

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

# ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

© 2023 г. А. А. Выприцкий<sup>а</sup>, \* , В. Г. Юфрев<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций  
и защитного лесоразведения РАН, Волгоград, Россия

\*E-mail: vyprickiy-a@vfanc.ru

Поступила в редакцию 15.12.2022 г.

Определение закономерностей изменения продуктивности сельскохозяйственных угодий на разных участках, используемых для выращивания сельскохозяйственных угодий в зоне влияния Государственных защитных лесных полос (ГЗЛП) является актуальным в связи с необходимостью оценки будущего урожая сельскохозяйственных культур на полях с различиями геоморфологических, почвенных и климатических условий на территории исследований. Проведены исследования посевов озимых зерновых культур на полях, размещенных в пределах влияния Государственных защитных лесных полос. Методика исследований основана на геоинформационном анализе результатов дешифрирования актуальных космоснимков как по выявлению распределения обрабатываемых полей, расположенных в зоне влияния ГЗЛП, так и состояния посевов на них. При этом учитывалась почвенная зональность территории исследований в виду значительной протяженности лесных полос. Оценка состояния озимых зерновых культур по мере удаления от насаждения была проведена с использованием вегетационного индекса NDVI, рассчитываемого по спектрально-канальным космоснимкам высокого разрешения спутника Sentinel-2. По результатам исследований составлена база пространственных данных обрабатываемых полей. Проведена группировка полей по типам почв. Установлено их размещение и геоморфологические параметры. С использованием геоинформационных технологий для групп полей с использованием инструментов статистической обработки определены средние значения ширины выделенных зон влияния, а также параметров рельефа. При геоинформационном картографировании получены данные о состоянии посевов на начало мая по изменению индекса NDVI по группировкам полей в зоне воздействия ГЗЛП. Эти данные являются основой для прогноза урожая сельскохозяйственных культур с учетом пространственного размещения полей.

*Ключевые слова:* дистанционное зондирование, геоинформационные системы, космоснимки, картографирование, защитные лесные полосы, анализ, продуктивность

DOI: 10.31857/S0205961423040073, EDN: XLJGZA

### ВВЕДЕНИЕ

Состояния посевов сельскохозяйственных культур, выращиваемых в зоне влияния Государственной защитной лесной полосы (ГЗЛП), определяется комплексом почвенных, геоморфологических и климатических условий. Определение взаимосвязи состояния посевов с их положением в зоне воздействия ГЗЛП, а также учет влияния сохранности насаждений на посевы в настоящее время актуально для разработки агротехнологий выращивания сельскохозяйственных культур в системе защитных лесных насаждений.

Геоинформационный анализ дает возможность установить возможную продуктивность сельскохозяйственных угодий и обеспечивает создание базы пространственных данных полей на террито-

рию исследований, с использованием которой можно прогнозировать вероятную урожайность сельскохозяйственных культур (Силова, 2021). ГЗЛП созданы при выполнении постановления Совета министров СССР и ЦК ВКП(б) от 20 октября 1948 года “О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части СССР” (Засоба и др., 2019). Всего на территории Волгоградской области высажено шесть Государственных лесных полос из них “Пенза – Каменск”, “Камышин – Волгоград”, “Волгоград – Черкесск” – относятся к водораздельным; “Воронеж – Ростов-на-Дону”, “Саратов – Астрахань” – являются прирусловыми, а полоса “Чапаевск – Владимировка”

высажена не полностью и сохранилась в пределах области фрагментарно (Чеплянский и др., 2018).

В отличие от лесных насаждений предназначенных для защиты отдельных полей от деградации, в частности от дефляции и водной эрозии Государственные защитные лесные полосы выполняют расширенную функцию по формированию условий для предотвращения засух и суховея на защищаемой территории. Однако выполнение этой задачи возможно только при комплексной системной лесомелиорации агроландшафтов в степной и полупустынной природно-климатической зоне. В связи с тем, что только в Волгоградской области 48% сельскохозяйственных угодий (Краснощеков, Фоменко, 2015) не защищены лесными насаждениями и являются дефляционно-опасными, в частности по большей части отсутствуют таковые для полей, прилегающих к ГЗЛП, важным является выявление их воздействия на продуктивность сельскохозяйственных угодий, используемых для выращивания культур.

Таким образом, Государственные защитные лесные полосы, кроме средообразующей, выполняют полезозащитные функции, которые предотвращают потери почвенного плодородного слоя от дефляции и водной эрозии, оказывают влияние на гидрологические процессы, а также приводят к формированию устойчивых агролесоландшафтов и увеличивают продуктивность земель. (Кулик, Пугачева, 2016; Барабанов, Панов, 2016; Таранов, Синельникова, 2017; Антонов, 2020).

Государственная защитная лесная полоса “Пенза – Каменск” проложена через Жирновский, Руднянский, Еланский, Даниловский, Михайловский, Новоаннинский, Кумылженский и Серафимовичский районы Волгоградской области. Трасса ГЗЛП проходит через две почвенные зоны: черноземную (подзоны обыкновенных и южных черноземов) и каштановую (подзоны темнокаштановых и каштановых почв) (Новикова, Коношкова, 2008).

Несмотря на специфику размещения трассы ГЗЛП “Пенза – Каменск” ориентированной с северо-востока на юго-запад она выполняет функцию противодефляционной защиты прилегающих угодий в связи с тем, что повторяемость сильных ветров в Волгоградской области не носит ярко выраженной ориентации и практически равномерно распределена по румбам в дефляционно-опасный период. (Сажин и др., 2010)

Задачей является определение закономерностей изменения продуктивности сельскохозяйственных угодий на разных участках, используемых для выращивания сельскохозяйственных угодий в связи с различиями геоморфологических, почвенных и климатических условий на территории исследований. Цель исследований заключалась в выявлении влияния ГЗЛП на распределение проективного

покрытия посевов на полях по мере удаления от насаждения с использованием вегетационного индекса NDVI. По результатам исследований составляется пространственная база данных ширины и площади выделенных зон влияния, прогноз урожая сельскохозяйственных культур с учетом пространственного размещения полей.

## ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методической основой исследований является положение о том, что характеристики компонентов агроландшафтов, а именно проективное покрытие растительностью, с большой достоверностью определяется по результатам дешифрирования космоснимков (Виноградов, 1984), а использование вегетационного индекса NDVI дает возможность определить состояние посевов на площади поля (Шинкаренко С.С., Барталев С.А., 2020; Lu, 2006).

Методика исследований основана на геоинформационном анализе результатов дешифрирования актуальных космоснимков по выявлению распределения обрабатываемых полей и состояния посевов на них, расположенных в зоне влияния ГЗЛП. При этом учитывалась почвенная зональность территории исследований в виду значительной (334 км) протяженности лесной полосы в пределах Волгоградской области.

Геоинформационный анализ проводился в программе QGIS 3.28 с использованием инструмента вычисления NDVI. Сервис исследования Земли (earthexplorer.usgs.gov) в открытом доступе предоставляет данные спутников Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м (Шихов, Дремин, 2021) и снимки спутников Landsat-8, -9 с пространственным разрешением 15 м (Терехин, 2020), в связи с чем имеется возможность проводить мониторинг сохранности лесных насаждений, в том числе ГЗЛП (ширина кулис ГЗЛП составляет от 60 до 100 м), а так же мониторинг развития посевов сельскохозяйственных культур по изменению значений NDVI (Терехин, 2016).

Картографирование площади полей и Государственных защитных лесных полос было проведено на основе спутниковых снимков Sentinel-2, с использованием спектральных каналов 2, 3, 4 и 8. Значения NDVI определялись по спектральным каналам 4 и 8. Даты съемки территории исследований и номера кадров с покрытием облачностью менее 10% приведены в табл. 1. Для анализа состояния ГЗЛП использовались снимки за август–сентябрь, а для посевов за май 2022 г. Выбор месяца съемки обусловлен максимальными значениями NDVI для исследуемого объекта.

Границы слоев пашни и ГЗЛП определялись с использованием публичной кадастровой карты

**Таблица 1.** Дата съемки территории исследований со спутника Sentinel-2

Территория съемки	Даты и тайлы съемки
ГЗЛП Каменск – Пенза	21.08.2018 (Т38UMB), 05.09.2019 (Т37UGQ, Т38ULA, Т38UMA)
Прилегающие к ГЗЛП сельскохозяйственные угодья	07.05.2022 (Т37UGQ, Т38UMB, Т38ULA, Т38UMA)

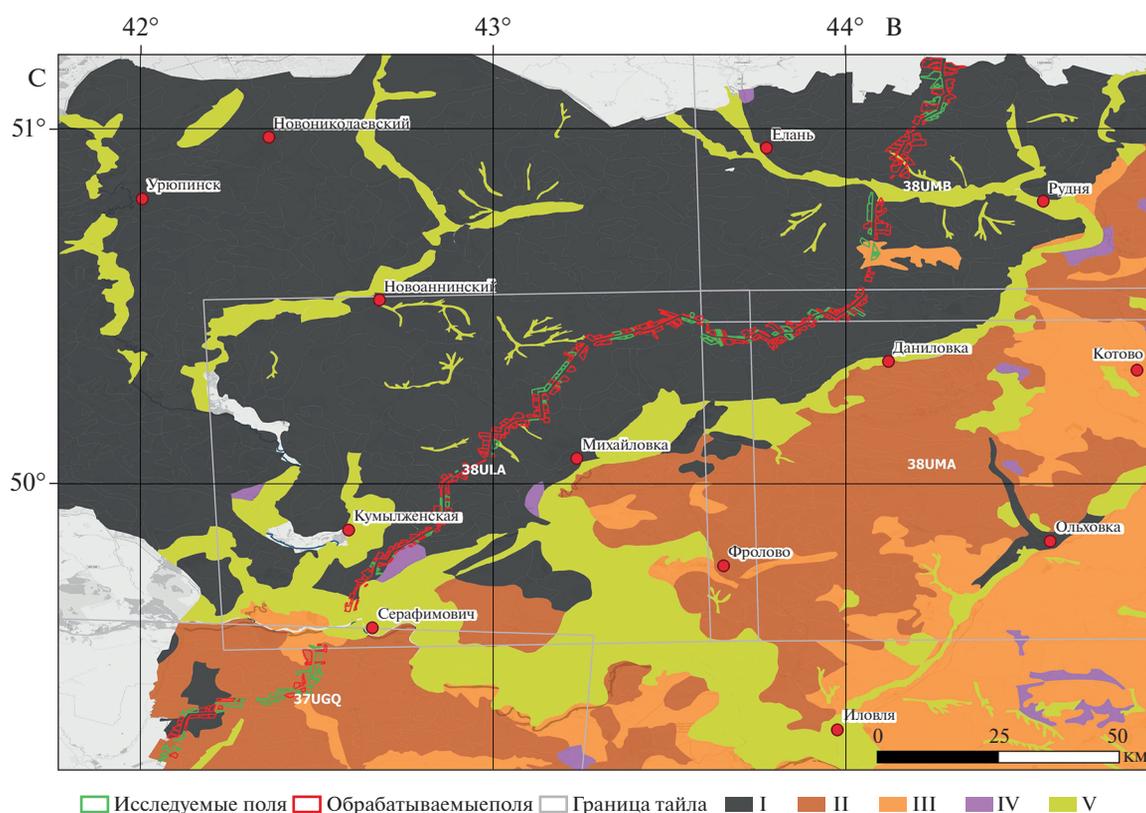
Росреестра, данных сервиса ESRI World Imaging со сверхвысоким разрешением (менее 1 м) и снимков спутника Sentinel-2, полученных с сервиса (earthexplorer.usgs.gov).

Совмещение трассы ГЗЛП, векторной карты границ полей и почвенной карты Волгоградской области М: 1 : 400 000 (Почвенная карта..., 1989) позволило определить тип почвы и присвоить соответствующий атрибут каждому полю (рис. 1) (Выприцкий, 2021). С использованием цифровой модели рельефа SRTM-1 были получены данные об экспозиции склонов, средней высоте и средней крутизне склона исследуемых полей. (Рулев А.С. и др., 2015).

При проведении предварительного камерального исследования севооборотов на полях по разным годам съемки для каждого поля были выбра-

ны периоды съемки, характеризующиеся наличием посевов озимых культур (пшеница).

Государственные защитные лесные полосы идентифицировались с использованием карт-схем лесничеств на территории Волгоградской области. С их помощью была уточнена проектная площадь Государственных защитных лесных полос, а затем на основе данных NDVI по состоянию на август–сентябрь был разработан геоинформационный слой с лесными насаждениями, расположенными внутри каждого полигона. Выбранный период съемки дает возможность выделить лесные насаждения отдельно от сельскохозяйственных культур, поскольку это период приходится на завершение вегетационного периода и показатели NDVI у культур будет меньше чем у лесных насаждений (Рулев и др., 2016; Шинкаренко, Барталев, 2020).



**Рис. 1.** Пространственное распределение сельскохозяйственных угодий, находящихся под влиянием Государственной защитной лесной полосы “Каменск – Пенза” с учетом почвенных зон: I – черноземы; II – темно-каштановые; III – каштановые; IV – солонцы; V – другие.

Выделение лесных насаждений проводилось с помощью пороговых значений для каждого снимка индивидуально, подтверждающим фактором являлись данные сервиса ESRI World Imaging. Значения NDVI для сомкнутой древесно-кустарниковой растительности – 0.7; разреженной растительности – 0.5. Для спутниковых снимков одних и тех же территорий, снятых в разное время, пороговые значения немного отличались в зависимости от фенологических фаз растительности на указанные даты. Для дешифрирования вида растительности использовались результаты полевого эталонирования.

Для получения информации о наличии посевов озимой пшеницы, а также для получения второго уровня обработки космоснимков после радиометрической калибровки и коррекции атмосферных искажений (L2A – BOA, Bottom of Atmosphere) выбран сервис “Beta-science”, использующий данные спектрорадиометра “MODIS” с пространственным разрешением 250 м (Lourian et al., 2022). Расчет зональной статистики по данным, полученным с сервиса, проведен с применением встроеного инструмента в геоинформационной программе QGIS, в результате было установлено наличие посевов озимых культур и присвоены значения атрибутов по каждому полю площадью более 6.25 га, соответствующей размеру пикселя.

При подготовке маски полей использовалась геоинформационная оценка размещения сельскохозяйственных угодий только находившиеся в зоне влияния Государственных защитных лесных полос. Для чего была выделена буферная зона шириной 400 м, определяемая предельным эффективным влиянием лесного насаждения в пределах 20Н, где Н – средняя высота ГЗЛП. Поля, размещенные внутри ГЗЛП, не рассматривались. Регулярный шаг сетки ячеистой модели принимался равным пространственному разрешению снимка спутника Sentinel 2–10 м (каналы 4, 8) (Силова, 2021).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования продуктивности посевов в зонах влияния лесных насаждений проводились многими исследователями (Вольнов и др., 2006; Береза и др., 2015), которые выявляли их воздействие на развитие сельскохозяйственных культур. Установлено (Силова, 2021), что под защитой полос повышаются как урожайность, так и качество продукции. Подчеркивается синергетический эффект такого воздействия. В настоящее время направления изучения влияния лесомелиорации на продуктивность сельскохозяйственных угодий лежат в плоскости применения результатов дистанционного зондирования и геоинформационного картографирования для формирования пространственных данных о состоянии посевов. В отличии

от проведенных ранее исследований задача выявления пространственного распределения характеристик посевов под влиянием лесных насаждений специального назначения, в том числе ГЗЛП, подробно не рассмотрена. Для точного определения характеристик посевов необходимо изучение факторов их определяющих. В представленной работе проведены комплексные исследования влияния почвенных, геоморфологических и климатических условий на состояние посевов в зоне влияния ГЗЛП.

В результате дистанционных и полевых исследований были установлены границы и характеристики обрабатываемых полей на территориях, прилегающих к Государственной лесной полосе “Пенза – Каменск”. Всего при оценке был проведен анализ характеристик 413 полей общей площадью 47.5 тыс. га.

Полученная проектная площадь участков ГЗЛП, размещенных на исследуемых территориях составляет 6949.6 га. Площадь лесных насаждений, определенная при картографировании территории исследований по актуальным космоснимкам составила 6106.1 га (Выприцкий, Шинкаренко, 2022). Сохранность (Патент № 2437061) Государственной защитной полосы по всей протяженности на момент исследований составила не менее 90% (Выприцкий, 2021, Выприцкий, 2022), в связи с этим можно сделать вывод об отсутствии вариации этого фактора и как следствие считать его величиной постоянной, влияющей на состояние посевов в одинаковой мере. При проведении полевых исследований в 2022 были выполнены таксационные описания временных пробных площадей. Определен породный состав кулис ГЗЛП “Пенза – Каменск”. Установлены следующие породные составы: для 1 яруса – 5Вп5Яп (*Ulmus pumila* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall), 5Дч5Яп (*Quercus robur* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall), 4В4Яп2Дч (*Ulmus pumila* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Quercus robur* L.); для 2 яруса – 10Ж (*Lonicera tatarica* L.), 5Клт5Аж (*Acer tataricum* L., *Caragana arborescens* Lam.). Средняя высота ГЗЛП – 11.45 м, среднеквадратическое отклонение 1.64 м, средний возраст насаждения 60 лет (Выприцкий, 2022).

Распределение площади полей, используемых для выращивания продукции сельского хозяйства в буферной зоне ГЗЛП “Пенза – Каменск”, и в целом в муниципальных районах приведено по данным Росстата по Волгоградской области (табл. 2) (<https://www.gks.ru>).

Установлено, что поля в буферной зоне ГЗЛП “Пенза – Каменск” преимущественно расположены на черноземах (типичных и южных) и темно-каштановых почвах (см. рис. 1). Профиль изменения рельефа по трассе Государственной защитной лесной полосы на территории Волгоградской области (рис. 2) получен в результате анализа

**Таблица 2.** Площадь исследуемых и всех обрабатываемых полей по районам на 2022, тыс. га

Название района	Площадь исследуемых полей	Посевная площадь
Жирновский	5.2	109.8
Руднянский	6.1	92.4
Еланский	1.4	145.0
Даниловский	6.8	109.9
Новоаннинский	2.5	173.8
Кумылженский	5.0	88.5
Серафимовичский	8.3	114.2
Городской округ Михайловка	12.2	164.4
Всего	47.5	998.0

**Таблица 3.** Геоestatистические характеристики полей на территории исследования

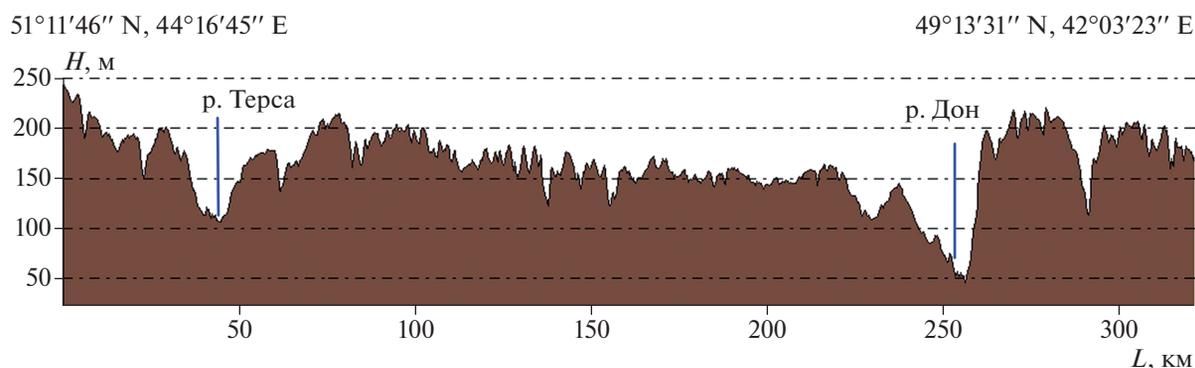
Статистические характеристики	Параметры		
	площадь, га	высота рельефа, м	крутизна склона, °
Общая	47504	—	—
Стандартное отклонение	104.8	25.4	0.46
Среднее	113.2	164.9	1.22
Максимум	659.4	240.0	6.5
Минимум	2.3	68.0	0.4

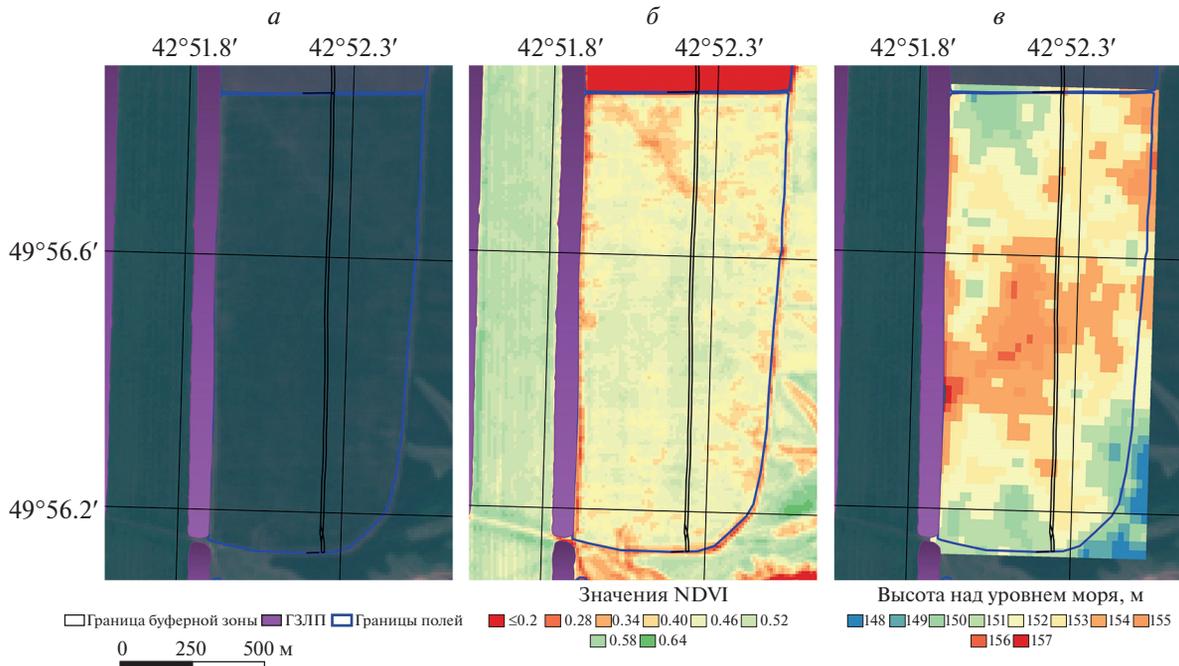
цифровой модели местности SRTM 1. Результаты изучения профиля позволяют установить параметры изменения рельефа по всей трассе ГЗЛП. Профиль проложен от точки с координатами 51°11'47"С.Ш., 44°16'45" В.Д. до точки с координатами 49°13'32" С.Ш., 42°03'23" В.Д. Высота рельефа в начале профиля 244 м в конце 181 м. Общая длина исследуемого участка 334 км. Перепад высот между точками начала и конца профиля 69 м. Минимальная высота рельефа по профилю 46 м, максимальная 243 м. Средняя крутизна склона 0.01°. Максимальная крутизна склона 6.5°. Азимут – 216°. Таким образом, трасса ГЗЛП с незначительным уклоном ориентирована на

юго-запад (по направлению от начала профиля) и пересекает поймы рек Терса и Дон.

Геоинформационный анализ морфометрических характеристик каждого из 413 полей, размещенных в буфере влияния ГЗЛП используемых для выращивания сельскохозяйственной продукции с помощью цифровой модели рельефа, позволил установить их значения для каждого из рассмотренных полей. В табл. 3 представлены геоestatистические характеристики совокупности полей.

Геоestatистические характеристики дают возможность оценить территорию как возвышенную равнину, плавно понижающуюся по пути профи-

**Рис. 2.** Модельный профиль изменения рельефа по трассе Государственной защитной лесной полосы.



**Рис. 3.** Пример исследуемого тестового полигона: *а* – цветосинтезированное изображение по RGB каналам; *б* – карта распределения значений NDVI; *в* – цифровая модель рельефа поля.

ля со средней крутизной  $0.01^\circ$ , стандартное отклонение составляет  $0.46^\circ$  при максимальном значении крутизны склона  $6.5^\circ$ . Результат исследований пространственного распределения геоморфологических характеристик дает возможность сгруппировать поля по средней крутизне склона и выделить посевные площади с крутизной менее  $2^\circ$ , как наименее подверженные смыву почвы. (Рулев и др., 2015; Рулев, Юферев, 2016).

Количество анализируемых полей, выбранных для анализа на черноземах южных и темно-каштановых почвах с крутизной склонов менее  $2^\circ$  составило 82 и 44 соответственно. На рис. 3 приведена крупномасштабная космокарта и карта распределения значений NDVI для тестового полигона (поля с посевами озимой пшеницы на 07.05.2022 г.), расположенного на черноземах южных в Кумылженском районе Волгоградской области.

В результате исследований установлено пространственное распределение среднего значения вегетационного индекса с шагом 10 м для участков полей, расположенных в зоне буфера (на расстоянии 400 м от ГЗЛП) и имеющих сходные условия для развития посевов на черноземах южных ( $NDVI_{(чю)}$ ) по расстоянию от границы лесного насаждения (L). Среднее значение вегетационного индекса по генеральной совокупности значений в рассматриваемой зоне равно 0.491. Стандартное отклонение по всей совокупности 0.130.

Для всех полей, расположенных на черноземах южных, построены графики изменения среднего

вегетационного индекса (рис. 4) и разработано уравнение регрессии (без учета значений NDVI в зоне депрессии):

$$NDVI_{(чю)} = (0.057 \text{Exp}(-((L - 114)^2 / (44\ 521)))) + 0.42. \quad (1)$$

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) результатов аппроксимации по уравнению (1) составил 0.530.

Полученные результаты для полей на черноземах южных показывают, что при фоновой величине среднего значения NDVI – 0.484 прослеживаются следующие изменения его значения на расстоянии от границы лесополосы: 10 м – 0.471; 20 м – 0.471. На расстоянии примерно 28 м значение индекса достигает фонового, это свидетельствует о существующей зоне депрессии (Общая и др., 2018), в которой влияние лесной полосы негативно сказывается на развитии посевов. В дальнейшем среднее значение  $NDVI_{(чю)}$  возрастает, сказывается положительное влияние ГЗЛП и на удалении от нее на 120 м среднее значение индекса NDVI достигает максимального 0.504. При удалении от полосы на 210 м и понижается до фонового. В дальнейшем до границы буфера (400 м) фактическое значение среднего варьирует относительно фонового с коэффициентом вариации  $Cv = 0.000023$ .

Таким же образом для полей, расположенных на темно-каштановых почвах, построены графики изменения среднего вегетационного индекса ( $NDVI_{(тк)}$ ) (рис. 5) по расстоянию от ГЗЛП (L) и

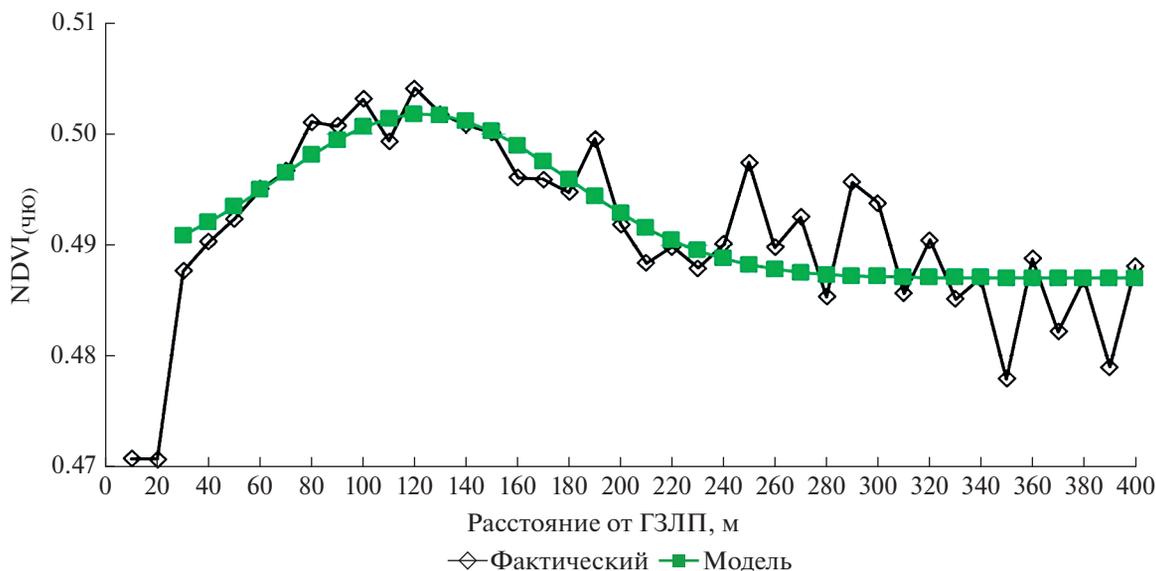


Рис. 4. Изменение значения  $NDVI_{(цю)}$  по расстоянию от границы ГЗЛП.

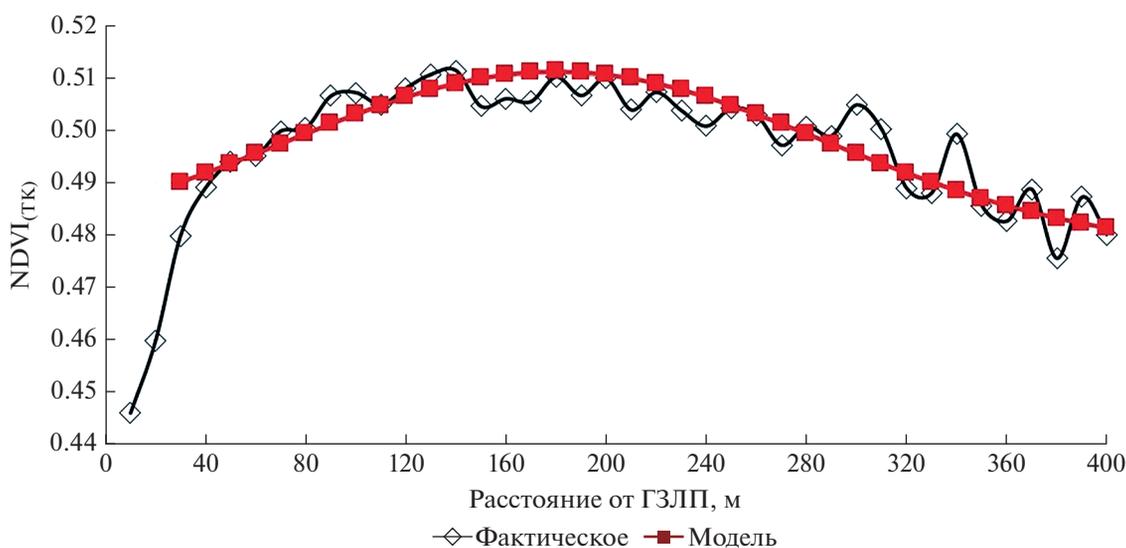


Рис. 5. Изменение значения  $NDVI_{(тк)}$  по расстоянию от границы ГЗЛП.

разработано уравнение регрессии (без учета значений  $NDVI$  в зоне депрессии):

$$NDVI_{(тк)} = (0.034 \exp(-((L - 18)^2 / (23409)))) + 0.477. \quad (2)$$

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) результатов аппроксимации по уравнению (2) составил 0.599.

Полученные для условий темно-каштановых почв результаты показывают, что при фоновой величине среднего значения индекса  $NDVI_{(тк)}$  — 0.481 прослеживаются следующие изменения его значения на расстоянии от границы лесополосы:

10 м — 0.446; 20 м — 0.460; 30 м — 0.480. На расстоянии 30 м значение индекса практически достигает фоновое, такие изменения также свидетельствует о существующей зоне депрессии на темно-каштановых почвах. В дальнейшем среднее значение  $NDVI_{(тк)}$  возрастает, сказывается положительное влияние ГЗЛП и на удалении от нее на 140 м среднее значение индекса  $NDVI$  достигает максимального 0.511. При удалении от полосы на 250 м и понижается до фоновое. В дальнейшем до границы буфера (400 м) фактическое значение среднего варьирует относительно фоновое с коэффициентом вариации  $C_v = 0.00008$ .

Следует отметить, что в наших исследованиях для посевов на темно-каштановых почвах выявлены более высокие средние значения вегетационного индекса и большая ширина зоны влияния. Изучение геоморфологических факторов показало следующее, так как территория исследований обусловлена приуроченностью к ГЗЛП, которая размещена по водоразделу, то буферная зона, в которой выделены участки обрабатываемых полей относится к приводораздельной части водосборов рек Медведица и Бузулук, а сами участки полей характеризуется средней крутизной  $1.22^\circ$ , что свидетельствует о очень пологом характере наклона склона (Осипов, 2016).

При геоморфологическом анализе рельефа тестового полигона установлено, что даже при небольшой крутизне поверхности имеются следы водной эрозии, как плоскостной, так и линейной, эрозионный рельеф отображается на цифровой модели рельефа поля (рис. 3). Эрозия оказывает существенное влияние на посевы и четко прослеживается по карте распределения индекса NDVI (рис. 3), при этом в местах полного разрушения плодородного слоя вследствие линейной эрозии наблюдается значительно снижение NDVI, а в местах локальных понижений с повышенной влажностью и намытой почвой отмечается его увеличение. Таким образом, использование детального геоморфологического анализа по каждому полю дает возможность установить причины снижения качества посевов и в дальнейшем провести соответствующие работы по восстановлению плодородия почв.

Оценка влияния климатических факторов показала, что среднее значение количества выпавших осадков и средней температуры на территории исследований по данным ближайших метеостанций (<http://www.pogodaiklimat.ru/>) за сентябрь 2021 по апрель 2022 г. влияющих на развитие озимых: по черноземной зоне 363 мм и  $2.49^\circ\text{C}$ , среднеквадратическое отклонение температуры —  $5.99^\circ\text{C}$ ; по подзоне темно-каштановых — 333 мм и  $3.76^\circ\text{C}$ , среднеквадратическое отклонение температуры  $5.87^\circ\text{C}$  соответственно. Большое среднеквадратическое отклонение температуры обусловлено периодом наблюдения с большими сезонными изменениями температур. Анализ метеорологических данных показывает превышение осадков на полях черноземной зоны, что не объясняет отставание в развитии посевов, в связи с этим, по нашему мнению, основным фактором, приводящим к более быстрому развитию растений на темно-каштановых почвах является географическое положение полей (северная граница находится на широте  $49.55^\circ$ ), при этом можно отметить, что для выбранной территории в зоне темно-каштановых почв средняя температура на  $1.27^\circ\text{C}$  выше, чем средняя температура в черноземной зоне (северная граница находится на широте  $51.19^\circ$ ). Естественно выше сумма среднесуточных температур,

способствующих более интенсивной вегетации растений.

Что касается почвенных условий, то исследования показали, что на полях в буферной зоне ГЗЛП как на черноземах южных, так и на темно-каштановых почвах отмечено достаточно высокое содержание гумуса (более 5%) (Кошелев, 2019). По содержанию комплекса питательных веществ Азот—Фосфор—Калий (NPK) исследования не проводились.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате дистанционных и полевых исследований были установлены характеристики обрабатываемых полей на территориях, прилегающих к Государственной лесной полосе «Пенза — Каменск».

Сохранность участка Государственной защитной полосы на всем протяжении установлена по индексу NDVI, практически не меняется и равна 90%. Вследствие чего можно считать уровень влияния состояния насаждения постоянным и одинаковыми для всех полей.

В результате исследований установлено пространственное распределение среднего значения вегетационного индекса NDVI для участков полей, расположенных в зоне влияния и имеющих сходные условия для развития растений по расстоянию от границы ГЗЛП. Для всех полей, расположенных на черноземах южных и темно-каштановых почвах, определена функция для описания изменения среднего вегетационного индекса (функция Гаусса), построены уравнения регрессии и установлены коэффициенты аппроксимации.

Полученные результаты для черноземов южных показывают, что на расстоянии примерно 28 м среднее значение индекса достигает фонового (0.484), это свидетельствует о существующей зоне депрессии, в которой влияние лесной полосы негативно сказывается на развитии посевов. В дальнейшем среднее значение вегетационного индекса возрастает, и на удалении от полосы максимальные средние значения достигают 0.504. При удалении на 210 м NDVI понижается до фонового.

Для условий темно-каштановых почв также установлено, что на расстоянии до 30 м от границы лесополосы наблюдается снижение среднего значения индекса, что соответствует существующей зоне депрессии. Фоновое значение индекса почти достигается на расстоянии 30 м и равно 0.480, что ниже чем для черноземов южных. На расстоянии от 30 до 400 м среднее значение индекса достигает максимального 0.511 при удалении от полосы на 140 м и понижается до фонового на расстоянии 250 м.

Благодаря геоморфологическому анализу тестового полигона, наглядно демонстрируется изменение показателя значений NDVI по причине

изменения рельефа поля. Участки подверженные линейной и плоскостной водной эрозии имеют наименьшие показатели вегетационного индекса, в то время, как места локальных понижений демонстрируют увеличение NDVI. Таким образом, использование детального геоморфологического анализа по каждому полю дает возможность установить причины снижения качества посевов и в дальнейшем провести соответствующие работы по восстановлению плодородия почв.

Таким образом, установлено изменение продуктивности посевов сельскохозяйственных культур при влиянии государственных защитных лесных полос, определены зоны депрессии для посевов, размещенных на разных типах почв, а также выявлена ширина зоны положительного воздействия для группировок полей, размещенных в сходных условиях.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа была выполнена по государственному заданию Федерального научного центра агроэкологии РАН, НИОКТР 122020100406-6 “Теоретические основы математико-картографического моделирования функционирования и природно-антропогенной трансформации агролесомелиоративных систем в защите почв от дефляции.”

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонов С.А.* Анализ пространственного положения защитных лесных насаждений на основе геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования земли // *ИнтерКарто. ИнтерГИС.* 2020. Т. 26. № 2. С. 408–420. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-2-26-408-420>
- Барabanов А.Т., Панов В.И.* Преобразование гидрологического режима агроландшафтов защитными лесными насаждениями // *Живые и биокосные системы.* 2016. № 16. С. 6.
- Береза О.В., Страшная А.И., Луян Е.А.* О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2015. Т. 12. № 1. С. 18–30.
- Виноградов Б.В.* Аэрокосмический мониторинг экосистем // М: Наука, 1984. 320 с.
- Вольнов В.В.* Влияние лесных полос на увлажнение почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета.* 2006. № 3(23). С. 41–44. EDN ISVZMZ.
- Выприцкий А.А.* Электронное картографирование государственных защитных лесных полос в Волгоградской области // *Грани познания.* 2021. № 3(74). С. 9–14.
- Выприцкий А.А.* Сравнительный анализ сохранности водораздельных Государственных защитных лесных полос Волгоградской области по данным SENTINEL-2 NDVI и информационных продуктов типов земных покровов // *ИнтерКарто, ИнтерГИС.* 2022. Т. 28. Ч. 1. С. 359–367. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-1-28-458-470>
- Выприцкий А.А., Шинкаренко С.С.* Анализ влияния почвенно-климатических условий на сохранность государственных защитных лесных полос на основе данных Sentinel-2 // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2022. Т. 19. № 5. С. 147–163. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-5-147-163>
- Засоба В.В., Чеплянский И.Я., Поповичев В.В.* Семидесятилетний опыт создания государственных защитных лесных полос в степной зоне России // *Живые и биокосные системы.* 2019. № 27. С. 3.
- Кошелев А.В.* Агрохимическая характеристика темно-каштановых почв тестового полигона “Пронин” // *Научно-агрономический журн.* 2019. № 2(105). С. 14–17. EDN BNRODT.
- Краснощечков В.Н., Фоменко Ю.П.* Оценка влияния хозяйственной деятельности на состояние агроландшафтов Волгоградской области // *Природообустройство.* 2015. № 2. С. 93–98. EDN UFEXLL.
- Кулик К.Н., Пугачёва А.М.* Лесомелиорация – основа создания устойчивых агроландшафтов в условиях недостаточного увлажнения // *Лесотехнический журн.* 2016. Т. 6. № 3(23). С. 29–40.
- Новикова А.Ф., Конюшкова М.В.* Почвенно-агроэкологическое районирование Волгоградской области и основные направления комплексных мелиораций // *Аридные экосистемы.* 2008. Т. 14. № 35–36. С. 34–46. EDN KJVSBF.
- Осинов С.В.* Шкалы уклонов земной поверхности и способы их разработки // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология.* 2016. № 3. С. 45–50. EDN WNCQID.
- Патент № 2437061 С1 Российская Федерация, МПК G01C 11/04, A01G 23/00. Способ определения сохранности лесных насаждений: № 2010115216/28 : заявл. 19.04.2010 : опубл. 20.12.2011 / А.С. Рулев, В.Г. Юферев, В.Ю. Михалев, А.Н. Маенко; заявитель Общество с ограниченной ответственностью “Био-ЭкоЛес” (ООО “БиоЭкоЛес”).
- Почвенная карта Волгоградской области (М 1 : 400 000) / Под ред. Е.М. Цвылева. ГУГК СССР, 1989.
- Обица Е.Н., Дудченко Л.В., Лапенко Н.Г., Хрипунов А.И.,* Оптимизация депрессивной зоны лесных полос как способ повышения биологизации агроландшафта // *Лесотехнический журн.* 2018. Т. 8. № 2(30). С. 79–86. [https://doi.org/10.12737/article\\_5b24060cd20b28.24910048](https://doi.org/10.12737/article_5b24060cd20b28.24910048). EDN XRUBTF
- Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С.* Оценка лесистости агроландшафтов Юга Приволжской возвышенности по данным NDVI // *Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.* 2016. № 4(44). С. 32–39.
- Рулев А.С., Юферев В.Г., Юферев М.В.* Геоинформационное картографирование и моделирование эрозионных ландшафтов // *Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт.* 2015. 153 с. ISBN 978-5-900761-88-6. EDN YSBXKD

- Рулев А.С., Юфев В.Г. Математико-геоморфологическое моделирование эрозионных ландшафтов / Геоморфология. 2016. № 3. С. 36–45.
- Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И. Погода и климат Волгоградской области // Волгоград : ВНИАЛМИ, 2010. 306 с. ISBN 978-5-900761-59-6. EDN OTSWKJ.
- Силова В.А. Влияние лесомелиоративного обустройства на продуктивность сельскохозяйственных угодий в условиях сухостепной зоны // Научный журн. Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11. № 2. С. 68–81. EDN FVZIZA.  
https://doi.org/10.31774/2222-1816-2021-11-2-68-81
- Таранов Н.Н., Синельникова К.П. Анализ сохранности государственной лесной полосы Камышин – Волгоград, методами ретроспективы и ГИС технологий. Изучение, сохранение и восстановление естественных ландшафтов // Сборник Статей VII всероссийской с международным участием научно-практической конференции. 2017. С. 389–393.
- Терехин Э.А., Маринина О.А. Исследование особенностей развития посевов зерновых озимых на основе их спектрально-отражательных характеристик // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 202–213. EDN XAEWVJ.  
https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-5-202-213
- Терехин Э.А. Пространственный анализ особенностей формирования древесной растительности на залежах лесостепи Центрального Черноземья с использованием их спектральных признаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 142–156.  
https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-5-142-156
- Чеплянский И.Я., Засоба В.В., Поповичев В.В. Лесные и нелесные земли в государственных защитных лесных полосах в России // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2018. № 51. С. 91–95.
- 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. № 4. С. 179–194.  
https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194
- Шихов А.Н., Дремин Д.А. Закономерности повреждения ветровалами лесов европейской территории России и Урала: анализ по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 153–168.  
https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-3-153-168
- Loupian E.A., Bourtsev M.A., Proshin A.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Radchenko M.V., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. V. 14. №. 1. P. 77.  
https://doi.org/doi.org/10.3390/rs14010077
- Lu D. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation // International journal of remote sensing. 2006. V. 27. № 7. P. 1297–1328.

## Geoinformation Analysis of the Impact of State Protective Forest Belts on the Productivity of Agricultural Land

A. A. Vypritskiy<sup>1</sup> and V. G. Yuferev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal scientific center of agroecology, complex meliorations and agroforestry of RAS, Volgograd, Russia

Determining the patterns of changes in the productivity of agricultural land in different areas used for growing agricultural land in the zone of influence of State Forest Strips (GZLP) is relevant due to the need to assess the future crop yield in fields with differences in geomorphological, soil and climatic conditions in the research area. An object. Sowing of winter grain crops in fields mixed within the influence of State forest strips. Materials and methods. The research methodology is based on the geoinformation analysis of the results of the decryption of actual satellite images, both to identify the distribution of cultivated fields located in the zone of influence of GZLP, and the state of crops on them. At the same time, the soil zonality of the research area was taken into account in view of the considerable length of forest strips. The assessment of the condition of winter grain crops as they move away from the planting was carried out using the NDVI vegetation index calculated from the high-resolution spectral channels of satellite images. Results and conclusions. Based on the results of the research, a database of spatial data of the processed fields has been compiled. The grouping of fields was carried out both according to the similarity of the conditions of the places of cultivation of crops and by agricultural crops. Their placement and geomorphological parameters have been established. With the use of geoinformation technologies for groups of fields using statistical processing tools, the average values of the width and area of the selected zones of influence, as well as terrain parameters, were determined. During geoinformation mapping, data on the state of crops at the end of May were obtained based on the change in the NDVI index by field groupings in the zone of GPLP impact. These data are the basis for the forecast of crop yields, taking into account the spatial location of fields.

**Keywords:** remote, sensing, geoinformation systems, geoinformation systems, space photos, mapping, protective forest belts, analysis, productivity

## REFERENCES

- Antonov S.A.* Spatial analysis of protective forest plantations based on geographic information technologies and remote sensing data // *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference.* Moscow: Moscow University Press. 2020. V. 26. Part 2. P. 408–420.  
<https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-2-26-408-420>
- Barabanov A.T., Panov V.I.* Transformathion of hydrological regime of agrolandscapes with protective forestations // *Zhivye i biokosnye sistemy.* 2016. № 16. P. 6. (In Russian).
- Bereza O.V., Strashnaya A.I., Lupyay E.A.* On the possibility of forecasting the yield of winter wheat in the Middle Volga region based on the integration of ground and satellite data // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2015. V. 12. № 1. P. 18–30. (In Russian).
- Chepleanskiy I.V., Zasoba V.V., Popovichev V.V.* Forest and not forest land in the state protective forest strips in Russia // *Actual problems of the forest complex.* 2018. № 51. P. 91–95. (In Russian).
- Koshelev A.V.* Agrochemical characteristics of dark chestnut soils of “the Pronin” test site // *Nauchno-agronomicheskij zhurnal.* 2019. № 2(105). P. 14–17. EDN BNRODT. (in Russian).
- Krasnoshchekov V.N., Fomenko Y.P.* Assessment of the impact of economic activity on the state of agricultural landscapes of the Volgograd region // *Prirodoobustrojstvo.* 2015. № 2. P. 93–98. EDN UFEXLL.
- Kulik K.N., Pugacheva A.M.* Forest reclamation – the basis for arrangement of sustainable agrolandscapes in conditions of insufficient moistening // *Lesotekhnicheskij zhurnal.* 2016. V. 6. № 3(23). P. 29–40. (In Russian).
- Loupian E.A., Bourtsev M.A., Proshin A.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Radchenko M.V., Tolpin V.A., Uvarov I.A.* Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // *Remote Sensing.* 2022. V. 14. № 1. P. 77.  
<https://doi.org/10.3390/rs14010077>
- Lu D.* The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation // *International journal of remote sensing.* 2006. V. 27. № 7. P. 1297–1328.
- Novikova A.F., Konyushkova M.V.* Soil and agroecological zoning of the Volgograd region and the main directions of complex land reclamation // *Aridnye ekosistemy.* 2008. V. 14. № 35–36. P. 34–46. EDN KJVSBF. (In Russian).
- Osipov S.V.* Scales of slopes of the Earth’s surface and methods of their development // *estnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geokologiya.* 2016. № 3. P. 45–50. EDN WNCQID.
- Obshchiya E.N., Dudchenko L.V., Lapenko N.G., Hripunov A.I.* Optimization of the depressed zone of forest strips as a way to increase the biologization of the agricultural landscape // *Lesotekhnicheskij zhurnal.* 2018. V. 8. № 2(30). P. 79–86.  
[https://doi.org/10.12737/article\\_5b24060cd20b28.24910048](https://doi.org/10.12737/article_5b24060cd20b28.24910048). EDN XRUBTF
- Patent № 2437061 C1 Russian Federation, IPC G01C 11/04, A01G 23/00. Method for determining the safety of forest plantations : № 2010115216/28 : application 19.04.2010 : publ. 20.12.2011 / A.S. Rulev, V.G. Yuferev, V.Yu. Mikhalev, A.N. Maenko applicant Limited Liability Company “BioEcoLes” (LLC “BioEcoLes”). (In Russian).
- Rulev A.S., Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S.* Assessment of woodiness agrolandscapes of the Southern Volga upland according to NDVI // *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education.* 2016. № 4(44). P. 32–39. (In Russian).
- Rulev A.S., Yuferev V.G., Yuferev M.V.* Geoinformation mapping and modeling of erosion landscapes // *Vserossijskij nauchno-issledovatel’skij agrolesomeliativnyj institu.* 2015. 153 p. ISBN 978-5-900761-88-6. EDN YS-BXKD. (In Russian).
- Rulev A.S., Yuferev V.G.* Matematiko-geomorfologicheskoe modelirovanie erozionnyh landshaftov / *Geomorfologiya.* 2016. № 3. P. 36–45. (In Russian).
- Sazhin A.N., Kulik K.N., Vasil’ev Y.I.* Weather and climate of the Volgograd region // *Volgograd: VNIALMI.* 2010. 306 p. ISBN 978-5-900761-59-6. EDN OTSWKJ. (In Russian).
- Shikhov A.N., Dreminev D.A.* Patterns of wind damage to forests of the European territory of Russia and the Urals: analysis by satellite data // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2021. V. 18. № 3. P. 153–168. (In Russian).  
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-3-153-168>
- Shinkarenko S.S., Bartalev S.A.* NDVI seasonal dynamics of the North Caspian pasture landscapes from MODIS data // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2020. V. 17. № 4. C. 179–194.  
<https://doi.org/>. (In Russian).  
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194>
- Silova V.A.* The influence of forest-reclamation arrangement on the productivity of agricultural land in the conditions of the dry-steppe zone // *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii.* 2021. V. 11. № 2. P. 68–81. EDN FVZIZA. (In Russian).  
<https://doi.org/10.31774/2222-1816-2021-11-2-68-81>
- Soil map of the Volgograd region (M 1 : 400 000) / Edited by E.M. Cvyleva. GUGK SSSR, 1989. (In Russian).
- Taranov N.N., Sinelnikova K.P.* Analysis of the preservation of the state forest belt Kamyshin – Volgograd, using retrospective methods and GIS technologies. Study, conservation and restoration of natural landscapes // *Sbornik Statej VII vsrossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoy konferencii.* 2017. P. 389–393. (In Russian).
- Terekhin E.A.* Spatial analysis of tree vegetation of abandoned arable lands using their spectral response in forest-steppe zone of Central Chernozem Region // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2020. V. 17. № 5. P. 142–156. (In Russian).  
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-5-142-156>
- Terekhin E.A., Marinina O.A.* Investigation of the peculiarities of the development of winter grain crops on the basis of their spectral-reflective characteristics // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2016. V. 13. № 5. P. 202–213. EDN XAEWVJ. (In Russian).  
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-5-202-213>

- Vinogradov B.V.* Aerospace ecosystem monitoring // М: Nayka, 1984. 320 p. (In Russian).
- Vol'nov V.V.* Influence of forest belts on soil moisture and crop productivity // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2006. № 3(23). P. 41–44. EDN ISVZMZ.
- Vypritskiy A.A.* Comparative analysis of the preservation of watershed state protective forest strips of the Volgograd region according to Sentinel-2 NDVI data and information products of land cover types // InterCarto. InterGIS. 2022. V. 28. Part. 1. P. 359–367. (In Russian). <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2022-1-28-458-470>
- Vypritskiy A.A.* Electronic mapping of state protective forest strips in the Volgograd region // Grani poznaniya. 2021. № 3(74). P. 9–14. (In Russian).
- Vypritskiy A.A., Shinkarenko S.S.* Analysis of soil and climatic factors influence on the protective forest condition based on Sentinel-2 data // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2022. V. 19. № 5. P. 147–163. (In Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-5-147-163>
- Zasoba V.V., Cheplyanskii I.Ya., Popovichev V.V.* Seventy years of experience in creating state protective forest belts in the steppe zone of Russia, Zhivye i biokosnye sistemy. 2019. № 27. P. 3. (In Russian).