

А.А. Выприцкий¹

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОХРАННОСТИ ВОДРАЗДЕЛЬНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ SENTINEL-2 NDVI И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ ТИПОВ ЗЕМНОГО ПОКРОВА

АННОТАЦИЯ

В данной работе был проведен анализ сохранности водораздельных государственных защитных лесных полос (ГЗЛП) на территории Волгоградской области. Анализировались три защитные полосы: «Каменск – Пенза», «Камышин – Волгоград», «Волгоград – Черкесск». Были использованные данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) со спутника Sentinel-2 пространственного разрешения 10 метров и сравнение полученных данных с альтернативными источниками в открытом доступе по состоянию лесного покрытия территории: GlobalLandCover30 (GLC30), ESRI, Global Forest Change (GFC). Картографирование объекта исследований проводилось в геоинформационной системе QGIS, причиной выбора является бесплатный характер использования и наличие разносторонних модулей для работы с данными дистанционного зондирования Земли. С помощью RGB-изображений Sentinel-2 A-B и публичной кадастровой карты было проведено картографирование проектной площади государственных защитных лесных полос, после выполнялась классификация лесного полога с помощью нормализованного вегетационного индекса NDVI на август-сентябрь. Рассчитаны площади участков лесных полос, расположенных на различных почвообразующих породах на основе почвенной карты Волгоградской области 1984 г. М 1:400 000. Изученные ГЗЛП занимают площадь 13 094,1 га 9 лесничеств Волгоградской области. Определена сохранность ГЗЛП: отношение фактически занятой лесными насаждениями площади к проектной площади лесной полосы на основе классификации индексных изображений NDVI и информационных продуктов типов земного покрова и проективного покрытия леса. Так же подготовлены данные о сохранности государственных защитных лесных полос на территории Волгоградской области на основе официальной статистики. Проведено сравнение четырех источников данных открытого доступа по покрытию лесными насаждениями государственных лесных полос. Полученные результаты послужат основой для дальнейшей оценки причин деградации ГЗЛП, в том числе натуральных исследований на участках без лесного покрова, выявленных с помощью указанных выше методов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дистанционное зондирование земли, геоинформационные системы, геоинформационное картографирование, государственные защитные лесные полосы

¹ Федеральний научный центр агроэкологии комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, пр. Университетский, 97, 400062, Волгоград, Россия, e-mail: vyprickiy-a@vfanc.ru

Artem A. Vypritskiy¹

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

ABSTRACT

In this paper, an analysis of the preservation of watershed state protective forest strips (GZLP) on the territory of the Volgograd region was carried out. Three protective strips were analyzed: “Kamensk – Penza”, “Kamyshin – Volgograd”, “Volgograd – Cherkessk”. The data of remote sensing of the earth (remote sensing) from the Sentinel-2 satellite with a spatial resolution of 10 meters were used and the data obtained were compared with alternative open access sources on the state of the forest coverage of the territory: GlobalLandCover30 (GLC30), ESRI, Global Forest Change (GFC). Mapping of the research object was carried out in the geographic information system QGIS, the reason for the choice is the free usage and the availability of versatile modules for working with remote sensing data of the Earth. With the help of Sentinel-2 A-B RGB images and a public cadastral map, mapping of the project area of state protective forest strips was carried out, after which the forest canopy was classified using the normalized vegetation index NDVI for August-September. The areas of forest strips located on various soil-forming rocks are calculated on the basis of the soil map of the Volgograd region in 1984 M 1:400,000. The studied GZLP occupy an area of 13,094.1 hectares of 9 forest areas of the Volgograd region. The safety of the GZLP was determined as follows: the ratio of the area actually occupied by forest plantations to the projected area of the forest strip based on the classification of NDVI index images and information products of the types of land cover and projective forest cover. Data on the safety of state protective forest strips in the Volgograd region have also been prepared on the basis of official statistics. A comparison of four open access data sources on the coverage of state forest strips with forest plantations was carried out. The results obtained will serve as a basis for further assessment of the causes of the degradation of GZLP, including field studies on areas without forest cover identified using the above methods.

KEYWORDS: remote sensing of the earth, geoinformation systems, geoinformation mapping, state protective forest strips

ВВЕДЕНИЕ

Рассматриваемые в данной работе государственные защитные лесные полосы входят в постановление 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 в Волгоградской области площадь государственных защитных лесных полос (ГЗЛП) согласно государственному лесному реестру составляет 21,2 тыс. га, из них только 19 тыс. га покрыты лесной растительностью, что составляет 89,6 % от всей площади [Чеплянский и др., 2018]. По данным Комитета природных ресурсов Администрации Волгоградской области площадь исследуемых объектов составляет 21,2 тыс. га из них всего занятых лесом 17,2 тыс. га² или 81 %. По информации лес-

¹ Federal scientific center of agroecology, complex meliorations and agroforestry of RAS, Universitetsky pr., 97, 400062, Volgograd, Russia, e-mail: vypritskiy-a@v fanc.ru

² Открытые данные Волгоградской области. Электронный ресурс: <http://opendata.volganet.ru/3444200448-ForestCharacteristic> (Дата обращения: 21.02.2022)

ного плана (Постановление Губернатора Волгоградской области от 25.11.2016) ГЗЛП занимают 21,7 тыс. га¹.

Всего на территории Волгоградской области располагаются пять государственных защитных лесных полос. Из них три водораздельных: «Камышин – Волгоград», «Волгоград – Черкесск», «Каменск – Пенза». Две государственные полосы относятся к защитным приречным: по берегам реки Волги от Саратова до Астрахани; по обоим берегам реки Дона от Воронежа до Ростова [Засоба и др., 2019].

Государственные защитные и полезащитные лесные полосы выполняют функцию защиты почв от дефляции, водной эрозии, влияют на гидрологические процессы, что приводит к формированию устойчивых агролесоландшафтов и увеличению продуктивности культур в сельском хозяйстве [Кулик, Пугачева, 2016; Барабанов, Панов, 2016; Таранов, Синельникова, 2017; Антонов, 2020]. В настоящее время возраст существенной части лесных насаждений в ГЗЛП составляет более 50–65 лет. Многие из них нуждаются в реконструкции из-за достижения предельного возраста древостоя, незаконных вырубок и повреждений пожарами, регулярно происходящими в регионе [Шинкаренко, 2019; Шинкаренко, Берденгалиева, 2019; Шинкаренко и др., 2021]. Для этого необходима актуальная информация о современном экологическом состоянии насаждений [Нарожняя, Чендев, 2020]. Работы по оценке состояния ГЗЛП проводились и другими авторами, были выявлены показатели состояния полос в связи с типом культур и почвенными условиями [Турчин и др., 2021], посчитана сохранность на территории всей Волгоградской области [Засоба и др., 2019].

Оценку состояния лесного покрова России выполняли и с помощью спутниковых снимков сверхвысокого разрешения (меньше 2 м), которые входят в группировку спутников компании DigitalGlobe [Терехов и др., 2014; Ткаченко, Кошелев, 2017; Антонов, 2020; Нарожняя, Чендев, 2020; Koshelev et al., 2021]. Распространение данных с этих спутников носит коммерческий характер, и получение данных с них проблематично из-за финансовых затрат на приобретение спутниковых снимков на всю территорию исследований.

В открытом доступе имеются спутниковые данные Sentinel-2 пространственного разрешения в 10 метров [Шихов, Дремин, 2021] и Landsat 8, 9 с пространственным разрешением 15–30 метров [Терехин, 2020], которые дают возможность для мониторинга состояния ГЗЛП. Также можно выполнять работу по оценке занятой лесным покровом территории с помощью снимков в зимний период с помощью значений коэффициента спектральной яркости (КСЯ) [Ховратович и др., 2019]. Ширина лент колеблется от 60 до 100 метров, что открывает возможности для их картографирования и определения сохранности на основе указанных открытых данных дистанционного зондирования Земли.

Данные дистанционного зондирования Земли широко применяются в лесном хозяйстве для различных задач [Жарко и др., 2018; Чимитдоржиев, 2018; Балашов и др., 2020]. Но в большинстве случаев такие работы ведутся в лесной зоне с большой покрытой лесом площадью на основе данных среднего и низкого пространственного разрешения. Из-за этого узкие полосы защитных лесных насаждений в нелесной зоне подобными исследованиями не охвачены.

ДЗЗ в лесном хозяйстве выполняет множество функций, с помощью которых производится получение актуальной информации:

¹ Официальный портал Волгоградской области. Электронный ресурс: <https://oblkompriroda.volgograd.ru/upload/iblock/8c4/Lesnoy-plan-Volgogradskoy-oblasti.pdf> (Дата обращения: 21.02.2022)

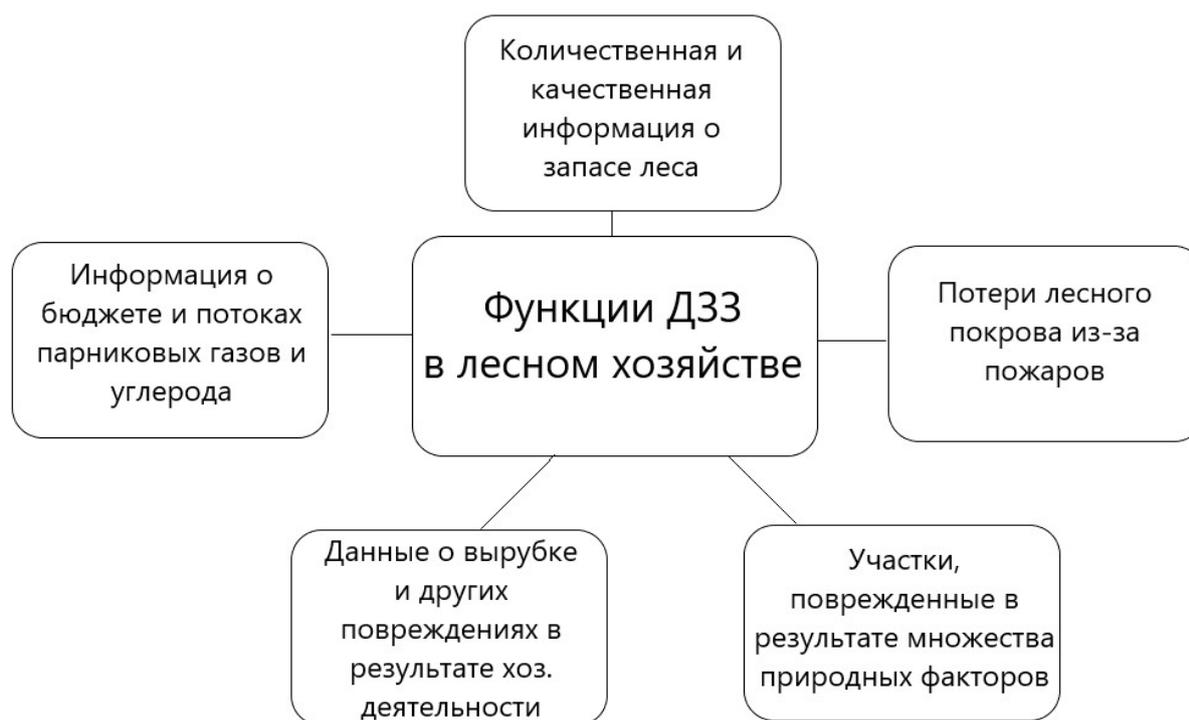


Рис. 1. Функции данных дистанционного зондирования Земли в лесном хозяйстве (составлено автором на основе [Балашов и др., 2020])
 Fig. 1 Functions of Earth remote sensing data in forestry (compiled by the author on the basis of [Balashov et al., 2020])

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Картографирование контуров государственных лесных полос проводилось с помощью RGB-изображений Sentinel-2 A-B пространственного разрешения 10 м. Границы также подтверждались с использованием программы Google Earth и публичной кадастровой карты. Выделялась проектная площадь, внутри которой затем классифицировался лесной полог на основе данных NDVI на август-сентябрь. Использование изображений этого периода позволяет исключить из анализа естественную растительность и сельскохозяйственные культуры, поскольку они в это время заканчивают вегетацию и имеют меньшие значения NDVI [Рулев и др., 2016; Шинкаренко, Барталев, 2020]. Спутниковые данные получены с помощью сервиса EarthExplorer от USGS (Служба геологической съемки США)¹. В работе использовались следующие пороговые значения NDVI: сомкнутая древесно-кустарниковая растительность – 0,7; разреженная растительность – 0,5. Для отдельных спутниковых изображений пороговые значения немного отличались в зависимости от фенологических фаз растительности на указанные даты. Также использовались результаты полевых исследований

В работе анализировались водораздельные ГЗЛП «Камышин – Волгоград», «Волгоград – Черкесск», «Каменск – Пенза» в пределах Волгоградской области. Приречные полосы имеют прерывистый характер размещения. Отдельные участки приречных ГЗЛП относятся к землям сельскохозяйственного назначения, а не к лесному фонду. На существующих картах лесов расположение отдельных участков приречных ГЗЛП отличается. По этим причинам объективное определение проектных границ и площадей приречных ГЗЛП затруднено, особенно при их низкой сохранности.

Даты спутниковых изображений Sentinel 2 представлены в табл. 1. Использовались данные с покрытием облаками менее 1 %. Из-за облачности не было возможности составить мозаику спутниковых изображений на один год. По этой причине использова-

¹ USGS earthexplorer. Электронный ресурс: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Дата обращения 14.01.2022)

лись данные периода 2018–2021 гг. Это может вносить неопределенность в полученную оценку, тем не менее состояние перестойных насаждений за 2-3 года меняется не так сильно, чтобы существенно повлиять на полученные оценки.

Табл.1. Даты использованных снимков со спутника Sentinel 2A/2B
Table 1. Dates of Sentinel 2A/2B satellite images used

Название ГЗЛП	Даты снимков
Каменск – Пенза	21.08.2018 (T38UMB), 05.09.2019 (T37UGQ, T38ULA, T38UMA)
Камышин – Волгоград	13.08.2019 (T38UMV), 23.08.2019 (T38UMA), 31.08.2019 (T38UNA)
Волгоград – Черкесск	14.09.2021 (T38UMU)

Оцифровка и дальнейшая работа с данными проводится в геоинформационной среде QGIS версия 3.22. Одним из ключевых моментов выбора данной программы системы является ее бесплатное распространение и использование, а так же наличие различных модулей для обработки используемых данных дистанционного зондирования Земли. Площади рассчитывались на эллипсоиде WGS84. Все данные прошли радиометрическую калибровку и коррекцию атмосферных искажений с помощью стандартной процедуры в утилите SNAP [Волосюк, Тоназ, 2018].

Фактические площади государственных защитных лесных полос, рассчитанные на основе примененной методики, составили: Каменск – Пенза – 6 885,6 га; Камышин – Волгоград – 5 543,2 га; Волгоград – Черкесск – 665,3 га.

При экспертном визуальном дешифрировании погрешность выделения контуров составляет примерно 0,5–1 ширины пикселя растрового спутникового изображения. Протяженность картографированных ГЗЛП составляет примерно 470 км. Поскольку максимальное разрешение использованных данных Google Earth составляло около 1 м, то ошибка определения контура составляла около 0,5 м. Длину лесной полосы умножаем на эту величину и на количество лент в полосах (от одной до четырех), получаем 70,5 га – погрешность определения общей площади ГЗЛП.

В данной работе сравниваются четыре источника данных для определения лесопокрываемой площади в пределах выделенных границ насаждений ГЗЛП.

1) GlobalLandCover30 (GLC30) на 2020 г. Глобальный геоинформационный публичный продукт [Chen et al., 2014; Karra et al., 2021]. Данные предоставляются на основе данных со спутника Landsat с пространственным разрешением 30 метров

2) Открытые данные ESRI 2020 о состоянии насаждений на основе Sentinel-2 спутника с пространственным разрешением 10 метров на 2020 год

3) Global Forest Change (GFC), основанный на временных рядах изображений Landsat на 2000 год, а так же информация об участках с утраченным лесным покровом с 2000 по 2020 гг. [Hansen et al., 2013]

4) Выделение лесной площади на основе классификации индексных изображений NDVI, рассчитанного по данным Sentinel-2.

Площадь, покрытая лесом, на основе первых трех продуктов рассчитывалась с помощью инструмента «зональная статистика» QGIS. Сначала определялось общее количество пикселей указанных выше информационных продуктов. Далее растры классифицировались – выделялся только лес. После чего в границах ГЗЛП рассчитывалось количество лесных пикселей. Сохранность ГЗЛП определялась как отношение количества лесных пикселей к общему количеству пикселей внутри контуров ГЗЛП¹. Для данных GFC вычитались потери лесных насаждений, начиная с 2000 по 2020 гг. по информации источника. Также растровые слои лесного покрова, полученные на основе указанных подходов, были преобразованы в векторный формат.

¹ Патент № 2437061 С1 Российская Федерация, МПК G01С 11/04, А01G 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 «БиоЭкоЛес» (ООО «БиоЭкоЛес»).

В качестве контрольных данных использовались площади ГЗЛП по данным лесоустройства согласно Комитету природных ресурсов Администрации Волгоградской области. Площадь покрытых лесом земель по данным NDVI составила 79 %, по официальным данным 81 %. Это свидетельствует о достаточной точности классификации изображении NDVI.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Объект исследования располагается на территории четырех почвообразующих пород: глинистые и тяжелосуглинистые, среднесуглинистые, легкосуглинистые, песчаные. Данные были получены на основе почвенной карты Волгоградской области от 1984 г. масштаба 1:400 000¹ [Выприцкий, 2021]. В процентном соотношении площадь ГЗЛП на почвообразующих породах выглядит следующим образом:

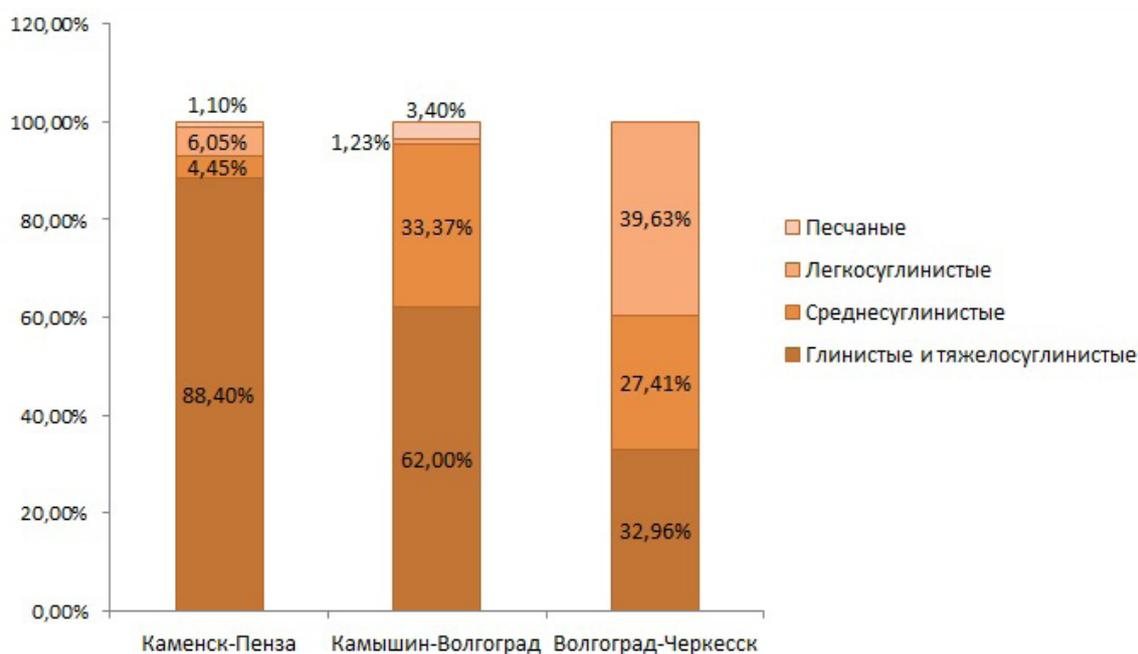


Рис. 2. Процент расположения ГЗЛП на почвообразующих породах на территории Волгоградской области

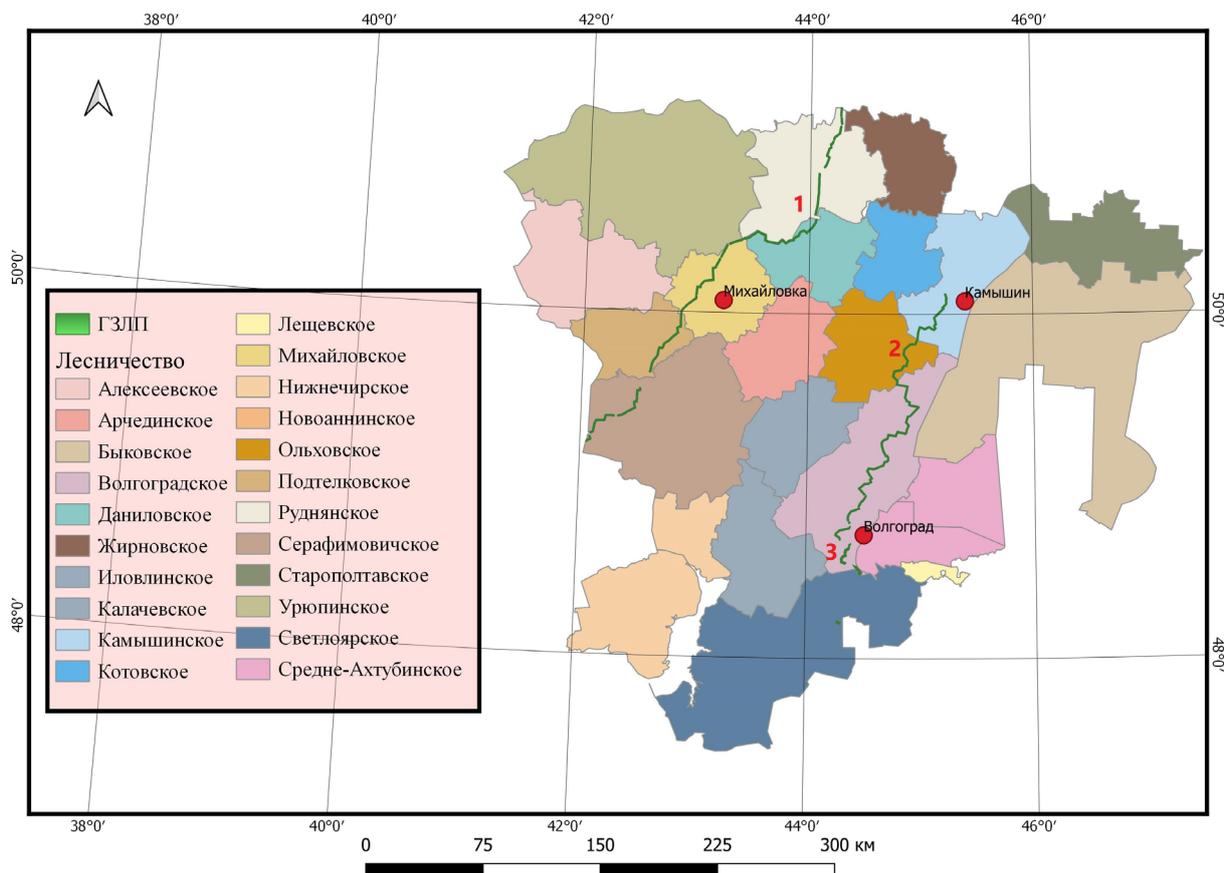
Fig. 2. Percentage of the location of GZLP on soil-forming rocks in the Volgograd region

Исследуемые ГЗЛП расположены на территории 9 из 22 лесничеств Волгоградской области и вытянуты с северо-востока на юго-запад (рис. 3). Государственная защитная лесная полоса «Каменск – Пенза» начинается в Пензенской области и заканчивается в Ростовской. В пределах Волгоградской области она пересекает следующие лесничества: Руднянское (1 511,1 га), Даниловское (1 406,6 га), Михайловское (1 634,4 га), Подтелковское (1 061 га), Серафимовичское (1 272 га).

Государственная лесная полоса «Камышин – Волгоград» полностью расположена в пределах Волгоградской области. Расположена в следующих лесничествах: Камышинское (1 072,2 га), Ольховское (880,1 га), Волгоградское (3590,9 га).

Лесная полоса «Волгоград – Черкесск» не была закончена. По проекту она должна пролегать в Волгоградской области, Республике Калмыкия и Ставропольском крае. На территории Волгоградской области она расположена в следующих лесничествах: Волгоградское (579,6 га), Светлоярское (85,9 га).

¹ Почвенная карта Волгоградской области (М 1 : 400 000) / Под ред. Е.М. Цвылева. ГУГК СССР, 1989.



*Рис. 3. Размещение ГЗЛП по лесничествам Волгоградской области.
(1. Каменск – Пенза, 2. Камышин – Волгоград, 3. Волгоград – Черкесск)
Fig. 3. Placement of GZLP in the forest areas of the Volgograd region.
(1. Kamensk – Penza, 2. Kamyshin – Volgograd, 3. Volgograd – Cherkessk)*

Использованные информационные продукты GLC30, ESRI и GFC значительно хуже выделяют ГЗЛП по сравнению с классификацией NDVI, несмотря на разрешение, сопоставимое с шириной лент насаждений. Даже визуальное сопоставление результатов определения площади леса по разным данным (рис. 4) это подтверждает. На данном примере сравнивается качество данных на густой растительности (1) и разреженной растительности (2). Как можно наблюдать, выбранные для сравнения сохранности источники работают при наибольшей ширине полос и могут быть использованы для сомкнутых массивных насаждений. При оценке государственных защитных лесных полос, ширина которых изменяется от 60 до 100 м, слишком велика доля пропусков. Сравнение результатов определения сохранности ГЗЛП на основе различных подходов показано на рис. 5.

После проведенной работы были получены следующие результаты сохранности ГЗЛП на территории Волгоградской области. «Пенза – Каменск», по данным NDVI сохранность 90,9 %, по источнику GFC – 36,4 %, по данным ESRI 47,3 %, GLC30 всего 3,4 %.

Сохранность государственной защитной лесной полосы «Камышин – Волгоград» по данным NDVI, GFC, ESRI, GLC30 выглядит следующим образом: 67,4 %, 38,9 %, 12,5 %, 6,7 %, соответственно.

Площадь занятой лесным покровом ГЗЛП «Волгоград – Черкесск» на территории Волгоградской области: данные полученные с NDVI 45,3 %, с помощью источника GFC 19,1 %, по информации ESRI 0,5 %, по GLC30 1,1 %.



Рис. 4. Пример заполняемости преобразованными в вектор растровыми данными оцифрованными полигонами участка ГЗЛП Камышин – Волгоград (синий – NDVI (Sentinel 2), фиолетовый – Global Forest Change, желтый – ESRI, зеленый – GlobalLandCover)

Fig. 4. An example of the occupancy of digitized polygons of the Kamyshin – Volgograd GZLP site converted to vector raster data. (blue – NDVI (Sentinel 2), purple – Global Forest Change, yellow – ESRI, green – GlobalLandCover)



Рис. 5. Площадь лесного покрова по отношению к общей площади ГЗЛП
 Fig. 5. The ratio of the forest cover area to the total area of the GZLP

Самым приближенным источником к полученным данным с помощью NDVI является GFC. С помощью полученных данных можно подготовить информацию по сохранности каждого тестового полигона, что даст толчок к более детальному исследованию причин изменения площади лесного покрова на территории.

ВЫВОДЫ

В результате исследований определена сохранность ГЗЛП на территории Волгоградской области по данным информационных продуктов типов земного покрова и проективного покрытия леса, а также классификации индексных изображений. Совокупная сохранность водораздельных государственных защитных лесных полос на территории Волгоградской области, определенная с помощью NDVI, составила 79 %. По данным комитета природных ресурсов, сохранность всех ГЗЛП составляет 81 %. Ни один из использованных информационных продуктов типов земного покрова не обеспечивает достаточную точность оценки покрытой лесом площади в границах ГЗЛП по сравнению с официальной статистикой и классификацией NDVI. Преимуществом данного метода на основе NDVI является большая точность, но он требует опытного дешифровщика для предварительного картографирования границ ГЗЛП даже в тех условиях, когда сохранность насаждений очень низкая. Также использование экспертного порога является довольно субъективным методом, но его точность повышается за счет использования результатов полевых исследований.

Различие полученных данных обусловлено несколькими ключевыми причинами. Пространственное разрешение спутниковых снимков, используемых в продуктах оценки земного покрова, отличается от 10 до 30 м. ГЗЛП являются протяженным линейным объектом, и ширина кулис колеблется от 60 метров до 100 метров, что дает неточную оценку состояния по указанным данным. Также все использованные данные типов земного покрова имеют прямую зависимость от состояния самих лесных насаждений, они мало пригодны для оценки состояния протяженных лесных насаждений, которые располагаются в виде узких полос, но могут применяться в оценке крупных лесных массивов.

Использованный подход для анализа сохранности позволяет экономить денежные средства при полевом обследовании. Во-первых, благодаря ему можно предварительно подготовить перечень тестовых полигонов разной сохранности для детальных полевых исследований. Во-вторых, возможно провести камеральное определение сохранности лесных насаждений и определять участки с деградированным лесным покровом, устанавливать причины ухудшения состояния насаждений, а также определять площади и конкретные участки, где требуются лесохозяйственные мероприятия.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была выполнена в рамках государственных заданий НИР ФНЦ агроэкологии РАН с 2022–2024 гг. № 122020100311-3, № 122020100405-9, № 122020100406-6.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of the government assignments of the Scientific Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences from 2022–2024 No. 122020100311-3, No. 122020100405-9, No. 122020100406-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-26-408-420.
2. Балашов И.В., Кашицкий А.В., Барталев С.А., Барталев С.С., Бурцев М.А., Ворушилов И.И., Егоров В.А., Жарко В.О., Кобец Д.А., Константинова А.М., Лупян Е.А., Сай-

- гин И.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г., Хвостиков С.А., Ховратович Т.С. Информационная система комплексного мониторинга лесов и охотничьих угодий России ВЕГА-Лес. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2020. Т. 17. № 4. С. 73–88. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-73-88.
3. Барабанов А.Т., Панов В.И. Преобразование гидрологического режима агроландшафтов защитными лесными насаждениями. Живые и биокосные системы, 2016. № 16. С. 67–74.
4. Волосюк А.И., Топаз А.А. Обработка данных ДЗЗ в программном пакете SNAP ESA. ГИС-технологии в науках о Земле: материалы респ. науч.-практ. Семинара студентов и молодых ученых, 2018. С. 160–162.
5. Выпрлицкий А.А. Электронное картографирование государственных защитных лесных полос в Волгоградской области. Грани познания, 2021. № 3(74). С. 9–14.
6. Жарко В.О., Барталев С.А., Егоров В.А. Исследование возможностей оценки запасов древесины в лесах Приморского края по данным спутниковой системы Proba-V. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т. 15. № 1. С. 157–168. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-157-168.
7. 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.
8. Кулик К.Н., Пугачева А.М. Лесомелиорация – основа создания устойчивых агроландшафтов в условиях недостаточного увлажнения. Лесотехнический журнал, 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 29–40.
9. Нарожняя А.Г., Чендев Ю.Г. Изучение современного экологического состояния лесных полос с использованием ГИС и ДДЗ. ИнтерКарто. ИнтерГИС, 2020. Т. 26. № 2. С. 54–65. DOI 10.35595/2414-9179-2020-2-26-54-65.
10. Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. Оценка лесистости агроландшафтов Юга Приволжской возвышенности по данным NDVI. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование, 2016. № 4(44). С. 32–39.
11. 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.
12. 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. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-142-156.
13. Терехов А.Г., Макаренко Н.Г., Пак И.Т. Автоматический алгоритм классификации снимков Quickbird в задаче оценки полноты леса. Компьютерная оптика, 2014. Т. 38. № 3. С. 580–583. DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-3-580-583.
14. Каченко Н.А., Кошелев А.В. Картографирование защитной лесистости агроландшафтов волгоградского Заволжья. Вестник АПК Ставрополя, 2017. № 2 (26). С. 137–143.
15. Турчин Т.Я., Чеплянский И.Я., Ермолова А.С., Баканов И.А. Современное состояние насаждений государственной защитной лесной полосы «Воронеж-Ростов-на-Дону» в связи с типом культур и почвенными условиями. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование, 2021. № 3(51). С. 41–58. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.3.41.
16. Ховратович Т.С., Барталев С.А., Кашицкий А.В. Метод детектирования изменений лесов на основе подпиксельной оценки проективного покрытия древесного полога по разновременным спутниковым изображениям. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2019. Т. 16. № 4. С. 102–110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-102-110.
17. 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.

18. *Чимитдоржиев Т.Н., Дмитриев А.В., Курбижекова И.И., Шерхоева А.А., Балтухаев А.К., Дагуров П.Н.* Дистанционные оптико-микроволновые измерения параметров леса: современное состояние исследований и экспериментальная оценка возможностей. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2018. Т. 15. № 4. С. 9–26. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-9-24.
19. *Шинкаренко С.С.* Пожарный режим ландшафтов Северного Прикаспия по данным очагов активного горения. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2019. Т. 16. № 1. С. 121–133. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-121-133.
20. *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. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194.
21. *Шинкаренко С.С., Берденгалиева А.Н.* Анализ многолетней динамики степных пожаров в Волгоградской области. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2019. Т. 16. № 2. С. 98–110. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110
22. *Шинкаренко С.С., Дорошенко В.В., Берденгалиева А.Н., Комарова И.А.* Динамика горимости аридных ландшафтов России и сопредельных территорий по данным детектирования активного горения. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2021. Т. 18. № 1. С. 149–164. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164.
23. *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. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-153-168.
24. *Chen J., Ban Y., Li S.* China: Open access to Earth land-cover map. *Nature*, 2014. V. 514 (7523). P. 434. DOI: 10.1038/514434c.
25. *Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 2013. V. 342. P. 850–853. DOI: 10.1126/science.1244693.
26. *Karra K., Kontgis C, Statman-Weil Z., Mazzariello J.C., Mathis M., Brumby S.P.* Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning. *IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE, 2021. DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499.
27. *Koshelev A.V., Tkachenko N.A., Shatrovskaya M.O.* Decoding of forest belts using satellite images. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021. V. 875. P. 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012065.

REFERENCES

1. *Antonov S.A.* Spatial analysis of protective forest plantations based on geographic information technologies and remote sensing data. *InterKarto. InterGIS*, 2020. V. 26. No. 2. P. 408–420 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-408-420.
2. *Balashov I.V., Kashnitskii S.A., Bartalev S.A., Bartalev S.S., Burtsev M.A., Vorushilov I.I., Egorov V.A., Zharko V.O., Kobets D.A., Konstatinova A.M., Loupian E.A., Saigin I.A., Senko K.S., Stytsenko F.V., Sychugov I.G., Khvostikov S.A., Khovratovich T.S.* VEGA-Les: information system for complex monitoring of forests and hunting grounds in Russia. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020. V. 17. No. 4. P. 73-88 (in Russian). DOI 10.21046/2070-7401-2020-17-4-73-88.
3. *Barabanov A.T., Panov V.I.* Transformation of the hydrological regime of agricultural landscapes with protective forest plantations. *Living and bio-inert systems*, 2016. No. 16. P. 67–74 (in Russian).
4. *Chen J., Ban Y., Li S.* China: Open access to Earth land-cover map. *Nature*, 2014. V. 514 (7523). P. 434. DOI: 10.1038/514434c.

5. *Chepleanskiy I.V., Zasoba V.V., Popovichev V.V.* Forest and non-forest land in the state protective forest strips in Russia. Actual problems of the forest complex, 2018. No. 51. P. 91–95. (in Russian).
6. *Chimitdorzhiev T.N., Dmitriev A.V., Kirbizhekova I.I., Sherkhoeva A.A., Baltukhaev A.K., Dagurov P.N.* Remote optical-microwave measurements of forest parameters: modern state of research and experimental assessment of potentials. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018. V. 15. No. 4. P. 9–26 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-9-24.
7. *Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 2013. V. 342. P. 850–853. DOI: 10.1126/science.1244693.
8. *Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., Mazzariello J.C., Mathis M., Brumby S.P.* Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning. *IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IEEE, 2021. DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499.
9. *Khovratovich T.S., Bartalev S.A., Kashnitskii A.V.* Forest change detection based on sub-pixel estimation of crown cover density using bitemporal satellite data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019. V. 16. No. 4. P. 102–110 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-102-110.
10. *Koshelev A.V., Tkachenko N.A., Shatrovskaya M.O.* Decoding of forest belts using satellite images. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021. V. 875. P. 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012065.
11. *Kulik K.N., Pugacheva A.M.* Forest reclamation – the basis for arrangement of sustainable agrolandscapes in conditions of insufficient moistening. *Forestry magazine*, 2016. V. 6. No. 3 (23). P. 29–40. (in Russian).
12. *Narozhnyaya A.G., Chendev Yu.G.* The study of the modern ecological state of shelterbelts using GIS and remote sensing data. *InterKarto. InterGIS*, 2020. V. 26. No. 2. P. 54–65 (in Russian). DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-54-65.
13. *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. No. 4(44). P. 32-39. (in Russian)
14. *Shikhov A.N., Dremine D.A.* Patterns of wind-induced forest damage in the European Russia and Ural: analysis with satellite data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021. V. 18. No. 3. P. 153–168 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-153-168.
15. *Shinkarenko S.S.* Fire regime of North Caspian landscapes according to the data of active burning centers. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019. V. 16. No. 1. P. 121–133 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-1-121-133.
16. *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. No. 4. P. 179–194 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194.
17. *Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N.* Analysis of steppe fires long-term dynamics in Volgograd Region. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019. V. 16. No. 2. P. 98–110 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-98-110.
18. *Shinkarenko S.S., Doroshenko V.V., Berdengalieva A.N., Komarova I.A.* Dynamics of arid landscapes burning in Russia and adjacent territories based on active fire data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021. V. 18. No. 1. P. 149–164 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-1-149-164.
19. *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. *Collection of Articles of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*, 2017. P. 389–393. (in Russian)

20. *Terekhov A.G., Makarenko N.G., Pak I.T.* Automatic classification algorithm of Quick Bird images in the problem of evaluating of forest completeness. *Computer optics*, 2014. V. 38. No. 3. P. 580–583 (in Russian). DOI: 10.18287/0134-2452-2014-38-3-580-583.
 21. *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. No.5. P. 142–156 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-142-156.
 22. *Tkachenko N.A., Koshelev A.V.* Mapping of a protective woodiness of agrolandscapes of Volgograd Zavolzhye. *Bulletin of the APK of Stavropol*, 2017. No. 2 (26). P. 137-143 (in Russian).
 23. *Turchin T.Ia., Cheplianskii I.Ia., Emolova A.S., Bakanov I.A.* Current of plantations of state forest shelter belt “Voronezh – Rostov-On-Don” in connection with the type of plantations and soil conditions. *Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. nature management*, 2021. No. 3(51). P. 41–58 (in Russian). DOI: 10.25686/2306-2827.2021.3.41.
 24. *Volosyuk A.I., Topaz A.A.* Remote sensing data processing in the SNAP ESA software package. *GIS technologies in geosciences: materials of the rep. scientific-practical. Seminar for students and young scientists*, 2018. P. 160–162 (in Russian).
 25. *Vypritskiy A.A.* Electronic mapping of state protective forest belts in the Volgograd region. *Facets of knowledge*, 2021. No. 3(74). P. 9–14 (in Russian).
 26. *Zasoba V.V., Chepleanskiy I.Ya., Popovichev V.V.* Seventy years of experience in creating state protective forest belts in the steppe zone of Russia. *Living and bio-inert systems*, 2019. No. 27. P. 3 (in Russian).
 27. *Zharko V.O., Bartalev S.A., Egorov V.A.* Investigation of forest growing stock volume estimation possibilities over Russian Primorsky Krai region using Proba-V satellite data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018. V. 15. No. 1. P. 157–168 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-157-168.
-