

Научная статья  
УДК 630\*584  
DOI: 10.37482/0536-1036-2022-3-44-59

### Дистанционный мониторинг государственных защитных лесных полос степной зоны европейской части России

**И.Я. Чеплянский** , канд. с.-х. наук; ResearcherID: [AAK-6002-2020](https://orcid.org/0000-0001-9076-8352),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9076-8352>

**Т.Я. Турчин**, д-р с.-х. наук; ResearcherID: [AAK-6019-2020](https://orcid.org/0000-0002-8789-9957),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8789-9957>

**А.С. Ермолова**, канд. с.-х. наук; ResearcherID: [AAK-4647-2020](https://orcid.org/0000-0001-5850-2052),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5850-2052>

Филиал Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства – Южно-Европейская научно-исследовательская лесная опытная станция, ул. Сосновая, д. 59 в, ст. Вёшенская, Шолоховский р-н, Ростовская обл., 346270; donnilos@mail.ru , t\_turchin64@mail.ru, ale-zagorodnjaja@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.05.20 / Одобрена после рецензирования 20.08.20 / Принята к печати 03.09.20

**Аннотация.** Государственные защитные лесные полосы являются не только одной из составляющих экологического каркаса малолесных степных территорий, но и уникальным объектом степного лесоразведения. Возрастные изменения и длительное отсутствие лесохозяйственного воздействия негативно сказались на санитарном состоянии насаждений государственных защитных лесных полос. Цель исследования – оценить современное состояние образующих их насаждений в разных почвенно-климатических условиях на территории степной зоны европейской части России. Объектом исследования стали насаждения прибрежных государственных защитных лесных полос «Воронеж – Ростов-на-Дону», «Белгород – р. Дон» и водораздельной «Волгоград – Элиста – Черкесск». Применен метод дистанционного зондирования Земли, целесообразность чего обусловлена значительной протяженностью объекта исследования и различиями его состояния в зависимости от почвенно-климатических условий. Выделено 5 лесохозяйственных районов на основных подтипах зональных почв: черноземах обыкновенных, черноземах южных и темно-каштановых почвах, каштановых, светло-каштановых с наличием солонцов и иногда солончаков почвах, а также на азональных песчаных почвах. На основе данных натурных обследований насаждений осуществлено дешифрирование космических снимков государственных защитных лесных полос с применением алгоритма обучения и спектральных индексов в программном комплексе ENVI 5.2. Установлено, сохранность государственных защитных лесных полос снижается по мере ужесточения лесорастительных условий от черноземов обыкновенных к светло-каштановым почвам с 92,3 до 36,5 %. На зональных почвах преобладают дубняки, ясенники, вязовники, на азональных – сосняки. С ухудшением лесорастительных условий доля дуба в насаждениях снижается, на смену ему приходит вяз, уменьшается полнота насаждений. В санитарном отношении также наиболее благополучны лесные полосы на черноземах, темно-каштановых и песчаных почвах. Для насаждений на каштановых и светло-каштановых почвах характерна нарастающая с увеличением возраста дигрессия или полный распад лесной

среды. Исследования позволяют выявить в пределах государственных защитных лесных полос насаждения, находящиеся в стадии депрессии или распада, и рекомендовать для них необходимое лесохозяйственное воздействие в целях сохранения и восстановления леса.

**Ключевые слова:** государственные защитные лесные полосы, искусственные насаждения, степная зона, почвенно-климатические условия, дешифрирование космических снимков, состояние защитных лесных полос

**Для цитирования:** Чеплянский И.Я., Турчин Т.Я., Ермолова А.С. Дистанционный мониторинг государственных защитных лесных полос степной зоны европейской части России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 3. С. 44–59. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-44-59>

Original article

### Remote Monitoring of State Forest Shelterbelts in the Steppe Zone of European Russia

*Ivan Ya. Cheplyanskij*<sup>✉</sup>, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [AAK-6002-2020](https://orcid.org/0000-0001-9076-8352),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9076-8352>

*Taras Ya. Turchin*, Doctor of Agriculture; ResearcherID: [AAK-6019-2020](https://orcid.org/0000-0002-8789-9957),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8789-9957>

*Alexandra S. Ermolova*, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [AAK-4647-2020](https://orcid.org/0000-0001-5850-2052),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5850-2052>

All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry – South-European Research Forest Experiment Station, ul. Sosnovaya, 59 v, stanitsa Vyoshenskaya, Sholokhovskiy district, Rostov region, 346270, Russian Federation; [donnilos@mail.ru](mailto:donnilos@mail.ru)<sup>✉</sup>, [t\\_turchin64@mail.ru](mailto:t_turchin64@mail.ru), [ale-zagorodnjaja@yandex.ru](mailto:ale-zagorodnjaja@yandex.ru)

Received on May 18, 2020 / Approved after reviewing on August 20, 2020 / Accepted on September 3, 2020

**Abstract.** State forest shelterbelts are not only one of the components of the ecological framework of sparsely forested steppe territories, but also represent a unique object of steppe afforestation. Age-related changes and a long-term absence of forestry impact negatively affected the sanitary condition of plantations of the state forest shelterbelts. The research is aimed at assessing the current state of the plantations that form the shelterbelts in different soil and climatic conditions in the steppe zone of the European part of Russia. The plantations of the coastal state forest shelterbelts “Voronezh – Rostov-on-Don”, “Belgorod – Don River” and watershed “Volograd – Elista – Cherkessk” were the research object. The expediency of using the method of remote sensing of the Earth is due to the significant extent and differences in the state of the research object in different soil and climatic conditions. An analysis of the natural conditions of the research region made it possible to determine the boundaries of 5 forestry regions on the main subtypes of zonal soils: ordinary chernozems, southern chernozems and dark chestnut soils; chestnut soils; light chestnut soils with the presence of solonetz and sometimes solonchak soils; and also on azonal sandy soils. Based on the data of our own field surveys of artificial plantations, the interpretation of space images of state forest shelterbelts was carried out using the learning algorithm and spectral indices in the ENVI 5.2 software package. As a result of interpretation, it was found that the safety of state forest shelterbelts decreases as forest conditions become more severe from ordinary chernozems to light chestnut soils from 92.3 to 36.5 %. Oak forests, ash forests, and elm forests predominate



in the species composition on zonal soils, and pine forests predominate on azonal soils. With the deterioration of forest site conditions, the share of oak in plantations decreases, it is replaced by elm, the density of plantations decreases. Forest strips on chernozems, dark chestnut and sandy soils are also the most prosperous in sanitary terms. Plantations growing on chestnut and light chestnut soils are characterized by digression increasing with age or complete decay of the forest environment. The conducted research allows to identify the location of plantations in the stage of degression or decay within the state forest shelterbelts, and to recommend for them the nature and volume of forestry impact for the conservation and restoration of the forest.

**Keywords:** state forest shelterbelts, artificial plantations, steppe zone, soil and climatic conditions, interpretation of satellite images, state of forest shelterbelts

**For citation:** Cheplyanskij I.Ya., Turchin T.Ya., Ermolova A.S. Remote Monitoring of State Forest Shelterbelts in the Steppe Zone of European Russia. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2022, no. 3, pp. 44–59. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-3-44-59>

### *Введение*

Государственные защитные лесные полосы (ГЗЛП), значительная часть насаждений которых была создана более 60 лет назад, в настоящее время являются не только составляющей экологического каркаса засушливых степных территорий, но и уникальным объектом для изучения способов степного лесоразведения в жестких почвенно-климатических условиях. Из 8 ГЗЛП 4 расположены на плакорных территориях, 4 – по берегам рек Волги, Дона, Северского Донца, Урала. Топология насаждений ГЗЛП определила основные выполняемые ими экологические функции. Водораздельные лесополосы предназначены в первую очередь для защиты сельскохозяйственных земель от экстремальных погодных явлений (мелиоративная и противоэрозионная роль), приречные – для защиты водотоков от заиления и загрязнения (водоохранная и противоэрозионная роль). При создании насаждений ГЗЛП были использованы более 30 видов древесных и кустарниковых пород, подходящих к тем или иным лесорастительным условиям вдоль трасс ГЗЛП. Апробированы разные схемы смешения пород и технологии создания широкополосных защитных насаждений на различных типах почв степной зоны.

В настоящее время ГЗЛП на территории России, как и их зарубежные аналоги, представляют собой сформировавшиеся биогеоценозы и выполняют климаторегулирующие, водоохранные, почвозащитные, рекреационные функции, что подтверждается многочисленными исследованиями [1, 3, 4, 7, 11, 13, 14, 16, 19, 20, 21, 25]. Большой объем насаждений ГЗЛП достиг возраста естественной спелости, часть из них имеет неудовлетворительное санитарное состояние и находится на различных стадиях распада. Назрела необходимость оценки состояния и устойчивости ГЗЛП для разработки комплекса лесохозяйственных мероприятий, способствующих сохранению площадей леса и поддержанию его экологической функциональности.

Цель исследования – оценить современное состояние насаждений ГЗЛП в разных почвенно-климатических условиях на территории степной зоны европейской части России (ЕЧР).

Задачи:

проанализировать почвенно-климатические условия степной зоны ЕЧР;

в разных почвенно-климатических условиях выделить ключевые участки насаждений ГЗЛП и провести их натурные обследования для определения лесоводственно-таксационных характеристик древостоев;

осуществить дешифрирование космических снимков насаждений ГЗЛП, взяв за основу данные натурных обследований ключевых участков;

дать актуальную таксационную характеристику насаждениям ГЗЛП и оценить их санитарное состояние на основе данных космических снимков.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования стали искусственные насаждения приречных ГЗЛП «Воронеж – Ростов-на-Дону», «Белгород – р. Дон» и водораздельной ГЗЛП «Волгоград – Элиста – Черкесск», произрастающие на разных подтипах черноземов и каштановых почв степной зоны ЕЧР в границах Воронежской, Ростовской, Волгоградской областей, Ставропольского края и Республики Калмыкии.

Лесохозяйственное районирование региона исследований проведено на основе анализа почвенно-климатических условий по литературным данным и с учетом рекомендаций «Методического руководства...» [12].

Метод дистанционного зондирования Земли из космоса в рассматриваемом контексте является наиболее целесообразным, поскольку требуется охватить исследованиями протяженные в пространственном отношении и значительно различающиеся по таксационным характеристикам объекты.

Выбор мест натурных обследований осуществлялся на основе анализа общедоступных данных спутниковой съемки с сенсоров Landsat 8 в соответствии с методикой, разработанной Отделом лесоводства и лесоустройства ФБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства». Космические снимки получены с официального сайта геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Радиометрическая калибровка, атмосферная коррекция и последующее дешифрирование снимков производились с применением программного комплекса ENVI 5.2 [18].

Визуальное дешифрирование снимков осуществлялось при помощи комбинации диапазонов «естественные цвета» и «искусственные цвета». ГЗЛП выделялись с использованием материалов лесоустройства, современной поисково-картографической службы «Яндекс.Карты», а также на основе разделения территорий по нормализованному дифференцированному вегетационному индексу NDVI в зимний период. NDVI представляет собой отношение разности отражения в ближнем инфракрасном (5-й канал на снимках) и красном (4-й канал) диапазонах спектра к их сумме [17, 23, 24, 26, 27]:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где NIR – отражение в ближнем инфракрасном канале; RED – отражение в красном канале.

Изменяясь от –1 до +1, NDVI позволяет отличать объекты растительного происхождения от других, а также получать информацию о характере растительности – объеме биомассы, проективном покрытии, продуктивности. Для густой здоровой растительности свойственны значения NDVI 0,7 и выше; для разреженной – около 0,5 [2, 6, 8, 10, 17].

Места закладки пробных площадей определялись при помощи алгоритма неконтролируемой классификации лесных полос (IsoData), а также анализа территории по индексу содержания влаги в растительности на основе индекса стресса влажности MSI для снимков за период июля–августа. Индекс вычислялся через отношение отражений в среднем инфракрасном и ближнем инфракрасном диапазонах (каналы 6 и 5 соответственно) [17, 26, 27]:

$$MSI = SWIR1/NIR,$$

где SWIR 1 – отражение в среднем инфракрасном канале.

Индекс MSI находится в интервале от 0,00 до 3,00, для лесной растительности – от 0,04 до 2,00 [2, 17].

Автоматически найденные классы с учетом различий индекса MSI позволили выделить ключевые участки исследований и места закладки на них временных пробных площадей (ВПП) для полного охвата лесорастительных условий и разнообразия лесных насаждений в пределах ГЗЛП.

В соответствии с действующими Методическими рекомендациями по проведению государственной инвентаризации лесов (приказ Рослесхоза № 472 от 10.11.2011) заложены ВПП и определены таксационные характеристики насаждений. Было обследовано 88 ВПП в насаждениях различного породного состава в неодинаковых лесохозяйственных районах региона исследований. Получены современные таксационные характеристики насаждений и данные об их санитарном состоянии.

Санитарное состояние насаждений при натурных обследованиях находилось как средневзвешенная оценка состояния деревьев в соответствии с Правилами санитарной безопасности в лесах (постановление Правительства РФ № 2047 от 09.12.2020). Если она составляла не более 1,5, насаждение относили к здоровым; не более 2,5 – к ослабленным; не более 3,5 – к сильно ослабленным; не более 4,5 – к усыхающим; более 4,5 – к погибшим.

ВПП были использованы в качестве опытных эталонных объектов для инвентаризации насаждений ГЗЛП посредством визуального и автоматизированного дешифрирования космических снимков. Применялись методы классификации с обучением, классификации насаждений по величинам NDVI и MSI [18, 22]. На основании классификации охарактеризованы сохранность насаждений ГЗЛП, их породный состав, густота, относительная полнота и санитарное состояние. Верификация результатов дешифрирования осуществлялась посредством сравнения вычисленных показателей и фактического состояния насаждения по данным натурных наблюдений. После дешифрирования получена обобщенная характеристика насаждений ГЗЛП в различных почвенно-климатических условиях степной зоны ЕЧР.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В целом регион исследования принадлежит южной части Восточно-Европейской (Русской) равнины [9]. Трассы ГЗЛП «Воронеж – Ростов-на-Дону» и «Белгород – р. Дон» проходят соответственно вдоль русел рек Дон и Северский Донец. Трасса ГЗЛП «Волгоград – Элиста – Черкесск» – через возв. Ергени, Кумо-Приманычскую впадину, низовья рек Большого Егорлыка и Калауса, а также через третичное плато с изрезанным рельефом [5].

Континентальность климата региона исследования возрастает с северо-запада на юго-восток. Вместе с этим меняются и почвенные условия. Территория степной зоны ЕЧР разделена на 2 пояса по зональным типам почв: пояс черноземов и пояс каштановых почв.

Преимущественно в долинах рек, а также местами на водоразделах в границах региона встречаются массивы песчаных почв. Большая часть песчаных массивов приурочена к левобережью Дона [15].

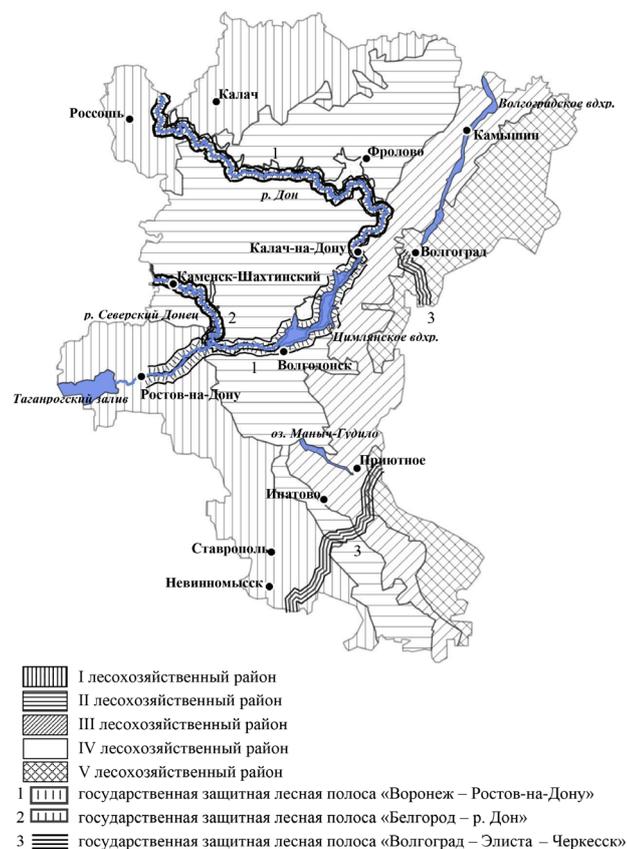
Гидротермический коэффициент показывает, что пояс черноземных почв и песчаные массивы региона исследований в основном лежат в засушливой подзоне степной зоны, каштановые почвы – преимущественно в очень засушливой и сухой подзонах.

На основании характеристики изучаемых насаждений и с учетом «Методического руководства...» [12] в пределах региона исследования выделены по почвенным и климатическим условиям 5 лесохозяйственных районов (ЛХР): разнотравно-степной с преобладанием черноземов обыкновенных; засушливо-сухостепной на черноземах южных и на темно-каштановых почвах; сухостепной на каштановых почвах; засушливо-сухостепной на азональных песчаных почвах; полупустынный на светло-каштановых почвах с наличием солонцов и солончаков.

На рисунке приведена карта-схема указанных лесохозяйственных районов степной зоны с нанесенными трассами исследуемых ГЗЛП.

Лесохозяйственные районы  
степной зоны ЕЧР

Forestry areas of the steppe  
zone of the European part  
of Russia



На 8 космоснимках выделены участки с насаждениями ГЗЛП, их общая площадь составила 11 084,8 га. К участкам в программном комплексе ENVI 5.2 был применен метод неконтролируемой классификации IsoData с количеством кластеров от 5 до 10 в зависимости от степени различия лесорастительных условий на исследуемой территории. Установленные места расположения отдельных кластеров позволили подобрать географические координаты опытных эталонных объектов, использованных впоследствии для дешифрирования изображений насаждений ГЗЛП на космоснимках. ВПП заложены в Воронежской, Ростовской, Волгоградской областях, Ставропольском крае и Республике Калмыкии, т. е. на территории всех выделенных лесохозяйственных районов, и охватывали насаждения, различающиеся по таксационным характеристикам и состоянию. Характеристика репрезентативности полученного опытного материала приведена в табл. 1.

Таблица 1

## Данные натурных обследований насаждений ГЗЛП

Table 1

## Field survey data of plantations of the state forest shelterbelts

| ЛХР          | Породный состав насаждений | ВПП, шт. | Возраст, лет | Густота, дер./га | Относительная полнота | Запас, м <sup>3</sup> /га | Индекс санитарного состояния |
|--------------|----------------------------|----------|--------------|------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|
| I            | Дубняки                    | 13       | 58–70        | 120–1680         | 0,4–1,0               | 21–508                    | 1,3–4,5                      |
|              | Ясенники                   | 7        |              |                  |                       |                           |                              |
|              | Березняки                  | 3        |              |                  |                       |                           |                              |
|              | Другие                     | 3        |              |                  |                       |                           |                              |
| II           | Дубняки                    | 17       | 59–71        | 440–1560         | 0,5–0,9               | 58–734                    | 1,4–4,6                      |
|              | Ясенники                   | 5        |              |                  |                       |                           |                              |
|              | Вязовники                  | 5        |              |                  |                       |                           |                              |
|              | Робинники                  | 5        |              |                  |                       |                           |                              |
|              | Другие                     | 1        |              |                  |                       |                           |                              |
| III          | Дубняки                    | 3        | 25, 64–69    | 390–900          | 0,5–0,8               | 13–110                    | 1,5–4,8                      |
|              | Вязовники                  | 3        |              |                  |                       |                           |                              |
|              | Ясенники                   | 2        |              |                  |                       |                           |                              |
|              | Робинники                  | 1        |              |                  |                       |                           |                              |
|              | Другие                     | 1        |              |                  |                       |                           |                              |
| IV           | Сосняки                    | 10       | 63–69        | 640–1080         | 0,5–0,8               | 101–275                   | 1,6–4,5                      |
|              | Другие                     | 1        |              |                  |                       |                           |                              |
| V            | Вязовники                  | 4        | 17–60        | 430–1300         | 0,5–0,7               | 14–100                    | 2,2–4,9                      |
|              | Ясенники                   | 2        |              |                  |                       |                           |                              |
|              | Дубняки                    | 1        |              |                  |                       |                           |                              |
|              | Робинники                  | 1        |              |                  |                       |                           |                              |
| <i>Итого</i> | –                          | 88       | –            | –                | –                     | –                         | –                            |

По данным табл. 1 видно, что натурными обследованиями были охвачены насаждения основных лесообразующих пород, таких как дуб черешчатый, ясени зеленый и обыкновенный, вяз мелколистный, робиния лжеакация, сосна обыкновенная, береза повислая, а также других (преимущественно мягколиственных) пород. Разброс по возрасту в обследованных насаждениях невысокий, лишь в районах с низкой сохранностью древостоев (V ЛХР), где они регулярно создаются заново, оценивалось состояние насаждений разных групп возраста. ВПП закладывались в древостоях с различными густотой, полнотой, производительностью и санитарным состоянием. Обследованные нами опытные эталонные объекты отражают сложившееся разнообразие породного состава, современное состояние ГЗЛП и могут быть использованы для дальнейшего дешифрирования космоснимков с помощью программного комплекса ENVI 5.2.

Визуальное дешифрирование снимков в комплексе с оценкой индекса NDVI позволяет выделить на территории ГЗЛП участки, на которых нет лесной растительности. Установлено, что при NDVI менее 0,30 лиственные породы на обследуемых участках отсутствуют, для участков с хвойными породами это значение составляет не более 0,25. Таким образом, вычислено, что на территории ГЗЛП лесная растительность отсутствует на площади: в I ЛХР – 189,5 га (7,7 % площади ГЗЛП), во II – 399,4 га (10,4 %), в III – 797,6 га (24,9 %), в IV – 315,3 га (28,1 %), в V (без учета межулисных пространств) – 233,2 га (63,5 %). Сохранность искусственных насаждений на территории ГЗЛП составляет: в I ЛХР – 92,3 %, во II – 89,6 %, в III – 75,1 %, в IV – 71,9 %, в V – 36,5 %. К участкам, на которых лесная растительность отсутствует, относятся прогалины, пустыри, необлесившиеся гари (преимущественно в сосняках), а также небольшие участки дорог. Снижение сохранности ГЗЛП от I к V ЛХР, очевидно, связано с тенденцией ухудшения лесорастительных условий степной зоны при движении с северо-запада на юго-восток.

Результаты обследований насаждений ГЗЛП разного породного состава и информация об их географическом положении (географические координаты) стали основой обучающей выборки в программном комплексе ENVI 5.2 для классификации насаждений по породному составу. Автоматическая классификация позволила установить площади и характер пространственного распределения насаждений разного породного состава (табл. 2).

На всех зональных почвах произрастают дубняки и ясенники, на азональных песчаных почвах – преимущественно хвойные насаждения, сосняки. По мере нарастания засушливости климата и снижения почвенного плодородия от I к V ЛХР доля дубняков уменьшается от 68,1 до 9,1 %. В дубняках преобладают смешанные дубово-ясеневые и дубово-вязовые насаждения. Доля площади ясенников в I–III ЛХР стабильна – около 27–28 %. Ясень зеленый – одна из немногих пород, удерживающих свои позиции в насаждениях на солонцеватых светло-каштановых почвах V ЛХР.

По мере ужесточения лесорастительных условий на смену дубнякам все в большей степени приходят вязовники. Искусственные насаждения с преобладанием вяза мелколистного начинают проследиваться во II ЛХР, а в условиях V ЛХР вязовники, в частности чистые по составу насаждения вяза мелколистного, преобладают в породном составе. Березняки в составе ГЗЛП отмеча-

ются на небольшой площади лишь на границе с лесостепной зоной. Основная территория участков с робинией лжеакацией в качестве главной породы зафиксирована во II ЛХР на черноземах южных и темно-каштановых почвах.

Таблица 2

### Распространение насаждений главных пород ГЗЛП

Table 2

#### Distribution of plantations of the main species of the state forest shelterbelts

| ЛХР              | Главная лесобразующая порода         | Преобладающие породы | Площадь, га | Площадь*, % |
|------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------|-------------|
| I                | Дуб черешчатый                       | Дуб, ясень           | 983,7       | 43,5        |
|                  |                                      | Дуб, клен            | 357,9       | 15,8        |
|                  |                                      | Дуб, робиния         | 198,9       | 8,8         |
|                  | Ясень зеленый/<br>ясень обыкновенный | Ясень, дуб           | 459,2       | 20,3        |
|                  |                                      | Ясень, береза        | 173,3       | 7,7         |
| Береза повислая  | Береза, ясень                        | 87,3                 | 3,9         |             |
| II               | Дуб черешчатый                       | Дуб, ясень           | 1052,1      | 30,5        |
|                  |                                      | Дуб, вяз             | 423,2       | 12,3        |
|                  | Ясень зеленый/<br>ясень обыкновенный | Ясень, дуб           | 699,2       | 20,3        |
|                  |                                      | Ясень, вяз           | 229,5       | 6,6         |
|                  | Робиния лжеакация                    | Робиния, ясень, вяз  | 599,8       | 17,4        |
| Вяз мелколистный | Вяз, робиния                         | 443,4                | 12,9        |             |
| III              | Вяз мелколистный                     | Вяз, ясень           | 797,6       | 33,2        |
|                  |                                      | Вяз, дуб             | 224,2       | 9,3         |
|                  | Дуб черешчатый                       | Дуб, вяз             | 547,7       | 22,8        |
|                  |                                      | Дуб, ясень           | 176,2       | 7,3         |
|                  | Ясень зеленый/<br>ясень обыкновенный | Ясень, вяз           | 435,7       | 18,1        |
|                  |                                      | Ясень, дуб           | 224,2       | 9,3         |
| IV               | Сосна обыкновенная                   | Сосна                | 806,9       | 100,0       |
| V                | Вяз мелколистный                     | Вяз                  | 93,3        | 69,6        |
|                  |                                      | Вяз, дуб, робиния    | 23,1        | 17,2        |
|                  | Дуб черешчатый                       | Дуб                  | 12,1        | 9,1         |
|                  | Ясень зеленый                        | Ясень                | 5,5         | 4,1         |

\*Отношение площади насаждений указанного породного состава к общей площади сохранившихся насаждений ГЗЛП.

Относительная полнота и густота определялись через спектральный индекс NDVI. Выявлена прямая (сильная и средняя по тесноте) корреляция полноты / густоты и NDVI. Подобраны уравнения регрессии, наиболее достоверно отображающие эту связь. По ним определялся интервал значений полноты / густоты, соответствующий величине NDVI на космоснимке.

В табл. 3 приведены результаты оценки полноты насаждений ГЗЛП в степной зоне по данным дешифрирования космоснимков.

Таблица 3

## Характеристика относительной полноты насаждений ГЗЛП на основе индекса NDVI

Table 3

## Characteristics of the relative density of plantations of the state forest shelterbelts based on the NDVI values

| ЛХР          | Коэффициент корреляции<br>уровень<br>значимости | Уравнение регрессии              | Относительная полнота, га / %      |                                   |                                     |
|--------------|---|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
|              |   |                                  | низко-<br>полнотные<br>(менее 0,5) | средне-<br>полнотные<br>(0,5–0,7) | высоко-<br>полнотные<br>(более 0,7) |
| I            | $\frac{0,68}{1\%}$                              | $y = -0,239x^2 + 0,733x + 0,164$ | $\frac{543,9}{24,1}$               | $\frac{700,6}{31,0}$              | $\frac{1015,8}{44,9}$               |
| II           | $\frac{0,74}{1\%}$                              | $y = -0,293x^2 + 0,913x + 0,029$ | $\frac{1030,6}{29,9}$              | $\frac{781,2}{22,7}$              | $\frac{1635,4}{47,4}$               |
| III          | $\frac{0,77}{5\%}$                              | $y = -0,466x^2 + 1,076x - 0,036$ | $\frac{456,4}{19,0}$               | $\frac{1094,5}{45,5}$             | $\frac{854,7}{35,5}$                |
| IV           | $\frac{0,68}{5\%}$                              | $y = -0,186x^2 + 0,653x - 0,045$ | $\frac{217,7}{27,0}$               | $\frac{268,2}{33,2}$              | $\frac{321,0}{39,8}$                |
| V            | $\frac{0,80}{5\%}$                              | $y = 0,085 \ln(x) + 0,361$       | $\frac{85,6}{63,9}$                | $\frac{30,1}{22,5}$               | $\frac{18,3}{13,7}$                 |
| <i>Итого</i> | –   | –                                | $\frac{2334,2}{26,2}$              | $\frac{2737,6}{30,7}$             | $\frac{3845,2}{43,1}$               |

Примечание:  $x$  – относительная полнота,  $y$  – NDVI.

Полнота является важной таксационной характеристикой насаждений, позволяющей судить об успешности роста древостоя, эффективности выполнения насаждением защитных функций. Относительная полнота также выступает как показатель качества сформировавшихся искусственных лесонасаждений.

Из табл. 3 видно, что в насаждениях ГЗЛП степной зоны распределение древостоев по полноте сейчас равномерно, с некоторым преобладанием по площади (43,1 % от общей площади) высокополнотных древостоев. Насаждения с высокой относительной полнотой преобладают в I–II ЛХР преимущественно на черноземных почвах; со средней полнотой – на каштановых почвах в III ЛХР; с низкой полнотой – на светло-каштановых почвах (особенно при наличии солонцеватости) в V ЛХР. На азональных песчаных почвах IV ЛХР также наблюдается небольшое превышение доли высокополнотных сосняков по отношению к низко- и среднеполнотным насаждениям.

Преобладание в ГЗЛП древостоев средней и высокой относительной полноты свидетельствует о том, что сформировавшиеся и сохранившиеся искусственные насаждения в основной массе имеют удовлетворительное и хорошее качество и, следовательно, выполняют свои экологические функции.

Для того чтобы охарактеризовать ГЗЛП по густоте, необходимо установить ее ориентировочную оптимальную величину в насаждениях разного породного состава в неодинаковых лесорастительных условиях. Это было сделано нами в соответствии с Руководством по ведению хозяйства в насаждениях государственных защитных лесных полос в Российской Федерации (приказ Федеральной службы лесного хозяйства России № 43 от 21.03.1996).

Для I–IV ЛХР вычислена средняя оптимальная густота спелых и перестойных насаждений. Для V ЛХР – приспевающих и спелых насаждений, поскольку средний возраст древостоев здесь ниже в связи с их недолговечностью и периодическим повторным искусственным возобновлением.

В результате дешифрирования космоснимков с применением регрессионного анализа взаимосвязи густоты древостоев с величиной NDVI установлены площади насаждений, имеющих густоту выше или ниже оптимальной (табл. 4).

Таблица 4

#### Характеристика густоты насаждений ГЗЛП на основе индекса NDVI

Table 4

#### Characteristics of the density of plantations of the state forest shelterbelts based on the NDVI values

| ЛХР          | Коэффициент корреляции<br>уровень<br>значимости | Уравнение<br>регрессии     | Средняя<br>оптимальная<br>густота | Площадь насаждений, га / % |                       |
|--------------|---|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------|
|              |   |                            |                                   | оптимальная<br>и выше      | ниже<br>оптимальной   |
| I            | $\frac{0,87}{1\%}$                              | $y = 0,129 \ln(x) - 0,310$ | 1200*                             | $\frac{1135,7}{50,2}$      | $\frac{1124,6}{49,8}$ |
| II           | $\frac{0,82}{1\%}$                              | $y = 0,205 \ln(x) - 0,903$ | 1100*                             | $\frac{1855,1}{53,8}$      | $\frac{1592,1}{46,2}$ |
| III          | $\frac{0,84}{5\%}$                              | $y = 0,201 \ln(x) - 0,887$ | 800*                              | $\frac{1076,2}{44,7}$      | $\frac{1329,4}{55,3}$ |
| IV           | $\frac{0,86}{1\%}$                              | $y = 0,155 \ln(x) - 0,671$ | 850*                              | $\frac{457,9}{56,7}$       | $\frac{349,0}{43,3}$  |
| V            | $\frac{0,80}{5\%}$                              | $y = 0,085 \ln(x) + 0,361$ | 750**                             | $\frac{55,0}{41,0}$        | $\frac{79,0}{59,0}$   |
| <i>Итого</i> | –   | –                          | –                                 | $\frac{4579,9}{50,6}$      | $\frac{4474,1}{49,4}$ |

Примечание:  $x$  – густота,  $y$  – NDVI; \* – спелые и перестойные насаждения; \*\* – приспевающие и спелые насаждения.

В целом в регионе наблюдается равновесие площадей насаждений ГЗЛП с разными показателями густоты. В I, II и IV ЛХР преобладают (до 13,4 %) насаждения с оптимальной и более высокой густотой. В III и V ЛХР, напротив, преобладают (до 18,0 %) насаждения с густотой, меньше оптимальной для данных условий произрастания. Густота входит в комплекс характеристик, определяющих санитарное состояние ГЗЛП, а также наряду с полнотой может быть использована при оценке экологической функциональности насаждений.

Основной характеристикой при оценке санитарного состояния является доля здоровых (без признаков усыхания) деревьев в насаждении. Для определения санитарного состояния насаждений методом дистанционного зондирования применялся спектральный индекс MSI, отражающий уровень стресса

влажности растительности, т. е. объем усыхания. Выявлены регрессионные зависимости между фактическим санитарным состоянием насаждений на ВПП и индексами MSI. Установлены интервалы значений MSI для соответствующих категорий санитарного состояния насаждений ГЗЛП. Определены площади и характер пространственного распределения насаждений разного санитарного состояния (табл. 5).

Таблица 5

**Характеристика санитарного состояния насаждений ГЗЛП на основе индекса MSI**

Table 5

**Characteristics of the sanitary condition of plantations of the state forest shelterbelts based on the MSI values**

| ЛХР          | Коэффициент корреляции<br>уровень<br>значимости | Уравнение<br>регрессии    | Индекс санитарного состояния, га / % |                       |                       |                       |                       |
|--------------|---|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|              |   |                           | здоровые                             | ослабленные           | сильно ослабленные    | усыхающие             | погибшие              |
| I            | $\frac{0,78}{1\%}$                              | $y = 0,069\ln(x) + 0,078$ | $\frac{374,7}{16,6}$                 | $\frac{1297,6}{57,4}$ | $\frac{360,1}{15,9}$  | $\frac{156,8}{6,9}$   | $\frac{71,1}{3,2}$    |
| II           | $\frac{0,74}{1\%}$                              | $y = 0,086\ln(x) + 0,070$ | $\frac{326,4}{9,5}$                  | $\frac{1593,0}{46,2}$ | $\frac{910,6}{26,4}$  | $\frac{167,1}{4,9}$   | $\frac{450,1}{13,0}$  |
| III          | $\frac{0,86}{1\%}$                              | $y = 0,078\ln(x) + 0,098$ | $\frac{355,6}{14,8}$                 | $\frac{470,9}{19,6}$  | $\frac{403,6}{16,8}$  | $\frac{518,8}{21,6}$  | $\frac{656,7}{27,2}$  |
| IV           | $\frac{0,87}{1\%}$                              | $y = 0,083\ln(x) + 0,075$ | $\frac{99,9}{12,4}$                  | $\frac{271,6}{33,7}$  | $\frac{209,9}{26,0}$  | $\frac{143,6}{17,8}$  | $\frac{81,9}{10,1}$   |
| V            | $\frac{0,87}{1\%}$                              | $y = 0,091\ln(x) + 0,087$ | $\frac{4,4}{3,3}$                    | $\frac{12,4}{9,3}$    | $\frac{31,2}{23,3}$   | $\frac{39,7}{29,6}$   | $\frac{46,3}{34,5}$   |
| <i>Итого</i> | –   | –                         | $\frac{1161,0}{12,8}$                | $\frac{3645,5}{40,3}$ | $\frac{1915,4}{21,2}$ | $\frac{2332,1}{11,3}$ | $\frac{1306,1}{14,4}$ |

Примечание:  $x$  – средневзвешенный индекс санитарного состояния насаждения,  $y$  – MSI.

Значительная доля площади ГЗЛП по региону представлена ослабленными и сильно ослабленными насаждениями, характеризующимися замедленным ростом и нарушением лесной среды. Это объясняется тем, что основная часть насаждений уже достигла возраста спелости, а лесохозяйственные мероприятия, направленные на улучшение роста и санитарной обстановки, практически не проводились.

В разных ЛХР ситуация неодинаковая. Так, на черноземах обыкновенных и южных, на темно-каштановых почвах I–II ЛХР преобладают (около 73 % площади) ослабленные и сильно ослабленные насаждения, сохраняющие свой экологический потенциал. В III ЛХР на каштановых почвах наблюдается примерно равное соотношение здоровых, ослабленных, сильно ослабленных насаждений, сохраняющих жизнеспособность (51,2 % площади), и усыхающих и погибших насаждений (48,8 % площади). Однако в дальнейшем ожидается развитие процессов деградации и распада насаждений в силу их возраста, сложных лесорастительных условий и отсутствия мероприятий по обновлению древостоя.

На песчаных почвах IV ЛХР здоровые, ослабленные и сильно ослабленные насаждения, сохраняющие жизнеспособность, занимают в сумме значи-

тельную долю площади – 72,1 %. Это, по нашему мнению, является достаточно высоким показателем устойчивости насаждений в условиях крайне бедных почв, засушливого и сухого климата, негативного антропогенного влияния и высокой подверженности территории лесным пожарам.

На светло-каштановых почвах с признаками солонцеватости в V ЛХР здоровых насаждений, несмотря на наличие средневозрастной и приспевающей возрастных групп, практически не обнаружено (3,3 % площади). Треть насаждений характеризуется замедленным ростом, значительным количеством ослабленных, усыхающих и усохших деревьев, разной степенью нарушенности лесной среды. Преобладающая доля площади здесь (64,1 %) занята усыхающими или погибшими насаждениями, находящимися в стадии распада.

Визуальный анализ показывает, что участки ГЗЛП, расположенные вблизи автомобильных дорог или населенных пунктов, как правило, характеризуются меньшими показателями полноты и густоты по сравнению со свойственными для рассматриваемых лесорастительных условий, несколько более ослабленным санитарным состоянием. В I–II ЛХР, где ГЗЛП имеют наибольшую сохранность среди всех районов, полнота и густота снижаются от центра к периферии насаждений. В III–V ЛХР такая тенденция наблюдается гораздо реже: в основном участки с удовлетворительными полнотой и густотой перемежаются с редианами и выпавшими участками. Насаждения ГЗЛП, примыкающие к лесным массивам искусственного или естественного происхождения, часто имеют более высокие показатели полноты, густоты и характеризуются лучшим санитарным состоянием, чем одиночно расположенные участки.

### *Заключение*

Анализ природных условий степной зоны европейской части России позволил выделить лесохозяйственные районы со сходными почвенными и климатическими характеристиками, определяющими лесную растительность региона и ее состояние. Посредством визуального и спектрального анализа изображений государственных защитных лесных полос на космических снимках в пределах различных лесохозяйственных районов определены ключевые участки исследований и места закладки временных пробных площадей.

Путем натурных обследований получены актуальные и достоверные данные для дешифрирования космических снимков государственных защитных лесных полос. Установлено, что по мере ужесточения лесорастительных условий от I к V лесохозяйственному району сохранность искусственных насаждений снижается с 92,3 % на черноземах обыкновенных до 36,5 % на светло-каштановых почвах с признаками солонцеватости. Породный состав сохранившихся участков государственных защитных лесных полос от черноземов к светло-каштановым почвам также изменяется: доля дубняков неуклонно уменьшается, на смену им приходят насаждения вяза мелколистного. На азональных песчаных и супесчаных почвах IV лесохозяйственного района преобладают насаждения сосны.

Общая тенденция дигрессии насаждений от I к V лесохозяйственному району подтверждается также характером изменения их относительной полноты, густоты и санитарного состояния. На черноземах, темно-каштановых и песчаных почвах наблюдается преобладание высокополнотных древостоев, на

каштановых почвах – среднеполнотных, на светло-каштановых с признаками солонцеватости – низкополнотных. Анализ дифференцированной по лесохозяйственным районам ориентировочной оптимальной густоты на черноземах, темно-каштановых и песчаных почвах показал небольшое преобладание древостоев с оптимальной и выше густотой, а на каштановых и светло-каштановых – с густотой, ниже оптимальной. В санитарном отношении наиболее удовлетворительны также защитные лесные полосы на черноземах, темно-каштановых и песчаных почвах, где преобладают ослабленные и сильно ослабленные насаждения. На каштановых и светло-каштановых почвах основная доля площади покрыта усыхающими и погибшими насаждениями, что свидетельствует о процессе распада защитных лесных полос на этих территориях.

Проведенные исследования позволяют выявить в пределах государственных защитных лесных полос насаждения разного породного состава, характеризующиеся невысокой полнотой, редины и безлесные пространства, ослабленные в санитарном отношении насаждения и рекомендовать участки, для которых требуется лесохозяйственное воздействие в целях сохранения и восстановления леса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Абакумов Б.А., Бабенко Д.К., Бартенева И.М., Виноградов В.Н., Долилевич М.И., Захаров В.В., Зыков И.Г., Касьянов Ф.М., Коптев В.И., Крюкова Е.А., Кулик Н.Ф., Лабазников Б.В., Макарычев Н.Т., Маланина З.И., Маттис Г.Я., Николаенко В.Т., Павловский Е.С., Персидская Л.Т., Савельева Л.С., Сенкевич А.А., Степанов А.М., Торохтун И.М., Трещевский И.В., Трибунская В.М. Защитное лесоразведение в СССР / под общ. ред. Е.С. Павловского. М.: Агропромиздат, 1986. 263 с.

Abakumov B.A., Babenko D.K., Bartenev I.M., Vinogradov V.N., Dolilevich M.I., Zakharov V.V., Zykov I.G., Kas'yanov F.M., Koptev V.I., Kryukova E.A., Kulik N.F., Labaznikov B.V., Makarychev N.T., Malanina Z.I., Mattis G.Ya., Nikolayenko V.T., Pavlovskiy E.S., Persidskaya L.T., Savel'yeva L.C., Senkevich A.A., Stepanov A.M., Torokhtun I.M., Treshchevskiy I.V., Tribunskaya V.M. *Protective Afforestation in the USSR*. Ed. by E. S. Pavlovskiy. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 263 p. (In Russ.).

2. Бочаров А.В., Тихомиров О.А. Использование корреляционного анализа данных дистанционного зондирования для оценки влияния водоемов на окружающую природную среду (на примере района Рыбинского водохранилища) // Изв. СамНЦ РАН. 2014. Т. 16, № 5. С. 1701–1706.

Bocharov A.V., Tikhomirov O.A. The Use of Correlation Analysis of Remote Sensing to Assess the Impact Basins on the Natural Environment (by the Example of the Rybinsk Reservoir). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 16, no. 5, pp. 1701–1706. (In Russ.).

3. Ерусалимский В.И. Лесоразведение в степи. М.: ВНИИЛМ, 2004. 171 с.

Erusalimskii V.I. *Afforestation in the Steppe*. Moscow, VNIILM Publ., 2004. 171 p. (In Russ.).

4. Ерусалимский В.И., Рожков В.А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 88. С. 121–137.

Erusalimskii V.I., Rozhkov V.A. The Multifunctional Role of Protective Forest Plantations. *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2017, iss. 88, pp. 121–137. (In Russ.). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-88-121-137>

5. Иваненко Б.И. Государственная защитная лесная полоса Сталинград–Степной–Черкесск. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 24 с.

Ivanenko B.I. *State Forest Shelterbelt Stalingrad – Stepnoy – Cherkessk*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1949. 24 p. (In Russ.).

6. Ивлиева Н.Г., Росяйкина Е.А. Обработка данных дистанционного зондирования Земли в ГИС-пакете ArcGIS // Огарёв-ONLINE. 2015. № 4. Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/obrabotka-dannykh-distancionnogo-zondirovaniya-zemli-v-gis-pakete-arcgis> (дата обращения: 25.03.22).

Ivlieva N.G., Rosyaikina E.A. Processing of Remotely Sensed Data by Means of Arcgis Software. *Ogaryov-ONLINE*, 2015, no. 4. (In Russ.).

7. Костин М.В. Современное состояние, мелиоративный потенциал и возможности возобновления защитных лесных насаждений на водоразделах степной зоны ЕТР: дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2009. 283 с.

Kostin M.V. *Current Condition, Meliorative Potential and Possibilities of Reforestation of Protective Forest Plantations in Watersheds of the Steppe Zone of the European Part of Russia*: Cand. Agric. Sci. Diss. Volgograd, 2009. 283 p. (In Russ.).

8. Курганович К.А., Макаров В.П. Использование вегетационных индексов NDVI для оценки влияния пожаров на динамику растительности Цасучейского бора // Вестн. ЗабГУ. 2015. № 2(117). С. 27–36.

Kurganovich K.A., Makarov V.P. The Use of NDVI Vegetation Indices to Assess the Influence of Wildfires on Tsasuchey Pine Forest Vegetation Dynamics. *Transbaikal State University Journal*, 2015, no. 2(117), pp. 27–36. (In Russ.).

9. Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.

Kurnayev S.F. *Forest Site Zoning of the USSR*. Moscow. Nauka Publ., 1973. 203 p. (In Russ.).

10. Лиджиева Н.Ц., Уланова С.С., Федорова Н.Л. Опыт применения индекса вегетации (NDVI) для определения биологической продуктивности фитоценозов аридной зоны на примере региона Черные Земли // Изв. СГУ. Нов. сер. Сер.: Химия. Биология. Экология. 2012. Т. 12, вып. 2. С. 94–96.

Lidzhieva N.Ts., Ulanova S.S., Fedorova N.L. Application of Vegetation Index (NDVI) to Determine the Biological Productivity of Phytocenoses of Arid Zone as an Example of the Region Black Earth. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2012, vol. 12, iss. 2, pp. 94–96. (In Russ.). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2012-12-2-94-96>

11. Листопадський М.А. Історія та сучасний стан лісосмуг біосферного заповідника «Асканія-Нова» // Біологічний вісник МДПУ. 2015. № 1. С. 156–210.

Listopadsky M.A. History and Present State of Forest Belts in the Biosphere Reserve “Askania Nova”. *Biological Bulletin*, 2015, no. 1, pp. 156–210. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/2015012>

12. Манаенков А.С., Костин М.В., Шкуринский В.А., Сурхаев Г.А., Лепеско В.В., Кладиев А.К., Узолин А.И., Зеленьяк А.К., Панов В.И., Петелько А.И. Методическое руководство по повышению долговечности широкополосных защитных лесных насаждений на юге европейской территории России. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. 56 с.

Manayenkov A.S., Kostin M.V., Shkurinskiy V.A., Surkhayev G.A., Lepesko V.V., Kladiyev A.K., Uzolin A.I., Zelenyayak A.K., Panov V.I., Petel'ko A.I. *Methodical Guidance on the Durability of Broadband Protective Forest Plantations in the South of European Russia*. Volgograd, VNIALMI Publ., 2013. 56 p. (In Russ.).

13. Павловский Е.С. Экологическая роль защитных лесонасаждений в лесоаграрных ландшафтах // Тез. докл. конф. по основным проблемам теории и практики агролесомелиорации. Волгоград, 1982. С. 58.

Pavlovskiy E.S. Ecological Role of Protective Forest Plantations in Forest Agrarian Landscapes. *Proceedings of the Conference on the Main Issues of the Theory and Practice of Agroforestry*. Volgograd, 1982, p. 58. (In Russ.).

14. Сидаренко П.В., Засоба В.В., Богданов Э.Н., Ланцева Н.Н., Скрынников Д.С. Углероддепонирующая роль лесных насаждений государственной защитной лесной полосы (ГЗЛП) Волгоград – Элиста – Черкесск в степной зоне // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2014. № 38. С. 125–132.

Sidarenko P.V., Zasoba V.V., Bogdanov E.N., Lantseva N.N., Skrynnikov D.S. Carbon Deposited Role of State Forest Plantations Shelterbelts (SPFZ) Volgograd – Elista – Cherkessk

sk in the Steppe Zone. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa*, 2014, no. 38, pp. 125–132. (In Russ.).

15. Турчин Т.Я. Естественные степные дубравы Донского бассейна и их восстановление. М.: ВНИИЛМ, 2004. 312 с.

Turchin T.Ya. *Natural Steppe Oak Forests of the Don Basin and Their Regeneration*. Moscow, VNIILM Publ., 2004. 312 p. (In Russ.).

16. Турчин Т.Я., Ермолова А.С., Баканов И.А. Оценка ресурсного потенциала насаждений государственной защитной лесной полосы «Воронеж – Ростов-на-Дону» // Музей-заповедник: экология и культура: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. Вешенская, 2019. С. 290–300.

Turchin T.Ya., Ermolova A.S., Bakanov I.A. Resource Potential Assessment of the State Forest Shelterbelt “Voronezh – Rostov-on-Don”. *Museum-Reserve: Ecology and Culture. Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference*. Vyoshenskaya, 2019. pp. 290–300. (In Russ.).

17. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. № 2. С. 98–102.

Cherapanov A.S. Vegetation Indices. *Geomatics*, 2011, no. 2, pp. 98–102. (In Russ.).

18. ENVI 5.1. Environment for Visualizing Images. Руководство пользователя. М.: Совзонд, 2014. 242 с.

ENVI 5.1. *Environment for Visualizing Images*. User Guide. Moscow. Sovzond Publ., 2014. 242 p.

19. Ambrose E., Ceci P., Ulian T. Branching out Africa’s Great Green Wall. *The Environment, CIWEM*, 2019, vol. 09, pp. 16–17. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/335464913> (accessed 12.03.20).

20. Gardner R. Trees as Technology: Planting Shelterbelts on the Great Plains. *History and Technology*, 2009, vol. 25, iss. 4, pp. 325–341. <https://doi.org/10.1080/07341510903313014>

21. Juang J.-Y., Zhang J.-C., Yang Y., Zhang B., Li J. Effect of Forest Shelter-Belt as a Regional Climate Improver along the Old Course of the Yellow River, China. *Agroforestry Systems*, 2017, vol. 91, pp. 393–401. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9928-9>

22. Koch B. *Remote Sensing Supporting National Forest Assessment*. FAO, 2013. 15 p. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Remote-Sensing-supporting-national-forest-NFA-Koch> (accessed 05.03.20).

23. *Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing*. Ed. by P.S. Thenkabail. CRC Press, 2015. 885 p. <https://doi.org/10.1201/b19322>

24. *Land Surface Remote Sensing in Agriculture and Forest*. Ed. by N. Baghdadi, M. Zribi. Elsevier, 2016. 454 p. <https://doi.org/10.1016/c2015-0-01224-2>

25. Marots G.A., Sorenson C.J. Depletion of a Great Plains Resource: The Case of Shelter-Belts. *Environmental Conservation*, 1979, vol. 6, iss. 3, pp. 215–224. <https://doi.org/10.1017/S0376892900003088>

26. Tuominen J., Lipping T., Kuosmanen V., Haapanen R. Remote Sensing of Forest Health. *Geoscience and Remote Sensing*. London, IntechOpen, 2009. <https://doi.org/10.5772/8283>

27. Xue J., Su B. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*, 2017, vol. 2017, art. 1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest