

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ В АГРОЛАНДШАФТАХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2023 г. К. П. Синельникова^а, *, А. Н. Берденгалиева^а, Ш. Матвеев^а,
В. В. Бальнова^а, А. В. Мелихова^а

^аФедеральное государственное бюджетное научное учреждение “Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук” (ФНЦ агроэкологии РАН), Волгоград, Россия

*E-mail: sinelnikova-k@vifanc.ru

Поступила в редакцию 27.01.2023 г.

В настоящее время все большее внимание уделяется развитию технологий спутникового мониторинга землепользования и состояния агроландшафтов. Отсутствие актуальных сведений о границах отдельных сельскохозяйственных полей не позволяет в полной мере оценить состояние пахотных земель и произвести их учет. Доступные статистические источники имеют расхождения и не обладают сведениями о пространственном распределении используемых и неиспользуемых сельскохозяйственных полей. Целью данной работы является установление пространственного размещения обрабатываемых и не обрабатываемых пахотных земель Волгоградской области по данным дистанционного зондирования. В работе представлены результаты картографирования актуальных границ пахотных земель Волгоградской области по состоянию на 2021 г. При дешифрировании пахотных угодий были использованы данные высокого разрешения Sentinel-2 и Google Earth PRO в геоинформационной программе QGIS3. В результате картографировано 6.05 млн га пахотных земель. Проведено сравнение полученных данных с данными официальной статистики на 2021 г., в результате которого, отмечено превышение на 12% в сравнении с результатами дешифрирования. Отмечается, что за последние 20 лет по статистическим данным площади пашни и залежей практически не меняются. При сравнении результатов дешифрирования с данными о пахотных землях сервиса “Veга” отмечена разница в 4%, что является достаточно высокой точностью. Согласно Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 г. площадь используемой пашни превышена на 8%. По данным цифровой модели местности SRTM вычислены морфометрические параметры пашни на всей территории региона. Определено, что сельскохозяйственные поля находятся преимущественно на склонах западной экспозиции (37%), что обусловлено преобладанием общего уклона рельефа к западу. Большая часть (78%) площадей полей находятся на склонах крутизной до 1°, а около 2% занимают площади более 3°. На крутых склонах отмечается водная эрозия. Наиболее ровный рельеф в Заволжье на территории Прикаспийской низменности. С использованием дистанционных методов проведена оценка площадей залежных земель: около 960 тыс. га. По различным источникам отмечается от 4.8 до 891 тыс. га неиспользуемой пашни. Полученная геоинформационная основа позволит в полной мере провести учет и оценить состояние обрабатываемых и не обрабатываемых пахотных земель, а также разработать проекты рационального использования земельных ресурсов для повышения урожайности и препятствия деградации агроландшафтов.

Ключевые слова: агроландшафт, пахотные земли, ГИС-технологии, морфометрический анализ, дистанционное зондирование, Волгоградская область

DOI: 10.31857/S0205961423050081, EDN: XDNIHT

ВВЕДЕНИЕ

Сельскохозяйственное использование земельных ресурсов без учета ландшафтной составляющей ведет к их деградации (эрозии, дефляции, снижению плодородия). Рациональное использование земель возможно только при наличии точных данных о них, дающих возможность проводить оперативную оценку состояния агроланд-

шафтов и соответствующее управление сельскохозяйственным производством. Для повышения экономической эффективности растениеводства в зоне недостаточного атмосферного увлажнения большое значение имеет знание пространственного распределения сельхозугодий в ландшафте, дающее возможность определения различных характеристик рельефа, почвенного покрова, гидротермических условий. Одним из таких регио-

нов зоны рискованного земледелия является Волгоградская область.

В связи с этим возникает необходимость разработки актуальной базы данных пахотных земель, включающей данные о продолжительности использования, что в сочетании с данными о посевных культурах может применяться для определения севооборотов, предотвращения деградации почв и своевременного принятия мер против деградации агроландшафтов. Данные официальной статистики как правило учитывают только общие площади земель различных категорий, но не характеризуют их актуальное пространственное распределение. Также необходим оперативный контроль использования земель для своевременного принятия решений как собственниками по корректировке агротехнических приемов, так и контролирующими органами власти. Кроме этого, необходим тщательный учет и включение в базу данных залежных земель, что определяется возможностью их включения в сельскохозяйственное производство (Рулев и др., 2018; Rulev, Pugacheva, 2017).

В современных исследованиях структуры землепользования все чаще используются технологии дистанционного зондирования Земли из космоса и геоинформационные технологии (Васильченко, 2022; Мелихова, 2022, Горохова и др., 2017). Тем не менее, в Волгоградской области ранее анализировалось землепользование дистанционными методами на уровне отдельных сельскохозяйственных полей только по отдельным районам или хозяйствам, а для всего региона такой работы не проводилось (Матвеев, 2022; Синельникова, 2020; Денисова, 2022). Существующие способы автоматизированного дешифрирования, как правило, используют эталоны, рассчитанные на иные климатические и почвенные условия, а также материалы дистанционного зондирования низкого разрешения, что отражается на качестве получаемых данных, поскольку производится по-пиксельный анализ (Барталев и др., 2011), из-за чего отдельные поля объединяются в группы пикселей. Визуальное дешифрирование сопряжено с высокими трудозатратами, но обеспечивает наибольшую точность картографирования сельхозугодий. Особенно это касается определения неиспользуемых в течение длительного времени пахотных угодий.

Целью данного исследования является определение пространственного размещения обрабатываемых и не обрабатываемых пахотных земель по данным дистанционного зондирования на территории Волгоградской области.

ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступают два вида сельскохозяйственных угодий: пашни и залежи на территории Волгоградской области. По данным Государственного доклада о состоянии земель на 1 января 2022 г. в Волгоградской области пахотные земли составляют более 52% от общей площади региона. Природные условия области являются благоприятными для сельского хозяйства, в частности, растениеводства за счет достаточно высоких среднегодовых температур, при этом существует высокий контраст между погодными условиями летнего и зимнего периодов. Ограничивающим фактором для растениеводства является относительно небольшое количество осадков в южных и восточных районах. Доминирующими сельскохозяйственными культурами являются пшеница и подсолнечник. Преимущественно применяется система сухого земледелия, что не позволяет получить максимальных объемов с посевных площадей (Rulev, Pugacheva, 2019). С 2014 г. общая посевная площадь в регионе по данным официальной статистики увеличилась на 5%. Почвенно-климатический потенциал территории позволяет получать высокие урожаи, но особенности территории влияют на продуктивность культур, т.к. область имеет большую протяженность и располагается в двух природных зонах — степной и полупустынной (Rulev, Pugacheva, 2019; Кравченко и др., 1995; Эдельгериев, 2021).

Для картографирования границ полей использовалась мозаика из безоблачных спутниковых снимков Sentinel-2 на 2021 г. и спутниковые данные сверхвысокого пространственного разрешения (~1 м/пиксель) Google Earth PRO. Был проведен подбор и предварительная обработка снимков Sentinel-2, включающая составление композитов с включением инфракрасного диапазона. Территория Волгоградской области охватывается 22 тайлами Sentinel-2. Использовались снимки весеннего и осеннего сезона для разделения обрабатываемых или необрабатываемых земель, поскольку одномоментные снимки не обеспечивают достаточную точность (Терехин, 2015). Уточнение используемости пахотных земель проводилось также по данным Landsat за 1984–2020 гг. На рис. 1 показан пример картографирования (в комбинации каналов искусственные цвета с включением ближних инфракрасных каналов NIR и SWIR) залежных земель в окрестностях озера Эльтон в Палласовском районе Волгоградской области, где к 2021 г. практически не осталась используемой пашни.

Картографирование границ полей и их последующий анализ производились в геоинформационной среде QGIS 3.26. При создании картосхем использовалась система координат WGS-84. Площади вычислялись на эллипсоиде WGS-84

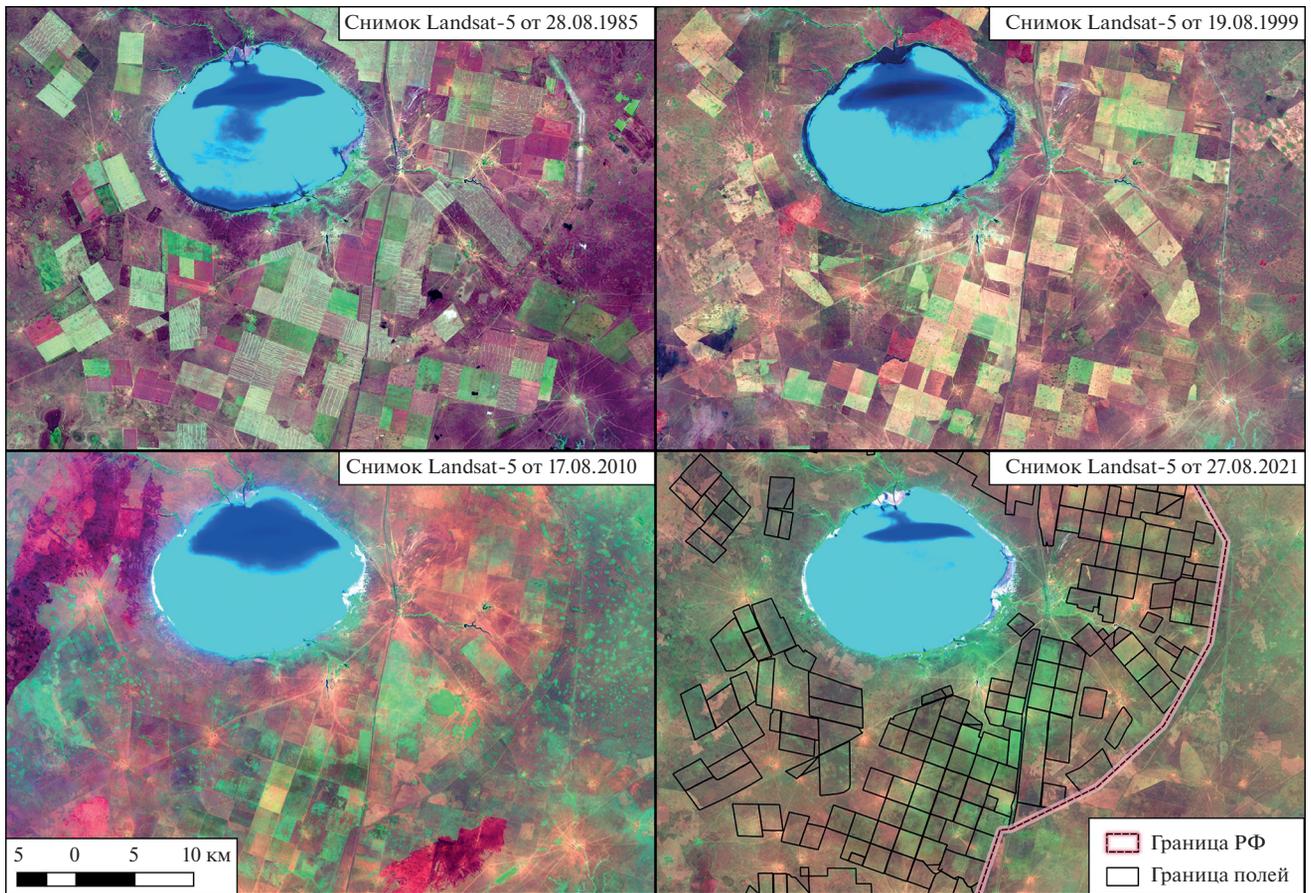


Рис. 1. Картографирование пахотных земель по спутниковым снимкам (Палласовский район, окрестности озера Эльтон).

(EPSG:7030). Морфометрический анализ проведен по цифровой модели рельефа SRTM3, которая была перепроецирована в проекцию UTM, после чего рассчитаны крутизна и экспозиция. Каждому полю присвоен атрибут преобладающих по площади в его границах экспозиции и крутизны, что можно считать характеристикой склона, на которых расположены поля (Шинкаренко и др., 2019).

Поскольку площадь полигонов рассчитывалась на эллипсоиде, то может быть также неточность, вызванная влиянием рельефа – крутизной склонов, которое не учитывается при расчетах в плановых координатах или на эллипсоиде. Так как крутизна сельскохозяйственных полей в большинстве случаев не превышает 2° – 3° (Belyakov, 2021), то возможная ошибка, вызванная этим фактором, составляет не более 0.1%. В работе рассматривались сельскохозяйственные поля площадью от 1 га. Разделение на пахотные и залежные земли проводилось экспертным методом визуальным дешифрированием.

Для оценки результатов дешифрирования спутниковых снимков использовались офици-

альные статистические данные (Итоги Всерос. сельск. переписи, 2018; Захарова, 2022) и исследования других авторов (Воробьев, 2014; Краснощек, 2015; Rulev, Pugacheva, 2017; Belyakov, 2021). Также для сравнения с полученными результатами применялись электронные растровые карты обрабатываемых земель за 2016–2021 гг. по данным сервиса Vega (Лупян, 2015; Loupian 2022). Данные основаны на использовании многолетних рядов спутниковых данных сканера MODIS с космических аппаратов Terra и Aqua с пространственным разрешением 250 м/пиксель. В основе этих данных лежит автоматизированный алгоритм распознавания спектральных характеристик пахотных земель с достаточно высокой точностью (Барталев и др., 2011).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате выполненного дешифрирования спутниковых снимков и геоинформационного анализа установлено пространственное размещение более 68 тыс. сельскохозяйственных полей в Волгоградской области, в том числе проведено

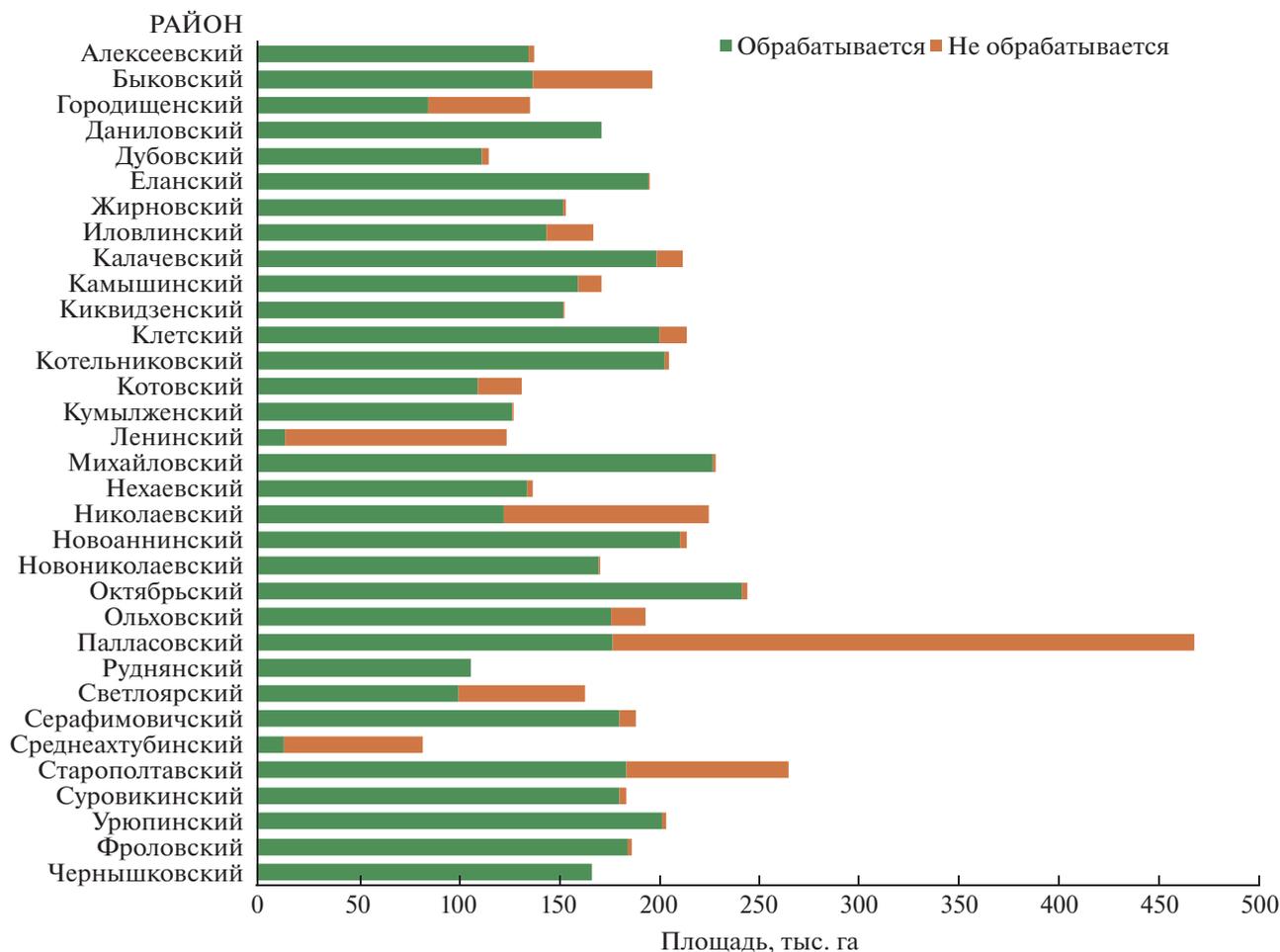


Рис. 2. Распределение используемых и неиспользуемых пахотных земель по районам.

разделение на используемые (более 55 тыс. объектов) и неиспользуемые (более 12 тыс.). Общая площадь пахотных земель составила 6.05 млн га, из них используемые – 5.09 млн га, неиспользуемые – 0.96 млн га. С учетом возможной ошибки выделения границ по данным сверхвысокого разрешения, соответствующей линейному размеру пикселя данных Google Earth (примерно 1 м), и влиянием рельефа погрешность определения площади составляет не более 30 тыс. га. или 0.05% площади.

Также полученные данные были сгруппированы по границам муниципальных районов, в результате наибольшие площади пахотных земель отмечены в Октябрьском, Михайловском, Новоаннинском районах. Максимальные площади залежных земель размещены в Заволжье, лидером является Палласовский район (289.9 тыс. га). На правобережье Волги лидирует Городищенский район, где 50.6 тыс. га составляют залежи (рис. 2). Как правило, большая часть неиспользуемой

пашни в регионе приурочена к малопродуктивным засоленным почвам (Денисова, 2021, 2022).

По данным Росстата на 1995 г. в регионе было 5.84 млн га пашни, в том числе 3.99 млн га посевной площади. Залежи значительно реже приводятся в официальной статистике по сравнению с другими типами сельскохозяйственных угодий, поэтому сравнительный анализ статистических данных с результатами дешифрирования зачастую затруднен. По данным (Rulev, Pugacheva, 2019) в 1995 г. в Волгоградской области было 0.64 млн га залежных земель. Таким образом, общая площадь используемых и неиспользуемых пахотных угодий по их данным составляла 6.47 млн га. На 2006 г. Росстат приводит 5.85 млн га обрабатываемой пашни и всего 4.88 тыс. га – необрабатываемой. Также данные по площадям пашни и залежей на 2005 год представлены в Атласе почв (2011), но они полностью повторяют данные Росстата. В то же время по данным Всероссийской сельскохозяйственной переписи в 2006 г. в Волгоградской области зарегистрировано только

4.74 млн га используемой пашни и 0.5 млн га залежей. По данным А.В. Воробьева в 2010 г. в регионе было 5.8 млн га пахотных земель и 4.8 тыс. га неиспользуемых (Воробьев, 2014). На 2015 г. Краснощеков приводит данные о 5.18 млн га обрабатываемой пашни и 0.29 млн га — необрабатываемой (Краснощеков, 2015). В 2017 г. по данным (Rulev, Pugacheva, 2019) в регионе зафиксировано 5.63 млн га пашни и 1.68 млн га залежей, т.е. суммарно 7.32 млн га пахотных земель, в то время как по данным переписи 2016 г. приводится 5.38 млн га пахотных земель, в том числе 4.75 млн га используемых и 0.63 млн га неиспользуемых. В Государственном докладе о состоянии земель Российской Федерации на 1 января 2022 г. (Захарова, 2022) указано 5.85 млн га обрабатываемой пашни и 4.7 тыс. га залежей. На рис. 3 показана доля пашни в муниципальных районах Волгоградской области по разным данным. Отмечаются большие расхождения в Палласовском районе.

Таким образом можно сделать вывод, что официальные статистические данные и результаты проведенных исследований имеют существенные расхождения, при этом площадь залежных земель по данным Росстата существенно занижена в сравнении с данными сельскохозяйственных переписей и независимых оценок. Согласно (Belyakov, 2021) в регионе на 2021 г. расположено примерно 5.6–6.1 млн га обрабатываемой пашни и 0.89 млн га залежей (6.5–7 млн га совокупной площади обоих видов угодий). Это наиболее близкая оценка к полученным в данном исследовании результатам на основе дешифрирования спутниковых данных. При этом площадь используемых земель по всем оценкам кроме переписей представляется несколько завышенной. Поэтому в дальнейших исследованиях требуется сравнительный анализ с результатами других исследований, в основе которых лежат данные дистанционного зондирования Земли из космоса и современные геоинформационные методы.

Фрагмент электронных карт на основе визуального дешифрирования и данных автоматизированного распознавания обрабатываемой пашни сервиса “Вега” представлен на рис. 4. Общая площадь используемой пашни в Волгоградской области согласно этому сервису составляет 4.89 млн га, что всего на 4% меньше величины, полученной на основе дешифрирования спутниковых снимков сверхвысокого пространственного разрешения (5.09 млн га).

Таким образом, наиболее близкие к результатам обработки данных дистанционного зондирования Земли оценки площади обрабатываемых земель приводятся в данных сельскохозяйственных переписей 2006 и 2016 гг. — 4.75 млн. При этом разница в величине используемой пашни в 2006 и 2016 гг. составляет всего 1.9 тыс. га, в то

время как площадь залежных земель увеличилась на 130 тыс. га: с 0.5 до 0.63 млн га.

Как отмечается в работах (Rulev, Pugacheva, 2019; Барталёв и др., 2011), не ведется подробная статистика залежных земель. Также ошибки при картографировании неиспользуемых сельскохозяйственных земель возникают из-за того, что не точно определено, что же именно относить к этой категории (Денисов и др., 2022). Согласно публичной кадастровой карте большая часть неиспользуемой пашни, в том числе заброшенной в период 80–90-х гг. прошлого века, имеет название “для сельскохозяйственного производства” или “для производства сельскохозяйственной продукции”. Также старовозрастные залежи практически повсеместно используются для отгонного животноводства (Шинкаренко и др., 2019).

На рис. 5 показаны результаты расчета преобладающих экспозиций и крутизны склонов для каждого поля. В Волгоградской области сельскохозяйственные поля находятся преимущественно на склонах западной экспозиции (37%), что связано с преобладанием общего уклона рельефа к западу. На правом берегу Волги это обусловлено понижением Приволжской возвышенности к Дону от водораздела с Волгой, а на левом берегу — понижением территории Заволжья по направлению на запад к руслу Волги. Практически отсутствуют поля на склонах северной и северо-западной экспозиции. Склоны основных притоков Дона и впадающих в них балок и малых рек имеют преимущественно северо-восточную и юго-западную экспозиции, что связано с ориентацией водотоков. Экспозиция склонов влияет на количество поступающей солнечной энергии, от которой в свою очередь зависит состояние посевов. Отмечено, что на полях южной экспозиции вегетация озимых культур в весенний период начинается раньше (Берденгалиева, Берденгалиев, 2022; Шинкаренко и др., 2019).

Одним из важнейших факторов почвообразования и состояния посевных площадей является рельеф. Водная эрозия на склоновых землях снижает почвенное плодородие, что существенно сказывается на урожайности. Пахотные земли, расположенные на склонах более 3° подвержены деградации из-за эрозионных процессов (Барабанов и др., 2019). Согласно проведенному морфометрическому анализу площади полей, которые находятся на склонах крутизной до 1° составляют 78% (рис. 6), что на 15% превышает данные ЮжНИИгипрозема в этой категории (по данным (Belyakov, 2021)). Крутизну более 3° имеют всего 84.3 тыс. га сельскохозяйственных полей (1.7% от всей площади обрабатываемой пашни). Наиболее ровный рельеф в Заволжье на территории Прикаспийской низменности: Быковский, Ленинский, Николаевский, Палласовский и Среднеахтубин-

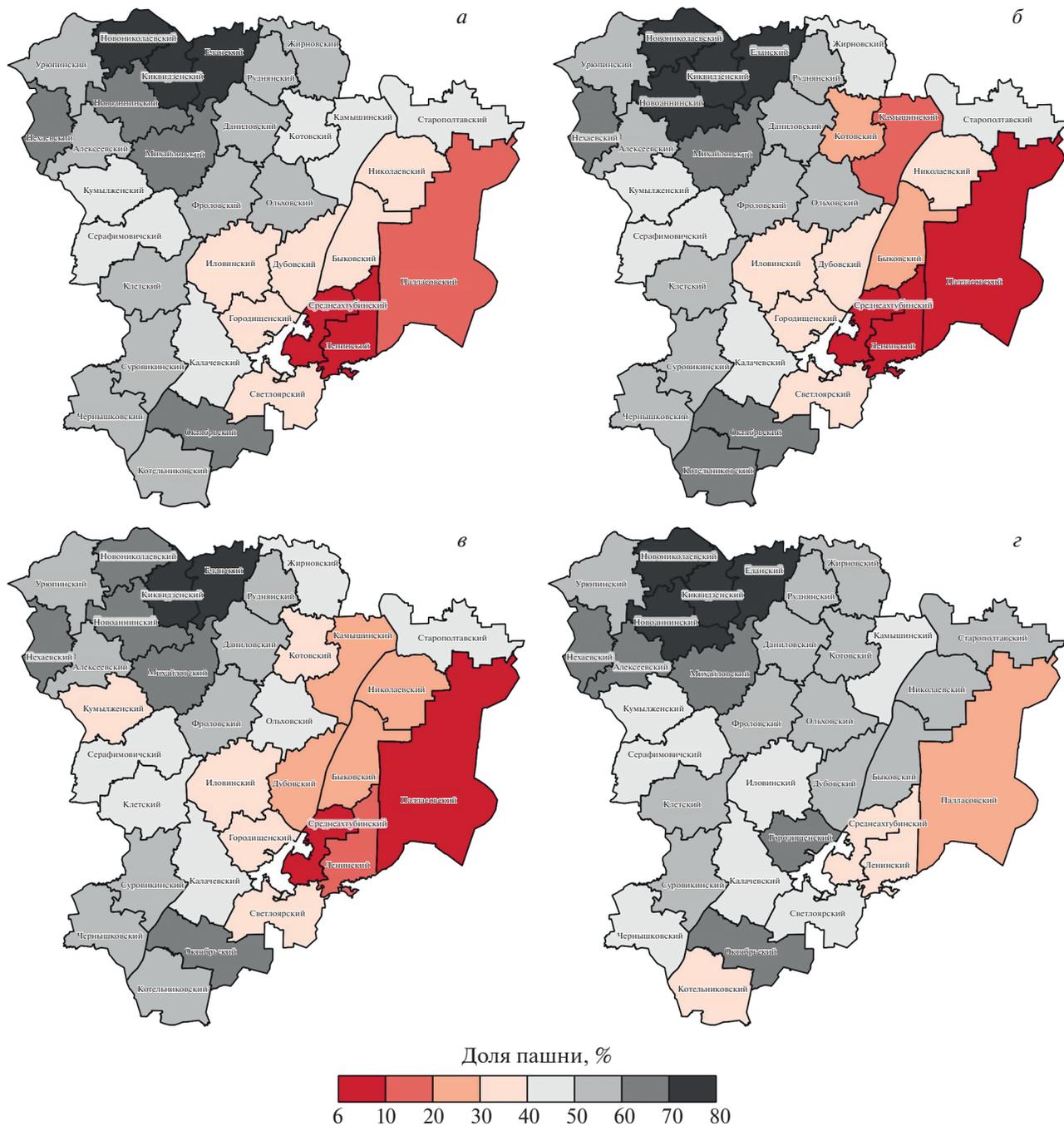


Рис. 3. Картограммы доли пахотных земель от общей площади в муниципальных районах Волгоградской области (а – результаты дешифрирования; б – Сервис “Вега”; в – сельскохозяйственная перепись, 2016; г – Воробьев, 2010).

ский районы. Здесь основным фактором деградации и ухудшения урожайности является засоление почв как природное, так и вторичное на орошаемых ранее землях без дренажных систем (Денисова, 2021; 2022), в то время как почвы достаточно устойчивы против дефляции (Рулев и др., 2017). Значительное засоление почв и соответственно более низкая урожайность в совокупности с отно-

сительно менее благоприятной транспортной доступностью Заволжья объясняют большую долю неиспользуемой пашни (Кулик, 2017; Rulev, Pugacheva, 2019).

Наибольшей долей пашни с крутизной более 3° характеризуется Нехаевский район на крайнем северо-западе Волгоградской области (13.9% площади от всей используемой пашни района). Так-

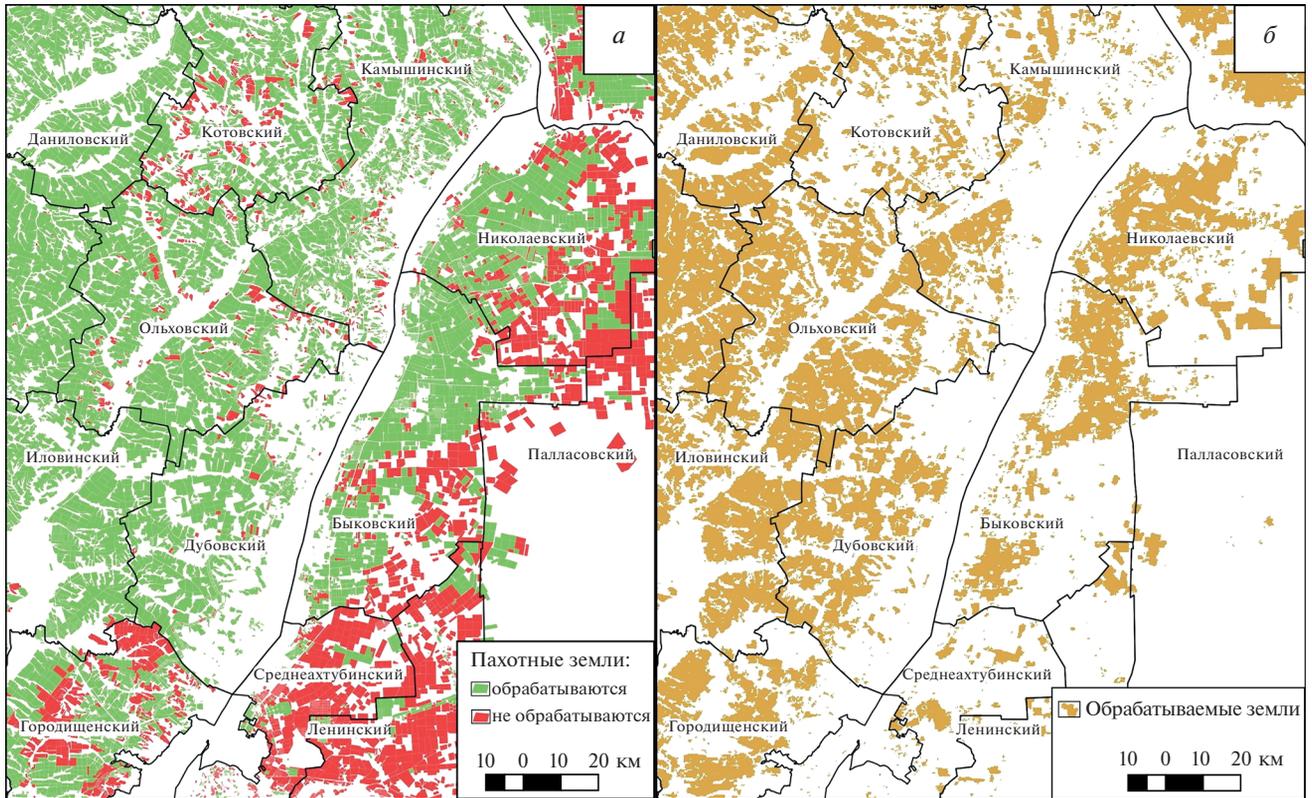


Рис. 4. Схема распределения земель по данным экспертного дешифрирования (а) и данным MODIS сервиса Вега (б).

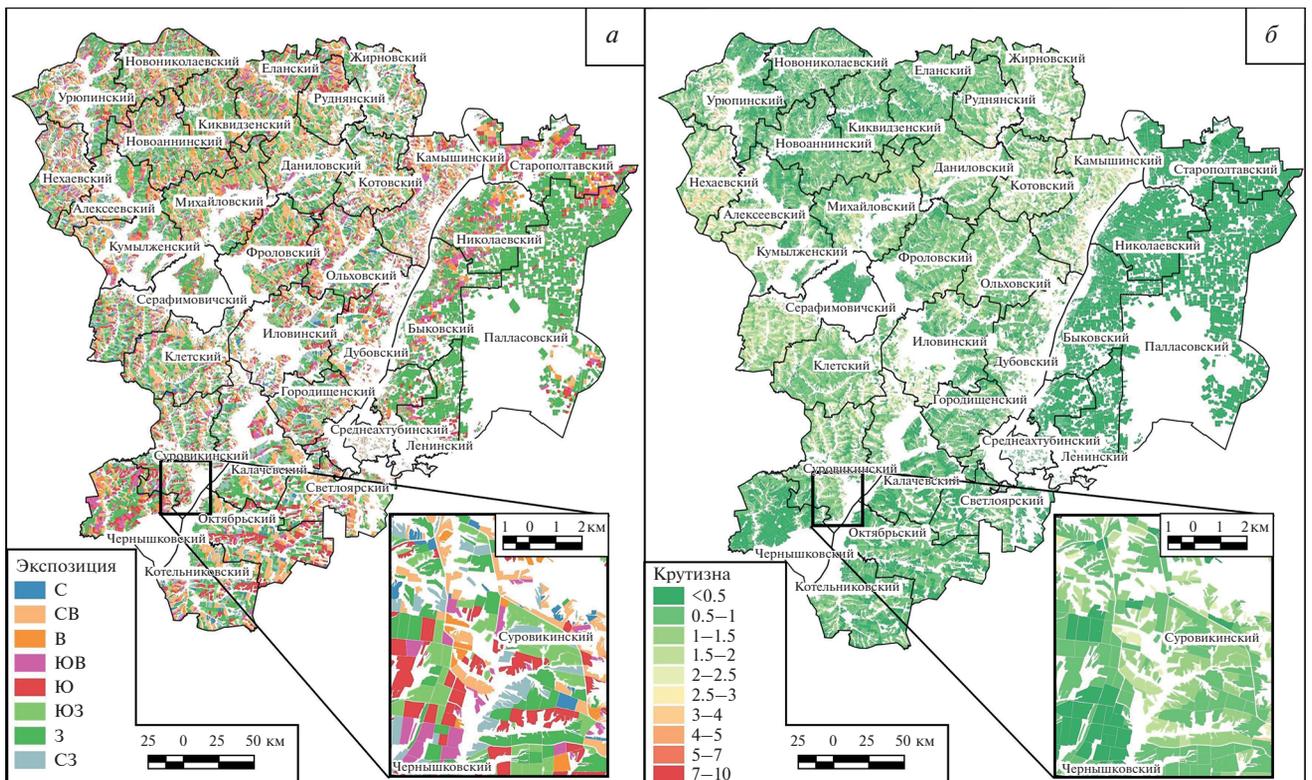


Рис. 5. Распределение пахотных земель по преобладающей экспозиции (а) и преобладающей крутизне склонов (б) в Волгоградской области.

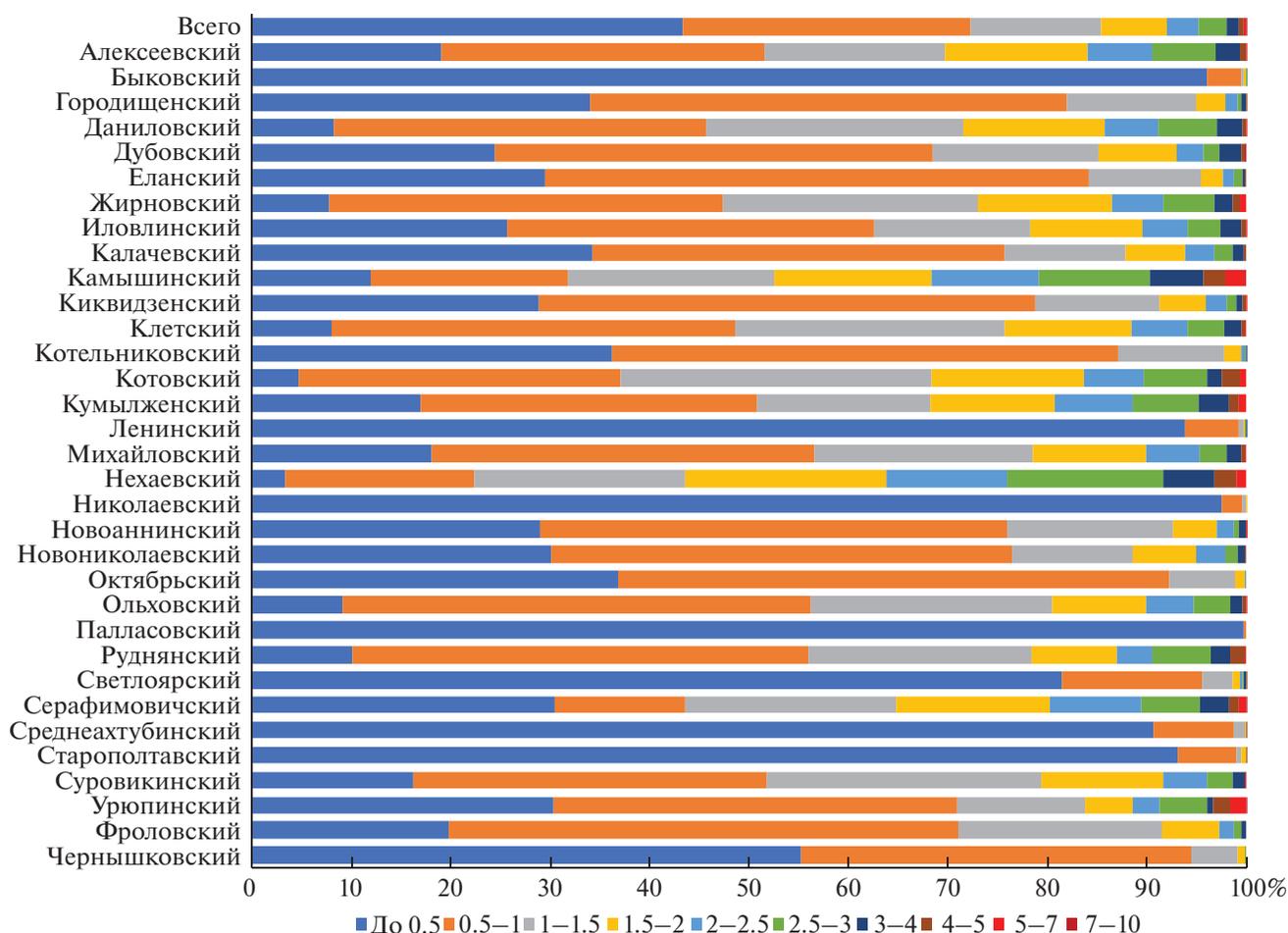


Рис. 6. Доля сельскохозяйственных полей с разной крутизной в районах Волгоградской области.

же значительная доля таких сельскохозяйственных полей расположена в Котовском и Камышинском районах (4.5 и 6.1% соответственно), которые находятся на самой возвышенной части водораздела между бассейнами Волги и Дона. Одним из инструментов противоэрозионной организации склоновых земель является агролесомелиорация: создание системы полезащитных, прибалочных и приовражных лесных насаждений (Барабанов и др., 2019; Рулев и др., 2015). Так по данным (Кулик и др., 2017) в Волгоградской области имеется 70.6 тыс. га полезащитных и 35.4 тыс. га противоэрозионных насаждений, но для устойчивого функционирования агроландшафтов требуется еще создать 58.2 и 61.9 тыс. га насаждений каждой категории соответственно. Таким образом, полученные электронные карты крутизны сельскохозяйственных полей позволят оценить их противоэрозионную защищенность лесными насаждениями и разработать при необходимости меры по ее повышению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные дистанционного зондирования позволяют определить пространственное размещение обрабатываемых и необрабатываемых пахотных земель. Полученные для Волгоградской области данные позволили выявить расхождение в площади со статистическими данными. Наиболее схожие результаты получились с данными об обрабатываемых полях сервиса “Вега” и данными Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 г.

Официальные статистические данные структуры земель не дают представление о пространственном охвате, также содержат ряд неточностей по сравнению с результатами обработки данных дистанционного зондирования. Особенно это заметно при определении величины неиспользуемых пахотных земель: по разным источникам эта величина в Волгоградской области составляет от 5 до 900 тыс. га. Согласно результатам дешифрирования, разновременных спутниковых данных

Sentinel-2 и Landsat площадь заброшенной пашни на 2021 г. составила 960 тыс. га.

Сформированная база данных содержит атрибутивную информацию о почвенном покрове, характеристиках склонов и в дальнейшем позволит проанализировать влияние этих факторов на состояние посевных площадей и урожайность культур.

Границы полей – это важная составляющая организации точного земледелия. Полученная геоинформационная основа может служить для дальнейшей проработки использования методов точного земледелия и оптимизации сельскохозяйственного производства в Волгоградской области.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках Госзадания ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100311-3 “Теоретические основы функционирования и природно-антропогенной трансформации агролесоландшафтных комплексов в переходных природно-географических зонах, закономерности и прогноз их деградации и опустынивания на основе геоинформационных технологий, аэрокосмических методов и математико-картографического моделирования в современных условиях”.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят лаборантов-исследователей лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН Багровского Д.В., Берденгалиева Р.Н. и Гушина В.А. за помощь в картографировании границ полей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барабанов А.Т., Фомин С.Д., Кулик А.В., Выпова А.В.* К вопросу о стокорегулирующей роли лесомелиоративных и агротехнических противозрозионных мероприятий // Изв. НВ АУК. 2019. № 3(55). С. 24–35. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-03-2>
- Барталёв С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А.* Распознавание пахотных земель на основе многолетних спутниковых данных спектрорадиометра MODIS и локально-адаптивной классификации // Компьютерная оптика. 2011. Т. 35. № 1. С. 103–116.
- Берденгалиева А.Н., Берденгалиев Р.Н.* Связь сезонной динамики озимой пшеницы и рельефа в подзоне южных черноземов Волгоградской области // Научно-агрономический журн. 2022. № 3(118). С. 49–56. <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.118.3.007.49-56>
- Васильченко А.А.* Опыт разработки локальной ГИС орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области. ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. Ч. 2. С. 761–772. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-761-772>
- Воробьев А.В.* Земельная реформа в Волгоградской области (Изменения сельскохозяйственного землепользования региона в 1990–2010 гг.). Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2014. 164 с. ISBN 978-5-85536-866-6.
- Горохова И.Н., Филиппов Д.В.* Применение геоинформационных технологий и материалов космической съемки для мониторинга орошаемых земель Светлоярской оросительной системы (Волгоградская область) // Исслед. Земли из космоса. 2017. № 4. С. 79–87. <https://doi.org/10.7868/S020596141704008X>
- Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2021 году / Под ред. Захарова Ж.Ю. М.: Росреестр, 2022. 206 с.
- Денисов П.В., Трошко К.А., Полецкая А.Ю., Гогачева Н.А., Ленник А.В., Лупян Е.А., Антошкин А.А., Кашицкий А.В., Кобец Д.А., Плотников Д.Е., Прошин А.А., Толпин В.А.* Первые результаты контроля данных сельскохозяйственной микропереписи 2021 г. с использованием средств спутникового мониторинга // Соврем. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 6. С. 308–314. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-6-308-314>
- Денисова Е.В.* Использование ГИС-технологий для создания локальной геоинформационной системы учета орошаемых угодий // Исслед. Земли из космоса. 2022. № 4. С. 86–96. <https://doi.org/10.31857/S0205961422030046>
- Денисова Е.В.* Оценка эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения с применением ГИС-технологий // Исслед. Земли из космоса. 2021. № 5. С. 15–24. <https://doi.org/10.31857/S0205961421050031>
- Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года по Волгоградской области: В 6 т. / Терр. орган Фед. службы гос. статистики по Волгоград. обл. – Волгоград: Волгоградстат. 2018. Т. 3: Земельные ресурсы и их использование. 140 с.
- Кравченко Е.И., Мухин Ю.П., Брылев В.А., Харланов В.А., Сажин А.Н., Самборский Ю.П., Анисимов А.А., Иванов И.В., Чурсин Б.П., Воробьев А.В., Маттис Г.Я., Семенютина А.В., Крючков С.Н., Кубанцев Б.С., Чернобай В.Ф., Маркова Е.К., Колякин Н.Н., Рябинина Н.О., Шабунина И.М.* Природные условия и ресурсы Волгоградской области. Волгоград: Перемена, 1995. 264 с.
- Краснощечков В.Н., Фоменко Ю.П.* Оценка влияния хозяйственной деятельности на состояние агроландшафтов Волгоградской области // Природообустройство. 2015. № 2. С. 93–98.
- Кулик К.Н., Барабанов А.Т., Манаенков А.С., Кулик А.К.* Обоснование прогноза развития защитного лесоразведения в Волгоградской области // Проблемы прогнозирования. 2017. № 6(165). С. 93–100.
- Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталёв С.А., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А.* Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Совр. пробл. дист. зондир. Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
- Матвеев Ш.* Геоинформационное картографирование современного состояния сельскохозяйственных территорий Новоаннинского района Волгоградской области // Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12.

№ 2. С. 36–42.

<https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.5>

Мелихова А.В. Морфометрический анализ агроландшафтов переходной зоны южных черноземов и темно-каштановых почв Волгоградской области // Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12. № 4. С. 26–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.4.3>

Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель: Аст. 2011. 632 с.

Национальный доклад. “Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)” / Под ред. Эдельгериева Р.С.-Х. 2021. Т. 3. 700 с.

Рулев А.С., Шинкаренко С.С., Бодрова В.Н., Сидорова Н.В. Геоинформационные технологии в обеспечении точного земледелия // Изв. НВ АУК. 2018. № 4(52). С. 115–122.

Рулев А.С., Юферев В.Г., Юферев М.В. Геоинформационное картографирование и моделирование эрозионных ландшафтов. Волгоград: Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт, 2015. 153 с.

Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. Геоморфологические критерии проведения лесомелиорации ландшафтов (на примере Приэльтонья) // Геоморфология. 2017. № 2. С. 63–71.

<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2017-2-63-71>

Синельникова К.П. Геоинформационный анализ современного состояния агроландшафта Донской гряды // На-

учно-агрономический журн. 2020. № 3(110). С. 9–17. <https://doi.org/10.34736/FNC.2020.110.3.002.9-16>

Терехин Э.А. Оценка сезонных значений вегетационного индекса (NDVI) для детектирования и анализа состояния посевов сельскохозяйственных культур // Исслед. Земли из космоса. 2015. № 1. С. 23–31. <https://doi.org/10.7868/S0205961415010108>

Шинкаренко С.С., Бодрова В.Н., Сидорова Н.В. Влияние экспозиции склонов на сезонную динамику вегетационного индекса NDVI посевных площадей // Изв. НВ АУК. 2019а. № 1(53). С. 96–105. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-12>

Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Солодовников Д.А., Пугачева А.М. Анализ пастбищных ресурсов Волгоградской области в геоинформационной системе // Изв. НВ АУК. 2019б. № 1(53). С. 123–130. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-15>

Belyakov A.M. Typing of Agricultural Landscapes in the Volgograd Region // Arid Ecosystems. 2021. V. 11. № 1. P. 102–108.

<https://doi.org/10.1134/S2079096121010030>

Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. V. 14(1. Art. № 77.

<https://doi.org/10.3390/rs14010077>

Rulev A.S., Pugacheva A.M. Development of Plant Growing at the Regional Level (Based on the Example of Volgograd Oblast) // Studies on Russian Economic Development. 2019. V. 30. № 5. P. 557–562.

<https://doi.org/10.1134/S1075700719050113>

Mapping of Arable Lands in Agro-Landscapes of the Volgograd Region According to Remote Sensing Data

K. P. Sinelnikova¹, A. N. Berdengalieva¹, Sh. Matveev¹, V. V. Balynova¹, and A. V. Melikhova¹

¹*Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences), Volgograd, Russia*

Currently, more and more attention is being paid to the development of technologies for satellite monitoring of land use and the state of agricultural landscapes. The lack of up-to-date information about the boundaries of individual agricultural fields does not allow us to fully assess the state of arable land and take them into account. The available statistical sources have discrepancies and do not have information about the spatial distribution of used and unused agricultural fields. The purpose of this work is to establish the spatial distribution of cultivated and uncultivated arable lands of the Volgograd region according to remote sensing data. The paper presents the results of mapping the actual boundaries of arable lands of the Volgograd region as of 2021. High-resolution Sentinel-2 and Google Earth PRO data in the geographic information program QGIS3 were used to decrypt arable land. As a result, 6.05 million hectares of arable land were mapped. The data obtained were compared with official statistics for 2021, as a result of which, an excess of 12% was noted in comparison with the results of decryption. It is noted that over the past 20 years, according to statistical data, the areas of arable land and deposits have practically not changed. When comparing the decryption results with the data on arable lands of the Vega service, a difference of 4% was noted, which is quite high accuracy. According to the All-Russian Agricultural Census of 2016, the area of arable land used was exceeded by 8%. According to the SRTM digital terrain model, morphometric parameters of arable land were calculated throughout the region. It is determined that agricultural fields are located mainly on the slopes of the western exposure (37%), which is due to the predominance of the general slope of the relief to the west. Most (78%) of the field areas are on slopes with a steepness of up to 1°, and about 2% occupy areas of more than 3°. Water erosion is noted on steep slopes. The smoothest relief in the Volga region is on the territory of the Caspian lowland. Using re-

mote methods, the assessment of the areas of fallow lands was carried out: about 960 thousand hectares. According to various sources, from 4.8 to 891 thousand hectares of unused arable land are noted. The resulting geoinformation basis will allow to fully account for and assess the condition of cultivated and uncultivated arable lands, as well as to develop projects for the rational use of land resources to increase yields and prevent degradation of agricultural landscapes.

Keywords: agricultural landscape, arable lands, GIS technologies, morphometric analysis, remote sensing, Volgograd region

REFERENCES

- Barabanov A.T., Fomin S.D., Kulik A.V., Vypova A.V.* К вопросу о stokoreguliruyushchey roli lesomeliorativnykh i agrotekhnicheskikh protiverozionnykh meropriyatii [On the issue of the flow-regulating role of forest reclamation and agrotechnical erosion control measures] // *Izvestiya NV AUK.* 2019. № 3(55). P. 24–35. (In Russian). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-03-2>
- Bartalev S.A., Egorov V.A., Lupyay E.A., Plotnikov D.E., Uvarov I.A.* Raspoznavanie pakhotnykh zemel' na osnove mnogoletnikh sputnikovykh dannykh spektrometra MODIS i lokal'no-adaptivnoy klassifikatsii [Recognition of arable lands based on long-term satellite data of the MODIS spectroradiometer and locally adaptive classification] // *Komp'yuternaya optika.* 2011. V. 35. № 1. P. 103–116. (In Russian).
- Belyakov A.M.* Typing of Agricultural Landscapes in the Volgograd Region // *Arid Ecosystems.* 2021. V. 11. № 1. P. 102–108. <https://doi.org/10.1134/S2079096121010030>
- Berdengalieva A.N., Berdengaliev R.N.* Sviaz' sezonnoi dinamiki ozimoy pshenitsy i rel'efa v podzone yuzhnykh chernozemov Volgogradskoy oblasti [Connection of seasonal dynamics of winter wheat and relief in the subzone of southern chernozems of the Volgograd region] // *Nauchno-agronomicheskii zhurnal.* 2022. № 3(118). P. 49–56. (In Russian). <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.118.3.007.49-56>
- Denisov P.V., Troshko K.A., Poletskaya A.Yu., Gogacheva N.A., Lennik A.V., Lupyay E.A., Antoshkin A.A., Kashnitskiy A.V., Kobets D.A., Plotnikov D.E., Proshin A.A., Tolpin V.A.* Pervye rezul'taty kontrolya dannykh sel'skokhozyaystvennoy mikroperepisi 2021 goda s ispol'zovaniem sredstv sputnikovogo monitoringa [The first results of the control of agricultural micro-recording data in 2021 using satellite monitoring tools] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2022. V. 19. № 6. P. 308–314. (In Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-6-308-314>
- Denisova E.V.* Ispol'zovanie GIS-tekhnologiy dlya sozdaniya lokal'noy geoinformatsionnoy sistemy ucheta oroshayemykh ugodiy [The use of GIS technologies to create a local geoinformation system for the accounting of irrigated lands] // *Izvestiya Zemli iz kosmosa.* 2022. № 4. P. 86–96. (In Russian). <https://doi.org/10.31857/S0205961422030046>
- Denisova E.V.* Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya s primeneniem GIS-tekhnologiy [Assessment of the efficiency of agricultural land use using GIS technologies] // *Izvestiya Zemli iz kosmosa.* 2021. № 5. P. 15–24. (In Russian). <https://doi.org/10.31857/S0205961421050031>
- Gorokhova I.N., Filippov D.V.* Primenenie geoinformatsionnykh tekhnologiy i materialov kosmicheskoy s'emki dlya monitoringa oroshayemykh zemel' Svetloyarskoy orositel'noy sistemy (Volgogradskaya oblast') [Application of geoinformation technologies and space survey materials for monitoring irrigated lands of the Svetloyarsk irrigation system (Volgograd region)] // *Izvestiya Zemli iz kosmosa.* 2017. № 4. P. 79–87. (In Russian). <https://doi.org/10.7868/S020596141704008X>
- Gosudarstvennyi (natsionalnyi) doklad o sostoianii i ispol'zovanii zemel' v Rossiiskoi Federatsii v 2021 godu [State (national) report on the state and use of land in the Russian Federation in 2021] / Eds Zakharova Zh.Yu. Moscow: Rosreestr, 2022. 206 p. (In Russian).
- Itogi Vserossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy perepisi 2016 goda po Volgogradskoy oblasti: V 6 t. / Terr. organ Fed. sluzhby gos. statistiki po Volgograd. obl. [The results of the All-Russian Agricultural Census of 2016 in the Volgograd region: In 6 volumes / Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Volgograd Region]. Volgograd: Volgogradstat, 2018. V. 3: Zemel'nye resursy i ikh ispol'zovanie. 140 p. (In Russian).
- Krasnoschekov V.N., Fomenko Yu.P.* Otsenka vliyaniya khozyaystvennoy deyatel'nosti na sostoyanie agrolandshaf-tov Volgogradskoy oblasti [Assessment of the impact of economic activity on the state of agricultural landscapes of the Volgograd region] // *Prirodoobustroystvo.* 2015. № 2. P. 93–98. (In Russian).
- Kravchenko E.I., Mukhin Iu.P., Brylev V.A., Kharlanov V.A., Sazhin A.N., Samborskii Iu.P., Anisimov A.A., Ivanov I.V., Chursin B.P., Vorobev A.V., Mattis G.Ia., Semeniutina A.V., Kriuchkov S.N., Kubantsev B.S., Chernobai V.F., Markova E.K., Koliakin N.N., Riabinina N.O., Shabunina I.M.* Prirodnye usloviia i resursy Volgogradskoy oblasti [Natural conditions and resources of the Volgograd region]. Volgograd: Peremena, 1995. 264 p. (In Russian).
- Kulik K.N., Barabanov A.T., Manaenkov A.S., Kulik A.K.* Obosnovanie prognoza razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Volgogradskoy oblasti [Justification of the forecast of the development of protective afforestation in the Volgograd region] // *Problemy prognozirovaniya.* 2017. № 6(165). P. 93–100. (In Russian).
- Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskiy A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I.* Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // *Remote Sensing.* 2022. V. 14(1). Art. № 77. <https://doi.org/10.3390/rs14010077>
- Lupyay E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Kashnitskiy A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A.* Tsentr kollektivnogo polzovaniia sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh IKI RAN dlia resheniia zad-

ach izucheniia i monitoringa okruzhaiushchei sredy [Center for collective use of systems for archiving, processing and analysis of satellite data of the ICI RAS for solving problems of studying and monitoring the environment] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa*. 2015. T. 12. № 5. P. 263–284. (In Russian).

Matveev Sh. Geoinformatsionnoe kartografirovaniye sovremennogo sostoianiya sel'skokhozyaystvennykh territoriy Novoanninskogo rayona Volgogradskoy oblasti [Geoinformation mapping of the current state of agricultural territories of the Novoanninsky district of the Volgograd region] // *Prirodnye sistemy i resursy*. 2022. V. 12. № 2. P. 36–42. (In Russian).

<https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.5>

Melikhova A.V. Morfometricheskii analiz agrolandshaftov perekhodnoy zony yuzhnykh chernozemov i temno-kashtanovykh pochv Volgogradskoy oblasti [Morphometric analysis of agricultural landscapes of the transition zone of southern chernozems and dark chestnut soils of the Volgograd region] // *Prirodnye sistemy i resursy*. 2022. V. 12. № 4. P. 26–33. (In Russian).

<https://doi.org/https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2022.4.3>

Natsional'nyy atlas pochv Rossiyskoy Federatsii [National Atlas of Soils of the Russian Federation]. 2011. M.: Astrel'. Ast. 632 p. (In Russian).

Natsional'nyy doklad. "Global'nyy klimat i pochvennyy pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidatsiya posledstviy i adaptatsionnye meropriyatiya (sel'skoe i lesnoe khoziaistvo)" [Global climate and soil cover of Russia: drought manifestations, prevention, control measures, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry)] / Eds Edel'geriev R.S.-Kh. 2021. V. 3. 700 p. (In Russian).

Rulev A.S., Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S. Geomorfologicheskie kriterii provedeniya lesomelioratsii landshaftov (na primere Priel'ton'ya) [Geomorphological criteria for forest reclamation of landscapes (on the example of the Elton region)] // *Geomorfologiya*. 2017. № 2. P. 63–71. (In Russian).

<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2017-2-63-71>

Rulev A.S., Pugacheva A.M. Development of Plant Growing at the Regional Level (Based on the Example of Volgograd Oblast) // *Studies on Russian Economic Development*. 2019. V. 30. № 5. P. 557–562.

<https://doi.org/10.1134/S1075700719050113>

Rulev A.S., Shinkarenko S.S., Bodrova V.N., Sidorova N.V. Geoinformatsionnye tekhnologii v obespechenii tochnogo zemledeliya [Geoinformation technologies in the provision

of precision agriculture] // *Izvestiya NV AUK*. 2018. № 4(52). P. 115–122. (In Russian).

Rulev A.S., Yuferev V.G., Yuferev M.V. Geoinformatsionnoe kartografirovaniye i modelirovaniye erozionnykh landshaftov [Geoinformation mapping and modeling of erosion landscapes]. Volgograd: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii agrolesomeliorativnyi institut, 2015. 153 p. (In Russian).

Shinkarenko S.S., Bodrova V.N., Sidorova N.V. Vliyaniye ekspozitsii sklonov na sezonnyuyu dinamiku vegetatsionnogo indeksa NDVI posevnykh ploschadey [The influence of slope exposure on the seasonal dynamics of the vegetation index NDVI of acreage] // *Izvestiya NV AUK*. 2019a. № 1(53). P. 96–105. (In Russian).

<https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-12>

Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Solodovnikov D.A., Pugacheva A.M. Analiz pastbischnykh resursov Volgogradskoy oblasti v geoinformatsionnoy sisteme [Analysis of pasture resources of the Volgograd region in the geoinformation system] // *Izvestiya NV AUK*. 2019b. № 1(53). P. 123–130. (In Russian).

<https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-15>

Sinel'nikova K.P. Geoinformatsionnyy analiz sovremenno-go sostoianiya agrolandshafta Donskoy gryady [Geoinformation analysis of the current state of the agricultural landscape of the Don ridge] // *Nauchno-agronomicheskii zhurnal*. 2020. № 3(110). P. 9–17. (In Russian).

<https://doi.org/10.34736/FNC.2020.110.3.002.9-16>

Terekhin E.A. Otsenka sezonnykh znacheniy vegetatsionnogo indeksa (NDVI) dlya detektirovaniya i analiza sostoianiya posevov sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Assessment of seasonal values of the vegetation index (NDVI) for detecting and analyzing the state of crops] // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2015. № 1. P. 23–31. (In Russian).

<https://doi.org/10.7868/S0205961415010108>

Vasil'chenko A.A. Opyt razrabotki lokal'noy GIS oroshayemykh zemel' Volgo-Akhtubinskoy poimy na territorii Volgogradskoy oblasti [Experience in developing a local GIS of irrigated lands of the Volga-Akhtuba floodplain in the Volgograd region]. *InterKarto. InterGIS*. 2022. V. 28. Ch. 2. P. 761–772. (In Russian).

<https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-2-28-761-772>

Vorob'ev A.V. Zemel'naya reforma v Volgogradskoy oblasti (Izmeneniya sel'skokhozyaystvennogo zemlepol'zovaniya regiona v 1990–2010 gody) [Land reform in the Volgograd region (Changes in agricultural land use in the region in 1990–2010)]. Volgograd: Volgogradskiy GAU, 2014. 164 p. ISBN 978-5-85536-866-6. (In Russian).