian version: https://arcg.is/1yffma**
https://arcg.is/10DrK9	https://arcg.is/1yffma

Fig. 8. Overview of all questions

Table 2 links to the questionnaire in Russian and Uzbek, the QR code of the questionnaire, as well as the number of open and closed questions in it.

Table 2. Questionnaire overview

Item	Question	Type of question
1.	Where do you live?	Open ended question
2.	City zip code	Open ended question
3.	Gender	Close ended question
4.	Age	Close ended question
5.	Education	Close ended question
6.	How often do you go to recreation in nature?	Close ended question
7.	In what season do you prefer to have a rest in countryside?	Close ended question

8.	What kind of recreation activity do you prefer	Close ended question
9.	Other, write please	Open ended question
10.	What type of active sports do you often practice?	Close ended question
11.	Other, write please	Open ended question
12.	Who would you prefer to spend time in nature with?	Close ended question
13.	What is the most important for you in making a choice of countryside rest place?	Close ended question
14.	Other, write please	Open ended question
15.	What places of country rest of the Samarkand Region did you ever visit?	Close ended question
16.	How can you characterize these places?	Close ended question
17.	Mark on the map the most popular rest places of Samarkand region you often visit	Open ended question
18.	Write down the places you've marked	Clarification
19.	Please give your characterizations of these places	Close ended question
20.	Other idea? write please	Open ended question
21.	Lack of what is sharply felt in Samarkand Region countryside rest places?	Close ended question
22.	What would you change in your favorite Samarkand Region countryside rest place to improve it?	Open ended question
23.	What countryside rest place of Samarkand Region mostly damaged by human activity (causing interruption & damage to the nature)	Open ended question
24.	How do you think what types of punishment it is necessary to enter for pollution and causing damage to the nature	Close ended question
25.	Other idea? write please	Open ended question
26.	What should be undertaken in your favorite country rest place of Uzbekistan that to improve it for visitors	Close ended question

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSION

The main goal of the study was to attract the attention of the public and government bodies, the Committee on Ecology of the Republic of Uzbekistan to solve environmental problems that exist in natural recreation areas of the Samarkand region. Ordinary citizens were given the opportunity to express their point of view, give recommendations on improving the ecological climate of natural places to prevent vandalism in the lap of nature. The authors consider environmental education at the state level relevant, so that the local population from a small age would feel responsible to future generations for the ecology that we will leave to them.

It is noteworthy that the question: “What is important for you when choosing a place for a country vacation?” respondents answered:

1. “Picturesque landscape” and “Guaranteed safety on vacation” — 58.82 %;

2. “A place for passive rest and relaxation” — 47.06 % and in the last place by the popularity of the answer was the answer: “Extreme sport in the bosom of nature”. This indicates a strong relationship between the Uzbek people and nature, their love for flora and fauna, for a quiet contemplation of nature, and not for extreme and extreme forms of recreation.

During the collection of data from the social questionnaire, there were several problems that influenced the calculation process and the objectivity of the results negatively. Many interviewees answered: “I don’t know,” “I don’t know this place of rest”. In statistical programs of this kind, gaps should have been characterized by “0”. Negative factors can also include non-uniformity of responses from all age groups. The most active and popular in the social questionnaire was the age group 26−40 years old, and a group 61−80 is the smallest. Which could not but reflect negatively on the results.

The main goal of the study was to involve the responsible state bodies, the Ecology Committee of Republic of Uzbekistan in establishing a code of conduct for people in free natural recreation areas, reserves and in the wilderness; legislative measures to punish animal cruelty and vandalism in natural places of rest. The attention of local people was drawn to solving environmental problems that exist in the natural places of recreation of the Samarkand region. The use of infrastructure in visitor management is considered a promising measure, since infrastructure fulfills different functions in terms of visitor use and nature protection [*Zelenka, Kaceti,* 2013; *Sadikova,* 2020]. Man-made infrastructure such as car parks, trails and signposting enable recreational visits, and it is necessary to supply such infrastructure.

CONCLUSIONS

Thus, summarizing the results of the study, we can conclude that the following recommendations can be effective measures for further sustainable development and improvement of nature-based tourism in the Samarkand Region:

I. Laying high-speed roads and railways to specialized places of country recreation, organization of transport accessibility at affordable prices (environmentally friendly modes of transport — trains, trams, trains).

II. The organization of safe suburban recreational areas, creation of chor-bag gardens that primarily meet all standards of environmental protection measures and the safety of lovers of relaxation in the “wilderness”, mainly in places with frequent natural disasters (mudflows, avalanches, rock falls, fires)[1] [*Sadikova,* 2019] And the safety of nature itself and its biodiversity from vandalism of visitors.

III. Mass training of the country’s population in the field of Environmental education, giving a set of rules on how to relax in the lap of nature, how to behave in emergency situations and what absolutely cannot be done “away” in the wild.

IV. Improving the activities of existing vacation spots by ensuring a balance of prices and quality of services to holidaymakers, regardless of their citizenship;

V. Ensuring the comfort of vacationers in the lap of nature, provided that the environment is preserved and fauna is protected. Organization of: a) installation of bio toilets; b) strictly designated places for swimming and cooking, making fire under strict control; c) the provision of fines and administrative penalties for vandalism and damage to the nature of our region.

VI. A clear distinction between recreational areas and those environmentally sensitive areas that should be strictly forbidden to visit due to disturbance, imbalance and unintentional damage to animals and the entire biodiversity of those wild places where so many uninformed “guests” tend to seek.

---

[1] *Sadikova S.N.* Scientific recommendations for the revival of Chor-bag gardens. Young Scientist, 2013. No 3. P. 91−98. Web resource: https://moluch.ru/archive/50/6077/ (accessed 07.06.2018)

ACKNOWLEDGEMENTS

Words of sincere gratitude to the organizers and participants of the DSinGIS project under the auspices of Erasmus+, to the co-author of this article, a professional of Geonformatics, environmentalist — Dr. Sabina Hennig. It is important to send respect and gratitude to administration of Department of Geoinformatics Techno-Z (University of Salzburg, Austria) headed by Professor Joseph Strobl, and to all the teaching staff: Hatheier-Stampfl Regina, Aynura Nazarkulova, Christian Schwartz, Nicole Feber, Barbara Hofer.

REFERENCES

1. BN Bundesamt für naturschutzn. d., Natur Sport. Web resource: https://natursportinfo.bfn.de/ (accessed 24.06.2019) (in German).
2. Candrea and Ispas. Visit or Management, a tool for sustainable tourism development in Protected Areas. Bulletin of the Transilvania University of Braşov, 2009. Series V: Economic Sciences. V. 2 (51).
3. *Immoos U., Hunziker M.* The effect of communicative and on-site measures on the behaviour of winter sports participants within protected mountain areas — results of a field experiment. Eco. mont, 2015. No 7(1). P. 17−25. DOI: https://doi.org/10.1553/eco.mont-7-1s17.
4. *Kuenzi C., McNeely J.* Nature-based tourism. 2008. DOI: 10.1007/978-1-4020-6799-0_8.
5. *Newsome D., Dowling R, Susan A.M.* Natural area tourism: Ecology, impacts and management. 2001.
6. *Nyaupane G.P.* Ecotourism versus nature-based tourism: Do tourists really know the difference. Anatolia, 2007. V. 18:1. P. 161−165. DOI: 10.1080/13032917.2007.9687044.
7. *Sadikova S.N.* “Char-bagh” gardens through the ages. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (IJARSET), 2019. V. 6. Iss. 10. No 6/10. P. 11372−11380.
8. *Sadikova S.N.* Hauzes of medieval Bukhara — arteries of life. International Journal of Psychosocial Rehabilitation, 2020. April. V. 23. Iss. 8. P. 5346−5352. DOI: 10.37200/IJPR/V24I8/PR280548.
9. *Wood S., Guerry A., Silver J. et al.* Using social media to quantify nature-based tourism and recreation. Sci Rep., 2013. No 3. P. 2976. DOI: https://doi.org/10.1038/srep02976.
10. *Zelenka J., Kaceti J.* Visitor management in protected areas. Czech Journal of Tourism, 2013. No 2 (1). P. 5−18.

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-435-450

Olena E. Iurchenko[1], **Svitlana O. Iurchenko**[2]

MODERN TRENDS OF TOURISM DEVELOPMENT IN UKRAINE

ABSTRACT

The article analyzes current trends in tourism development in Ukraine and its place at the global and European tourism market. The location of Ukraine within the European tourist macro-region is characterized. The contribution of tourism to the country's economy is determined; the dynamics of direct and total contribution of tourism to GDP and employment are analyzed. It is shown that Ukraine has a rich tourist potential, but it is not fully claimed. The modern and forecasted main economic indicators of tourism development are characterized in comparison with the average numbers for the world and Europe. The changes in Ukraine's place in the TTCI rating for 2013, 2017 and 2019 are considered, the reasons for the positive changes in the rating between the latest reports are determined.

The dynamics of inbound and outbound tourism in 2000–2017 is analyzed, its main determining reasons are considered. The article characterizes the structural changes in goals and geography of tourist arrivals and departures.

The author examines dynamics of the activities of tour operators and travel agencies. The concentration coefficients of tourist arrivals, income from tourism and the population are calculated, which indicate the extremely uneven development of tourism in the regions of Ukraine. Based on the index presentation of indicators of tourism entities development and the calculation of the integral index, 4 groups of regions were identified that confirms the absolute leadership of the capital region in the provision of tourism services.

The main factors which further trends in tourism activity will depend on are determined.

KEYWORDS: tourism, tourist arrivals and departures, the contribution of tourism to GDP, employment, the tourist market

INTRODUCTION

Today, tourism is a competitive sector of the world economy and one of the important directions of international economic relations and socio-economic development of most countries of the world. According to the UNWTO, tourism accounts for 10 % of global GDP. International tourist arrivals and tourism receipts are growing rapidly. In 2018, international tourist arrivals in the world was 1,401 mln, which is 47.1 % more than in 2010. And tourism receipts rose by 48.8 % to US$ 1,451 bln[3].

The huge impact of tourism business on the economies of countries and their regions indicates the relevance of the topic for Ukraine with its unstable and relatively low level of socio-economic development. According to the data of The Social Progress Imperative international research project, in The Social Progress Index, which takes into account the social welfare of the population and social progress, Ukraine took 80th place in 2019 among 149 countries with an index of 66.97. Its neighbors in the ranking are Algeria and Kyrgyzstan[4]. And by the prosperity index

[1] V.N. Karazin Kharkiv National University, Svoboda Square, 4, 61022, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: **el-tour@hotmail.com**
[2] V.N. Karazin Kharkiv National University, Svoboda Square, 4, 61022, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: **s.a.jurchenko@karazin.ua**
[3] UNWTO Tourism Highlights 2019 Edition. Web resource: http://tourlib.net/wto/WTO_highlights_2019.pdf (accessed 5 Jan 2020)
[4] Index to Action to Impact. Web resource: https://www.socialprogress.org/index/global/results (accessed 5 Jan 2020)

(The Legatum Prosperity Index), a combined indicator of the British analytical center The Legatum Institute, which reflects the achievements of the world's countries in their well-being and prosperity, Ukraine was at 96th place among 167 countries of the world with an index of 54.5. Similar indices had Tunisia and Cuba[1]. The development of tourism in the country would contribute to the growth of its economy and social sphere.

The theoretical, geographical and economic foundations of the development of the global tourism market and its regions, problems of competition, competitiveness, typology and strategies in the field of international tourism were analyzed by such foreign scientists as: A. Alexandrova, O. Stupina [2014], S. Baloglu, D. Bringberg [2006], R. Baretje [2005], G. Harris, K. Katz [2000], M. Kasimoglu [2012], V. Kvartalnov [2003], R.Ch. Mill, A.M. Morrison [2013], S. Shcherbakova [2004], A. Tarasenok [2014] etc.

The problems of tourism development in Ukraine and its role at the global tourism market were considered in the works of G. Balabanov [2015], O. Korol, V. Rudenko, Z. Hochmut [Geographical aspects, 2010], L. Gontarzhevskaya [2008], O. Lyubitseva, E. Pankova, V. Stafiychuk [2007], O. Melnichenko, V. Shvedun [2017], I. Oleynik, P. Shishchenko, O. Lyubitseva et al. [2008], A. Parfinenko [2015], T. Tkachenko [2009], O. Iurchenko, S. Iurchenko [2018], M. Sidorov, O. Iurchenko, S. Iurchenko [2017] and many others. However, the situation at the global and regional tourism markets is changing very quickly. It depends on many factors and requires constant monitoring and rethinking.

The purpose of the article is to consider current trends in tourism development in Ukraine in order to determine directions for intensifying tourism activities in the country.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

Analysis of tourism development trends was based on the materials: The official website of the State statistics service of Ukraine, World Data Atlas, The World Travel & Tourism Council's (WTTC), UNWTO, World Economic Forum (WEF) and The Travel & Tourism Competitiveness Index (TTCI). The following methods of geospatial analysis have been used: descriptive, comparative, statistical to determine the features, growth rates and dynamics of the main indicators of tourism development, to identify spatial changes in the international tourism market; modeling — to assess the degree of centrality of Ukraine in the geospace of the European tourist region, to identify differences in distribution of population, tourists and tourism income by regions of the country, typology of regions based on the calculation of the integral index in terms of the development of tourist activities.

RESULTS OF RESEARCHES AND THEIR DISCUSSION

With Ukraine gaining independence, opening the border and shifting the emphasis of tourist activity outside the republic, its economic and geographical position at the world tourism market has changed. According to the UNWTO classification, Ukraine belongs to the European tourist macro-region, which includes countries of Europe, republics of Transcaucasia and Central Asia, Kazakhstan, Turkey, Israel, Cyprus. To determine the "centrality" of Ukraine's location in the macro-region, a coefficient of hierarchy of position was calculated by the following formula:

$$K = \frac{\sum_{i}^{n} L_i}{\sum_{i}^{n} L_i \min},$$

[1] The Legatum Prosperity IndexTM 2019; A tool for transformation Country Profile saccelerate.amazonaws.com/4415/8635/2894/The_Legatum_Prosperity_Index_2019_Country_Profile_Document.pdf

where K is the coefficient of hierarchical position of the country relatively to the country located in the center;

$\sum_{i}^{n} L_i$ — sum of topological distances for each country;

$\sum_{i}^{n} L_i \min$ — minimum sum of topological distances (of central country) [*Sidorov M., Iurchenko O., Iurchenko S.*, 2017, pp. 57, 131].

The calculated indicators of the topological assessment of the geographical location for all countries of the European tourist macro-region indicate the central location of Ukraine ($K_i = 1.0$). This is favorable for the accessibility of the country and tourism development, especially short-term 1−3 days trips and travel during additional holidays for 4−7 days.

According to a five-level assessment of the natural comfort of the territories, most regions of Ukraine are characterized by uncomfortable conditions (2nd level) in the presence of signs of hypocomfort (3rd level) — mountain ranges with threats of floods, landslides, mudflows, with a difficult topography. Areas with excessive moisture — Polissia; with flood threats — in Transcarpathia; with droughts in the south of the country [*Baburin, Mazurov*, 2000, p. 21]. But in general, the natural and climatic resources of Ukraine constitute an attractive potential for the development of domestic and inbound tourism.

The country has unique recreational resources for organizing vacations in the Carpathian, Pre-Carpathian and Transcarpathian regions, on the shores and estuaries of the Azov and Black Seas (Odesa, Mykolaiv, Kherson, Zaporizhzhya, Donetsk regions), lakes and rivers. A variety of mineral waters are available in many regions of Ukraine, and therapeutic mud — in the areas of Berdyansk, Mariupol, Cherche (Ivano-Frankivsk region), in salt lakes and estuaries.

The historical and cultural heritage of Ukraine is of high value and can adequately represent the country at the global tourism market. There are objects with a long history that have been preserved. So, the age of the archaeological site of the Early Paleolithic in Transcarpathia (Vynogradsky district) is about a mln years old, and the Cyril site (Kyiv) — about 40 000 years old.

About 130 000 objects of cultural heritage are registered in the state. Of these: 52 % — objects of archeology, 35 % — history, 10.6 % — architecture and urban planning, 2 % — monumental art. There are also 327 objects of landscape gardening art, 219 landscape objects and 92 objects of science and technology. The following regions are rich in objects of historical and cultural heritage (excluding Crimea): Dnipro, Odesa, Kharkiv, Zaporizhzhya, Lviv, Cherkasy, Chernihiv, Kyiv. They account for almost ¾ of the monuments registered in the state.

Of particular interest to tourists are 6 monuments (0.6 % of the global total amount) included in the UNESCO World Heritage List. In 401 settlements of the country, there are cultural heritage objects, planning and form of development that are typical for specific cultures or periods of development and have been fully or partially preserved[1].

The central position of Ukraine in European geospace, moderate-favorable geopolitical situation, comfortable climatic conditions for living, availability of personnel, natural and historical-cultural attractions, tolerance and hospitality of Ukrainian residents favor the development of tourism in the country. At the same time, instability of socio-economic development, military operations in the east of the country, insufficient level of development of tourism infrastructure, environmental pollution in some regions, recommendations of the government of some countries not to visit Ukraine since 2014 due to unsafe and unstable situation, etc. negatively affect tourist flows to our country. However, in recent years, there have been positive changes in the tourism business of Ukraine.

---

[1] The concept of state policy of reforming the protection of immovable cultural heritage. Web resource: http://mincult.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=245358162&cat_id=244993460

According to the typology of the countries of the world in terms of international tourism development by A. Alexandrova, Ukraine can be attributed to the countries of the semi-periphery of the world tourist space [Alexandrova, 2016, p. 19], where the development of the tourism market is associated with transformational processes, the transition to a civilized market.

Now at the world tourist market, Ukraine takes 75th place in terms of domestic tourist consumption in constant prices in 2011 and 104th in terms of the real rate of growth, 90th in terms of expenses of international tourists within the country and 63th in terms of the real rate of growth, 93th in terms of direct contribution of tourism to GDP, 121st — in terms of the share of international tourism revenues in exports. These and some other indicators show a low level of tourism development in the country.

Tourism potential of Ukraine is not yet fully claimed, which is also reflected in the low contribution of the tourism industry to GDP and employment. It had maximum values in 2004 for the period 2000–2018, which decreased significantly during the crisis years and did not reach the level of 2004 in subsequent years (fig. 1).

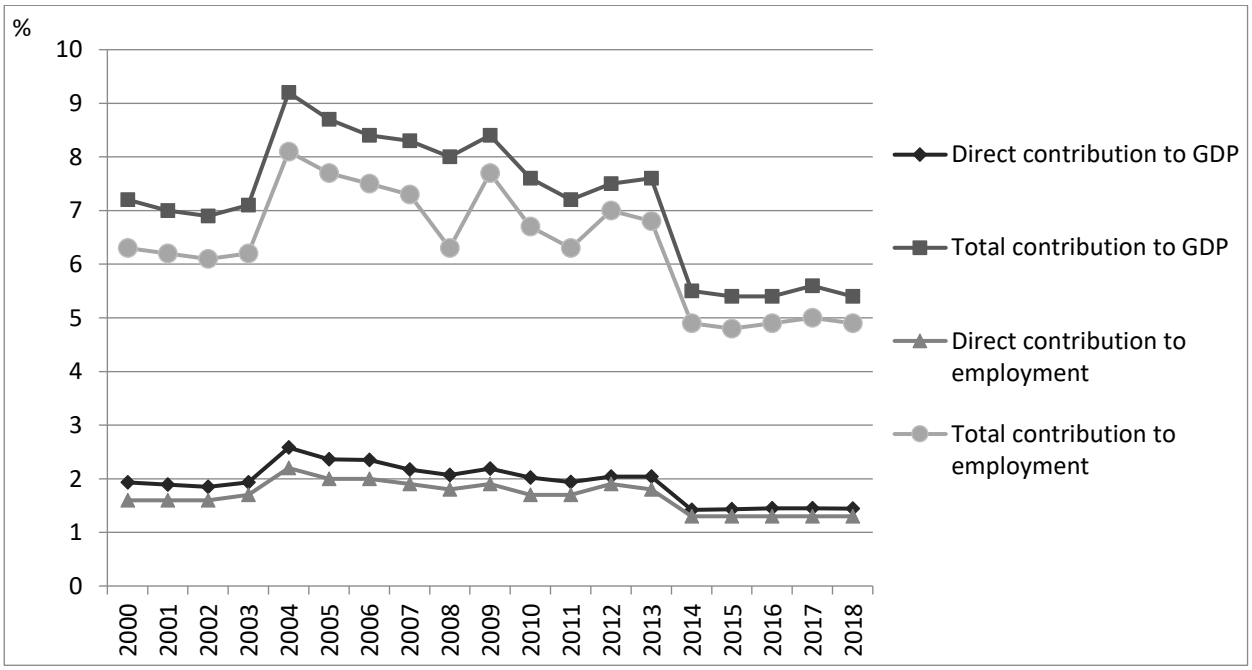


Fig. 1. T&T Direct and Total contribution to GDP and to employment, %

In 2004, the total contribution of T&T to GDP growth was 45.9 %, and the direct contribution was 50.52 %. However, in 2012–2013, as a result of improving tourism infrastructure and activities related to the preparation and holding of Euro-2012, enhancing the country's tourist image, the economic importance of the industry has increased. In 2013, the share of direct and full contribution, respectively, to GDP was 2.04 % and 7.6 %, and to employment — 1.8 % and 6.8 %. But in 2014 and 2015 as a result of the socio-economic and political crisis, events in Crimea, military operations in the east of the country, the role of tourism in Ukrainian economy decreased. In the following years, there has been a fragile trend of economic activity in the tourism business (table 1), which is generated by the functioning of travel agencies and tour operators, enterprises in tourist accommodation and transport sectors. However, in 2018, the total contribution of T&T to the GDP growth rate amounted to -0.05 %, and the direct contribution — 2.46 %. The reduction in employment directly in tourism and in tourism-related industries has led to a decrease in the industry's contribution to GDP[1].

[1] World Data Atlas. Web resource: https://knoema.com/atlas/topics/Tourism (accessed 5 Jan 2020)

Table 1. T&T Direct and Total contribution to GDP and to employment in Ukraine

	Direct contribution to GDP*		Total contribution to GDP*		Direct contribution to employment		Total contribution to employment	
	US$ bn	growth, %	US$ bn	growth, %	thou-sand person	growth, %	thou-sand person	growth, %
2012	3	5.16	10.3	5.2	384.0	13.07	1,424.6	11.54
2013	3	0.18	10.4	0.99	367.9	-4.19	1,388.2	-2.56
2014	2	-34.89	7.0	-32.23	226,0	-38.59	887.5	-36.07
2015	2	-9.64	6.2	-11.91	206.6	-8.56	789.7	-11.02
2016	2	4.10	6.4	3.72	208.6	0.95	793.0	0.42
2017	2	2,52	6,8	5,44	207.8	-0.40	812.0	2.39
2018	2	2,46	6,8	-0,05	206.2	-0.77	791.0	-2.59

*In real prices (2011)

In Ukraine, tourism sector's development is mainly hampered by factors of a managerial, economic, social, environmental and cultural nature. Despite the fact that WTTC believes that tourism in Ukraine shows positive trends and is a promising industry, its contribution to the country's economy is lower than the average for the world and Europe (table 2) [*Iurchenko, Iurchenko,* 2018, pp. 15–16].

Table 2. T&T Estimates & forecasts (World, Europe, Ukraine)[1]

	World			Europe			Ukraine		
	2017	2028		2017	2028		2017	2028	
	1	1	2	1	1	2	1	1	2
Direct contribution to GDP	3.2	3.6	3.8	3.6	3.9	2.4	1.5	1.7	2.7
Total contribution to GDP	10.4	11.7	3.8	9.9	10.7	2.2	5.7	6.6	3.0
Direct contribution to employment	3.8	4.2	2.2	3.8	4.6	1.7	1.4	1.6	1.4
Total contribution to employment	9.9	11.6	2.5	9.8	11.2	1.3	5.1	6.0	1.5
Visitor exports	6.5	6.9	4.1	5.9	6.7	3.7	3.3	5.1	4.5
Domestic spending	5.0	5.8	3.9	5.3	5.4	1.7	3.4	3.6	2.2
Leisure spending	2.5	2.8	4.1	2.8	3.1	2.4	1.3	1.5	2.9
Business spending	0.7	0.8	3.2	0.8	0.9	2.3	0.2	0.2	4.7
Capital investment	4.5	5.1	4.4	4.9	5.6	2.9	1.9	2.6	5.0

1 — % of total; 2 — annualized real growth adjusted for inflation in 2018–2028, %

According to the WTTC forecast, by 2028, compared with 2017, the gap between Ukraine and the world and Europe will increase in terms of the shares of the direct contribution of T&T to GDP, employment, vacation expenses, expenses for business tourism and the gap in the share of exports associated with the arrival of tourists in the total export of the country. At the same time, the difference between the indicators of capital investments' share in their total volume will not practically change, despite the high growth rates in the next decade. This is an unfavorable circumstance, since the tourism sector in Ukraine needs an investment inflow. However, Ukraine's neighboring countries are medium-developed countries. Many of them are in a state of reforming economic systems and have internal problems. It is also not expected that there will be a significant

[1] Travel & tourism economic impact 2018 World. Web resource: https://www.wttc.org/-/media/files/reports/economic-impact-research/regions-2018/world2018.pdf (accessed 15 Jan 2019); Travel & Tourism Economic Impact Europe 2018. Web resource: https://www.wttc.org/-/media/files/reports/economic-impact-research/regions-2018/europe2018.pdf (accessed 15 Jan 2019); Travel & Tourism Economic Impact Ukraine 2018. Web resource: https://www.wttc.org/-/media/files/reports/economic-impact-research/countries-2018/ukraine2018.pdf (accessed 15 Jan 2019)

influx of tourists and investments into the tourism business from highly developed countries that are in second and third "neighborhood zones". According to the WTTC forecast, by 2028 the growth rate of expenses for business tourism will be higher than expenses for leisure and will significantly exceed similar indicators for the world and Europe**.** Business tourism may become a priority in the tourism policy of the country. At the same time, at higher growth rates than the world and Europe average, Ukraine will increase the share of domestic expenses of foreign tourists traveling for business and tourism purposes, including the share of transportation costs, but except for international costs on education.

Among the neighboring countries, in terms of absolute and relative indicators of T&T contribution to the country's GDP, Ukraine is ahead of Belarus and Moldova only, and in terms of relative indicators of direct contribution — Romania and Russia, full contribution — Moldova, Poland and Russia. At the same time, in absolute terms of the direct and full contribution to employment in the T&T sector, Ukraine is ahead of many countries, which indicates the low efficiency of tourism development in the country. This is also shown by indicators of capital investment and number of tourist exports. In 2017, Ukraine was ranked 106th among the 173 countries of the world in terms of capital investments in T&T and 163rd in their share in total capital investments, which is significantly lower than the world average and European average. Its neighbors in the world ranking by the first indicator were Serbia and Malta, and by the second — Libya and Suriname. However, in terms of tourism exports (89th place) and its share in total exports (144th place), the country's position is higher than in terms of capital investments[1] .

Table 3. Travel & Tourism Competitiveness of Ukraine[2]

Index	2013		2017		2019	
	Rank	**Score[1]**	**Rank**	**Score[1]**	**Rank**	**Score[1]**
Global Rank, Overall Score	76	3.98	88	3.5	78	3.7
Enabling Environment	…	…	78	4.6	65	5.0
Business environment	114	3.90	124	3.71	103	4.1
Safety & security	77	4.65	127	3.51	107	4.8
Health and hygiene	8	6.55	8	6.63	11	6.5
Human resources & labor market	65	4.93	41	4.89	48	4.8
ICT readiness	70	3.13	81	4.15	78	4.5
T&T policy and enabling conditions	…	…	85	4.1	70	4.5
T&T Prioritization of Travel & Tourism	84	4.24	90	4.29	92	4.3
International Openness	…	…	78	2.94	55	3.7
Price competitiveness	110	4.01	45	5.19	19	5.9
Environmental sustainability	92	4.30	97	3.86	114	3.9
Infrastructure	…	…	79	3.1	73	3.4
Air transport infrastructure	78	2.80	79	2.40	71	2.7
Ground & port infrastructure	73	3.52	81	3.01	77	3.1
Tourist service infrastructure	50	4.63	71	4.00	65	4.3
Natural and cultural resources	…	…	88	2.2	89	2.1
Natural resources	102	3.03	115	2.26	116	2.2
Cultural resources & business travel	80*	2.08*	51	2.14	55	1.9

[1] Overall score range from 1 to 7, where 1 = worst and 7 = best

*without resources for business trips; …no data

[1] World Data Atlas. Web resource: https://knoema.com/atlas/topics/Tourism (accessed 10 Jan 2020)

[2] The Travel & Tourism Competitiveness Report 2013. Web resource: http://reports.weforum.org/travel-and-tourism-competitiveness-report-2013 (accessed 10 Jan 2020); The Travel & Tourism Competitiveness Report 2017. Web resource: http://www3.weforum.org/docs/WEF_TTCR_2017_web_0401.pdf (accessed 10 Jan 2020); The Travel & Tourism Competitiveness Report 2019 Travel and Tourism at a Tipping Point. Web resource: http://www3.weforum.org/docs/WEF_TTCR_2019.pdf (accessed 10 Jan 2020)

The competitiveness of countries at the global tourism market can be traced based on data from WEF reports. A total of 8 such surveys were conducted. According to the competitiveness rating, leading positions are held by economically developed countries. Ukraine is in a group of countries with rapidly developing tourism markets. According to WEF 2019, Ukraine did not reach the 2013 level in the TTCI rating and by many other indices (table 3).

However, in general, compared with the previous report, Ukraine went up from 88 to 78 among 140 countries and is on a par with such countries as Dominican Republic, Tunisia and Sri Lanka. Such a highest increase in the overall rating among the countries of the Eurasia subregion became possible due to the stabilization of economic development, the rating improvement in terms of general indicators: business environment (from 124th to 103rd), safety and security (127th to 107th), international openness (78th to 55th) and infrastructure as a whole (from 79th to 73rd). This is significantly more than growth indicators of other factors considered by experts.

In the regional TTCI ranking among 54 countries in Europe and Eurasia, Ukraine was at 47th place ahead of Armenia, Serbia, Albania, Moldova, Tajikistan, Northern Macedonia, Bosnia and Herzegovina and Kyrgyzstan. This position of Ukraine in the world and the region is due to the following low indices: cultural and business travel resources (1.9), natural resources (2.2), development of air infrastructure (2.7), land and water transport (3.1). The country has the highest rating (11th place in the world) in terms of health and hygiene index (6.5), although the country has worsened in terms of this indicator. At the same time, Ukraine is distinguished by its extremely poor quality of road infrastructure (123rd place and 2.7), effect of taxation on incentives to invest (131 and 2.5), property rights (129 and 3.3), business impact of rules on FDI (115 and 3.0), etc.

Ukraine's difficulties in gaining the best positions at the global tourism market are associated with an unfavorable foreign and domestic political situation; low level of socio-economic development, fierce competition for tourists, subjectivity of international experts in assessing certain indicators, for example: natural resources (116th place), environmental sustainability (114th place), business environment (103th place), priority of the tourism industry in the country (92th place), etc.[1]

Lack of investments affects the tourism business of Ukraine. Due to the unstable socio-economic situation, investors refuse to invest in the tourism sector of Ukraine. Although a timid upward trend in investment in recent years is observed.

Economic indicators of tourism development correlate with the volume of tourist flows. By the number of tourist arrivals, Ukraine took 25th place in the world in 2017 and 14th place in Europe, and in terms of the number of departures, respectively — 12th and 7th.

The volume of inbound and outbound tourism in Ukraine has changed very unevenly over time. This was influenced by military operations in Iraq, terrorist acts in Israel, Indonesia, the spread of SARS (8AK8) detected in Asia, North America and Europe, the global financial and economic crisis, military-political events in our country, etc. As a result, the number of tourist arrivals to Ukraine and departures from Ukraine grew steadily but decreased during the crisis years (fig. 2)[2].

Until 2003, the tourism balance had a negative value. In 2004 the situation changed and this figure began to grow rapidly, reaching a maximum (9,950 thousand) in 2008, and after that the difference between the number of arrivals and departures of tourists began to decline with a sharp increase in the latter. Ukrainian tourists began to travel abroad more actively. After the Maidan events and their consequences, the number of foreign tourists decreased in 2014 compared to 2013 by almost 2 times, which in general negatively affects the economy of the country. And

[1] The Travel & Tourism Competitiveness Report 2019 Travel and Tourism at a Tipping Point. Web resource: http://www3.weforum.org/docs/WEF_TTCR_2019.pdf (accessed 10 Jan 2020)

[2] The official website of the State statistics service of Ukraine. Web resource: http://www.ukrstat.gov.ua (accessed 20 Jan 2020)

only in 2016 and 2017, there has been an increase in this indicator, but it has not even reached the 2004 level.

In 2017, the majority of trips to Ukraine were carried out with private goals (96.6 %), which is significantly more than in 2014 (76.3 %). The share of sports tourism in the total number of visits was 2.4 %, business — 0.7 %, organized — 0.3 %. The trend is an increase in travel with business purposes and a decrease in organized tourism. The geography of tourists visiting Ukraine is constantly expanding, but the largest number of tourist arrivals is observed from border countries. In 2017, the Top 10 countries by tourist arrivals (fig. 3) accounted for 89.9 % of the total volume of inbound tourism, and the Top 20 — 94.3 %[1].

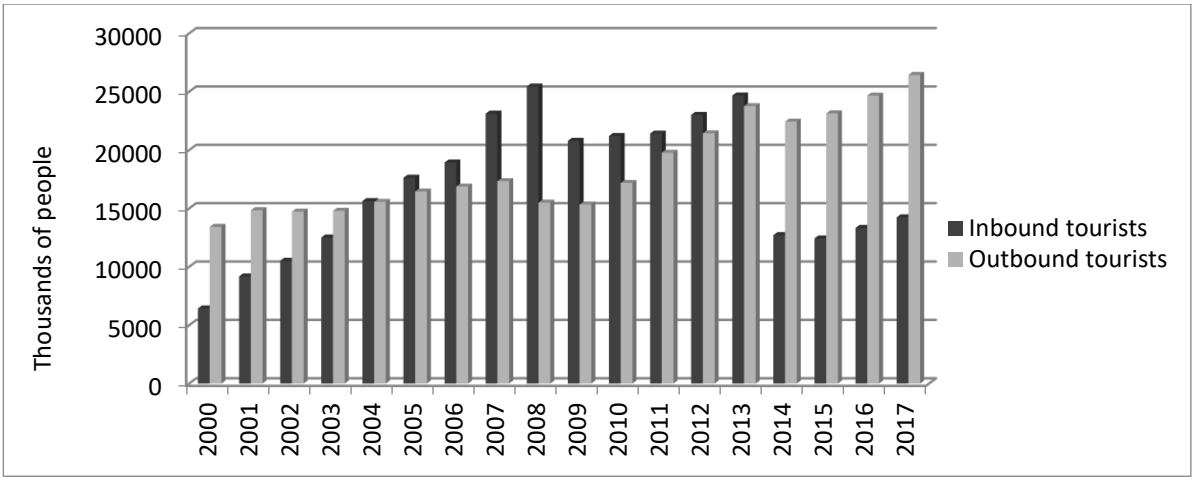


Fig. 2. Amount of inbound and outbound tourists in Ukraine in 2000–2017

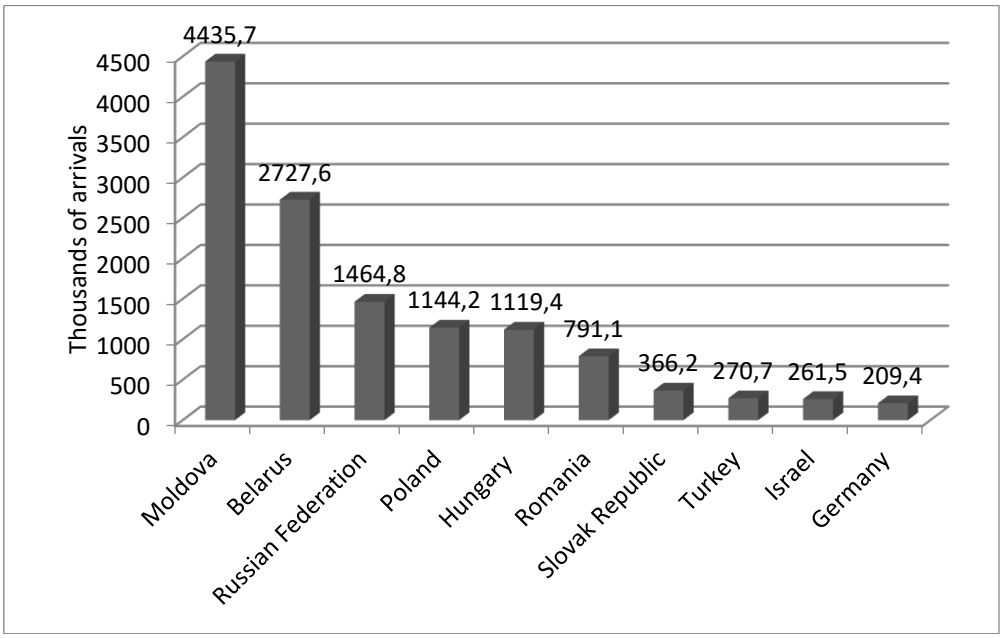


Fig. 3. Inbound tourism in Ukraine in 2017, Top 10 countries

[1] The official website of the State statistics service of Ukraine. Web resource: http://www.ukrstat.gov.ua (accessed 20 Jan 2020)

Traditionally, the main audience of tourist arrivals falls on the countries of Central and Eastern Europe and, above all, on the post-Soviet countries that are accustomed to the Ukrainian level of service. Moldavians and Belarusians go to Odesa region and Carpathian mountains for the purpose of relaxation or shopping. Tourists from Central and Central Asia prefer the beaches of Odesa, as well as Truskavets and Morshin with their sources of mineral water[1].

The following trend has begun: decreasing in arrivals from bordering countries and increasing from non-border countries, for example, from Spain (by 68 %), Great Britain (47.3 %), India (57.4 %), China (38.8 %), Japan (38.3 %), Israel (21.4 %), USA (19 %). In a future, combined tours can be considered, for example: China – Ukraine – Poland – Germany or India – Turkey – Ukraine – Hungary etc.

Significant changes have occurred in the structure of trips abroad carried out by Ukrainian citizens. Compared to 2000, the volume of organized tourism decreased by 7.3 times, business travel — by 3.4 times, and the volume of private travel increased by 2.3 times in 2013. Between 2013 and 2017, an increase in the share of private trips and a decrease in other types of outbound tourism continued. The share of organized tourism is decreasing most rapidly in the travel structure. Of the total number of foreign trips in 2017, 97.3 % were private trips, 1.5 % — organized tourism, 1.2 % — business trips (fig. 4)[2].

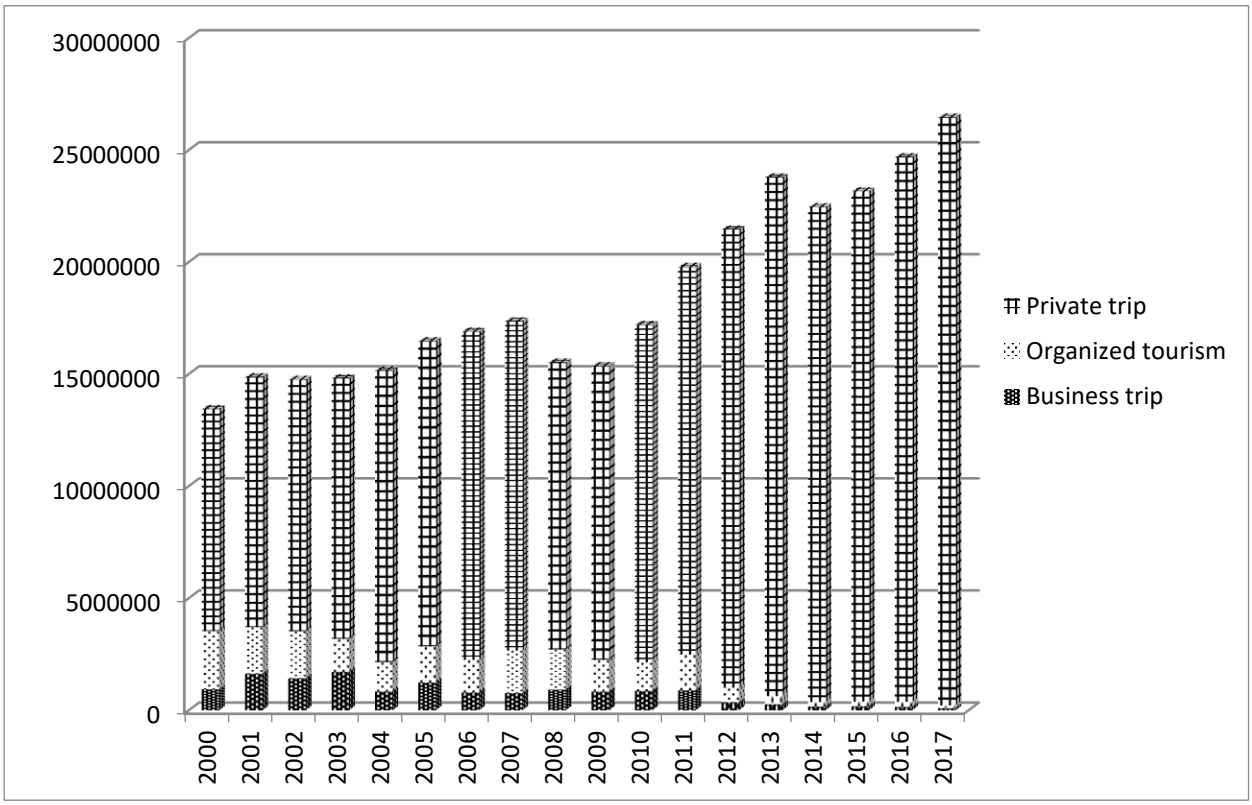


Fig. 4. Outbound tourism in Ukraine by categories in 2000–2017 according to State Border Guard Service of Ukraine data

The increase in the number of unorganized trips to and from Ukraine with tourism purposes is connected with the fact that more and more people are eager to see new countries and regions

[1] Ivan Liptuga. President of the national tourism organization. Web resource: https://www.ukrinform.ru/rubric-tourism/2421417-ivan-liptuga-prezident-nacionalnoj-turisticeskoj-organizacii-ukrainy.html (accessed 25 Jan 2020)
[2] The official website of the State statistics service of Ukraine. Web resource: http://www.ukrstat.gov.ua (accessed 20 Jan 2020)

and are forming tours by themselves. This became possible thanks to information on tourist destinations received from the Internet, media, spreading of budget flights, a well-developed system of booking travel tickets, hotel rooms and other accommodation facilities, excursions, concert tickets, sporting events, etc.

The travel geography of Ukrainian tourists covered 62 countries in 1997, 96 countries in 2000, 77 — in 2011, 71 — in 2012, 75 — in 2015, 71 countries — in 2017. The main partners of Ukraine at the foreign tourism market are neighboring countries, where both tourist and transit trips are directed (fig. 5)[1].

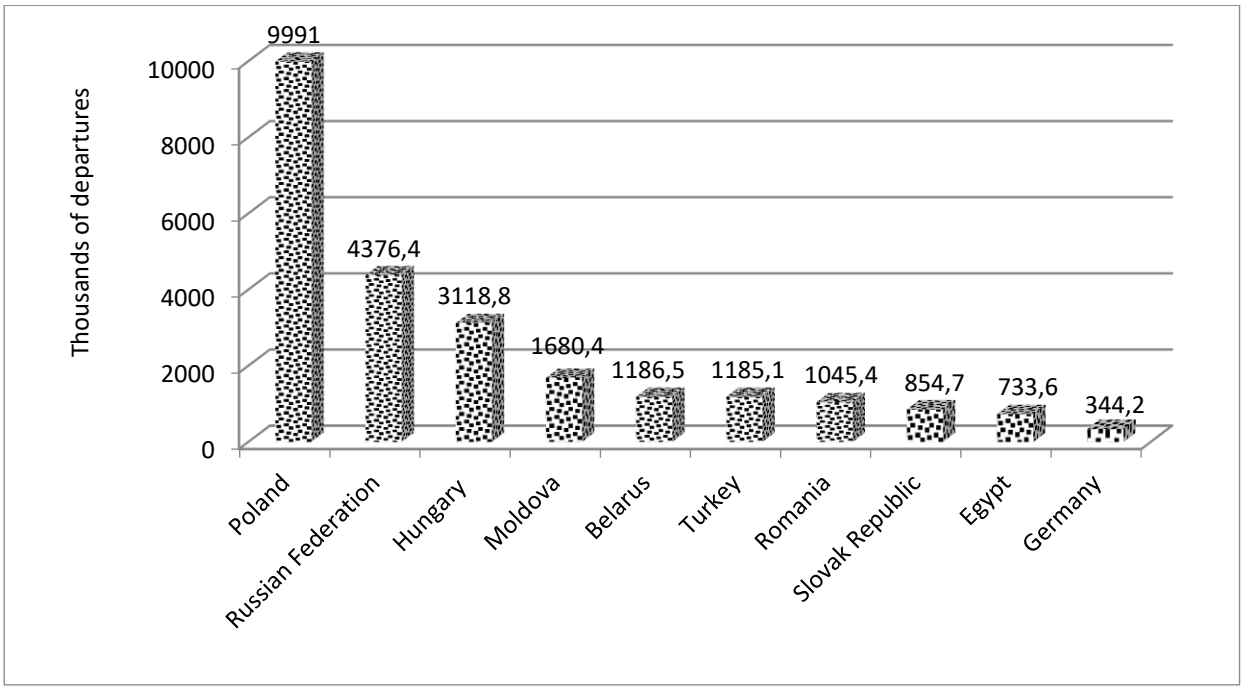


Fig. 5. Outbound tourism in Ukraine in 2017, Top 10 countries

The abolition of the visa regime with EU countries has significantly changed the geography of outbound tourism in Ukraine. So in 2017, compared to 2013, the proportion of Ukrainian citizens traveling to the western border countries increased: Poland (from 29.4 % to 37.8 %, respectively), Hungary (from 8.0 % to 11.8 %), Slovakia (from up to 2.4 % to 3.2 %), Romania (from 3.3 % to 4.0 %) and flows to Russia sharply decreased (from 25.8 % to 16.6 %), Belarus (from 7.3 % to 4.5 %), Moldova (from 10.1 % to 6.4 %). The share of flows to Turkey and Egypt almost doubled. In general, the first 10 destinations accounted for 92.7 % of the total flow (in 2013 — 91.8 %), and the first 20 — 97.4 % (in 2013 — 97.7 %). Thus, there is approximately the same picture for inbound and outbound tourism — for most tourists, a small number of countries are attractive for traveling, but the number of countries as the international tourism destinations is increasing.

In 2014–2018 the activities of tour operators and travel agencies intensified. This generally affected the volume of tourist flows served by them. The volume of inbound tourism, although it has increased, is significantly behind in comparison with outbound and domestic tourism (fig. 6)[2].

[1] The official website of the State statistics service of Ukraine. Web resource: http://www.ukrstat.gov.ua (accessed 22 Jan 2020)

[2] The official website of the State statistics service of Ukraine. Web resource: http://www.ukrstat.gov.ua (accessed 23 Jan 2020)

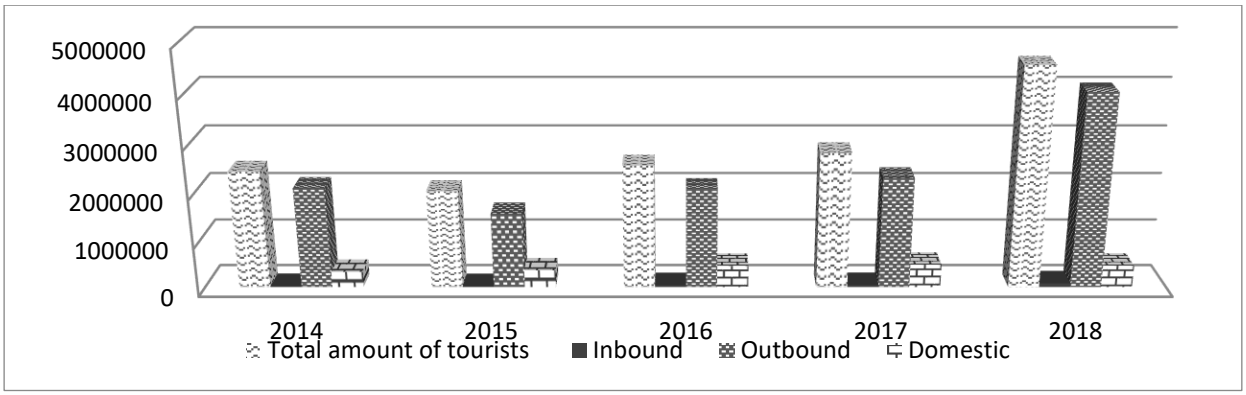


Fig. 6. An amount of tourists that used tour operator or tour agency services in 2014–2018

The state is interested in the development of inbound tourism. According to sociological studies of the Ukranian National Tourism Organization, the average check per day for a local tourist is 200−300 UAH, and for a foreign one — 200 US dollars[1], because foreign tourists stay in hotels most of the time, eat in restaurants and use guide services. However, the flow of inbound tourists was very uneven in time. The range of variation of this indicator in the period of 2000–2013 amounted to 358.3 thousand people and in 2014 (compared to 2013) due to the aggravation of the political and economic situation in the country, it decreased by 13.6 times, but since 2016 it has begun slightly increasing. At the same time, the number of days foreign guests stay in Ukraine (who were served by tour operators and travel agencies) was reduced: in 2017 foreign tourists stayed in the country on average 3 days, and in 2013 — 4.8 days[2].

In 2018, the largest number of foreign guests served by tour operators and travel agents accounted for Kyiv (82.3 %), Lviv (8.8 %), Ivano-Frankivsk (4.7 %) and Odesa (2.7 %) regions. These destinations have diverse tourism potential. For Kyiv and Lviv region with their many historical and cultural attractions, including the presence of UNESCO World Heritage Sites (Kyiv Sophia Cathedral and Kiev Pechersk Lavra, the Ensemble of Lviv historical center), temples, museums, galleries, shopping and entertainment centers. In Ivano-Frankivsk region, guests are attracted not only by mountains and rivers, natural monuments, the Dniester Canyon, but also by new routes to small settlements (Gvozdets, Gorodenka, Tlumach, Obertin), local museums. Vacations on Black Sea coast, as well as educational and sightseeing tourism have always been popular with foreign tourists in the Odesa region. Of particular interest are the Odesa National Academic Opera and Ballet Theater, the Potemkin Stairs, excavations of the ancient cities of Tira and Nikoniy, a fortress of the 12th–15th centuries in the city of Belgorod-Dniester, monuments of religious architecture in the cities of Odesa, Izmail, Kiliya, Reni, etc. “City breaks” i.e. 2–3 night tours with visits to the most famous tourist places in the host city and its environs are the most popular tours. Recently, combined tours, for example, “Kyiv–Odesa”, “Kyiv–Lviv–Odesa”[3], have become popular with foreign guests.

In the regions, tourism is developed very unevenly, as evidenced by the formula calculated by the concentration indices of the population and tourist indicators:

$$I=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\left|P_i - S_i\right|\cdot 100\%,$$

[1] Ivan Liptuga. President of the national tourism organization. Web resource: https://www.ukrinform.ru/rubric-tourism/2421417-ivan-liptuga-prezident-nacionalnoj-turisticeskoj-organizacii-ukrainy.html (accessed 25 Jan 2020)
[2] The official website of the State statistics service of Ukraine. Web resource: http://www.ukrstat.gov.ua (accessed 3 Jan 2020)
[3] Tourist boom: what attracts foreigners to Ukraine. Web resource: https://uatelegraph.com/rus/2019/04/05/turisticheskij-bum-chto-vlechet-inostrantsev-v-ukrainu.html (accessed 13 Jan 2020)

where P_i – the share of the indicator of the i-th region in the total amount of the indicator for the country (according to the data of tour operators and travel agencies);

S_i — the share of the area of the ith region in the total area of the country.

Index values can vary from 0 to 100 (that is, from absolutely uniform to absolutely uneven placement).

Calculations showed that there are significant differences between the distribution of the population (I = 34) and the distribution of tourists (I = 66), income from tourism (I = 85). Thus, not all regions are actively involved in the country's tourism market.

In order to bring the values that are different in absolute values to the same scale, we used the index representation of the indicators of tourism entities' development. Indices were calculated by the formula:

$$I_j = \frac{X_{ji} - X_{j\,min}}{X_{j\,max} - X_{j\,min}},$$

where I_j — index of j-mark;
X_{ij} — present value of j-mark;
X_{jmax} — maximum value of j-mark in a series of observations;
X_{jmin} — minimum value of j-mark in a series of observations [Ukrainian-Russian…, 2013, p. 53].

Then, for each region, an integral index equal to the sum Ij (1–7) was calculated. The results of the calculations allowed us to make a typology of the regions according to the integrated index of tourism entities' development (table 4).

Table 4. Typology of the regions of Ukraine according to the integrated index of development of tourism entities and their indicators[1]

Integral index, level	**Regions**	**The share of the group of regions in the overall indicator by country, %**						
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
7.0 (very high)	Kyiv	30.5	52.2	91.7	69.7	78.5	74.5	79.4
0.3−0.8 (high)	Kharkiv, Odesa, Dnipro, Lviv	30.2	23.1	4.2	18.6	11.0	14.0	9.7
0.1−0.3 (medium)	Cherkasy, Donetsk, Poltava, Zaporizhia, Ivano-Frankivsk	15.5	11.9	2.7	5.2	4.2	3.9	4.4
0−0.1 (low)	Kirovohrad, Ternopil, Zhytomyr, Chernihiv, Sumy, Volyn, Mykolaiv, Khmelnytsky, Kherson, Rivne, Zakarpattia, Chernivtsi, Luhansk	23.8	12.8	1.4	6.5	6.3	7.6	6.5

1 — Number of entities; 2 — Number of full-time employees; 3 — Income from the provision of tourist services (excluding VAT); 4 — Number of sold tourist vouchers; 5 — Cost of sold tourist vouchers; 6 — Number of tours on the sold tourist vouchers; 7 — Number of tourists served by tour operators and travel agents

There is a concentration of tourism entities and the results of their functioning in the regions of Ukraine. More than 60 % of all entities are concentrated in Kyiv, Dnipro, Lviv, Odesa, Kharkiv regions with very high and high values of the integral index. These are regions where the center is the largest city or a city with a population of a million people, developed tourism infrastructure, including the one for business and educational tourism; there are natural, historical and cultural resources for the development of various types of tourism activities. At the same time, 30.5 % of tourism entities are concentrated in Kyiv region. It leads by all indicators by a wide margin from other regions. This situation has developed due to the central position of the region, a large population (4 718.8 people, or 11.2 % as of 01.01.2019), a significant number of consumers of tourist

[1] The official website of the State statistics service of Ukraine. Web resource: http://www.ukrstat.gov.ua (accessed 30 Jan 2020)

services, which is expressed in number of tours, tour days and the number of tourists, affects served by tour operators and travel agents.

A group of regions with an average integrated level of indices has great potential for tourism development. They account for 15.5 % of tourism entities. However, their efficiency is higher than the one among the groups of regions with lower index indicators. A variety of natural, recreational, historical and cultural resources, plenty of archaeological and architectural monuments depicting different stages of history and culture attract not only Ukrainians, but a lot of foreign tourists as well.

The largest group is formed by regions with a low level of tourist activity (54.2 % of the total amount). The number of tourism entities in the regions of this group does not exceed 100. They have minimal income from functioning, and their contribution to the tourism development of the country is still insignificant. On the other hand, in some regions of this group, there is an influx of tourists who organize their own tours using the Internet. For example, in summer, not only Ukrainian tourists, but also foreign guests like to relax on Black Sea coast (Mykolaiv region). The architectural heritage represented by palaces, historical monuments of the 18th–20th centuries, as well as parks, park buildings, a large number of monuments of animate and inanimate nature, objects of the nature reserve fund attract tourists to the Chernivtsi and Khmelnitsky regions. Sources of mineral waters in the Chernivtsi region, ski resorts contribute to the development of health and mountain tourism. However, the price-quality ratio of tourism infrastructure holds back tourism development in these regions.

The calculated correlation coefficients indicate a very close relationship between the income of tourism entities and the number of enterprises (R = 0.93), full-time employees (R = 0.98).

The vast majority of tourist trips served by tour operators and travel agents are carried out for the purpose of entertainment and recreation. The visa-free regime between Ukraine and the EU, introduced on June 11, 2017, contributed to the growth of this indicator and a decrease in the share of other types of tourism (table 5).

Table 5. Distribution of tourists served by tour operators and travel agents, by purpose of trip and type of tourism (%)[1]

	2014	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Business and professional, educational	6.16	9.09	7.1	7.03	4.77
Leisure, recreation	92.07	84.33	85.5	89.69	93.17
Healthcare	1.2	1.8	3.75	2.83	1.76
Sport tourism	0.14	0.14	0.15	0.1	0.08
Specialized tourism	0.01	0.06	0.03	0.09	0.04
Other	0.42	4.58	3.47	0.26	0.18
Total	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**

The average cost of one tour is 21,228.05 UAH ($ 1=27 UAH). It ranges from 6,744 UAH (Lviv Region) to 29,903 UAH (Kyiv Region without the city of Kyiv). As a rule, this indicator is higher in regions, where the share of outbound tourists served by tour operators and travel agents is greater, and the share of the rural population is lower. The duration of the tour with an average value of 6.4 days varies from 3.9 (Khmelnitsky Region) to 11.4 days (Lviv Region).

An important problem for tourism entities is the availability of qualified personnel. In 2018, only 39 % (45.6 % in 2014) of employees of tourism enterprises had higher or specialized education in the field of tourism. The range of variation by region was 51 %. In 2014–2018 the number of workers in this category decreased by 14.1 % with a general decrease in the number of

[1] The official website of the State statistics service of Ukraine. Web resource: http://www.ukrstat.gov.ua (accessed 30 Jan 2020)

employees. In the coming years, the task is to improve existing and create new educational institutions to improve the skills of middle-level and entry-level tourism workers, and to create courses on topical issues of their practical activities. According to a successful experience of other countries in the field of tourism, regular in-house trainings will also help to increase the efficiency of enterprises.

One if the main problems in Ukraine is that out of the total number of tour operators, only 13.7 % comply with licensing conditions and only 6 % of accommodation facilities have "stars" (from 1 to 5). Currently, the National Tourism Organization of Ukraine, together with the leading global company for verification, testing and certification (SGS), conducts voluntary certification, and Ukrainian companies are invited to raise the level by these standards.

Tourism in Ukraine is one of the promising areas of socio-economic development of the country, its regions and cities. According to the version of portal Zruchno.Travel, in 2018 Kyiv was recognized as the tourism leader. The following cities are also included in the Top 10 tourist leaders of Ukraine: Kamenetz-Podilsky (festival capital of Ukraine), Chernihiv (city of legends), Zaporizhzhya (breakthrough of the year), Lutsk (the most mysterious city), Lviv (gastronomic capital), Ternopil (outpost of Ukraine), Odesa (capital of humor), Uzhhorod (capital of wine tourism), Kharkiv (city of youth)[1].

In 2017, the "Development of Tourism and Resorts Strategy for the period until 2026" was adopted, which reflects the prospects for the development of the tourism sector in Ukraine. Its implementation is based on 5 basic areas: marketing, infrastructure, human resources, tourist safety and regulatory framework. Thus, the development of tourism and resorts will be one of the priorities of state policy[2].

CONCLUSIONS

Ukraine is located in the center of the European tourist macro-region. It has enough resources to replenish GDP through tourism.

Tourism in the country is developing unevenly in time and space, depending on global and domestic processes. Currently, it is gradually gaining momentum after the crisis of 2013−2014. However, Ukraine falls behind many European countries and other countries of the world in terms of the development of tourism infrastructure and the quality of tourism services. Huge tourist potential is not used effectively. The contribution of tourism to GDP, employment is far behind the world and European levels.

The analysis showed that foreigners have an interest in visiting our country. But after 2013, the number of tourist arrivals sharply decreased, and the outbound tourism flows significantly exceed the inbound flows. The structure of trips is dominated by trips with private goals, whose share is constantly growing.

After the abolition of the visa regime with EU countries, the proportion of Ukrainian citizens traveling to the western border countries, as well as to Turkey and Egypt, increased. The largest number of tourists comes from border countries. Central position of the country in the European tourist macro-region allows you to create combined tours with minimal cost.

The activities of tour operators and travel agencies become more vigorous. The number of tourists served by them is increasing. However, the number of tourist departures served by tourism entities significantly exceeds the number of arrivals and domestic. The main purpose of travel is leisure and recreation, whose share is growing.

---

[1] Top 10 Cities of the Year — tourism leaders in Ukraine 2018. Web resource: https://zruchno.travel/News/New/3282?lang=ua (accessed 8 Jan 2020)

[2] About approval of Strategy of development of tourism and resorts for the period until 2026. Web resource: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/168-2017-p. (accessed 3 Jan 2020)

Calculations of the integral index of tourism entities' development based on 7 indicators made it possible to identify 4 groups of regions. Moreover, each group of regions has wide opportunities for the development of tourism activities. Such a typology may be of theoretical and practical interest, especially for administrations of the National Tourism Organization and tourist companies of Ukraine. It is necessary to prioritize specific types of tourism and develop appropriate marketing strategies to promote tourism products at the domestic and macro-regional tourism markets.

Further trends in tourist activity will depend on many factors: the stability of the internal military-political and socio-economic situation, attracting investments, developing infrastructure and improving the quality of services, the effectiveness of tourism development strategies and incentive systems at the state and regional levels, and improving the training of qualified personnel of tourism business, specific actions of the authorities (including local authorities) for the development of territories, widespread advertising of tourist destinations not only within the country, but also abroad.

Also relevant is the study of management experience in the tourism industry in developed tourism countries, the role of the state non-governmental sectors, creation of mechanisms to improve the investment climate to attract domestic and foreign investments, issues of sustainable development in the country's tourism in the context of globalization of the modern world.

REFERENCES

1. *Alexandrova A.Y.* Typology of countries around the world in terms of the development of international tourism. Geography and Natural Resources, 2016. No 1. P. 14–22 (in Russian).
2. *Aleksandrova A.Y., Stupina O.G.* Tourist regional studies: the impact of regional integration on the global tourism market. Moscow: KNORUS, 2014. 176 p. (in Russian).
3. *Baburin V.L., Mazurov Y.L.* Geographical foundations of management. Moscow: Delo, 2000. 288 p. (in Russian).
4. *Balabanov G.* Modern Ukraine through the prism of cross-border population flows. Economic and Social Geography, 2015. V. 1. P. 10–17 (in Ukrainian).
5. *Baloglu S., Bringberg D.* Affective images of tourism destinations. Journal of Travel Research, 2006. No 35 (4). P. 11–15.
6. *Baretje R.* Tourism's external account and balance of payments. Annals of Tourism Research, 2005. No 9 (2). P. 57–67.
7. Geographical aspects of tourism development (on the example of Ukraine and Poland). Chernivtsi: Chernivtsi National University, 2010. 344 p. (in Ukrainian).
8. *Gontarzhevskaya L.I.* Tourist services market in Ukraine. Donetsk: Publishing House "Eastern", 2008. 180 p. (in Ukrainian).
9. *Harris G., Katz K.* Stimulating international tourism in the 21st century. Moscow: Finance and Statistics, 2000. 238 p. (in Russian).
10. *Iurchenko O., Iurchenko S.* Problems and prospects of international tourism development in Ukraine. Science and Education a New Dimension. Humanities and Social Sciences, 2018. V. VI (29). Iss. 178, Sept. P. 14–17. Web resource: https://doi.org/10.31174/SEND-HS2018-178VI29-03. (accessed 15.12.2019) (in Russian).
11. *Kasimoglu M.* Visions of Global Tourism Industry. Creating and Sustaining Competitive Strategies. Croatia: InTech., 2012. 490 p.
12. *Kvartalnov V.A.* Foreign tourism. Moscow: Finance and Statistics, 2003. 227 p. (in Russian).
13. *Lyubitseva O.O, Pankova E.V, Stafiychuk V.I.* Tourist resources of Ukraine. Kiev: Alterpress, 2007. 369 p. (in Ukrainian).
14. *Melnichenko O., Shvedun V.* Features of development of the tourism industry in Ukraine. Kharkov: Publishing House of NOVSU, 2017. 153 p. (in Ukrainian).
15. *Mill R.Ch., Morrison A.M.* The Tourism System: An Introductory text. New Jersey: Prentice – Hall Inc., 2013. 506 p.

16. *Oleynik I.B., Shishchenko P.G., Lyubitseva O.O. et al*. Strategy for sustainable tourism development in Ukraine: a geographical approach. Geography in the Information Society. Kiev: Horizons, 2008. V. 1. P. 191–199 (in Ukrainian).
17. *Parfinenko A.* International tourism in Ukraine: geopolitical aspects of the global phenomenon. Actual Problems of International Relations, 2015. V. 126. Part 1. P. 12–23.
18. *Shcherbakova S. A.* Geoeconomics of International Tourism. Smolensk: Universum, 2004. 192 p. (in Russian).
19. *Sidorov M.V., Iurchenko O.E., Iurchenko S.O.* Ukraine on the world tourism market: current state and prospects of development. Kharkov: V.N. Karazin University, 2017. 256 p. (in Ukrainian).
20. *Tarasenok A.I.* Geoeconomic mechanism for ensuring the competitiveness of tourist destinations (on the example of the Republic of Belarus). Minsk: Belarus State Econ. University, 2016. 199 p. (in Russian).
21. *Tkachenko T.I.* Sustainable tourism: theory, methodology, business realities. Kiev: Kiev National Trade and Economic Institute, 2009. 463 p. (in Ukrainian).
22. Ukrainian-Russian cross-border cooperation: current situation and prospects. Kharkov: V.N. Karazin University, 2013. 240 p.

УДК: 379.85 **DOI: 10.35595/2414-9179-2020-3-26-451-466**

И.И. Волкова[1]

РАЗВИТИЕ САНАТОРНО-КУРОРТНОЙ СФЕРЫ НА УКРАИНЕ

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена развитию санаторно-курортной сферы на Украине.

В работе дана оценка запасов минеральных вод в стране, выделены основные их типы и функционирование на них бальнеологических курортов. Рассмотрены основные группы лечебных грязей, их распределение на территории страны и развитие на их базе грязевых курортов. Описаны природные условия Украины и их пригодность для развития приморского, горного и равнинного климатолечения. Приводится история развития основных бальнеологических, грязевых и климатических курортов. Рассматриваются природные ресурсы для развития приморской, горной и равнинной рекреации на территории страны.

В работе проведен анализ развития санаторно-курортной инфраструктуры. Дана количественная оценка санаторно-курортных учреждений, их структура, динамика за последние годы, их территориальная организация по стране. Приводится рейтинг областей по лечебно-оздоровительным и рекреационным предприятиям. Дана характеристика количества мест в специализированных средствах размещения. В работе также рассматриваются туристические потоки с целью отдыха и лечения. Проводится анализ лиц, которые пребывали в специализированных средствах размещения: их количество, динамика за последние годы, территориальное размещение и рейтинг регионов по количеству прибытий. Дана характеристика туристических потоков с целью лечения и отдыха из других стран. Приводится рейтинг стран, из которых прибывали иностранные туристы. Был рассмотрен обслуживающий персонал санаторно-курортных учреждений и структура его занятости. В работе был проведен анализ доходов от санаторно-курортной деятельности, распределение их по различным категориям санаторно-курортных учреждений и рейтинг областей по получению доходов от санаторно-курортной деятельности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: санаторно-курортная сфера, санаторно-курортное лечение, рекреация, санаторно-курортная инфраструктура, санаторно-курортная деятельность

Irina I. Volkova[2]

DEVELOPMENT OF SANATORIUM-FIELD IN UKRAINE

ABSTRACT

The article is dedicated to the development of sanatorium and health resort sphere in Ukraine. The paper estimated reserves of mineral water in Ukraine, defines its main types and studies the activity of basic balneological resorts. The main group of therapeutic mud, their distribution in the country and development of mud resorts on their base are examined. The natural conditions and resources of Ukraine and their suitability for the development of the coastal, highland and lowland climate treatment are described. The article considers the history of development of the major balneological, mud and climatic resorts.

[1] Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, кафедра туристического бизнеса и страноведения, пл. Свободы, д. 4, 61022, Харьков, Украина; *e-mail:* **volkova@karazin.ua**

[2] V.N. Karazin Kharkiv National University, Department of Tourism and Regional Studies, Svoboda Square, 4, 61022, Kharkov, Ukraine; *e-mail:* **volkova@karazin.ua**

The paper analyzes the development of sanatorium and resort infrastructure. The quantitative estimation of spa facilities, their structure, dynamics of development in recent year and their territorial organization in the country are made. The article shows the ranking of regions according to the amount of medical wellness and recreational businesses as well as the number of places in special accommodation facilities. The paper also studies the tourist flows that travel with purpose of rest and treatment. The number of the individuals placed in specialized accommodation facilities, their dynamics in recent years is analyzed as well as their geographic location and ranking of regions in the number of tourist arrivals.

The characteristics of inbound tourist flows that travel with the purpose of treatment and rest are given. The paper provides a ranking of countries, from which foreign tourists are coming. The article also characterizes the service staff of spa facilities and the structure of employment. The paper analyzes the income from the health resort activities, its distribution for the various categories of spa facilities and raking of regions according to the income received from health resort activities.

KEYWORDS: sanatorium and health resort sphere, sanatorium and health resort cure, recreation, sanatorium and health resort infrastructure, sanatorium and health resort hospitality

ВВЕДЕНИЕ

Курортная отрасль — одно из основных направлений туризма и играет большую роль в лечении и оздоровлении населения. Лечебный и рекреационный туризм является одним из самых массовых видов туризма в мире. Санаторно-курортная сфера оказывает большое влияние на развитие экономики регионов и стран.

На Украине большое разнообразие курортных ресурсов, что способствует развитию санаторно-курортной отрасли. В стране хорошо развита санаторно-курортная инфраструктура, в которой задействовано значительное количество работников. В санаторно-курортных предприятиях ежегодно оздоравливается не только население Украины, но и большое количество иностранцев. Деятельность санаторно-курортной сферы приносит доходы в экономику туризма и способствует развитию регионов. Всё это обусловливает актуальность исследуемой темы.

Предметом исследования статьи является развитие санаторно-курортной сферы Украины. Цель работы — характеристика природных рекреационных ресурсов, оценка санаторно-курортной инфраструктуры и анализ санаторно-курортной деятельности Украины.

Вопросы развития курортной сферы отображены в работах таких отечественных учёных, как О. Любицева, Н. Фоменко, В. Стафийчук, М. Рутинский, Г. Заварика, Ю. Мигалина, О. Кравец, А. Рябев, С. Малахова, О. Черепок, Н. Волох и др.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При написании статьи использовались материалы следующих авторов: Н. Барчуков, В. Боголюбов, И. Волкова, М. Лобода, О. Любицева, Ю. Науменко, М. Пишная, В. Стафийчук и др.

Анализ санаторно-курортной инфраструктуры и деятельности санаторно-курортных предприятий проводился по материалам статистического сборника Государственной службы статистики Украины «Коллективные средства размещения в Украине в 2017 году» (Киев, 2018).

В работе применялись такие методы исследования, как описательный, статистический, аналитический, графический.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ[1]

На Украине имеются все виды ресурсов для развития санаторно-курортной деятельности. Она является самой богатой страной в Европе по количеству и качеству природных факторов — минеральных вод, лечебных грязей и климатических условий.

Украина располагает огромными запасами лечебных минеральных вод. На её территории обнаружено около 500 источников разных минеральных вод [*Барчуков,* 2006]. Страна занимает 4-ое место в Европе по разведанным водным запасам — 2,4 млн/м^3, после Австрии, Венгрии, Германии, одновременно используя только на несколько % свои водные запасы. Подземные минеральные и лечебно-столовые воды разведаны в 159 месторождениях[2]. На их базе проводится бальнеолечение.

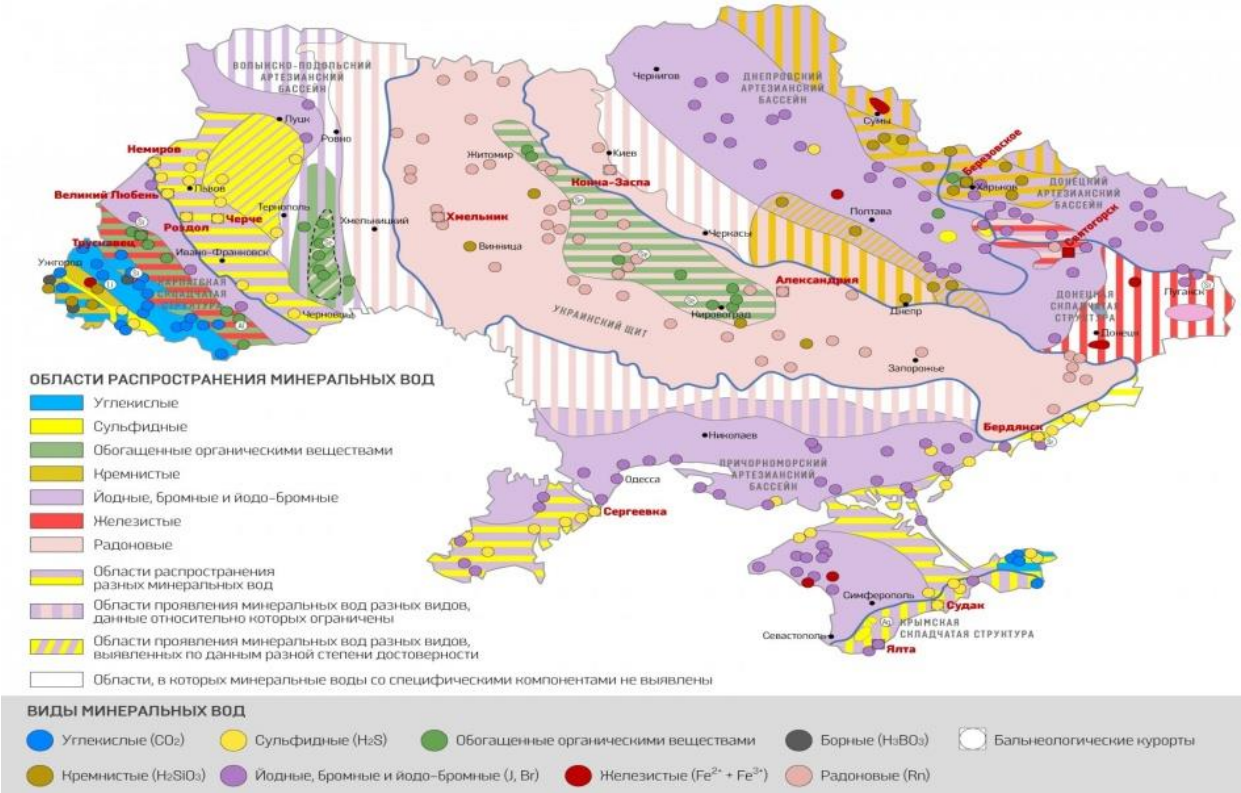


Рис. 1. Распространение минеральных вод по территории Украины (t-pravda.net)
Fig. 1. Distribution of mineral waters in Ukraine (t-pravda.net)

Бальнеолечение на Украине начало развиваться в XV–XVI вв. в Карпатском регионе. Первые курорты Шкло и Любень Великий были основаны в Львовской области в 1576 и 1578 гг. С начала XVII в. бальнеолечение начинает развиваться в Закарпатье. В конце XVIII в. были основаны такие курорты, как Голубиное (1781), Квасы (1789), Свалявский курорт (1800). В первой половине XIX в. начали функционировать курорты в Львовской области — Немиров (1814) и Трускавец (1827), а во второй половине XIX в. — курорт Моршин (1876). В середине XIX в. бальнеолечение начинает развиваться на Левобережье Украины в Харьковской области. 1862 г. считается годом рождения курорта Берёзовские

[1] Данные в статье приводятся без учёта АР Крым и части территорий Донецкой и Луганской областей
[2] Минеральные воды Украины. Википедия. Электронный ресурс: www. uk.wikipedia.org/wiki.
Mineral waters of Ukraine. Wikipedia. Web resource: www. uk.wikipedia.org/wiki

минеральные воды (Берминводы). В конце XIX в. в Закарпатье начинают функционировать новые курорты Синяк (1873) и Соймы (1900). В XX в. были основаны курорты Миргород (1917) в Полтавской области, Хмельник (1934) в Винницкой области, Шаян (1958) и Квасы (1958) в Закарпатской области.

На территории Украины имеются минеральные воды почти всех основных бальнеологических групп [*Аксентийчук и др.,* 2005].

На Украине одна из самых многочисленных групп минеральных вод хлоридно-натриевые. Их применяют внутрь и наружно для лечения органов пищеварения и обмена веществ на бальнеологических курортах Миргород в Полтавской области, Трускавец и Моршин в Львовской области, Горынь в Ровенской области, Куяльник и Большой Фонтан в Одесской области, а в Трускавце на лечении заболеваний почек, печени, мочевыводящих и желчных путей. На грязевых и климатических курортах хлоридные натриевые воды применяют для лечения нервной системы и органов кровообращения. На грязевых курортах Бердянск и Кирилловка в Запорожской области хлоридные натриевые воды используют только для наружного применения, а на курорте Славянск Донецкой области, как для внутреннего, так и для наружного. На климатических курортах Большой Фонтан, Аркадия в Одессе и Очаков в Николаевской области их используют только для наружного применения. Помимо названных курортов хлоридно-натриевые воды применяют для лечения в санаториях Волынской, Днепропетровской, Луганской, Сумской и Черниговской областей.

Минеральные воды с высоким содержанием органических веществ используют для внутреннего применения для лечения заболеваний органов пищеварения, мочеполовой системы и сахарного диабета на курортах Трускавец в Львовской области, Сатанов в Хмельницкой области и Березовские минеральные воды в Харьковской области. Воды с таким химическим составом применяются также в санаториях Хмельницкой и Тернопольской областей.

Углекислые минеральные воды расположены на территории Закарпатской области и их употребляют для лечения органов пищеварения. На курортах Поляна, Голубиное, Соймы и Шаян их используют как для внутреннего, так и для внешнего применения, а на курорте Квасы только для внешнего. Углекислые минеральные воды, кроме Закарпатья, используются также для лечения в санаториях Черниговской области.

Основной район залегания сероводородных вод Предкарпатье и Закарпатье. Их используют только для наружного применения для лечения заболеваний нервной системы и органов движения в Львовской области на курортах Любень Великий и Немиров, в Ивано-Франковской области на курорте Черче и в Закарпатской области на курорте Синяк. На курорте Любень Великий ими также лечат органы кровообращения и гинекологические заболевания, а на курорте Немиров — органов кровообращения и заболевания кожи.

Мышьяксодержащие воды встречаются на востоке Закарпатья на курорте Квасы в санатории «Горная Тиса» и используются наружно в виде ванн для лечения периферической нервной системы, органов движения и кровообращения.

Радоновые (радиоактивные) воды применяются в виде ванн на курорте Хмельник в Винницкой области, а также в санаториях Житомирской, Кировоградской и Черкасской областей для лечения заболеваний органов движения и периферической нервной системы.

Азотно-кремнистые термальные воды залегают в Закарпатской области и используются в виде наружного применения для лечения органов движения и периферической нервной системы в санаториях «Теплица» и «Боржава».

Бромные, йодо-бромные и йодные минеральные воды распространены в Приазовском регионе и используются на курортах Бердянск, Кирилловка и бальнеогрязелечебницах Арабатской стрелки для лечения органов движения, нервной системы и органов кровообращения.

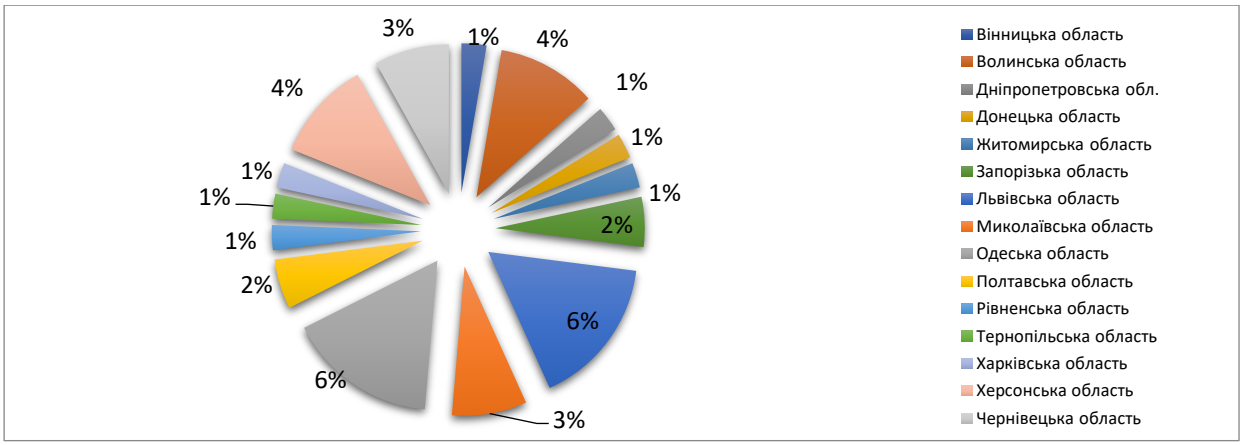


Рис. 2. Распределение запасов лечебных грязей по областям Украины
Fig 2. Distribution of therapeutic mud by regions of Ukraine

Железистые минеральные воды применяются для лечения органов кровообращения и обмена веществ на курорте Славянск Донецкой области. Также они имеются в Черновицкой области, однако используются только для столового применения на розлив[1].

Борные минеральные воды распространены в Закарпатье на курорте Поляна и используются для лечения органов пищеварения.

На территории Украины сосредоточены огромные запасы лечебных грязей, которые способствуют развитию грязелечения.

Открытие Одесских грязевых курортов относится к 1829 г., а первое курортное заведение на лимане Куяльник появилось в 1833 г. 1832 г. считается открытием Славянского курорта. В 1902 г. был основан курорт Бердянск.

Лечебные торфяные грязи располагаются в лесной и лесостепной зонах. Их применяют для лечения заболеваний нервной системы и органов движения на курортах Любень-Великий в Львовской, Черче в Ивано-Франковской, Хмельник в Винницкой, Горынь в Ровенской и Миргород в Полтавской областях, а также в санаториях Тернопольской и Черниговской областей.

Иловые грязи на Украине подразделяются на сульфидные приморские (отложения приморских озёр лиманного происхождения), сульфидные материковые грязи (отложения озёр материкового происхождения) и сульфидные морские грязи (иловые отложения морских заливов) и используются для лечения органов движения, нервной системы и гинекологических заболеваний. Сульфидные приморские иловые грязи применяются на курортах Куяльник в Одесской (Куяльницкий лиман), Гопри в Херсонской (оз. Солёное), Бердянск (оз. Красное, Большое) и Кирилловка (Утлюкский лиман) в Запорожской областях. На курорте Славянск в Донецкой области используются сульфидные материковые грязи озёр Репное и Слепное. Сульфидные морские грязи применяются на курортах Приазовья в Мариуполе Донецкой обл. и в Бердянске Запорожской области (*Волкова,* 2013).

---

[1] *Волкова И.И.* Факторы развития и видовая структура лечебного туризма в Украине. Вестник Харьковского национального университета имени В.Н. Каразина. Сер. Международные отношения. Экономика. Страноведение. Туризм, 2013. № 1042. Вып. 1. С. 110–114.
Volkova I. Development factors and species structure of medical tourism in Ukraine. Bulletin of the V.N. Karazin Kharkiv National University. Ser. International relations. Economy. Country Studies. Tourism, 2013. No 1042. Iss. 1. P. 110–114

Богатство природных условий Украины способствует развитию климатолечения. Морской климат показан при лечении болезней органов дыхания и кровообращения, функциональных заболеваний нервной системы, нарушений обмена веществ и др. Горный климат оказывает сильное воздействие на дыхательную и сосудистую системы, стимулирует обмен веществ. Лесной и степной климат рекомендуется для лечения сердечно-сосудистой системы и органов дыхания. На территории Украины развивается приморская, горная и равнинная климатотерапия.

С конца XIX в. начинают развиваться приморские климатические курорты в северном Причерноморье. Здесь для лечения используется сочетание морского и равнинного степного климата. Можно выделить три региона приморского степного климатолечения — Одесская область с курортами Аркадия, Бол. Фонтан и Затока, Николаевская область с курортом Очаков и Херсонская область с курортами Скадовск и Лазурное. Климатолечение применяется также на грязевых курортах Запорожской области. Большинство приморских климатических курортов имеют статус международного значения.

На Украине для лечения многих заболеваний также используются целебные свойства горного и равнинного климата. Курорты горного и равнинного климатолечения имеют статус государственного и местного значения.

Горное климатолечение на Украине расположено в Карпатском регионе в Закарпатской и Ивано-Франковской областях в предгорных и низкогорных местностях, покрытых густыми смешанными лесами. Такое сочетание горного и лесного воздуха благотворно влияет на лечение заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем, органов дыхания. Климатические горные курорты и отдельные санатории расположены в Яремче, Косове и Верховинском р-не в Ивано-Франковской области, в Мукачевском р-не Закарпатской обл.

На равнинной территории Украины климатолечение применяется прежде всего в лесной и лесостепной зонах. Особенно велика роль лесов, которые содействуют повышению содержания кислорода в воздухе и его ионизации и оказывают очищающее действие на организм человека. Оптимальную ионизацию имеют смешанные леса и боры. Климатолечение на Украине проводится как на равнинных климатических курортах, так и в отдельных санаторно-курортных предприятиях.

В лесной зоне благодаря географическому положению, довольно высокой солнечной радиации, умеренным температурам и влажности воздуха, большим лесным массивам, близости озёр и рек развиваются крупные равнинные климатические курорты. Самым крупным регионом климатолечения на равнинной территории является Киевская область, в которой расположены такие климатические курорты государственного значения, как Ворзель, Ирпень, Пуща-Водица, Конча-Заспа. В лесной зоне климатолечение развито также в Волынской, Ровенской, Житомирской и Черниговской обл.

В лесостепной зоне на берегу р. Северский Донец в Донецкой области расположен курорт государственного значения Святогорск. В остальных областях климатолечение предоставляется не на курортах, в отдельных санаторно-курортных предприятиях. Такие санатории имеются в Харьковской, Луганской, Сумской, Полтавской, Черкасской, Винницкой, Хмельницкой, Тернопольской и Львовской обл.

В степной зоне Украины климатолечение применяется только в Днепропетровской и Запорожской областях, где для лечения используется степной воздух с увлажняющим влиянием Днепровского и Каховского вдхр.

Особое место занимают санаторно-курортные предприятия, применяющие для лечения спелеотерапию. Они расположены на востоке Украины в Донецкой области в г. Соледар и на западе в Закарпатской области в пос. Солотвино. Спелеотерапия применяется для лечения больных бронхиальной астмой и др. хроническими неспецифическими заболеваниями органов дыхания. В основе спелеотерапии лежит использование уникального микроклимата соляных шахт.

В результате проведённого анализа видно, что Украина имеет во всех регионах условия для развития лечебно-оздоровительного туризма.

На Украине развиваются все виды рекреации: приморская, горная и равнинная.

Немногим более половины территории (52 %) приходится на речную рекреацию, почти четверть (24 %) — на приморскую, на водохранилищную — 11 %, горную — 9 % и озёрную — 4 % [*Волкова, Науменко*, 2016].

Рис. 3. Основные курорты Украины
Fig. 3. The main resorts of Ukraine

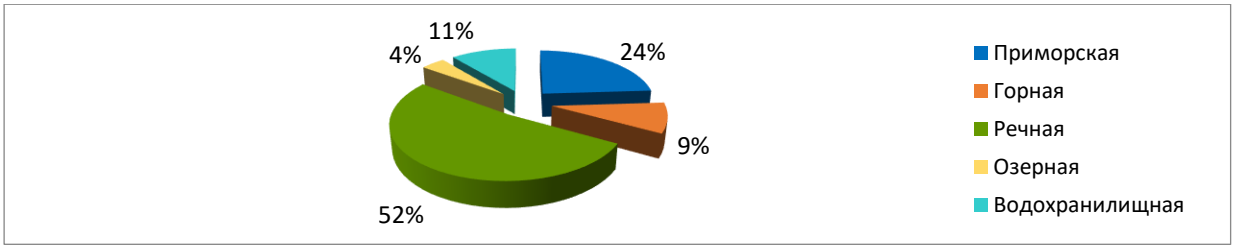


Рис. 4. Структура рекреации на Украине
Fig 4. Recreation structure in Ukraine

Приморская рекреация развивается на юге страны на побережье 2-х морей — Азовского и Чёрного, на территории 5 областей: Одесской, Николаевской, Херсонской, Запорожской и Донецкой. Береговая линия здесь плоская, берега во многих местах крутые, с большим количеством озёр-лиманов. Пляжи, в основном удобные для купання, покрыты

песком и ракушечником. Средняя температура воды в летний период +20 – +24 °С. Особенную рекреационную ценность имеют песчаные косы.

Приморская рекреация развивается летом. Климатические условия можно оценить как очень комфортные для проведения рекреационной деятельности. Азово-Черноморский регион находится в зоне умеренно-континентального климата. Средние температуры воздуха в июле — 21−23 °С, среднее количество дней с температурами выше 18 °С составляет 130 дней, годовое количество осадков от 300 до 500 мм, при этом выпадают они в основном в зимний период; средняя влажность на данных территориях летом составляет 40−60 %, а средняя скорость ветра — до 5 м/с [*Волкова, Науменко,* 2016]. При таких климатических условиях сформировалась степная зона.

Больше всего курортов находится в Одесской области. Большинство из них расположено на юго-запад от Одессы: г. Черноморск, пос. Санжейка, Грибовка, Каролино-Бугаз, Затока, Курортное, Лебедевка, Приморское. К северо-востоку от Одессы — курортные посёлки Фонтанка, Вапнярка, Черноморское и г. Южный. В самой Одессе более десятка пляжей. В Николаевской области протяжённость береговой линии меньше и разделена крупными лиманами. На её побережье — курортные посёлки Коблево, Морское, Рыбаковка и г. Очаков. Южная часть Херсонской области омывается на западе Чёрным морем и на востоке — Азовским. На черноморском побережье находятся курортные посёлки Железный порт, Приморское, Лазурное, Хорлы и г. Скадовск. На Азовском побережье — г. Геническ и курортные посёлки Арабатской стрелки Геническая Горка, Счастливцево и Стрелковое. Северное побережье Азовского моря с глубоко вдающимися в море косами омывает южную часть Запорожской и Донецкой областей. В Запорожской области находятся известные курорты Бердянск, Кирилловка, Приморск и несколько небольших курортных посёлков. Основные приморские курорты Донецкой обл. Мелекино, Ялта, Юрьевка и Урзуф расположены к западу от г. Мариуполь.

В организации рекреационной деятельности используются горные районы на территории Карпатского региона в Львовской, Закарпатской, Ивано-Франковской и Черновицкой обл. Все горные области характеризуются очень высоким ресурсно-рекреационным рейтингом для развития горной рекреации за счёт благоприятных орографических, климатических и растительных ресурсов. Климат разных районов Карпат зависит от высоты над уровнем моря, направления хребтов и экспозиции склонов. Среднемесячные температуры воздуха июля меняются от +12,4 до +21,1 °С, а января — от -3,0 до -7,6 °С; количество осадков достигает в некоторых пунктах 1400−1600 мм/год. На территории Карпатского региона выделяют 3 климатические рекреационные зоны: Закарпатье и Предкарпатье, где климат наиболее благоприятен для летних видов туризма и отдыха; Среднегорная зона Карпат, где климат наиболее благоприятен для зимних видов туризма и отдыха; Нижняя зона Карпат (абс. высоты местности до 1000 м н.у.м.) с благоприятными климатическими условиями как для летних, так и для зимних видов туризма и отдыха. Природные ресурсы туризма и отдыха региона представлены главным образом живописными лесными массивами Карпат. Общая площадь лесного фонда в Карпатском регионе около 2 млн га, в т.ч. покрытые лесом — около 1,8 млн га. Площадь лесов зелёных зон — 153,6 тыс. га, из которых на лесопарковую часть приходится 44,8 тыс. га. Площадь курортных лесов в регионе — 35,6 тыс. га [*Волкова, Науменко,* 2016].

Для развития равнинной рекреации важное значение имеют климатические, водные, лесные и орографические ресурсы.

Климатические условия Украины в целом благоприятны для развития как летней, так и зимней рекреации. Среднемесячная температура января — от -8 °С на северо-востоке Украины и на высокогорье Карпат до -2 °С на юге, июля — от +17 °С на северо-западе и +19 °С в высокогорье Карпат до +23 °С на крайнем юге. В горных районах температура в течение года ниже по сравнению с равнинными территориями. Продолжительность безморозного периода колеблется от 150–160 дней на севере до 200–210 дней на юге.

Среднегодовые суммы осадков уменьшаются с запада и северо-запада на юго-восток и от 650−600 мм до 300 мм. Максимум осадков приходится на Карпаты (более 1500 мм). [*Волкова, Науменко*, 2016].

Территория Украины недостаточно обеспечена водными ресурсами для проведения рекреационной деятельности. Наибольшая рекреационная нагрузка приходится на Днепр и его притоки: Припять, Тетерев, Рось, Тясмин, Ингулец, Десну, Сулу, Псёл, Ворскла, Самару и др. Важное рекреационное значение имеют горные реки Карпат, в т.ч. притоки Днестра, Прута и Тисы. На востоке главной рекой является Северский Донец с притоками. С рекреационной целью интенсивно используются озёра северной части Украины, в частности, Волыни и Карпат. Наиболее полно рекреационные потребности удовлетворяются в зонах отдыха на Киевском, Каневском, Днепровском, Печенежском, Днестровском, Краснооскольском и Ладыжинском вдхр. Продолжительность купального сезона на равнинных водоёмах составляет 90–120 дней, а в центральных, восточных и южных областях превышает 120 дней [*Волкова, Науменко*, 2016].

Орографические ресурсы имеют также значение для развития равнинной рекреации. Особой атрактивностью отмечаются Подольская возвышенность, Подольские Товтры (Медоборы), Ополье и Розточье, Хотинская, Волынская, Среднерусская возвышенности, Каневские горы, Донецкий кряж.

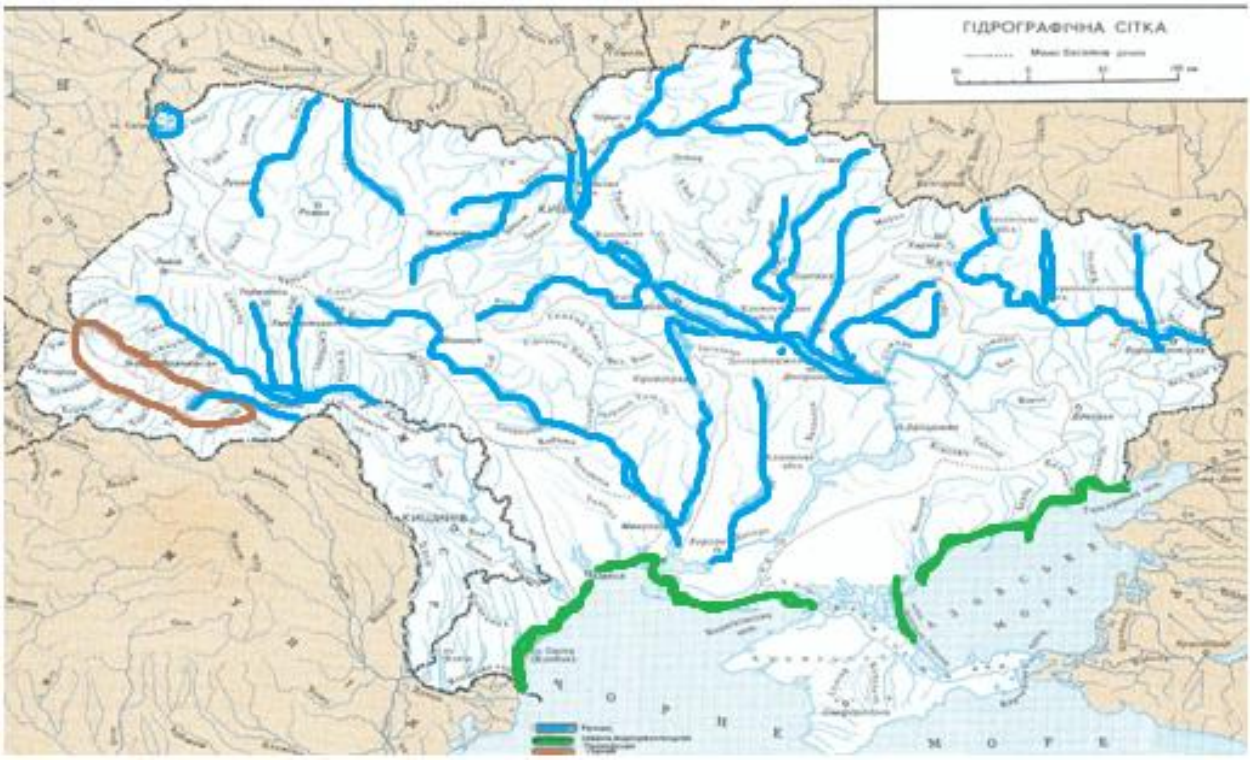


Рис. 5. Развитие рекреации на территории Украины
Fig. 5. The development of recreation on the territory of Ukraine

Равнинная рекреация развивается на территории всех областей Украины. Высокий ресурсно-рекреационный рейтинг присущ Винницкой и Закарпатской обл. Для 14-ти областей характерен средний рейтинг (Волынская, Днепропетровская, Запорожская, Ивано-Франковская, Кировоградская, Луганская, Львовская, Николаевская, Полтавская, Ровенская, Тернопольская, Хмельницкая, Черкасская и Черновицкая). Низкий рейтинг имеют Донецкая, Житомирская, Киевская, Одесская, Сумская, Харьковская, Херсонская и Черниговская обл.

Как видно из вышесказанного, Украина имеет все возможности для развития санаторно-курортной деятельности: бальнеолечения, грязелечения, климатолечения и приморской, горной и равнинной рекреации.

На Украине достаточно хорошо развита санаторно-курортная инфраструктура.

Общее количество санаторно-курортных предприятий (специализированных средств размещения) Украины в 2017 г. насчитывало 1641, что составляет 40 % от общего количества коллективных средств размещения[1]. Лечебно-оздоровительные предприятия составляют 22 %, и 78 % приходится на рекреационно-оздоровительные.

В структуре специализированных средств размещения преобладают базы отдыха и другие учреждения отдыха — 1212 (74 %). Далее следуют санатории — 169, детские санатории — 103, санатории-профилактории — 55, пансионаты отдыха — 53, дома отдыха — 14, детские учреждения оздоровления круглогодичного действия, детские центры — 14, пансионаты с лечением — 12, оздоровительные учреждения 1–2 дневного пребывания — 6, бальнеологические больницы, грязелечебницы, бальнеогрязелечебницы — 3.

С 2012 по 2017 гг. наблюдается сокращение количества санаторно-курортных предприятий почти на треть в связи со сложной политической и экономической ситуацией в стране.

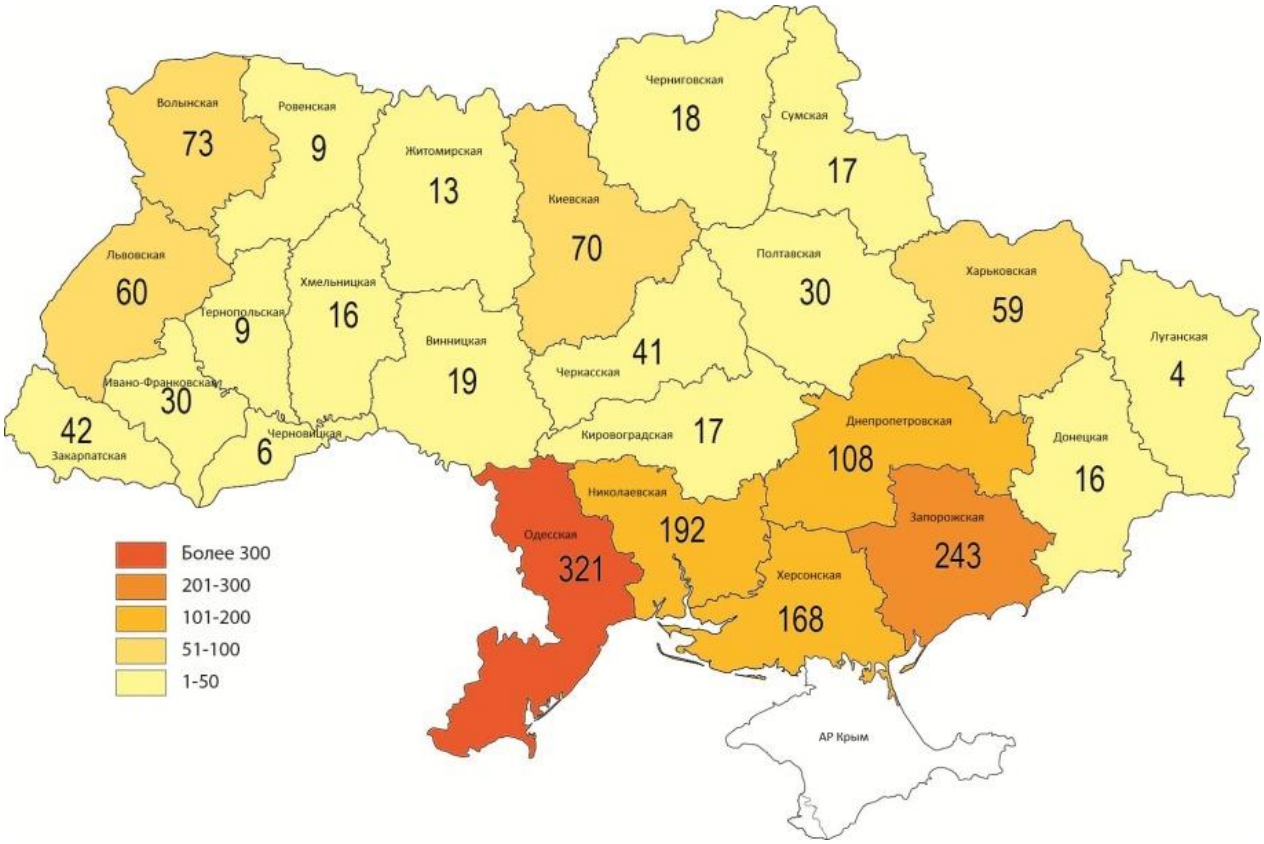


Рис. 6. Количество санаторно-курортных учреждений в областях Украины
Fig. 6. The number of sanatorium institutions in the regions of Ukraine

[1] Коллективные средства размещения в Украине в 2017 году. Статистический сборник. Государственная служба статистики Украины. Киев-2018. Электронный ресурс: www.ukrstat.gov.ua
Collective accommodation facilities in Ukraine in 2017. Statistical collection. State Statistics Service of Ukraine. Kiev-2018. Web resource: www.ukrstat.gov.ua

По территории Украины санаторно-курортные учреждения размещены неравномерно. Почти 2/3 их сосредоточено в 5-и областях: Одесской, Запорожской, Николаевской, Херсонской и Днепропетровской, 4 из которых расположены на побережье Азовского и Чёрного морей, а Днепропетровская является в данный момент самой урбанизированной и индустриальной областью Украины. Основной профиль этих регионов — рекреация, оздоровление. Основным санаторно-курортным предприятием являются базы отдыха.

По количеству лечебно-оздоровительных предприятий лидируют Львовская обл. — 18 %, Одесская — 13 %, Днепропетровская — 12 %, Запорожская — 10 % и Закарпатская — 9 % от общего количества. Основными лечебно-оздоровительными предприятиями являются санатории. Их больше всего в Львовской обл. — 15 %, в Одесской — 10 %, в Закарпатской — 7 % и в Хмельницкой обл. — 6 % от общего количества.

Самое большое количество рекреационных предприятий расположено в причерноморских областях: в Одесской — 23 %, что составляет почти ¼ всех рекреационных предприятий страны; Запорожской — 17 %, Николаевской — 14 % и Херсонской — 12 %. В этих 4-х областях сосредоточено 2/3 всех рекреационных предприятий страны.

Общее количество мест в специализированных средствах размещения – 225638. С 2012 г. по 2017 гг. их количество сократилось на ¼ (Коллективные средства…, 2017). Распределение по территории страны соответствует расположению санаторно-курортных предприятий.

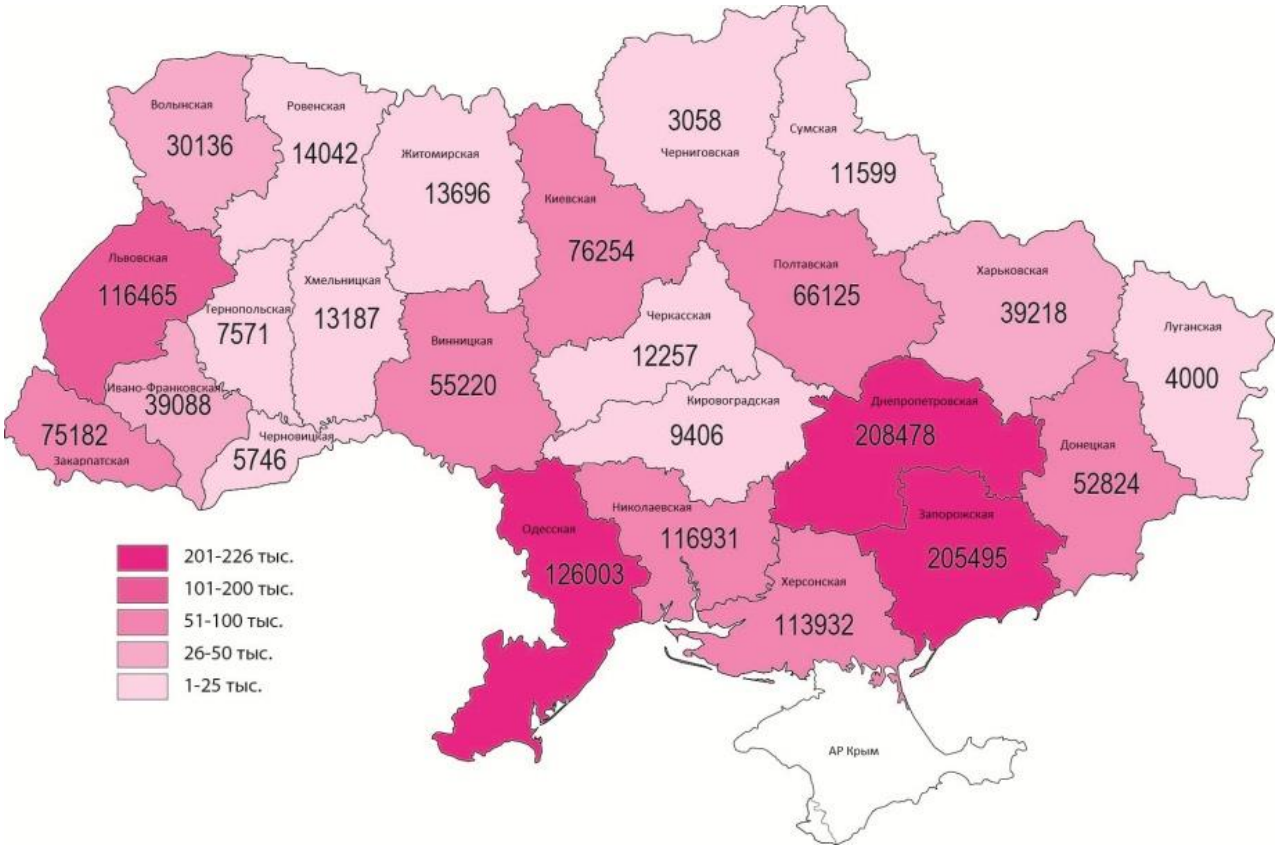


Рис.7. Количество лиц в специализированных средствах размещения по областям
Fig. 7. The number of persons in specialized accommodation facilities by regions

Общее количество лиц, которые пребывали в специализированных средствах размещения в 2017 г. — 1 526 013 чел. (Коллективные средства…, 2017), что составляет 30 % от лиц, которые пребывали в коллективных средствах размещения. 44 % приходится на лечебно-оздоровительные учреждения и 56 % — на рекреационно-оздоровительные. Половина людей отдыхало на базах отдыха — 51 %, почти 38 % лечилось в санаториях, около 5 % отдыхало в пансионатах и домах отдыха, во всех остальных специализированных средствах размещения — 6 %.

Количество лиц, которые пребывали в специализированных средствах размещения, сократилось с 2012 к 2015 г. на 28 % (Коллективные средства…, 2017). С 2015 к 2017 г. наблюдается рост на 3 %.

Основное количество отдыхающих, почти 2/3, сосредоточено в 6-ти областях: Одесской, Днепропетровской, Запорожской, Херсонской, Николаевской и Львовской. Основная цель поездки в Одесскую, Запорожскую, Херсонскую и Николаевскую обл. — приморская рекреация, в Львовскую область — санаторно-курортное лечение, а в Днепропетровской области — местная рекреация.

В 2017 г. в специализированных средствах размещения лечилось и отдыхало 54 383 иностранца (*Волкова,* 2013). Это всего лишь 6 % от иностранцев, которые пребывали в коллективных средствах размещения. Это говорит о том, что основной приезд иностранцев в страну осуществляется не с целью отдыха и лечения. С целью лечения приезжало 59 % иностранцев и 41 % — с целью отдыха.

С целью санаторно-курортного лечения и отдыха приезжали иностранцы из 58 стран. 84 % было из стран бывшего Советского Союза, 14 % — из европейских стран и 2 % — из других стран мира. Основная цель приезда — санаторно-курортное лечение, за исключением только туристов из Беларуси и Молдовы. Пятёрку лидеров возглавляют страны с количеством прибывших более 1 тыс. человек: Молдова — 24 522, Беларусь — 14 522, Польша — 6 478, Азербайджан — 3 341, Российская Федерация — 1 681. Почти 100 % поляков и азербайджанцев, 85 % россиян приезжали с целью санаторно-курортного лечения, 75 % белорусов — с целью отдыха на побережье Азовского и Чёрного морей, и у молдаван цели приезда разделились приблизительно одинаково: 56 % — лечение и 44 % — отдых.

В санаторно-курортных предприятиях в 2017 г. работало 42 578 штатных сотрудников (Коллективные средства…, 2017), что составляет 62 % от всех работающих в коллективных средствах размещения. 82 % работников приходится на лечебно-оздоровительные предприятия и только 18% — на рекреационно-оздоровительные, несмотря на большее количество предприятий отдыха и отдыхающих в них. Это говорит о большем количестве предоставляемых услуг в лечебно-оздоровительных предприятиях и более высоком профессионализме работников. Почти 73 % работает в санаториях, 15 % — на базах отдыха, 5 % — в санаториях-профилакториях, 3 % — в детских круглогодичных оздоровительных учреждениях, и 4 % приходится на остальные санаторно-курортные предприятия.

Доходы от санаторно-курортной деятельности в 2017 г. составили 4 054 649,4 тыс. грн. (Коллективные средства…, 2017), это 32 % от доходов всех коллективных средств размещения. ¾ всех доходов приходится на лечебно-оздоровительные предприятия и ¼ — на рекреационные. 66 % всех доходов дают санатории, 18 % — базы отдыха, 5 % — санатории-профилактории, около 5 % — детские круглогодичные учреждения, 3 % — пансионаты отдыха и все остальные предприятия — 3 %.

Лидерами по получению доходов от предоставленных услуг являются Львовская — 18,1 %, Одесская — 13,6 %, Запорожская — 10,6 % и Закарпатская — 10,3 % обл. Эти 4 области получают немногим более 50 % от всех доходов предоставленных санаторно-курортных услуг. Почти во всех областях основные доходы производятся от деятельности лечебно-оздоровительных предприятий, особенно в Львовской обл. (99 %). Исключением

являются 3 приморские области: Запорожская, Николаевская и Херсонская, где рекреационные предприятия получают соответственно 55, 92 и 91 % доходов.

В результате проведённого анализа развития санаторно-курортной деятельности на Украине можно выстроить рейтинг областей Украины.

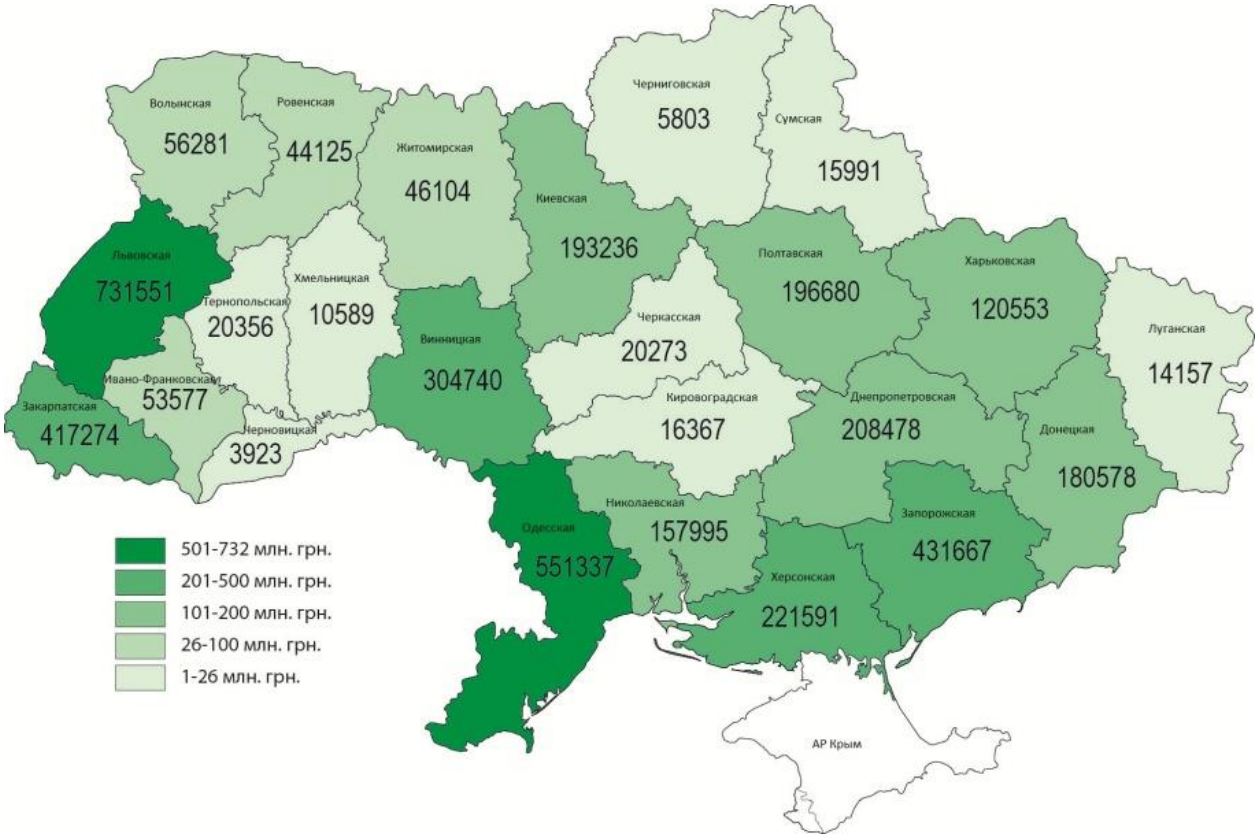


Рис. 8. Рейтинг областей Украины по доходам от услуг, предоставляемых санаторно-курортными предприятиями
Fig. 8. Rating of Ukraine's regions by income from the services provided by sanatorium-resort enterprises

Лидером по развитию санаторно-курортной деятельности является Одесская обл., которая по всем показателям занимает первые места, за исключением доходов от предоставляемых санаторно-курортных услуг. Это объясняется тем, что область имеет больше рекреационную специализацию, чем лечебную. А рекреационные предприятия работают сезонно. Очень хорошо санаторно-курортная деятельность развивается в приморских Одесской, Запорожской и Херсонской обл., в Львовской обл. с крупными бальнеологическими курортами Трускавец, Моршин, Сходница, в индустриальной Днепропетровской обл. за счёт речной рекреации, местного бальнео- и климатолечения. Также хорошие показатели развития санаторно-курортной деятельности в приморской Николаевской обл., бальнеологической Закарпатской обл., столичной Киевской обл. с климатолечением и водохранилищной рекреацией, промышленной приморской Донецкой обл., Винницкой и Полтавской обл. за счёт крупных бальнеологических курортов Хмельник и Миргород. Средние показатели развития санаторно-курортной деятельности наблюдаются в Харьковской обл. благодаря санаторному лечению, речной и водохранилищной рекреации; в Волынской области, где

хорошо развита речная и озёрная рекреация; в карпатской Ивано-Франковской обл. и Черкасской обл. с водохранилищной рекреацией. В остальных областях — слабый уровень развития санаторно-курортной деятельности. Это прежде всего связано с менее благоприятными климатическими условиями для развития рекреации в северных и западных областях Украины. К ним относятся северные лесные области — Житомирская, Ровенская и лесостепная Сумская, западные лесостепные области — Хмельницкая, Тернопольская и степная Кировоградская. Особенно низкий уровень санаторно-курортной деятельности в Черновицкой, Черниговской и Луганской обл.

Табл. 1. Рейтинг регионов Украины по санаторно-курортной деятельности
Table 1. Rating of regions of Ukraine in sanatorium-resort activity

Области	**К-во предпр.**	**К-во койко-мест**	**К-во отдыхающ.**	**К-во работн.**	**Доходы**	**Сумма мест**	**Рейтинг областей**
Винницкая	15	12	9	5	5	46	10
Волынская	7	14	14	14	13	62	13
Днепропетровская	5	5	2	7	11	30	4/5
Донецкая	6	6	10	11	9	42	9
Житомирская	10	19	16	15	15	85	16
Закарпатская	11	10	7	6	4	38	7
Запорожская	2	2	3	3	3	13	2
Ивано-Франковская	13	15	13	12	14	67	14
Киевская	8	8	11	4	8	39	8
Кировоградская	17	22	19	21	20	99	20
Луганская	24	24	23	24	22	117	24
Львовская	9	7	5	2	1	24	3
Николаевская	3	3	4	13	10	33	6
Одесская	1	1	1	1	2	6	1
Полтавская	14	11	8	8	6	47	11
Ровенская	21	17	16	19	16	88	17/18
Сумская	18	20	18	20	21	97	19
Тернопольская	22	21	20	18	19	100	21
Харьковская	10	9	12	10	12	53	12
Херсонская	4	4	6	9	7	30	4/5
Хмельницкая	19	18	17	17	17	88	17/18
Черкасская	12	13	15	16	18	75	15
Черновицкая	16	23	22	23	23	107	22
Черниговская	23	16	24	22	24	109	23

Качественное состояние санаторно-курортной инфраструктуры отстаёт от международных стандартов. Материальная база большинства лечебных предприятий была создана в советское время. В последние годы были построены новые санатории на курортах Трускавец, Сходница в Львовской и в Закарпатской обл. На некоторых курортах, таких как Миргород, Хмельник, Трускавец, Моршин, в санаториях Одессы, Бердянска и Закарпатья была проведена реконструкция санаториев. В отличие от лечебных, за последние два десятилетия было построено много оздоровительных учреждений, в основном баз отдыха.

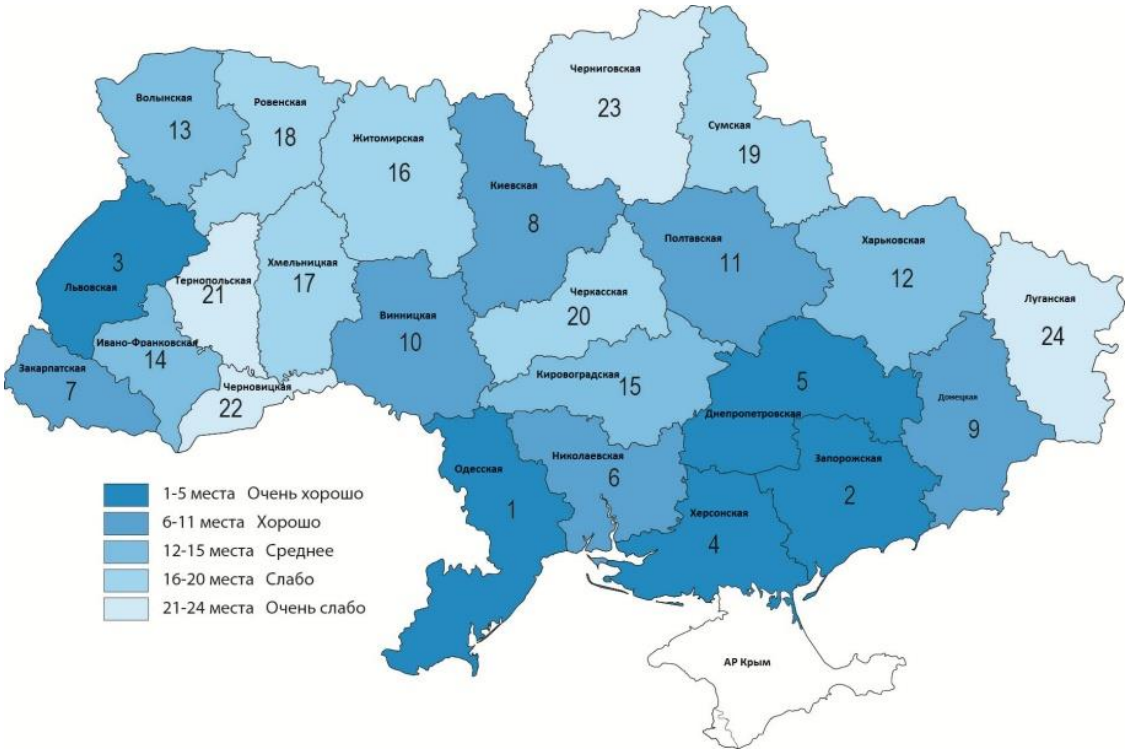


Рис. 9. Рейтинг областей Украины по развитию санаторно-курортной деятельности
Fig. 15. Rating of regions of Ukraine for the development of spa activities

ВЫВОДЫ

Украина имеет все виды ресурсов для развития бальнео-, грязе- и климатолечения, приморской, горной и равнинной рекреации. На её территории — значительная сеть санаторно-курортных учреждений, которые составляют 40 % от всех коллективных средств размещения. В санаторно-курортных предприятиях лечилось и отдыхало немногим более 1,5 млн чел., что составило почти треть от всех пребывавших в коллективных средствах размещения, из них 3,5 % составляют иностранцы. Их обслуживало более 40 тыс. штатных работников, это почти треть всех работающих в средствах размещения. Доходы от санаторно-курортной деятельности составили немногим более 4 млрд грн., это треть от всех средств размещения Украины. Таким образом, страна обладает большим потенциалом в развитии санаторно-курортной отрасли. Тем не менее, материально-техническая база санаторно-курортной инфраструктуры подлежит обновлению и реконструкции. Для этого необходима государственная поддержка, выработка стратегии и политики развития санаторно-курортной отрасли, заимствование зарубежного опыта, вложение средств и привлечение инвестиций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аксентийчук Б.И., Алексеенко Н.О., Андриенко О.И., Бабов К.Д., Бабова И.К.* Минеральные воды Украины. К.: Куприянов А., 2005. 576 с. (на укр. языке).
2. *Барчуков И.С.* Санаторно-курортное дело. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. 303 с.
3. *Волкова И., Науменко Ю.* Развитие рекреационно-оздоровительного туризма в Украине. Вестник Львовского университета. Серия: Международные отношения, 2016. Вып. 40. С. 50–66 (на укр. языке).
4. Минеральные воды Закарпатья. Питьевое лечебное использование. Ужгород: IBA, 1997. 174 с. (на укр. языке).

5. *Любицева О.А., Панкова Е.В., Стафийчук В.И.* Туристические ресурсы Украины. К.: Альтерпресс, 2007. 369 с. (на укр. языке).
6. *Пышная Г.О.* Бальнеологические и бальнеогрязевые рекреационные системы Украины: ресурсы, их использование и направления охраны. География и туризм, 2015. № 6. С. 101–109 (на укр. языке).
7. Справочник по санаторно-курортному отбору. М.: Медицина, 1986. 526 с.

REFERENCES

1. *Aksentiychuk B.I., Alekseenko N.O., Andrienko O.I., Babov K.D., Babova I.K.* Mineral waters of Ukraine. Kiev: Kupriyanov A., 2005. 576 p. (in Ukrainian).
2. *Barchukov N.* Spa and resort business. Moscow: UNITI-DANA, 2006. 303 p. (in Russian).
3. Directory on sanatorium and resort selection. Moscow: Medicine, 1986. 526 p. (in Russian).
4. Mineral waters of Transcarpathia. Drinking therapeutic use. Uzhgorod: IVA, 1997. 174 p. (in Ukrainian).
5. *Lyubitseva O.A., Pankova E.V., Stafiychuk V.I.* Tourist resources of Ukraine. Kiev: Alterpress, 2007. 369 p. (in Ukrainian).
6. *Pishnaya G.O.* Balneological and balneological mud recreational systems of Ukraine: resources, their use and directions of protection. Geography and Tourism, 2015. No 6. P. 101−109 (in Ukrainian).
7. *Volkova I., Naumenko Yu.* Development of recreational and recreational tourism in Ukraine. Bulletin of the University of Lviv. Series: International Relations, 2016. Iss. 40. P. 50–66 (in Ukrainian).

СОДЕРЖАНИЕ

КАРТЫ И ГИС В ИССЛЕДОВАНИЯХ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ

Шартова Н.А., Черешня О.Ю., Тикунов В.С.
Региональная оценка причин смерти в Российской Федерации 5

Малхазова С.М., Котова Т.В., Леонова Н.Б., Микляева И.М.
Лекарственные растения в атласном картографировании 17

Прохорова Е.А., Сёмин В.Н., Морозова А.В.
Картографирование распределения заболеваемости активным туберкулёзом на территории Крымского полуострова 26

Логинов И.П., Савин С.З.
Геоинформационные системы в популяционном анализе распространения депрессивных расстройств в Хабаровске 39

Кикин П.М., Колесников А.А., Портнов А.М., Грищенко Д.В.
Анализ и прогнозирование пространственно-временных экологических показателей с использованием методов машинного обучения 53

Ясенева И.А., Ясенева Е.В.
Заболеваемость детей как показатель экологической обстановки в Севастополе 62

Огурцов А.Н., Дмитриев В.В.
Интегральная оценка социальных детерминант общественного здоровья населения Калининградской области (муниципальный уровень) 78

Чистобаев А.И., Дмитриев В.В., Семёнова З.А., Огурцов А.Н., Грудцын Н.А.
Интегральная оценка и картографическое моделирование общественного здоровья как индикатора качества жизни 91

Архипова О.Е., Черногубова Е.А., Тарасова Т.Т.
Медико-экологические и социально-демографические аспекты развития прибрежной зоны Азовского моря 105

КАРТЫ И ГИС В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ

Nico G., Trofimetz L.N., Masci O.
Sentinel-1 SAR interferometry for agriculture: description of an experiment in Oryol, Russia 124

Носонов А.М.
ГИС-технологии исследования территориальной дифференциации и эффективности агрохолдингов в России 132

Тесленок К.С., Тесленок С.А.
Пространственно-временной анализ диффузии инноваций в сельском хозяйстве 147

Степанов А.С., Асеева Т.А., Дубровин К.Н.
Построение и оценка точности регрессионных моделей для определения урожайности зерновых и зернобобовых культур на основе данных дистанционного зондирования Земли и климатических характеристик 159

Трофимец Л.Н., Паниди Е.А., Чаадаева Н.Н., Санкова Е.А., Иванеха Т.Л., Тяпкина А.П., Петелько А.И., Александрова А.П., Ладнова Г.Г.
Установление опорного значения удельной активности цезия-137 на распахиваемых склонах в перигляциальной области бассейна Верхней Оки: применение спутниковых снимков, ГИС и агрохимических показателей почвы 170

Алсынбаев К.С., Брыксин В.М., Жегалина Л.Ф., Козлов А.В., Назаров И.В.
Создание базы геоданных мелиоративной системы Калининградской области 184

Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Энговатова И.В., Лиховид А.А.
Возможность определения содержания азота в растениях озимой пшеницы в фазе колошения с применением данных дистанционного зондирования 199

Чащин А.Н., Гилёв В.Ю.
Возможности дистанционной оценки мощности плодородного слоя техногенно-нарушенных почв 210

Тесленок К.С., Муштайкин А.П., Тесленок С.А.
Изучение особенностей сельскохозяйственных угодий с использованием цифровых моделей рельефа 221

Matyakubov B.Sh., Mamatkulov Z.J., Oymatov R.K., Komilov U.N., Eshchanova G.E.
Assessment of the reclamation conditions of irrigated areas by geospatial analysis
and recommendations for their improvement 229

Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Энговатова И.В., Лиховид Н.Г.
Использование данных дистанционного зондирования Земли
для региональной оценки качества зерна озимой пшеницы 240

Волошенкова Т.В., Белов Д.Е., Лиховид А.А.
Информационно-аналитическая система «Экология агробиоценозов» 252

Kenjabaev Sh., Sultanov M., Bauer Ch., Abduraimova D., Akhmedkhodjaeva I., Ibragimova Z.
Assessment of the land reclamation condition using GIS techniques and environmental
variables: case study in Kulavat canal irrigation system, Khorezm 264

Avliyakulov M.A., Kumari M., Rajabov N.Q., Durdiev N.Kh.
Characterization of soil salinity and its impact on wheat crop
using space-borne hyperspectral data 271

Shakibayev I., Barmakova D., Yerikuly Zh., Rau G., Kadasheva Zh., Begmatov I.
Methodology for creating a geoinformation-analytical system
to monitor irrigated lands in the South-East of Kazakhstan 286

Kenjabaev Sh., Conrad Ch., Eshchanov O., Arifjanov A., Abduraimova D., Voxidova U.
Comparison of spectro-biophysical and yield parameters of cotton in irrigated lowlands
of Amudaria River 294

Begmatov I.A., Matyakubov B.Sh., Akhmatov D.E., Pulatova M.V.
Analysis of saline land and determination of the level of salinity of irrigated lands
with use of the geographic information system technologies 309

Babajanov A.R., Abdivaitov Kh.A.
Organization support for automation of land management projecting
in irrigated areas of Uzbekistan 317

Teshaev N., Mamadaliyev B., Ibragimov A., Khasanov S.
The soil-adjusted vegetation index for soil salinity assessment in Uzbekistan 324

ГИС И КАРТОГРАФИЯ ДЛЯ ТУРИЗМА

Шеремет Э.А., Калуцкова Н.Н.
Использование ГИС-технологий для оценки ландшафтного разнообразия туристических маршрутов на территории Като-Карагайского национального парка 334

Тикунова И.Н., Щербатова М.Ю.
Формирование туристского бренда на примере Большого Алтая 349

Рыгалова М.В., Рыгалов Е.В.
Возможности изучения туристического потенциала региона средствами ГИС-технологий 359

Смирнов А.А.
Рекреационное районирование Сихотэ-Алиня 367

Ивлиева О.В., Шмыткова А.В.
Геоинформационная идентификация районов археологического туризма в Южном федеральном округе 380

Проскурин В.С.
Оценка ландшафтно-рекреационного потенциала с применением геоинформационных методов (на примере Центрального Кавказа) 391

Махмудов Р.К., Верозуб Н.В., Проскурин В.С.
Методика геоинформационного картографирования природно-рекреационных ресурсов Северного Кавказа для развития туризма 404

Gojamanov M.G., Garibova I.A., Smirnov A.A.
Recreational zoning of Lesser Caucasus 416

Sadikova S., Hennig S.
National nature-based tourism in Samarkand Region 423

Iurchenko O.E., Iurchenko S.O.
Modern trends of tourism development in Ukraine 435

Волкова И.И.
Развитие санаторно-курортной сферы на Украине 451

CONTENTS[1]

MAPS AND GIS IN PUBLIC HEALTH RESEARCH

Shartova N.A., Chereshnia O.Yu., Tikunov V.S.
Regional evaluation of the reasons of death in the Russian Federation — 5 (6)

Malkhazova S.M., Kotova T.V., Leonova N.B., Miklyaeva I.M.
Medicinal plants in atlas mapping — 17 (18)

Prokhorova E.A., Semin V.N., Morozova A.V.
Mapping of the distribution of active tuberculosis incidence on the territory of the Crimean Peninsula — 26 (27)

Loginov I.P., Savin S.Z.
Geoinformation systems in population analysis of the distribution of depressive disorders in Khabarovsk — 39 (40)

Kikin P.M., Kolesnikov A.A., Portnov A.M., Grischenko D.V.
Natural language processing systems for data extraction and mapping on the basis of unstructured text blocks — 53 (54)

Yaseneva I.A., Yaseneva E.V.
Children morbidity as indicator of ecological situation in Sevastopol — 62

Ogurtsov A.N., Dmitriev V.V.
Integrated assessment of social determinants of public health of the population of the Kaliningrad Region (municipal level) — 78 (79)

Chistobaev A.I., Dmitriev V.V., Semenova Z.A., Ogurtsov A.N., Grudtcyn N.A.
Integral assessment and cartographic modeling of public health as an indicator of life guality — 91

Arkhipova O.E., Chernogubova E.A., Tarasova T.T.
Analysis of medical-ecological and socio-demographic factors of development of the coastal zone of the Sea of Azov — 105 (106)

[1] The page number in brackets corresponds to the English text

MAPS AND GIS IN AGRICULTURE AND LAND USE

Nico G., Trofimetz L.N., Masci O.
Sentinel-1 SAR interferometry for agriculture: description of an experiment in Oryol, Russia 124

Nosonov A.M.
GIS-technologies of research of territorial differentiation and efficiency of agroholdings in Russia 132 (133)

Teslenok K.S., Teslenok S.A.
Spatio-temporal analysis of innovations diffusion in the agriculture 147 (148)

Stepanov A.S., Aseeva T.A., Dubrovin K.N.
Building and precision assessment of regression models for determining of cereals' and legumes' crop yield based on Earth remote sensing data and climatic characteristics 159 (160)

Trofimetz L.N., Panidi E.A., Chaadaeva N.N., Sankova E.A., Ivaneha T.L., Tyapkina A.P., Petelko A.I., Alexandrova A.P., Ladnova G.G.
Determig the reference value of Cesium-137 specific activity on arable slopes in the periglacial area of the Upper Oka basin: application of satellite images, GIS and soil agrochemical indicators 170 (171)

Alsynbaev K.S., Bryksin V.M., Zhegalina L.F., Kozlov A.V., Nazarov I.V.
Creating of geodatabase of melioration system of the Kaliningrad Region 184 (185)

Eroshenko F.V., Storchak I.G., Engovatova I.V., Likhovid A.A.
Possibility of determining the nitrogen content in winter wheat plants during the earing phase using remote sensing data 199 (200)

Chashchin A.N., Gilev V.Yu.
Possibilities of remote sensing data in the assessment of the thickness of the top layer of distributed soil 210

Teslenok K.S., Mushtaykin A.P., Teslenok S.A.
Studying the peculiarities of agricultural lands with the use of digital relief models 221

Matyakubov B.Sh., Mamatkulov Z.J., Oymatov R.K., Komilov U.N., Eshchanova G.E.
Assessment of the reclamation conditions of irrigated areas by geospatial analysis and recommendations for their improvement 229

Eroshenko F.V., Storchak I.G., Engovatova I.V., Likhovid N.G. 240
Use of remote sensing Earth data for regional assessment of winter wheat grain quality (241)

Voloshenkova T.V., Belov D.E., Likhovid A.A. 252
Information and analytical system “Ecology of agrobiocenoses” (253)

Kenjabaev Sh., Sultanov M., Bauer Ch., Abduraimova D., Akhmedkhodjaeva I., Ibragimova Z.
Assessment of the land reclamation condition using GIS techniques and environmental variables: case study in Kulavat canal irrigation system, Khorezm 264

Avliyakulov M.A., Kumari M., Rajabov N.Q., Durdiev N.Kh.
Characterization of soil salinity and its impact on wheat crop using space-borne hyperspectral data 271

Shakibayev I., Barmakova D., Yerikuly Zh., Rau G., Kadasheva Zh., Begmatov I.
Methodology for creating a geoinformation-analytical system to monitor irrigated lands in the South-East of Kazakhstan 286

Kenjabaev Sh., Conrad Ch., Eshchanov O., Arifjanov A., Abduraimova D., Voxidova U.
Comparison of spectro-biophysical and yield parameters of cotton in irrigated lowlands of Amudaria River 294

Begmatov I.A., Matyakubov B.Sh., Akhmatov D.E., Pulatova M.V.
Analysis of saline land and determination of the level of salinity of irrigated lands with use of the geographic information system technologies 309

Babajanov A.R., Abdivaitov Kh.A.
Organization support for automation of land management projecting in irrigated areas of Uzbekistan 317

Teshaev N., Mamadaliyev B., Ibragimov A., Khasanov S.
The soil-adjusted vegetation index for soil salinity assessment in Uzbekistan 324

GIS AND CARTOGRAPHY FOR TOURISM

Sheremet E.A., Kalutskova N.N.
The use of GIS technologies for the assessment of tourist routes landscape diversity on the Katon-Karagay National Park territory 334 (335)

Tikunova I.N., Scherbatova M.Yu.
Formation of a tourist brand on the example of the Big Altai 349

Rygalova M.V., Rygalov E.V.
Possibilities of studying the tourist potential of a region by means of GIS technologies 359

Smirnov A.A.
Recreational zoning of Sikhote-Alin 367

Ivlieva O.V., Shmytkova A.V.
Geoinformation identification of archaeological tourism areas in the Southern Federal District 380 (381)

Proskurin V.S.
Assessment of landscape and recreational potential using geoinformation methods (example of Central Caucasus) 391 (392)

Mahmudov R.K., Verozub N.V., Proskurin V.S.
Methodology of geoinformation mapping of natural recreational resources of the North Caucasus for tourism development 404 (405)

Gojamanov M.G., Garibova I.A., Smirnov A.A.
Recreational zoning of Lesser Caucasus 416

Sadikova S., Hennig S.
National nature-based tourism in Samarkand Region 423

Iurchenko O.E., Iurchenko S.O.
Modern trends of tourism development in Ukraine 435

Volkova I.I.
Development of sanatorium-field in Ukraine 451

СЕРИЯ КОНФЕРЕНЦИЙ ИНТЕРКАРТО. ИНТЕРГИС

ИнтерКарто 1 — Москва, 23–25 мая 1994 г.
ИнтерКарто 2 — Иркутск, 26–29 июня 1996 г.
ИнтерКарто 3 — Новосибирск, 27–31 января 1997 г.
ИнтерКарто 4 — Барнаул, 1–4 июля 1998 г.
ИнтерКарто 5 — Якутск, 17–19 июня 1999 г.
ИнтерКарто 6 — Апатиты, Мурманской обл., 22–24 августа 2000 г.
ИнтерКарто 7 — Петропавловск-Камчатский, 30 июля – 1 августа 2001 г.
ИнтерКарто 8 — Хельсинки (Финляндия), Санкт-Петербург, 28 мая – 1 июня 2002 г.
ИнтерКарто 9 — Новороссийск, Севастополь (Украина), 25–29 июня 2003 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 10 — Владивосток, Чанчунь (Китай), 12–19 июля 2004 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 11 — Ставрополь, Домбай, Будапешт (Венгрия), 25 сентября – 3 октября 2005 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 12 — Калининград, Берлин (Германия), 25–31 августа 2006 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 13 — Ханты-Мансийск, Йеллоунайф (Канада), 12–24 августа 2007 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 14 — Саратов, Урумчи (Китай), 24 июня – 1 июля 2008 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 15 — Пермь, Гент (Бельгия), 29 июня – 5 июля 2009 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 16 — Ростов-на-Дону, Зальцбург (Австрия), 3–8 июля 2010 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 17 — Белокуриха, Алтайский край, Денпасар (Индонезия), 14–19 декабря 2011 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 18 — Смоленск, Сен-Дье-де-Вож (Франция), 26 июня – 4 июля 2012 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 19 — Курск, Богота (Колумбия), 2–7 февраля 2013 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 20 — Белгород, Харьков (Украина), Кигали (Руанда), Найроби (Кения), 23 июля – 6 августа 2014 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 21 — Краснодар, Сочи, Сува (Фиджи), 12–19 ноября 2015 г.,
ИнтерКарто. ИнтерГИС 22 — Веллингтон (Новая Зеландия), Мельбурн (Австралия), Протвино (Московская обл.), 31 августа – 14 сентября 2016 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 23 — Южно-Сахалинск, Сеул (Республика Корея), Вашингтон (США), 26 июня – 7 июля 2017 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 24 — Петрозаводск (Республика Карелия), 19–22 июля, Бонн (Германия), 24–28 июля, Анкоридж (США), 30 июля – 1 августа 2018 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 25 — Мурманск, 30 января – 2 февраля, Токио (Япония), 20 июля 2019 г.
ИнтерКарто. ИнтерГИС 26 — Ташкент (Узбекистан), 1–2 июня, Пятигорск, Тбилиси (Грузия), 24–29 сентября 2020 г.

INTERCARTO. INTERGIS CONFERENCE SERIES

InterCarto 1 — Moscow, May 23–25, 1994
InterCarto 2 — Irkutsk, June 26–29, 1996
InterCarto 3 — Novosibirsk, January 27–31, 1997
InterCarto 4 — Barnaul, July 1–4, 1998
InterCarto 5 — Yakutsk, June 17–19, 1999
InterCarto 6 — Apatity, Murmansk Province, August 22–24, 2000
InterCarto 7 — Petropavlovsk-Kamchatsky, July 30 – August 1, 2001
InterCarto 8 — Helsinki (Finland), St.-Petersburg, May 28 – June 1, 2002
InterCarto 9 — Novorossijsk, Sevastopol (Ukraine), June 25–29, 2003
InterCarto. InterGIS 10 — Vladivostok, Changchun (China), July 12–19, 2004
InterCarto. InterGIS 11 — Stavropol, Dombai, Budapest (Hungary), September 25 – October 3, 2005
InterCarto. InterGIS 12 — Kaliningrad, Berlin (Germany), August 25–31, 2006
InterCarto. InterGIS 13 — Khanty-Mansiysk, Yellowknife (Canada), August 12–24, 2007
InterCarto. InterGIS 14 — Saratov, Urumqi (China), June 24 – July 1, 2008
InterCarto. InterGIS 15 — Perm, Ghent (Belgium), June 29 – July 5, 2009
InterCarto. InterGIS 16 — Rostov-on-Don, Salzburg (Austria), July 3–8, 2010
InterCarto. InterGIS 17 — Belokurikha, Altaysky Kray, Denpasar (Indonesia), December 14–19, 2011
InterCarto. InterGIS 18 — Smolensk, St. Die des Vosges (France), June 26 – July 4, 2012
InterCarto. InterGIS 19 — Kursk, Bogota (Colombia), February 2–8, 2013
InterCarto. InterGIS 20 — Belgorod, Kharkov (Ukraine), Kigali (Rwanda), Nairobi (Kenya), July 23 – August 6, 2014
InterCarto. InterGIS 21 — Krasnodar, Sochi, Suva (Fiji), November 12–19, 2015
InterCarto. InterGIS 22 — Wellington (New Zealand), Melbourne (Australia), Protvino, Moscow Region, August 31 – September 14, 2016
InterCarto. InterGIS 23 — Yuzhno-Sakhalinsk, Seoul (Republic of Korea), Washington DC (USA), June 26 – July 7, 2017
InterCarto. InterGIS 24 — Petrozavodsk (Republic of Karelia), July 19–22, Bonn (Germany), July 24–28, Anchorage (USA), July 30 – August 1, 2018
InterCarto. InterGIS 25 — Murmansk, January 30 – February 2, Tokyo (Japan), July 20, 2019
InterCarto. InterGIS 26 — Tashkent (Uzbekistan), 1–2 June, Pyatigorsk, Tbilisi (Georgia), September 24–29, 2020

ИнтерКарто. ИнтерГИС

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Материалы Международной конференции
Ташкент (Узбекистан),
1–2 июня,
Пятигорск (Россия),
Тбилиси (Грузия),
24–29 сентября 2020 г.

ТОМ 26

ЧАСТЬ 3

Руководитель проекта *О.В. Гаврилов*
Оформление обложки *К.В. Саутенков*
Корректоры *В.Ю. Баловнев, О.И. Маркова*
Компьютерная вёрстка *О.И. Маркова*

Подписано в печать 10.09.2020. Формат 60x90/8.
Усл. печ. л. 59,875. Уч.-изд. л. 50,0. Изд. № 11638

Издательство Московского университета
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 15 (ул. Академика Хохлова, 11)
Тел.: (495) 939-32-91; *e-mail:* secretary@msupress.com
Отдел реализации. Тел.: (495) 939-33-23; *e-mail:* zakaz@msupress.com
Сайт Издательства Московского университета: http://msupress.com