

УДК: 528.94

DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-761-772

А.А. Васильченко¹

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ЛОКАЛЬНОЙ ГИС ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

АННОТАЦИЯ

Волго-Ахтубинская пойма является особо ценным природным объектом на юге России, расположена она на территории трех субъектов нашей страны. Здесь функционируют три региональные и одна федеральная особо охраняемые природные территории (ООПТ). Тенденции аграрного использования пойменных земель направлены на рост посевных площадей и интенсификацию сельского хозяйства. В этих условиях возрастают риски различных загрязнений почвы и водных ресурсов. Контроль землепользования, а также посевных площадей, невозможен без знания актуального состояния и местоположения обрабатываемых орошаемых земель. Современная политика государства направлена на вовлечение в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных земель. Одним из этапов этого процесса является актуализация сведений об исследуемых территориях. В данной статье представлены результаты разработки локальной геоинформационной системы орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы в пределах Волгоградской области. Цель работы – создание и поддержание функционирования локальной геоинформационной системы орошаемых полей, природных и антропогенных объектов, формирующих общую привлекательность участков с точки зрения возобновления хозяйственной деятельности относительно сельских поселений, находящихся в пределах Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области. Автором разработаны тематические геоинформационные слои по трем блокам: природные, хозяйственные и аналитические. Основными материалами для составления тематических слоев являлись данные дистанционного зондирования Земли высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Обоснованы различные методики при формировании геоинформационных слоев, а также раскрыта проблематика идентификации орошаемых земель автоматизированными способами и перспективы автоматизации процесса определения используемости орошаемых земель. Общая структура локальной ГИС состоит из более чем 20 слоев и 50 наборов атрибутивных данных. Локальная геоинформационная система может быть представлена в виде веб-ГИС и использоваться в ландшафтно-экологических исследованиях, а также для оптимизации мероприятий по вовлечению в хозяйственную деятельность земель сельскохозяйственного назначения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Волго-Ахтубинская пойма, картография, национальный проект, ДЗЗ, ГИС-технологии

¹ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, пр. Университетский, д. 97, 400062, г. Волгоград, Россия; e-mail: vasilchenko-a@vfanc.ru

Aleksandr A. Vasilchenko¹

EXPERIENCE OF DEVELOPING A LOCAL GIS FOR IRRIGATED LAND OF THE VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN IN THE TERRITORY OF THE VOLGOGRAD REGION

ABSTRACT

The Volga-Akhtuba floodplain is a particularly valuable natural object in the south of Russia, located on the territory of three constituent entities of our country. There are three regional and one federal protected areas. Trends in the agricultural use of floodplain lands are aimed at increasing acreage and intensifying agriculture. Under these conditions, the risks of various pollution of soil and water resources increase. Land use control, as well as sown areas, is impossible without knowledge of the current state and location of cultivated irrigated lands. The modern policy of the state is aimed at involving unused agricultural land, one of the stages of which is updating information. The paper presents the results of the development of a local geoinformation system for irrigated lands of the Volga-Akhtuba floodplain within the Volgograd region. The purpose of the work is to create and maintain the functioning of a local geoinformation system of irrigated fields, natural and anthropogenic objects that form the general attractiveness of sites in terms of resuming economic activity, in the context of rural settlements located within the Volga-Akhtuba floodplain on the territory of the Volgograd areas. The author has developed thematic geoinformation layers in three blocks: natural, economic and analytical. The main materials for compiling the thematic layers were Earth remote sensing data of high and ultra-high spatial resolution. Substantiated are various methods for the formation of geoinformation layers, as well as the problems of identifying irrigated lands by automated methods and the prospects for automating the process of determining the use of irrigated lands. The general structure of a local GIS consists of more than 20 layers and 50 attribute datasets. A local geoinformation system can be presented as a web GIS and used in landscape and environmental studies, as well as to optimize measures to involve agricultural land.

KEYWORDS: Volga-Akhtuba floodplain, cartography, national project, remote sensing, GIS technologies

ВВЕДЕНИЕ

Волго-Ахтубинская пойма – это уникальный природный объект, находящийся в пределах трех субъектов Российской Федерации: Волгоградской области, республики Калмыкия и Астраханской области. Уникальность данного интразонального ландшафта определила его существенное хозяйственное использование в XX веке. Однако строительство каскада ГЭС на Волге вызвало значительные изменения естественного режима паводков, экосистемы поймы сильно нарушены [Каблов, 2015; Kuzmina et al., 2018]. Нерациональное обводнение и деградация гидротехнических систем являются основной современной проблемой поймы, которая препятствует рациональной хозяйственной деятельности [Болгов и др., 2017]. Это касается не только Нижней Волги, но и пойм других рек [Kuzmina et al., 2019; Solodovnikov, Shinkarenko, 2020]. В настоящее время в различных структурах

¹ Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Universitetskiy ave., 97, 400062, Volgograd, Russia; e-mail: vasilchenko-a@vfanc.ru

сельского хозяйства динамика остается нестабильной. Большая часть сельскохозяйственных угодий является орошаемой. Основной сельскохозяйственный продукт, выращиваемый в пределах поймы, – овощи. Величина посевных площадей овощей в регионе в последние годы увеличивается [Васильченко, 2020].

Современные условия формирования хозяйственной деятельности на территории Волго-Ахтубинской поймы стимулируют сельхозпроизводителей вновь использовать заброшенные орошаемые массивы. В рамках национального проекта «Экология» и региональных проектов по оздоровлению Волги существенно изменяются и улучшаются водотоки в пределах поймы, а также строятся водопропускные сооружения¹. Дополнительной мотивацией для сельхозпроизводителей и являются государственные и региональные субсидии для ведения деятельности в рамках государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации². Для этих целей необходимо геоинформационное обеспечение процессов мониторинга и выявления наиболее привлекательных с точки зрения ведения хозяйства участков, в том числе инвентаризация в рамках государственной программы. Также необходимо обнаружение нелегально обрабатываемых земель.

Спутниковый мониторинг посевных площадей является актуальной и современной задачей. В настоящее время существует достаточно много информационных продуктов, которые позволяют анализировать пространственную и временную динамику растительности, почв на обрабатываемых землях, определять структуру посевных площадей, выделять неиспользуемые земли. Особенностью орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы является маленькая площадь отдельных полей в пределах массивов, из-за чего невозможно их выделить традиционными алгоритмами по материалам спутниковых изображений среднего и низкого разрешения. Актуализация сведений об использовании земель в совокупности с кадастровыми данными позволит выявлять неправомерные занятия свободных участков. Земли сельскохозяйственного назначения не используются должным образом и зарастают многолетними сорными растениями: *Cirsium arvense*, *Rhaponticum repens*, *Amaranthus retroflexus*, *Setaria viridis* [Ханчаева, 2015].

Объектом исследования является территория 3-х районов Волгоградской области (Светлоярский, Ленинский, Среднеахтубинский) в пределах 14-ти сельских поселений (Ахтубинское, Куйбышевское, Заплавненское, Бахтияровское, Каршевитское, Клетское, Кировское, Колобовское, Маляевское, Покровское, Райгородское, Суходольское, Фрунзенское, Царевское) и 3-х городских поселений (Краснослободск, Ленинск, Светлый Яр).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все основные геоинформационные слои локальной ГИС орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы составляются или дополняются на основе данных дистанционного зондирования Земли высокого или сверхвысокого пространственного разрешения. Основная геоинформационная система для выполнения картографирования – QGIS вер-

¹ Нацпроект «Экология» в регионах: проект обводнения Волго-Ахтубинской поймы. Электронный ресурс: http://www.mnr.gov.ru/press/news/natsproekt_ekologiya_v_regionakh_rassmotren_proekt_obvodneniya_volgo_akhtubinskoj_roumy_/?special_version=Y (дата обращения 15.11.2021).

² Постановление от 14 мая 2021 г. №731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации». Электронный ресурс: <http://static.government.ru/media/files/H0r3EQe7gpGEJvEtfAC1XtnJ4gt6Xpr2.pdf> (дата обращения 20.10.2021).

сии 3. Использование QGIS мотивируется бесплатным характером распространения геоинформационной системы, множеством подключаемых модулей, а также совместимостью с популярными инструментами публикации данных Qgis2web и NextGIS. Картографирование производилось по трем основным блокам: природный блок, антропогенный, а также аналитический. В состав природного блока входят: 1 группа слоев с 9 слоями, 4 слоя с данными и 12 атрибутов.

Выделение водных объектов по меженным данным производится на основе экспертного дешифрирования данных высокого пространственного разрешения с уточнением по сверхвысоким данным Google Earth. Важным аспектом работы с данными сверхвысокого разрешения является понимание даты снимка. На всю территорию картографирования даты снимков мозаики были уточнены с помощью программы Google Earth. Выделение лесных насаждений производилось по аналогичной методике.

Выделение динамики затопляемых площадей производилось по данным высокого пространственного разрешения с помощью полуавтоматической классификации на основе коэффициента спектральной яркости. Данная методика хорошо себя зарекомендовала в аналогичных работах [Шинкаренко, Солодовников, 2018; Шинкаренко, 2021b; Васильченко, 2021; Solodovnikov, Shinkarenko, 2021]. В качестве основы следует использовать каналы ближнего, среднего или коротковолнового инфракрасного диапазона (NIR, MIR, SWIR). Наиболее доступными в этом плане считаются снимки со спутников Sentinel 2 и Landsat. В архивах данных ДЗЗ со спутника Sentinel 2A/2B (временной промежуток: 2015 – н. в.) используют канал (band) № 8 (NIR – ближний инфракрасный), а также № 11 (SWIR – коротковолновый инфракрасный). Данные Landsat 8 (сканер OLI/TIRS, временной промежуток: 2014 – н. в., пространственное разрешение – 30 м) – канал № 7 (SWIR 2) – коротковолновой инфракрасный диапазон (2,11–2,29 мкм). Перед проведением классификаций необходимо осуществлять операции по атмосферной коррекции и радиометрической калибровке. Такие операции для данных Landsat могут производиться вручную на основе метаданных, поставляемых вместе со спектрально-зональными данными, или же в автоматическом режиме, используя инструменты в ГИС, например, модуль QGIS: Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). Данные Sentinel 2 поставляются уже с радиометрической калибровкой и требуют только атмосферной коррекции, которая выполняется в специальном программном обеспечении SNAP или модуле SCP. [Кошкин и др., 2017]. Для выделения водной поверхности использовался метод экспертного порога: задается граничное значение коэффициента спектральной яркости для ИК-канала. Значения, не являющиеся водной поверхностью, устанавливаются прозрачными. Опыт использования такого метода показал, что для спектрально-зональных данных пороговое значение коэффициента спектральной яркости не превышает 0,05. Данные значения являются универсальными в большинстве случаев, но все же требуют контроля и уточнения. Далее производится экспорт только изображения с примененным стилем (создается новый растр). Необходимые данные переводятся в векторный формат с помощью функций «растр в вектор» для дальнейшего анализа. При больших массивах данных этапы обрезки снимков и векторизации производятся в пакетном режиме, это максимально ускоряет процесс обработки. После векторизации следует удалить лишние объекты и проверить топологию получившихся слоев (ошибки геометрии), при необходимости уточняются границы по данным сверхвысокого пространственного разрешения [Шинкаренко и др., 2021a].

Создание слоев с почвами и почвообразующими породами производилось на основе привязки растровой почвенной карты Волгоградской области масштаба 1:400000 от 1985 г., разработанной государственным агропромышленным комитетом РСФСР с помощью модуля Freehand Raster Georeference. Преимущество данного модуля состоит в быстрой привязке

растров по двум опорным точкам с ручной корректирующей трансформацией растра.

Хозяйственный блок локальной ГИС орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области состоит из 4 слоев и 20 атрибутов. Общая схема слоев ГИС представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема блоков ГИС орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы

Fig. 1. Flowchart of GIS irrigated lands of the Volga-Akhtuba floodplain

Основой слоя с дорогами являются открытые данные OpenStreetMaps. Дополнение дорог для базы данных производилось по данным сверхвысокого пространственного разрешения. Процесс дешифрирования и создания базы данных с различного уровня дорогами имеет определенные особенности, среди которых следует упомянуть процесс подбора актуального снимка сверхвысокого разрешения, правильное дешифрирование грунтовых дорог в районах животноводческих точек, а также идентификацию актуальных грунтовых дорог в местах создания параллельных путей. Использование нескольких источников данных ДЗЗ сверхвысокого пространственного разрешения, таких как Google, Yandex, Bing (спутники World View 2, 3), которые подключаются в качестве WMS слоев, является важным аспектом при дешифрировании необходимых пространственных объектов. Использование двух и более источников необходимо для более точного определения.

Дешифрирование основного слоя с сельскохозяйственными полями производится на основе сведений сверхвысокого пространственного разрешения и коррекцией по данным высокого пространственного разрешения. При дешифрировании орошаемых массивов важно различать границы между полями, представленными дорогами, оросительными каналами и арыками. Так как при дальнейшем пространственном анализе промежуточные значения могут давать некорректные средние и максимальные данные по полям. Векторный слой с полями является самым информативным в базе данных орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы. Составление атрибутов для этого слоя имеет свои особенности. Для выявления ближайшего объекта требуется использование алгоритмов, подходящих по

принципу работы. Для выявления ближайшего водотока к полю используются алгоритмы, работающие по принципу расчета ближайшего объекта по прямой линии. Применение такого метода вполне целесообразно для орошаемых массивов, так как для них прокладывается одна магистраль, длина которой должна быть минимальна вследствие экономических особенностей. Инструментарий такой операции ограничивается модулем NNJoin, который вписывает необходимые данные в таблицу атрибутов (ID ближайшего объекта и расстояние), а также инструментом *v.distance* (GRASS GIS), который создает линейный слой ближайших расстояний. Вычисление близлежащей асфальтированной дороги производится с помощью алгоритмов, учитывающих линейную структуру промежуточных объектов (модуль *Road graph plugin*).

Важным этапом геоинформационного анализа сельскохозяйственных полей является определение их использования. Отличительной особенностью орошаемых полей Волго-Ахтубинской поймы являются: маленькая площадь и размеры. В связи с этим большинство подходов, применяемых для анализа богарных полей, в условиях орошения не могут использоваться [Балдина, Трошко, 2016]. Основным и более точным способом определения обрабатываемых орошаемых массивов является использование вегетационного индекса NDVI, применение которого уже зарекомендовало себя в анализе растительного покрова в районе исследования [Шинкаренко, Барталев, 2020]. Нормализованный относительный индекс растительности – показатель активности биомассы – является отношением разности отражения в ближнем инфракрасном диапазоне и отражения в красном диапазоне к их сумме. Биомасса присутствует на используемых и неиспользуемых полях, поэтому применение NDVI как индикатора представляется сложным. В этом случае более рациональным способом будет являться анализ сезонной динамики NDVI.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результатом создания локальной ГИС орошаемых земель является около 20 геоинформационных слоев и 50 наборов атрибутивных данных к этим слоям. Все данные в ГИС разделены на блоки.

На основе экспертного дешифрирования данных высокого и сверхвысокого пространственного разрешения составлен полигональный слой с водными объектами по межвенным значениям. Картографировано более 7 тыс. водных объектов общей площадью более 200 км². Картографирование производилось в рабочих масштабах от 1:250 до 1:1000. В атрибутах слоя указан уникальный идентификатор объекта, а также площадь в гектарах. Использование слоя необходимо для моделирования ближайшего водотока, в котором с высокой вероятностью будет вода в любой период года.

С помощью управляемой классификации на основе безоблачных данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения созданы векторные геоинформационные слои с площадями затопления в период половодья за 2013–2021 гг. Ввиду отсутствия безоблачных снимков на короткий пиковый период сброса, некоторые данные имеют ограниченность по площади, что указано в описании слоев. В базе данных слои с затоплением соединены в один и классифицируются по дате снимка. Соединение позволило моделировать максимально возможные площади затопления за исследуемый период. Карта природного блока ГИС представлена на рисунке 2.

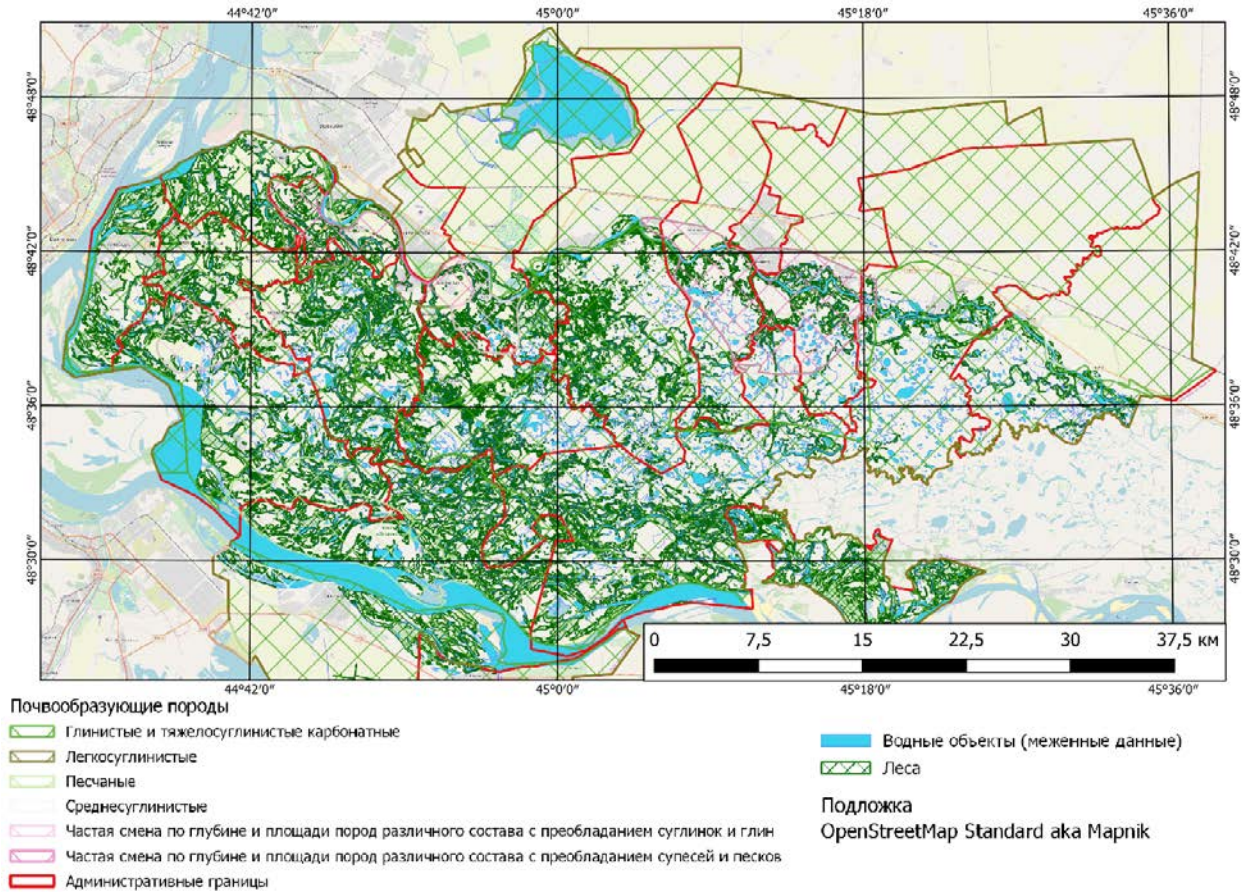


Рис. 2. Карта природных объектов в ГИС орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы
 Fig. 2. Map of natural objects in the GIS of irrigated lands of the Volga-Akhtuba floodplain

Полигональный слой с лесными насаждениями содержит в себе более 28 тыс. объектов общей площадью более 35 тыс. га. Данные получены на основе экспертного дешифрирования снимков сверхвысокого пространственного разрешения в рабочих масштабах от 1:250 до 1:1000. Буферный анализ с использованием данных этого слоя позволит выявлять незащищенные от эрозии и дефляции поля.

Полигональные слои с почвами и почвообразующими породами оцифрованы по почвенной карте Волгоградской области масштаба 1:400000 от 1985 г. Более 60 контуров почв и 15 контуров почвообразующих пород. В атрибутах указаны: идентификатор полигона, название почв и комплекс, почвообразующие породы, водная эрозия, содержание гумуса, мощность гумусового горизонта.

Линейный векторный слой дорог. В атрибутах указан идентификатор, тип дороги, покрытие, длина, риск затопления, а также источник получения данных. Типы дорог подразделяются на основные дороги (более 280 объектов), дороги населенных пунктов (более 4,5 тыс. объектов), грунтовые дороги (более 7 тыс. объектов). За базовые были взяты данные OpenStreetMaps, точность которых вполне удовлетворяет требованиям данной локальной ГИС. Базовые данные OSM были уточнены и дополнены почти таким же количеством объектов с помощью ручного экспертного дешифрирования данных ДЗЗ сверхвысокого пространственного разрешения в рабочих масштабах от 1:500 до 1:1500.

Базовые слои с административными границами и населенными пунктами составлены на основе данных OSM с дополнениями по публичной кадастровой карте¹. У каждого объекта имеется уникальный идентификатор и название на русском языке в системе кодировки UTF-8.

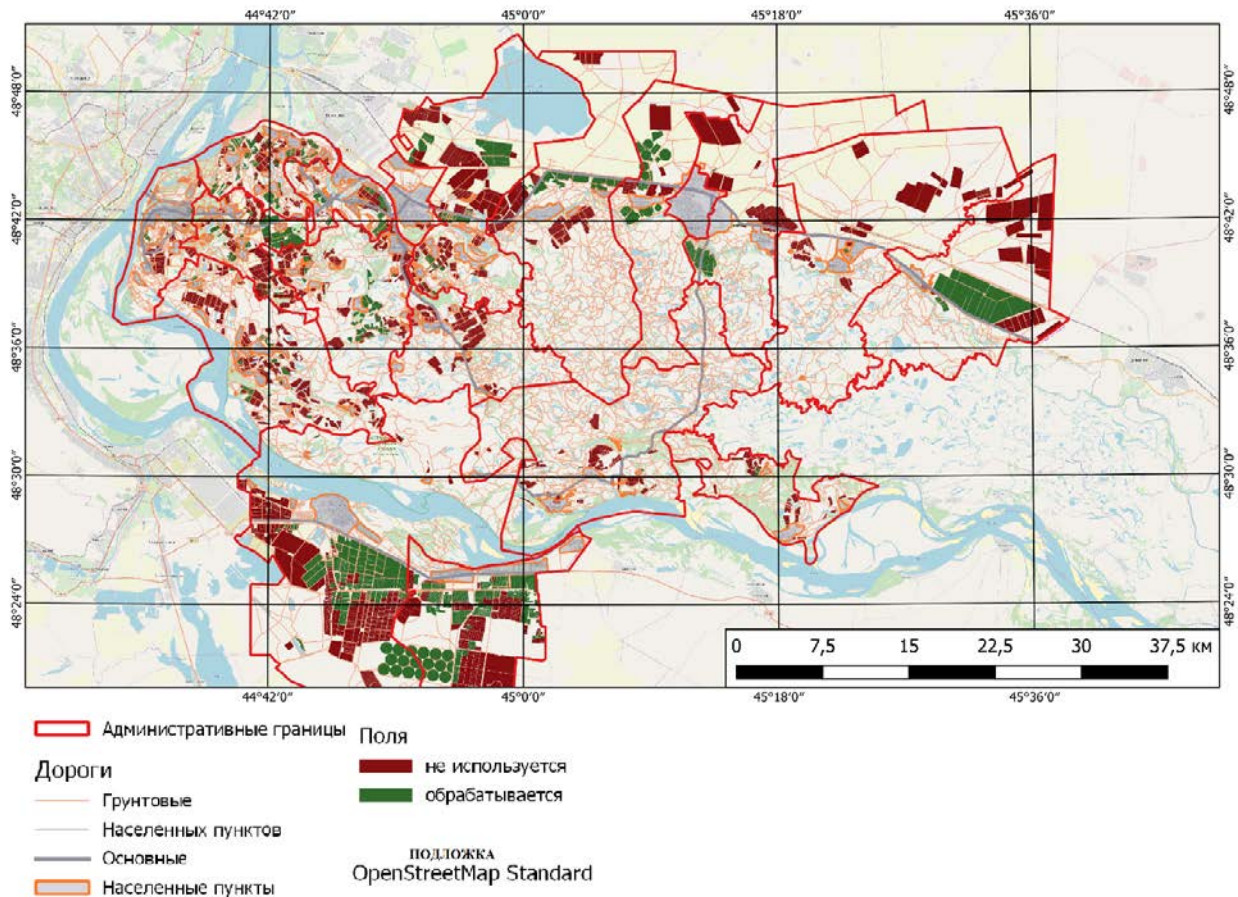


Рис. 3. Хозяйственные объекты в ГИС орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы
Fig. 3. Economic objects in the GIS of irrigated lands of the Volga-Akhtuba floodplain

Основной слой с сельскохозяйственными полями составлен на основе экспертного дешифрирования снимков сверхвысокого и высокого разрешения в рабочих масштабах от 1:250 до 1:1000. Выделено более 7,2 тыс. объектов общей площадью более 43 тыс. га, из них 5005 шт. не используются (28931 га), работы ведутся на 2120 объектах общей площадью 13610 га. На 1600 полях общей площадью 16300 га наблюдается засоление, преимущественно находящееся на неиспользуемых участках. Атрибутивные данные слоя с сельскохозяйственными полями очень разнообразны и включают в себя: идентификатор поля, площадь, данные по NDVI за последний год (каждый месяц сезона апрель–август), факт использования за 2021 г. (экспертное дешифрирование), данные о засолении, расстояние до ближайшего водотока, расстояние до ближайшей основной дороги, почвы, почвообразующие породы, особые отметки (например, использование поля в качестве сенокоса). Точность выделения при экспертном дешифрировании на порядок выше,

¹ Публичная кадастровая карта Росреестра. Электронный ресурс: <https://pkk.rosreestr.ru/> (дата обращения 15.12.2020).

чем у инструментов автоматической и полуавтоматической классификации. Веб-сервис OneSoil,¹ специализирующийся на выделении и анализе сельскохозяйственных угодий, обновил карту России. В данных OneSoil полностью отсутствуют орошаемые массивы Волго-Ахтубинской поймы и только изредка дешифрируются поля, которые используются постоянно и имеют большую площадь, чем соседние земли в массиве. Карта объектов хозяйственного блока представлена на рисунке 3.

На массиве сезонных данных NDVI произведено автоматическое выделение используемых и неиспользуемых орошаемых полей за 2021 год. В основе процесса лежала двухфакторная модель, сущность которой заключалась в выделении полей по весенним снимкам (NDVI у обрабатываемых полей минимальный) с коррекцией по снимкам конца лета (NDVI у обрабатываемых полей максимальный). Имеются аналогичные методики по выделению залежных земель [Терехин, 2017] и определению культур на сельскохозяйственных угодьях с помощью NDVI [Савин и др., 2010; Плотников и др., 2018], сущность которых состоит в сезонной изменчивости отражательных характеристик неиспользуемых и используемых полей. Однако сезонные ходы значений обрабатываемых и необрабатываемых полей в пределах поймы не имеют серьезных различий. Это может объясняться минимальными площадями полей и соответственно минимальными различиями в диапазоне данных. Полученные данные сравнили с эталонными. Кросс-валидация полей, выделенных на основе экспертного дешифрирования и двухфакторной проверки по NDVI, показала общую точность 71 %. Точность производителя при выделении неиспользуемых полей по данным NDVI составила 94 %, а используемых – 17 %. Точность пользователя при выделении неиспользуемых полей равна 73 %, используемых – 56 %. Таким образом, данная модель не оправдала себя и требует доработки с возможным подключением радарных данных и дополнением по корректирующим факторам.

ВЫВОДЫ

Разработана локальная ГИС орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области. Основными методами картографирования пространственных объектов являлись следующие: экспертное дешифрирование данных ДЗЗ высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, управляемые классификации, а также инструменты пространственного моделирования. Произведено картографирование орошаемых земель, а также иных пространственных объектов на территории Волго-Ахтубинской поймы в пределах Волгоградской области. База данных орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы состоит из более чем 50 тыс. объектов. Основным слоем является слой с полями. Вспомогательные слои состоят из водных объектов (меженные данные), слоев с затоплением, лесными насаждениями всех видов, населенными пунктами, дорогами. Перспектива дальнейшего развития ГИС орошаемых земель состоит в автоматизации идентификации используемых полей с помощью растущей базы эталонов. Данные об использовании земель в совокупности с кадастровыми данными позволят выявлять неправомерные занятия участков. Множество данных этой ГИС являются уникальными ввиду своей повышенной точности, поэтому они могут использоваться для актуализации официальных данных (например, площади лесных насаждений).

Данные с локальной ГИС готовы к экспорту в веб-среду. ГИС орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы может использоваться потенциальными аграриями, которые

¹ OneSoil. Бесплатное приложение для точного земледелия. Электронный ресурс: <https://onesoil.ai/ru> (дата обращения 11.01.2022).

хотят начать свою деятельность в пределах поймы. Создание таких информационных ресурсов в совокупности с национальными и региональными программами по вовлечению земель в сельскохозяйственный оборот позволят максимально быстро подобрать и проанализировать необходимые орошаемые поля.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100311-3, № 122020100405-9 и № 122020100406-6.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of the research topic of the Federal Scientific Center of Agroecology RAS No. 122020100311-3, No. 122020100405-9 and No. 122020100406-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балдина Е.А., Трошко К.А. Картографирование современного состояния и многолетних изменений в использовании сельскохозяйственных земель в дельте Волги. Геодезия и картография. 2016. № 11. С. 39–46. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-917-11-39-46.
2. Болгов М.В., Шаталова К.Ю., Горелиц О.В., Землянов И.В. Водно-экологические проблемы Волго-Ахтубинской поймы. Экосистемы: экология и динамика. 2017. № 3. С. 15–37.
3. Васильченко А.А. Анализ динамики основных посевных площадей орошаемого земледелия на территории Волго-Ахтубинской поймы. Грани познания. 2020. № 5 (70). С. 82–88.
4. Васильченко А.А. Анализ основных методов выделения водного зеркала с помощью спектрально-аналитических данных ДЗЗ. Грани познания. 2021. № 2 (73). С. 4–8.
5. Каблов В.Ф. Волго-Ахтубинская пойма. Экологическая ситуация: проблемы и решения по ее улучшению. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2015. 241 с.
6. Кошкин А.В., Мазун А.А., Вдовых П.Е. Автоматизация процесса получения данных ДЗЗ европейской космической программы Sentinel. Молодежный научный форум: технические и математические науки. 2017. № 4 (44). С. 90–96.
7. Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Барталев С.А. Метод автоматического распознавания сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных и имитационной модели развития растений. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 131–141. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-131-141.
8. Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Хвостиков С.А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 275–285.
9. Терехин Э.А. Распознавание залежных земель на основе сезонных значений вегетационного индекса NDVI. Компьютерная оптика. 2017. № 5. С. 719–725.
10. Хапчаева Е.В. Ресурсообеспеченность и геоэкологические проблемы земель сельскохозяйственного назначения природного парка «Волго-Ахтубинская пойма». Новое слово в науке: перспективы развития. 2015. № 2 (4). С. 59–60.
11. Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Сезонная динамика NDVI пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия по данным MODIS. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 179–194. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194.

12. Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Выприцкий А.А. Динамика площадей водоемов Западного ильменно-бугрового района дельты Волги. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021а. Т. 18. № 4. С. 285–290. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290.
13. Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А. Формирование новой дельты Сырдарьи. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 267–271. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-14.
14. Шинкаренко С.С., Солодовников Д.А., Барталев С.А., Васильченко А.А., Выприцкий А.А. Динамика площадей водохранилищ полуострова Крым. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021b. Т. 18. № 5. С. 226–241. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-226-241.
15. Kuzmina Zh.V., Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr Darya River under Modern Changing Conditions. *Arid Ecosystems*. 2019. Vol. 9. No. 4. P. 226–236. DOI: 10.1134/S207909611904005X.
16. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region. *Arid Ecosystems*. 2018. Vol. 8. No. 4. P. 231–244. DOI: 10.1134/S2079096118040066.
17. Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Geoinformation Systems as a Means of Monitoring and Managing Floodplain Landscapes. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021. Vol. 155. P. 1704–1713. DOI: 10.1007/978-3-030-59126-7_186.
18. Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin. *Water Resources*. 2020. Vol. 47. No. 6. P. 719–728. DOI: 10.1134/S0097807820060135.

REFERENCES

1. Baldina E.A., Troshko K.A. Mapping the current state and long-term changes in the use of agricultural land in the Volga delta. *Geodesy and cartography*. 2016. No. 11. P. 39–46. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-917-11-39-46 (in Russian).
2. Bolgov M.V., Shatalova K.Yu., Gorelits O.V., Zemlyanov I.V. Water-environmental problems of the Volga-Akhtuba floodplain. *Ecosystems: ecology and dynamics*. 2017. No. 3. P. 15–37 (in Russian).
3. Kablov V.F. Volga-Akhtuba floodplain. Ecological situation: problems and solutions to improve it: monograph. Volgograd: IUNL VolgGTU, 2015. 241 p. (in Russian).
4. Khapchaeva E.V. Resource supply and geocological problems of agricultural lands of the Volga-Akhtuba floodplain natural park. *New word in science: prospects for development*. 2015. No. 2 (4). P. 59–60 (in Russian).
5. Koshkin A.V., Mazun A.A., Vdovykh P.E. Automation of the process of obtaining remote sensing data of the European space program Sentinel. *Youth scientific forum: technical and mathematical sciences*. 2017. No. 4 (44). P. 90–96 (in Russian).
6. Kuzmina Zh.V., Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr Darya River under Modern Changing Conditions. *Arid Ecosystems*. 2019. Vol. 9. No. 4. P. 226–236. DOI: 10.1134/S207909611904005X.
7. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region. *Arid Ecosystems*. 2018. Vol. 8. No. 4. P. 231–244. DOI: 10.1134/S2079096118040066.

8. *Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Bartalev S.A.* A method of automatic recognition of agricultural crops based on satellite data and a simulation model of plant development. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2018. Vol. 15. No. 4. P. 131–141. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-131-141 (in Russian).
 9. *Savin I.Yu., Bartalev S.A., Lupyan E.A., Tolpin V.A., Khvostikov S.A.* Forecasting crop yields based on satellite data: opportunities and prospects. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2010. Vol. 7. No. 3. P. 275–285 (in Russian).
 10. *Shinkarenko S.S., Bartalev S.A.* Seasonal dynamics of NDVI pasture landscapes of the Northern Caspian region according to MODIS data. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2020. Vol. 17. No. 5. P. 179–194. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194 (in Russian).
 11. *Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Vypritsky A.A.* Dynamics of the areas of water bodies in the Western ilmen-hilly region of the Volga delta. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2021a. Vol. 18. No. 4. P. 285–290. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-285-290 (in Russian).
 12. *Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A.* Formation of a new delta of the Syr Darya. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2018. Vol. 15. No. 2. P. 267–271. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-14 (in Russian).
 13. *Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A., Bartalev S.A., Vasilchenko A.A., Vypritsky A.A.* Dynamics of reservoir areas of the Crimean Peninsula. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2021b. Vol. 18. No. 5. P. 226–241. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-5-226-241 (in Russian).
 14. *Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S.* Geoinformation Systems as a Means of Monitoring and Managing Floodplain Landscapes. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021. Vol. 155. P. 1704–1713. DOI: 10.1007/978-3-030-59126-7_186.
 15. *Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S.* Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin. *Water Resources*, 2020. Vol. 47. No. 6. P. 719–728. DOI: 10.1134/S0097807820060135.
 16. *Terekhin E.A.* Recognition of fallow lands based on seasonal values of the vegetation index NDVI. *Computer optics*. 2017. No. 5. P. 719–725 (in Russian).
 17. *Vasilchenko A.A.* Analysis of the dynamics of the main sown areas of irrigated agriculture on the territory of the Volga-Akhtuba floodplain. *Limits of knowledge*. 2020. No. 5 (70). P. 82–88 (in Russian).
 18. *Vasilchenko A.A.* Analysis of the main methods for identifying a water surface using spectral-zonal remote sensing data. *Limits of knowledge*. 2021. No. 2 (73). P. 4–8 (in Russian).
-