

УДК: 631.474

DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-859-870

Е.В. Денисова¹

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ СВЕТЛОЯРСКОГО РАЙОНА ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

АННОТАЦИЯ

Геоинформационная оценка пространственных данных проводится с целью установления состояния и местоположения орошаемых земель на территории Светлоярского района Волгоградской области, а также их геоморфологических характеристик с использованием данных дистанционного зондирования Земли, цифровых моделей рельефа, почвенных карт. Результаты исследования дают возможность разработать систему социально-экономических мероприятий для эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения и управления земельными ресурсами. В задачи исследования входило: установление пространственного положения, геометрических, почвенных характеристик орошаемой пашни на территории исследования, а также разработка карты распределения орошаемых земель с учетом их использования. Определены границы 1423 участков орошаемой пашни, площадью 52300,1 га, с уточнением их конфигурации, пространственного размещения, рельефа, экспозиции на основе данных дистанционного зондирования. Средний угол уклона орошаемой пашни – 1,16°, средний размер участка орошаемой пашни – 36,6 га. Обширную площадь распространения (33637,1 га) получили орошаемые угодья на крутизне склона 0,5°–1,0°. Наибольшее количество – 60,8 % орошаемых угодий расположено на солонцах каштановых со светло-каштановыми солонцеватыми комплексами. Доля светло-каштановых солонцеватых почв с солонцами каштановыми составляет 13,5 %. На остальных типах почв орошаемые угодья занимают от 0,6 % до 7,4 %. Рассчитанная величина потенциального смыва почвы на участках орошаемой пашни, наиболее подверженных распространению процессов эрозии, составляет от 6,4 т/га до 35,1 т/га. Получение данных о состоянии и функционировании орошаемых угодий на основе геоинформационных технологий направлено на сохранение плодородия почв и поддержания условий функционирования агроландшафта в целом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: агроландшафт, геоинформационные методы, пашня, орошение, пространственное распределение

¹ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, ФНЦ «Агроэкологии РАН», пр. Университетский, д. 97, 400062, Волгоград, Россия; e-mail: denisov.00@mail.ru

Elena V. Denisova¹

GEOINFORMATION ASSESSMENT OF SPATIAL DISTRIBUTION AND FUNCTIONING OF IRRIGATED LANDS OF THE SVETLOYARSKY DISTRICT OF THE VOLGOGRAD REGION

ABSTRACT

Geoinformation assessment of spatial data is carried out in order to establish the condition and location of irrigated lands on the territory of the Svetloyarsky District of the Volgograd region, as well as their geomorphological characteristics using remote sensing data, digital terrain models, soil maps. The results of the study make it possible to develop a system of socio-economic measures for the effective use of agricultural land and land management. The objectives of the study included: establishing the spatial position, geometric, soil characteristics of irrigated arable land in the study area, as well as developing a map of the distribution of irrigated land, taking into account their use. The boundaries of 1423 plots of irrigated arable land with an area of 52,300.1 hectares have been determined, with the specification of their configuration, spatial placement, relief, exposure based on remote sensing data. The average slope angle of irrigated arable land is 1.16° , the average size of the irrigated arable land plot is 36.6 hectares. The largest area of distribution (33,637.1 hectares) was received by irrigated lands on a slope steepness of 0.5° – 1.0° . To a greater extent – 60.8 % of irrigated lands are located on chestnut salt flats with light chestnut salt complexes. The proportion of light chestnut salty with chestnut salt is 13.5 %. On other types of soils, irrigated lands occupy from 0.6 % to 7.4 %. The calculated value of potential soil flushing in the areas of irrigated arable land most susceptible to the spread of erosion processes ranges from 6.4 t/ha to 35.1 t/ha. Obtaining data on the condition and functioning of irrigated lands on the basis of geoinformation technologies is aimed at preserving soil fertility and maintaining the conditions for the functioning of the agricultural landscape as a whole.

KEYWORDS: agricultural landscape, geoinformation methods, arable land, irrigation, spatial distribution

ВВЕДЕНИЕ

Орошаемые угодья характеризуются высокоинтенсивным использованием, которое при нерациональном ведении хозяйства оказывает значительное влияние на плодородие почв, приводит к разрушению базовой экосистемы в агролесоландшафте и, как следствие, к изменению рельефа и свойств почв.

Интенсивная эксплуатация орошаемых земель способна спровоцировать проявление деградации. Для аридных ландшафтов Юга Европейской России характерно засоление, снижение почвенного плодородия, разрушение гумусового слоя, вывод сельскохозяйственных угодий из оборота и другие негативные процессы, которые непосредственно влияют на продуктивность орошаемых земель.

Орошаемые угодья являются частью природно-хозяйственной системы, работу которой обеспечивают неразрывно связанные между собой элементы: источники орошения, водозаборные сооружения, оросительная сеть, водосборно-сбросная и коллекторно-

¹ Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, FSC of «Agroecology RAS», University avenue, 97, 400062, Volgograd, Russia; e-mail: denisov.00@mail.ru

дренажные сети, гидротехнические сооружения, лесные полосы и дорожная сеть, а также земельные угодья [Денисова, 2021].

При нарушении работы одного из элементов этой системы наблюдаются неблагоприятные процессы, приводящие к подъему уровня грунтовых вод, изменениям водного, солевого, воздушного, питательного режимов, возникает переувлажнение, вторичное засоление, осолонцеватость, дегумификация, снижение почвенного плодородия [Добровольский, 2002]. Исследования многих авторов подтверждают, что наиболее негативные процессы, возникающие при орошении, проявляются на черноземах. Увеличивается плотность почвы, ухудшается структура пахотных горизонтов, снижается впитывающая способность почв и др. [Егоров, 1984; Ковда, 1981; Скуратов, 1987]. Орошение оказывает влияние на снижение гумуса – основного показателя плодородия почв. Однако это явление отмечается только в начальные периоды и только в верхнем слое. При высокой культуре земледелия, ведении системы севооборотов и внесении удобрений, процесс восстановления плодородия налаживается [Минашина, 1988].

В зависимости от качества поливной воды также происходят изменения агрохимических свойств почв, которые можно стабилизировать видом возделываемой культуры [Скуратов, 2000; Лабенец и др., 1974; Шуравилин и др., 2008].

Получение высоких и стабильных урожаев в условиях засушливого климата напрямую зависит от орошения, но влечет за собой ряд негативных процессов: уплотнение, ошелачивание, осолонцевание, денитрификацию и дегумификацию почв. Неправильное орошение быстро сказывается не только на свойствах, но и на продуктивности земель. Снижение водной нагрузки почв, переход к дозированному орошению водой высокого качества, создание дренажной системы – все это должно учитываться при орошении на конкретном типе почв [Пронько, Романов, 2005; Кружилин, Морозова, 2003]. Необходимо создавать такие условия, при которых будет наблюдаться оптимизация почвенных процессов.

При современной многоукладности землевладений и землепользований особенно острым остается вопрос сохранения, восстановления и рекультивации нарушенных земель, защите плодородного слоя и разработке мероприятий по улучшению сельскохозяйственных угодий.

Выявление пространственного распределения участков орошаемых земель определено увеличением площадей, не используемых для производства сельскохозяйственной продукции, связано это с потерей их плодородия [Юферев, 2021].

Основным условием решения проблемы охраны земель является придание устойчивого развития всем объектам природной среды. Оптимизация природной среды сводится к поиску сбалансированного соотношения между эксплуатацией главного ресурсного базиса, их охраной и целенаправленным преобразованием.

Использование геоинформационных систем позволяет учитывать три актуальных направления:

- 1) Исследование изменений объектов в пространстве.
- 2) Изучение пространственно-временных закономерностей.
- 3) Пространственный прогноз, который предлагает варианты развития ситуации.

Так как распределение орошаемых участков носит пространственный характер, то определение и картографирование пространственных характеристик и координат таких участков дает возможность опираться на результаты проведенных исследований при планировании использования земель. Геоинформационные технологии с применением анализа дистанционной информации позволяют изучить пространственные особенности территории, вести мониторинг изменений и определять пути формирования устойчивых агроландшафтов.

Целью исследования является геоинформационная оценка пространственных данных и установление состояния, местоположения орошаемых земель на территории Светлоярского района Волгоградской области, с уточнением их геоморфологических характеристик на основе данных дистанционного зондирования Земли, цифровых моделей рельефа и почвенных карт.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методология исследования пространственного размещения участков орошаемой пашни основана на результатах их позиционирования с применением специализированных геодезических, спутниковых систем, данных топографической привязки с точностью, определенной характеристиками аппаратуры позиционирования [Ma, 2017]. Данные дистанционного зондирования получены с сайта <https://earthexplorer.usgs.com> (дата обращения 07.2019 г.), что позволило собрать и объединить снимки в композиты.

Точность геопозиционирования космоснимков определяется характеристиками съемочной аппаратуры спутников. Наиболее доступными являются космоснимки со спутника «Landsat-8», размещенные на ГИС-сервисах для свободного использования и позволяющие проводить весь комплекс исследований, связанных с получением информации о состоянии сельскохозяйственных угодий [Erol, 2005; Roy, 2014]. Технические характеристики съемочной аппаратуры: наименование – OLI и TIRS, разрешение космоснимка для исследования пашни выбрано 15 (PAN), скорость передачи данных – 265 (OLI) и 26,2 (TIRS) Мбит/сек. Использованы спектральные каналы RGB (B2, B3, B4). Съемка была произведена в июле 2019 года.

Цветными композитами в цветовом пространстве RGB выступают три спектральных канала: длинноволновый Red (красный), средневолновый Green (зеленый) и коротковолновая часть Blue (синий).

На основе этих каналов разработаны цветные композиты в программе QGIS 3.22 разрешением 30 м без использования панхроматического канала B8. Методы обработки основаны на использовании инструментов программы QGIS 3.22 и включали загрузку, обработку, объединение спектральных каналов в цветосинтезированное изображение.

Для получения данных о высотах использовалась глобальная цифровая модель рельефа¹ SRTM 3, которая позволила получить следующие данные – минимальные и максимальные высоты, перепады высот, данные о крутизне склона, в т. ч. средние значения крутизны по всему участку исследования, распределение площади по экспозиции, координаты участков орошения и др., что дает возможность изучать пространственное размещение контуров участков всех исследуемых земель, в т. ч. орошаемых [Lidin, 2018; Rawat, Kumarh, 2015].

Для определения пространственного размещения почвенных контуров на изучаемых участках был использован векторный геоинформационный картографический слой (почвенная карта). Основой послужила почвенная карта Волгоградской области М 1 : 400000 (ГУГК, 1989 г.).

При этом использование снимков сверхвысокого разрешения, дополнительной графической и атрибутивной пространственной информации позволяет с высокой точностью определить их пространственное размещение и провести анализ распределения таких участков на территории исследований, на основании чего создаются соответствующие тематические карты [Malczewski, 2004].

¹ Цифровая база данных высот (CGIAR-CSI). URL: <http://srtm.csi.cgiar.org> (дата обращения 18.02.2021).

Карты разрабатываются на базе цифровой топографической модели¹ по космоснимкам, соответствующим объектам исследований, в среде ГИС в виде тематических растровых, векторных и атрибутивных слоев [Amin, Fazal, 2012].

Пространственный анализ сельскохозяйственного использования почв и создание картографических материалов проводится методами цифровой почвенной картографии, с применением программы QGIS 3.22 и подразумевает последовательное наложение нескольких картографических слоев (пашня орошаемая, пашня богарная, поле и др.) и космоснимков высокого разрешения друг на друга [Li, 2014]. Работа проводилась в несколько этапов. Первый этап заключался в нанесении на космоснимок горизонталей (с помощью изолиний определялась форма склона, уточнялись участки с большей и с меньшей крутизной), полученных на основе цифровой модели рельефа (по данным SRTM). Далее на сформированную картосхему накладывались границы административного района. Последующая работа заключалась в нанесении на картографическую основу тематических слоев (орошаемая пашня, почвенные контуры, контуры полей).

Геоинформационные технологии используются для создания пространственной базы данных об орошаемых землях (координат, геометрии, местоположении, площадях, экспозиции, уклоне и др.), что представляет собой инновационный подход к формированию локальной системы учета орошаемых земель, создания современного картографического обеспечения для эффективного управления и функционирования как всего агроландшафта, так и отдельных его компонентов [Denisova, 2021].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методика исследования пространственного распределения орошаемых сельскохозяйственных угодий Светлоярского района Волгоградской области основана на определении их геометрии, географических координат и высотных отметок, а также их взаимосвязи в пространстве.

Светлоярский район расположен на территории с координатами 48°20' 04.7387" с.ш. и 44°28'44.2085" в.д. Относится к сухостепной зоне каштановых почв, с засушливым климатом, недостатком влаги, низким почвенным плодородием.

Уточнение использования площадей орошаемой пашни было проведено по прямым и косвенным дешифровочным признакам. Структура орошаемой пашни отличается чередованием темных и светлых полос, расположенных близко друг к другу, наличием мелкоконтурных участков правильной геометрической формы. Использование актуальных топографических карт государственного ГИС-центра и схем расположения действующих оросительных систем также позволяет идентифицировать использование орошаемых земель.

Векторизация границ контуров полей и орошаемых участков проведена по данным космической съемки со спутника «Landsat-8», с выбранным разрешением космоснимка для исследования пашни 15 (PAN). В разработанном ГИС-проекте были построены контуры полей и создан картографический слой ГИС (контуры орошаемых полей) в формате .shp (рис. 1).

Орошаемые земли Светлоярского района Волгоградской области относятся к орошаемым массивам на местном стоке до 200 га сухостепной зоны Заволжской провинции, южной части Приволжской возвышенности в долине Волги, со светло-каштановыми солонцеватыми комплексами.

¹ Цифровая модель рельефа. URL: <https://scihub.copernicus.eu/dhus>, 2021 (дата обращения 18.02.2021).

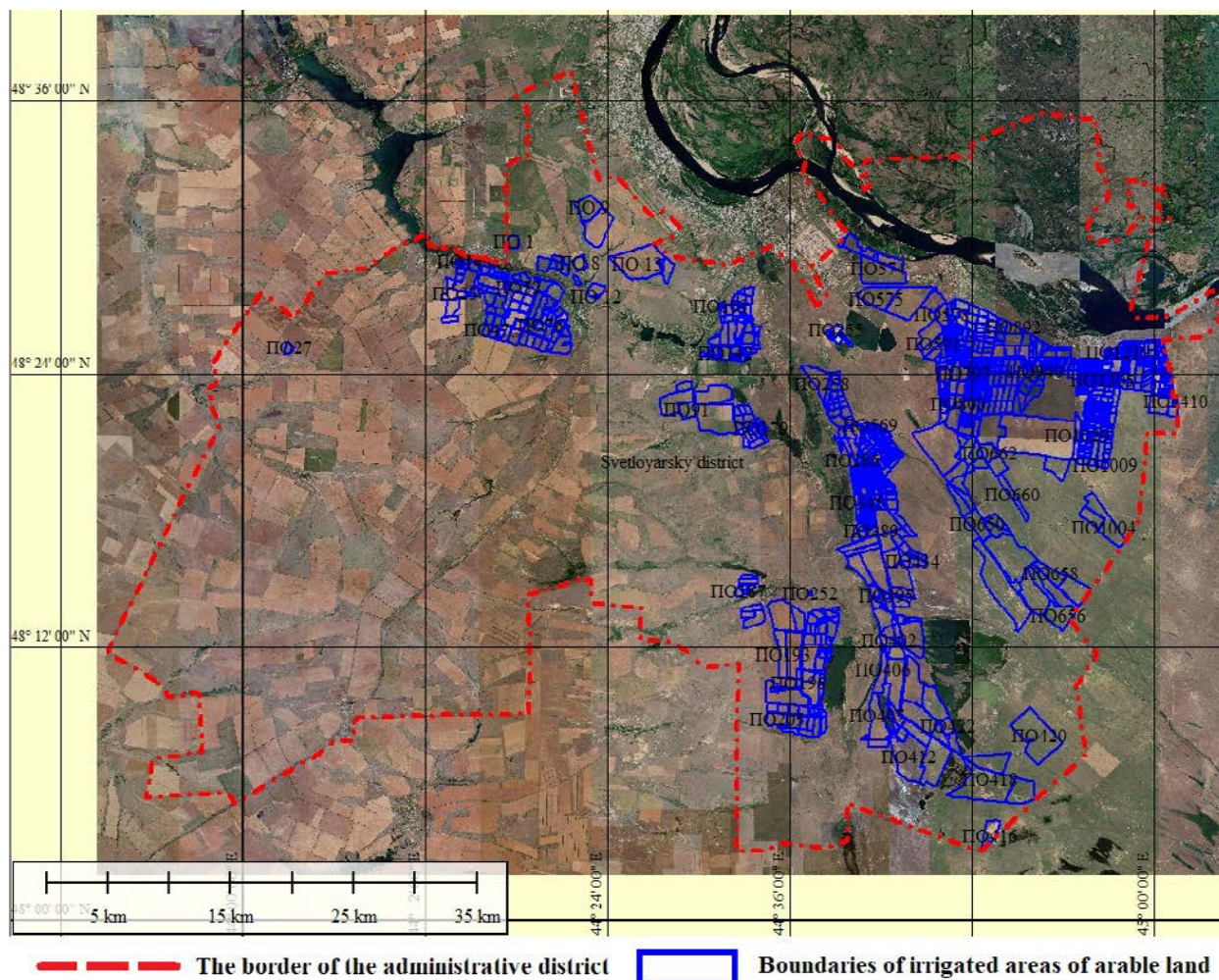


Рис. 1. Космокарта орошаемых участков на территории Светлоярского района Волгоградской области

Fig. 1. Space map of irrigated areas on the territory of the Svetloyarsky District of the Volgograd region

Согласно природному районированию, Светлоярский район находится в правобережной части Прикаспийской низменности, в районе Северной Сарпинской низменной равнины, где до орошения были сосредоточены ареалы природно-засоленных солонцовых почв.

Исходным материалом для уточнения контуров в границах Светлоярского района и получения векторной почвенной карты послужила почвенная карта Волгоградской области М 1:400000 (рис. 2).

До строительства оросительной системы почвенный покров был представлен светло-каштановыми солонцовыми комплексами, доля солонцов в которых достигала 25–50 % (табл. 1).

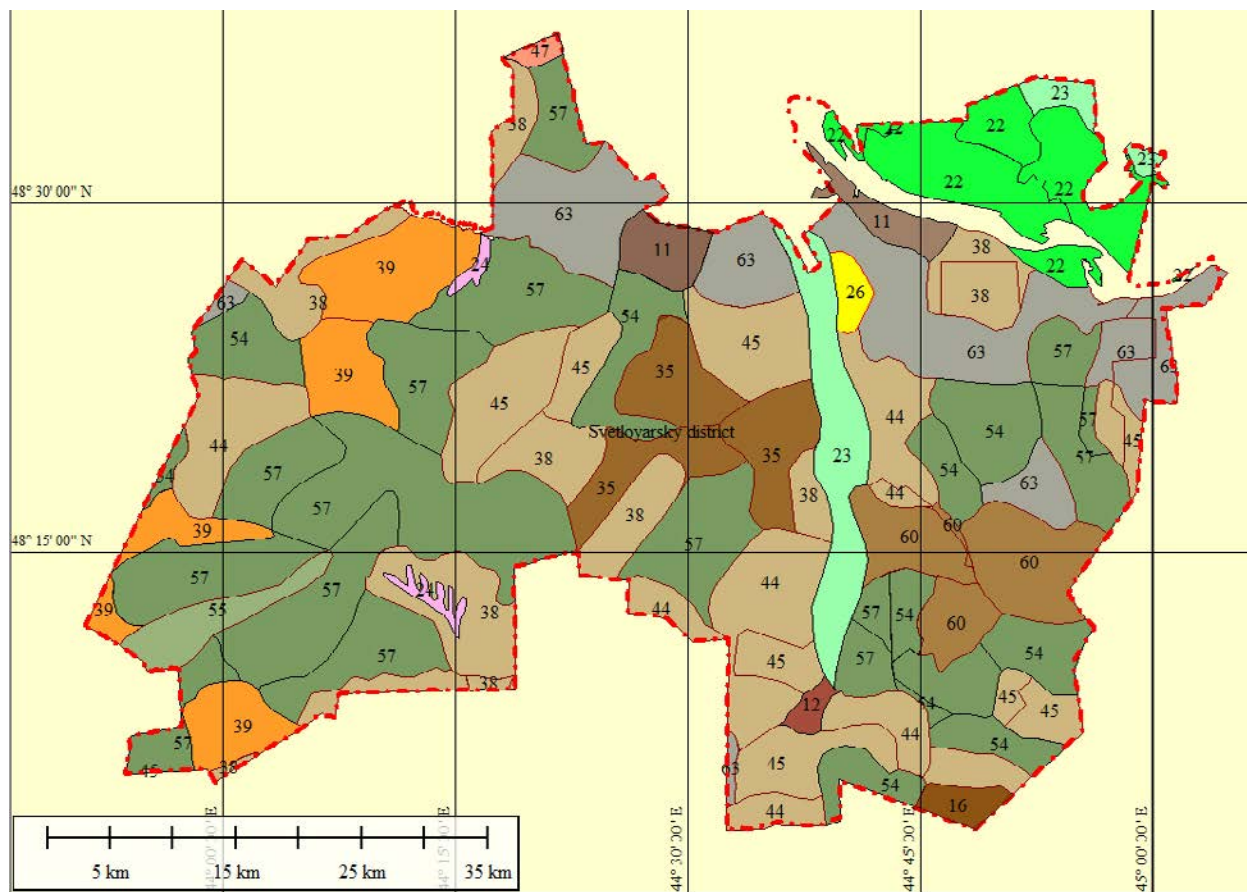


Рис. 2. Карта размещения почвенных контуров на территории Светлоярского района Волгоградской области

Fig. 2. Map of the placement of soil contours on the territory of the Svetloyarsky District of the Volgograd region

Табл. 1. Легенда к карте размещения почвенных контуров

Table 1. Legend to the map of the placement of soil contours

№ на карте	Индекс	Площадь, га	Название почв
1	2	3	4
11	K ₁	5892,0	Светло-каштановые
12	K ₁ ^{сн}	998,4	Светло-каштановые солонцеватые
16	K _л ^{сн}	1760,9	Луговато-каштановые солонцеватые
22	A _{лн}	182403	Аллювиальные луговые насыщенные
23	A _{лн} ^з	12125,0	Аллювиальные луговые насыщенные засоленные
24	ОБ	1450,5	Смытые и намывные почвы оврагов, балок и прилегающих склонов
26	П ^ш	1452,9	Пески среднегумусированные

Название комплекса почв			
35	$K_1-C_{H*}^k$	15378,3	Светло-каштановые с солонцами каштановыми 10–25 %
38	$K_1-C_{H**}^k$	28997,6	Каштановые с солонцами каштановыми 25–50 %
39	$K_2-C_{H**}^k$	20442,7	Каштановые с солонцами каштановыми 25–50 %
44	$K_1^{ch}-C_{H*}^k$	30186,2	Светло-каштановые солонцеватые с солонцами каштановыми 10–25 %
45	$K_1^{ch}-C_{H**}^k$	27623,8	Светло-каштановые солонцеватые с солонцами каштановыми 25–50 %
47	$K_2^{ch}-C_{H**}^k$	639,2	Каштановые солонцеватые с солонцами каштановыми 25–50 %
54	$C_H^k-K_{1*}$	32035,9	Солонцы каштановые с светлокаштановыми 10–25 %
55	$C_H^k-K_{2*}$	4297,7	Солонцы каштановые с каштановыми 10–25 %
57	$C_H^k-K_{1**}$	79680,7	Солонцы каштановые с светлокаштановыми 25–50 %
60	$C_H^k-K_{1*}^{ch}$	12151,4	Солонцы каштановые с светлокаштановыми солонцеватыми 10–25 %
63	$C_H^k-K_{1**}^{ch}$	34328,6	Солонцы каштановые с светлокаштановыми солонцеватыми 25–50 %

Для выделения 1423 контуров орошаемых участков площадью 52300,1 га были использованы космоснимки территории исследования 2019 г. Величина площади орошаемой пашни меняется от 0,698 га (ПО157) до 1071,7 га (ПО653). Расчлененность территории незначительная (1,1 км/км²), перепад высот по всему району исследования колеблется от 0 м до 131 м, присутствуют балки и понижения. Средняя крутизна склона орошаемой пашни – 1,16°, средний размер участка орошаемой пашни – 36,6 га. Дополнительно было получены следующие характеристики: распределение площади по экспозиции склона, уклоны (max, min), средние значения (°, %), максимальные и минимальные высоты, географические координаты и др.

Для эталонирования результатов исследования были проведены наземные исследования на тестовых участках, которые включали в себя определение способов орошения, наличия элементов оросительных систем.

Табл. 2. Распределение орошаемых земель по крутизне склона

Table 2. Distribution of irrigated lands by slope steepness

Вид угодий	Количество участков орошаемой пашни, шт	Интервал крутизна склона, град.	Суммарная площадь, га
Пашня орошаемая	761	до 0,5	17219,3
Пашня орошаемая	645	0,5–1,0	33637,1
Пашня орошаемая	12	1,0–1,5	720,0
Пашня орошаемая	2	1,5–2,0	150,3
Пашня орошаемая	2	2,0–2,5	228,5
Пашня орошаемая	1	более 2,5	344,9
Итого	1423		52300,1

Распределение орошаемых земель по крутизне склона (табл. 2) позволяет сделать вывод, что основное количество орошаемой пашни (1418 участков или 99,0 %) расположено до 1,5° (табл. 2). Уточнение средней крутизны по типам почв (табл. 3) позволило определить величину – 0,5°. Таким образом, водная эрозия на 98,6 % территории не проявляется.

Табл. 3. Характеристика орошаемых участков на территории Светлоярского района Волгоградской области

Table 3. Characteristics of irrigated areas on the territory of the Svetloyarsky District of the Volgograd region

Основные типы почв	Наименование угодий	Площадь, га	Средняя высота, м	Средняя крутизна, град
1	2	3	4	5
Каштановые с солонцами каштановыми (38)	пашня орошаемая	2071,28	12,6	0,47
Светло-каштановые солонцеватые с солонцами каштановыми (44)	пашня орошаемая	7051,54	10,95	0,58
Солонцы каштановые с светло-каштановыми солонцеватыми (54, 57, 60, 63)	пашня орошаемая	31803,04	15,63	0,47
Аллювиальные луговые насыщенные засоленные (23)	пашня орошаемая	3150,46	8,1	0,57
Светло-каштановые солонцеватые с солонцами каштановыми (45)	пашня орошаемая	3857,54	12,2	0,53
Светло-каштановые (11)	пашня орошаемая	1132,76	43,3	0,8
Другие почвенные комплексы	пашня орошаемая	2933,96	9,5	0,79
Смытые и намывные почвы оврагов, балок и прилегающих склонов (24)	пашня орошаемая	299,522	80,8	0,67

В результате анализа таблиц 2 и 3 были установлены участки орошаемой пашни, наиболее подверженные процессам эрозии (ПО91, ПО92, ПО93, ПО190, ПО363). На основе полученных геоморфологических характеристик была рассчитана величина потенциально-го смыва почвы на этих участках (табл. 4).

Табл. 4. Расчет величины потенциального смыва почвы на орошаемых участках, подверженных эрозии

Table 4. Calculation of the amount of potential soil flushing in irrigated areas subject to erosion

Обозначение поля	Площадь, га	Средняя крутизна склона, град	Длина линии стока, м	Потенциально возможный смыв почвы, т/га
ПО91	141,2	2,19	1200	19,6
ПО92	344,9	2,56	2500	35,1
ПО93	87,3	2,43	2400	29,2
ПО190	140,9	1,66	1700	17,5
ПО363	9,4	1,54	200	6,4

ВЫВОДЫ

При определении пространственного размещения орошаемой пашни были установлены границы 1423 участков, используемых для этих целей, суммарной площадью 52300,1 га. Максимальное количество орошаемой пашни (761 участок) на площади 17219,3 га или 33 % имеет интервал угла склона до 0,5°. Однако наибольшую площадь распространения получили орошаемые угодья на крутизне склона от 0,5° до 1,0° – 64,3 % от всей исследуемой территории.

Анализ распределения орошаемых участков по типам почв показал, что наиболее используемыми почвами на орошении являются солонцы каштановые со светло-каштановыми солонцеватыми комплексами – 60,8 % и светло-каштановые солонцеватые с солонцами каштановыми – 13,5 %. На остальных типах почв орошаемые угодья занимают от 0,6 % до 7,4 %.

Определение геоморфологических характеристик на основе геоинформационной оценки пространственных данных позволило определить границы участков орошаемой пашни, наиболее подверженных процессам эрозии. На основе этих данных была рассчитана потенциальная величина смыва с участков орошаемой пашни ПО91, ПО92, ПО93, ПО190 и ПО363, которая позволит наметить мероприятия по предотвращению развития эрозионных процессов.

Зона светло-каштановых почв активно используется в сельскохозяйственной отрасли, и деградационные процессы различного характера приводят к разрушению не только его отдельных компонентов, но и всего агроландшафта. Применение ГИС-технологий позволит получить объективные и достоверные сведения о каждом участке пашне, что позволяет проводить предварительную оценку современного и перспективного использования земель сельскохозяйственного назначения. Получение данных о состоянии и функционировании орошаемых угодий на основе геоинформационных технологий направлено на сохранение плодородия почв и поддержание условий функционирования агроландшафта в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Добровольский Г.В.* Деградация и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 2002. 654 с.
2. *Денисова Е.В.* Геоинформационный анализ компонентов агроландшафта для целей землеустройства, кадастра и мониторинга орошаемых земель. Геодезия и картография. 2021. № 1. С. 56–64. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-967-1-56-64.
3. *Егоров В.В.* Об орошении черноземов. Почвоведение. 1984. № 12. С. 39–47.
4. *Ковда В.А.* Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. М.: Наука, 1981. С. 28–79.
5. *Кружилин И.П., Морозова А.С.* Влияние орошения на почвы и ландшафты степей. Почвоведение. 1993. № 11. С. 4–9.
6. *Лабенец Е.И., Горбунов Г.Н., Шурина Г.Н.* Прогноз изменений свойств почв и разрушения минералов под влиянием воды и растворов. Почвоведение. 1974. № 4. С. 130–146.
7. *Минашина Н.Г.* Заботиться о плодородии почв при орошении. Мелиорация и водное хозяйство. 1988. № 2. С. 36–38.
8. *Пронько Н.А., Романов А.Г.* Приемы восстановления плодородия почв при орошении. Плодородие, 2005. № 4 (25). С. 31–32.
9. *Скуратов Н.С.* Влияние орошения на свойства обыкновенных черноземов. Мелиорация и урожай. 1987. № 4. С. 17–19.
10. *Скуратов Н.С.* Руководство по контролю и регулированию почвенного плодородия орошаемых земель при их использовании. Новочеркасск, 2000. 85 с.

11. Шуравилин А.В., Вуколов Н.Г., Пивень Е.А. Свойства и плодородие почв при многолетнем орошении. Плодородие. 2008. № 1. С. 19–21.
12. Юфёрев В.Г. Пространственное распределение орошаемых земель на территории Черныярского района Астраханской области. Научно-агрономический журнал. 2021. № 3 (114). С. 39–45.
13. Amin A., Fazal S. Quantification of Land Transformation Using Remote Sensing and GIS Techniques. American Journ. of Geographic Information System. 2012. Vol. 1. No. 2. P. 17–28.
14. Denisova E.V. Assessment of the efficiency of agricultural land use using GIS technologies. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2021. No. 12 (57). P. 1582–1589.
15. Erol H., Akdeniz F.A. Per-field classification method based on mixture distribution models and an application to Landsat Thematic Mapper Data. Int. Journ. of Remote Sens. 2005. No. 26. P. 1229–1244.
16. Li X., Liu X., Yu L. Aggregative model-based classifier ensemble for improving land-use/cover classification of Landsat TM Images. Int. Journ. of Remote Sens. 2014. No. 35. P. 1481–1495.
17. Lidin K.L., Meerovich M.G., Bulgakova E.A., Vershinin V.V., Papaskiri T.V. Applying the theory of informational flows in urbanism for a practical experiment in architecture and land use Espacios. 2018. No. 1 (39). 12 p.
18. Ma, X. Optimized Sample Selection in SVM Classification by Combining with DMSP-OLS, Landsat NDVI and GlobeLand30 Products for Extracting Urban Built-Up Areas. Journ. of Remote Sens. 2017. No. 9. P. 1–16.
19. Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in Planning. 2004. No. 62. P. 3–65.
20. Rawat J.S., Kumar M. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, District Almora, Uttarakhand, India. The Egyptian Journ. of Remote Sensing and Space Science. 2015. Vol. 18. Iss. 1. P. 77–84.
21. Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. Remote Sensing of Environment. 2014. No. 145. P. 154–172.

REFERENCES

1. Amin A., Fazal S. Quantification of Land Transformation Using Remote Sensing and GIS Techniques. American Journ. of Geographic Information System. 2012. Vol. 1. No. 2. P. 17–28.
2. Denisova E.V. Assessment of the efficiency of agricultural land use using GIS technologies. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2021. No. 12 (57). P. 1582–1589.
3. Denisova E.V. Geoinformation analysis of agricultural landscape components for land management, cadastre and monitoring of irrigated lands. Geodezia i Kartografia. 2021. No. 967 (1). P. 56–64 (in Russian).
4. Dobrovol'skij G.V. Soil degradation and protection. Moscow: MSU Publishing House, 2002. 654 p. (in Russian).
5. Egorov V.V. About irrigation of chernozems. Soil science. 1984. No. 12. P. 39–47 (in Russian).
6. Erol H., Akdeniz F.A. Perfield classification method based on mixture distribution models and an application to Landsat Thematic Mapper Data. Int. Journ. of Remote Sens. 2005. No. 26. P. 1229–1244.
7. Kovda V.A. Soil cover, its improvement, use and protection. Moscow: The science, 1981. P. 28–79 (in Russian).
8. Kruzhillin I.P., Morozova A.S. The influence of irrigation on the soils and landscapes of the steppes. Soil science. 1993. No. 11. P. 4–9 (in Russian).

9. *Labenec E.I., Gorbunov G.N., SHurina G.N.* Forecast of changes in soil properties and destruction of minerals under the influence of water and solutions. *Soil science*. 1974. No. 4. P. 130–146 (in Russian).
 10. *Li X., Liu X., Yu L.* Aggregative model-based classifier ensemble for improving land-use/cover classification of Landsat TM Images. *Int. Journ. of Remote Sens.* 2014. No. 35. P. 1481–1495.
 11. *Lidin K.L., Meerovich M.G., Bulgakova E.A., Vershinin V.V., Papaskiri T.V.* Applying the theory of informational flows in urbanism for a practical experiment in architecture and land use *Espacios*. 2018. No. 1 (39). 12 p.
 12. *Ma, X.* Optimized Sample Selection in SVM Classification by Combining with DMSP-OLS, Landsat NDVI and GlobeLand30 Products for Extracting Urban Built-Up Areas. *Journ. of Remote Sens.* 2017. No. 9. P. 1–16.
 13. *Malczewski J.* GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*. 2004. No. 62. P. 3–65.
 14. *Minashina N.G.* Take care of soil fertility during irrigation. *Land reclamation and water management*. 1988. No. 2. P. 36–38 (in Russian).
 15. *Pron'ko N.A., Romanov A.G.* Techniques for restoring soil fertility during irrigation. *Fertility*. 2005. No. 4 (25). P. 31–32 (in Russian).
 16. *Rawat J.S., Kumar M.* Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, District Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journ. of Remote Sensing and Space Science*. 2015. Vol. 18. Iss. 1. P. 77–84.
 17. *Roy D.P., Wulder M.A., Loveland T.R.* Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*. 2014. No. 145. P. 154–172.
 18. *Skuratov N.S.* The effect of irrigation on the properties of ordinary chernozems. *Melioration and harvest*. 1987. No. 4. P. 17–19 (in Russian).
 19. *Skuratov N.S.* Guidelines for the control and regulation of soil fertility of irrigated lands during their use. *Novocherkassk*, 2000. 85 p. (in Russian).
 20. *Shuravilin A.V., Vukolov N.G., Piven' E.A.* Properties and fertility of soils under long-term irrigation. *Fertility*. 2008. No. 1. P. 19–21 (in Russian).
 21. *Yuferev V.G.* Spatial distribution of irrigated Lands on the Territory of the Chernoyarsky District of the Astrakhan Region. *Scientific Agronomy Journal*. 2021. No. 3 (114). P. 39–45 (in Russian).
-