

УДК: 528.8:631.6.02

DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-843-858

С.А. Антонов<sup>1</sup>, С.В. Перегудов<sup>2</sup>

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОТИВОДЕФЛЯЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

### АННОТАЦИЯ

Проблема деградации почвенного покрова широко распространена во многих аграрных регионах нашей страны. Ставропольский край, один из ведущих сельскохозяйственных регионов РФ, не является исключением.

Для деградации почвенного покрова характерно наличие ряда факторов, оказывающих влияние на деструктивные процессы в почве, основными из которых являются: увеличение антропогенной нагрузки на почву и региональные особенности изменения климата.

В связи с этим с каждым годом увеличивается актуальность вопросов, связанных с разработкой комплексных мероприятий по борьбе с деградационными процессами. Ключевым элементом этих мероприятий в Ставропольском крае является формирование каркаса из защитных лесных насаждений. Такой каркас требует проведения регулярных наблюдений как за его сохранностью, так и за эффективностью.

Исследование проводилось на территории засушливой зоны Ставропольского края. Отмечаемые в данной зоне региональные климатические изменения могут нанести весомый ущерб почвенному покрову и значительно снизить эффективность сельскохозяйственного производства. Здесь наиболее остро проявляется рост экстремальности климата – увеличение вероятности возникновения засух и осадков ливневого характера.

В связи с тем, что защитные лесные насаждения располагаются на обширных площадях, рациональнее всего для их мониторинга использовать современные системы обработки и визуализации данных – географические информационные системы и данные дистанционного зондирования Земли.

В работе была рассмотрена авторская методика, которая позволяет анализировать некоторые элементы противодефляционной эффективности полезащитных лесных насаждений, такие как защитная лесистость территории и межполосные расстояния. В рамках исследования была предложена технологическая схема картографирования, основанная на формировании непрерывной гексагональной поверхности с данными. Представленная методика и технологическая схема могут быть адаптированы для любого аграрного региона с учетом особенностей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геоинформационные технологии, данные дистанционного зондирования Земли, дефляция, защитные лесные насаждения

---

<sup>1</sup> ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», лаборатория ГИС-технологий, ул. Никонова, д. 49, 356241, Михайловск, Ставропольский край, Россия; *e-mail*: [santosb@mail.ru](mailto:santosb@mail.ru)

<sup>2</sup> ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», лаборатория ГИС-технологий, ул. Никонова, д. 49, 356241, Михайловск, Ставропольский край, Россия; *e-mail*: [serjoSW@yandex.ru](mailto:serjoSW@yandex.ru)

**Sergey A. Antonov<sup>1</sup>, Sergey V. Peregudov<sup>2</sup>**

## **ANALYSIS OF THE ANTI-DEFLATION EFFICIENCY OF FIELD-PROTECTIVE FOREST PLANTS IN THE DRY ZONE OF THE STAVROPOL KRAI**

### **ABSTRACT**

The problem of soil degradation is widespread in many agricultural regions of our country. The Stavropol Territory, as one of the leading agricultural regions, is no exception.

It is characterized by the presence of a number of factors influencing the destructive processes in the soil, the main of which are the increase in the anthropogenic load on the soil and the regional features of climate change.

In this regard, the relevance of issues related to the development of comprehensive measures to combat degradation processes is increasing every year. A key element of these activities in the Stavropol Territory is the formation of a framework of protective forest plantations, which requires regular monitoring of both their safety and effectiveness.

The study was conducted on the territory of the arid zone of the Stavropol Territory. In this zone, the observed regional climatic changes can cause significant damage to the soil cover and significantly reduce the efficiency of agricultural production. Here, the increase in climate extremeness is most acute – an increase in the likelihood of droughts and heavy rainfall.

Due to the fact that protective forest plantations are located on vast areas, it is most rational to use modern data processing and visualization systems for their monitoring – geographic information systems and Earth remote sensing data.

The author's technique was considered in the work, which allows analyzing various characteristics for assessing the anti-deflation efficiency of field-protective forest plantations, such as the protective forest cover of the territory and interstrip distances. As part of the study, a technological mapping scheme was proposed based on the formation of a continuous hexagonal surface with data. The presented methodology and technological scheme can be adapted for any agricultural region, taking into account their characteristics.

**KEYWORDS:** geographic information technologies, remote sensing data, deflation, protective forest plantations

### **ВВЕДЕНИЕ**

Проблема деградации почвенного покрова широко распространена во многих аграрных регионах нашей страны. Среди основных факторов развития эрозии можно назвать изменение климата и увеличение антропогенной нагрузки за счет интенсификации производства. Ставропольский край, являясь один из ведущих сельскохозяйственных регионов РФ, не является исключением. В структуре земельного фонда преобладают земли сельскохозяйственного назначения которые занимают более 92 % территории края<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> FSBSI «North-Caucasian federal scientific agrarian center», laboratory GIS-technology, Nikonova str., 49, 356241, Mikhailovsk, Stavropol Region, Russia; *e-mail*: [santosb@mail.ru](mailto:santosb@mail.ru)

<sup>2</sup> FSBSI «North-Caucasian federal scientific agrarian center», laboratory GIS-technology, Nikonova str., 49, 356241, Mikhailovsk, Stavropol Region, Russia; *e-mail*: [serjoSW@yandex.ru](mailto:serjoSW@yandex.ru)

<sup>3</sup> Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Ставропольскому краю за 2019 год. Ставрополь: Управление федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу, 2019. 204 с.

Развитие негативных процессов в почвенном покрове тесно связано с отраслевой специализацией сельскохозяйственного производства. Вследствие перехода на рыночную экономику, за последние 30 лет отчетливо наблюдается смещение специализации Ставропольского края в сторону растениеводства как наиболее рентабельной отрасли. Интенсификация производства приводит к неконтролируемой распашке сенокосов и пастбищ, 74 % которых располагаются на склоновых землях. Процессам водной эрозии в Ставропольском крае подвержены 47 % пашни.

Особенности географического положения Ставропольского края определяют его сложную ландшафтную дифференциацию. Преобладающими типами почвы в крае являются черноземы (38 %), которые приурочены к западной части края, и каштановые почвы (43 %), располагающиеся на востоке [Антонов, 2020].

Особое влияние на формирование деструктивных процессов в почве оказывают глобальные климатические изменения, которые имеют свои особенности не только в масштабах страны, но и на региональном уровне. В Ставропольском крае отмечается рост среднегодовой температуры. За последние 10 лет он составил 1,3 °C по сравнению с многолетней климатической нормой (1961–1990 гг.). Основной прирост температуры от +1,6 до +2,3 °C отмечается в период с января по март и с июня по август. В среднем по краю за последние 10 лет отмечается снижение годового количества осадков с 497 мм до 487 мм. При этом максимальное снижение отмечается в августе –38 % и июне –14 %. По некоторым месяцам выявлен рост количества осадков – максимальных значений он достигает в мае +28 %, но они носят характер ливневых, что приводит к значительному смыву почвы.

В Ставропольском крае увеличивается вероятность таких неблагоприятных явлений, как пыльные бури, засухи, суховеи.

Анализ засушливости вегетационного периода в Ставропольском крае за 50-летний период (1969–2018 гг.) показал ее значительный рост в августе, апреле и июне. Вероятность проявления атмосферных засух длительностью 1 месяц колеблется от 84 до 100 %. При этом вероятность возникновения наиболее вредоносных засух продолжительностью 4–5 месяцев колеблется от 2 до 16 %. Изменение вероятности появления засух имеет четко выраженную направленность, увеличиваясь с запада на восток [Антонов, 2019].

За последние 10 лет вероятность возникновения пыльных бурь составляет 30 % при многолетней климатической норме 13 %. В последний раз пыльная буря отмечалась в крае 4 марта 2022 г.

В целом наблюдается рост экстремальности климата, что способствует развитию деградиционных процессов. В связи с этим, с каждым годом особую актуальность приобретают вопросы, связанные с разработкой комплексных мероприятий по борьбе с эрозионными процессами. Ключевым элементом этих мероприятий в крае является обустройство каркаса из защитных лесных насаждений (ЗЛН).

Одним из подходов при разработке защитных мероприятий является создание агролесоландшафта, основной структурной единицей которого являются защитные лесные насаждения. Они выполняют водорегулирующие функции, препятствующие эрозии, и ветроломные функции, снижающие дефляцию. Также они оказывают влияние на улучшение водного, температурного, питательного режимов и т.д. [Ерусалимский и др., 2017].

Защитные лесные насаждения требуют постоянных наблюдений как за их эффективностью, так и за сохранностью. С закрытием в 90-х годах профильных организаций, выполняющих эти функции, систематические наблюдения за защитными лесными насаждениями в крае не ведутся. Последняя полноценная инвентаризация защитных лесных насаждений в Ставропольском крае была проведена в 2003 г.

Так как защитные лесные насаждения располагаются на обширных площадях, рациональнее всего для их мониторинга использовать передовые системы обработки и визуализации данных – географические информационные системы (ГИС) и данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Для проведения исследования нами были разработаны методики для расчета морфометрических характеристик защитных лесных насаждений и анализа межполосных расстояний, а также методика картографирования защитной лесистости, которая позволяет провести пространственную дифференциацию территории по этому показателю, что значительно улучшает информативность карты. Особенностью представленных методик является использование как свободно распространяемых ГИС (QunatumGIS), так и коммерческих продуктов (ArcGIS). Методики детально описаны, что значительно облегчает их использование.

Целью исследования является анализ защитной лесистости территории и оптимальности расстояний между полезащитными лесными насаждениями в засушливой зоне Ставропольского края на основе данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении инвентаризации защитных лесных насаждений в Ставропольском крае в 2003 г. в качестве основных использовались полевые методы исследования. Они не позволяют оперативно обследовать обширные площади и требуют значительных затрат как материальных, так и трудовых ресурсов.

Современные технологии предоставляют большой спектр возможностей обработки и анализа данных. В различных регионах нашей страны для анализа состояния защитных лесных насаждений все чаще находят применение данные дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологии. Наиболее используемым является метод визуального дешифрирования [Родимцева и др., 2015; Петяева, 2013]. В отдельных регионах используется метод математической обработки данных ДЗЗ, ключевым моментом которого является использование мультиспектрального индекса NDVI [Богомазов и др., 2019].

Как один из центров, внесших наиболее ощутимый вклад во внедрение использования данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий для анализа защитных лесных насаждений, можно выделить Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (ФНЦ Агроэкологии РАН). [Рулев, 2007; Юфеев, 2009; Рулев и др., 2013]. Однако методы полевых наблюдений и измерений продолжают использоваться в различных регионах страны.

Опыт использования данных ДЗЗ и ГИС-технологий в других странах схож с методами, используемыми в России. Наиболее распространен метод визуального дешифрирования материалов космической съемки [Smith et al., 2020; Ghimire et al., 2014], но в некоторых странах встречаются и методы полевых наблюдений [Podhrázská et al., 2021].

Предлагаемая нами методика позволяет проводить основной объем работ в камеральных условиях, сочетая его с периодическими полевыми исследованиями для уточнения полученных результатов, что позволяет повысить оперативность выполнения работ и снизить затраты до 40 %.

Наблюдения, связанные с анализом и оценкой лесной растительности, как правило, сталкиваются с нехваткой достоверной информации, поскольку они могут значительно трансформироваться за короткий промежуток времени. Использование материалов космической съемки решает данную проблему. Космическая съемка позволяет оперативно полу-

чать достоверную географически координированную информацию о лесных насаждениях, что значительно повышает эффективность проведения подобных исследований.

В настоящее время популярность данных космической съемки растет. Становятся доступны как свободно распространяемые, так и требующие дополнительных вложений<sup>1,2</sup>, изображения с различным пространственным разрешением.

При проведении исследования использовались материалы дистанционного зондирования Земли со сверхвысоким пространственным разрешением, такие как GeoEye 1, WorldView 2 и 3. Работа с подобными данными стала возможна благодаря появлению картографических интернет-сервисов, например, Google Earth Pro, которые позволяют использовать космические снимки бесплатно и предоставляют удобный интерфейс для проведения векторизации и различных измерений. В подобных сервисах можно найти архивные снимки полугодичной давности – все зависит от территории исследования<sup>3</sup>.

Большая часть освоенной человеком поверхности Земли покрыта изображениями со сверхвысоким разрешением. В целом, пространственное разрешение космических снимков в Google Earth сильно различается в зависимости от территории и объектов, которые на ней расположены.

В качестве основных программных продуктов, которые применялись для обработки и анализа пространственных данных, следует выделить такие ГИС-программы, как ArcGIS и QGIS. В них реализован принципиально разный подход к распространению и использованию программы. В частности, ArcGIS относится к коммерческим программам, а QGIS распространяется под свободной лицензией.

ArcGIS – это программное обеспечение ГИС, с помощью которого пользователь может управлять данными и анализировать географическую информацию путем визуализации ряда статистических данных. ArcGIS позволяет проводить пространственный анализ, визуализацию карт, навигацию по данным и сбор географической информации в режиме реального времени с помощью инструментов управления и сбора данных<sup>4</sup>.

QGIS – это удобная для пользователя географическая информационная система с открытым исходным кодом, распространяемая под свободной лицензией, разработанная под эгидой Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). QGIS поддерживает многочисленные векторные, растровые форматы и форматы баз данных, обладает обширными возможностями для анализа<sup>5</sup>.

Технологическая схема исследования сохранности и эффективности защитных лесных насаждений в засушливой зоне центрального Предкавказья состоит из следующих этапов:

1. Векторизация ЗЛН.
2. Векторизация пашни.
3. Определение метрических характеристик ЗЛН.
4. Дифференциация ЗЛН по типам.
5. Определение типов почв.
6. Расчет межполосных расстояний.
7. Определение показателя защитной лесистости.
8. Построение картографических материалов.
9. Анализ полученных результатов.

<sup>1</sup> U.S. Geological Survey Электронный ресурс: <https://www.usgs.gov/> (дата обращения 02.03.2022).

<sup>2</sup> Copernicus Open Access Hub Электронный ресурс: <https://scihub.copernicus.eu/> (дата обращения 14.03.2022).

<sup>3</sup> Google Earth Электронный ресурс: <https://www.google.ru/intl/ru/earth/> (дата обращения 30.03.2022).

<sup>4</sup> ArcGIS Электронный ресурс: <https://www.esri.com/en-us/home> (дата обращения 02.04.2022).

<sup>5</sup> QGIS Электронный ресурс: <https://www.qgis.org/ru/site/> (дата обращения 02.04.2022).

Для достижения поставленных задач использовалась методика по анализу и картографированию защитных лесных насаждений, которая была разработана в лаборатории ГИС-технологий ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» [Антонов, 2020].

Исследование проводилось в засушливой зоне Ставропольского края. В данной зоне отмечаемые региональные климатические изменения могут нанести значительный ущерб почвенному покрову и ощутимо снизить эффективность сельскохозяйственного производства. Здесь наиболее остро проявляется рост экстремальности климата – увеличение вероятности возникновения засух и осадков ливневого характера [Шаповалов и др., 2021].

Данная зона протянулась с северо-запада на юго-восток края. В нее входит 9 муниципальных образований (МО): Ипатовский, Петровский, Благодарненский, Александровский, Новоселицкий, Буденновский, Советский, Степновский и Курский (рис. 1).

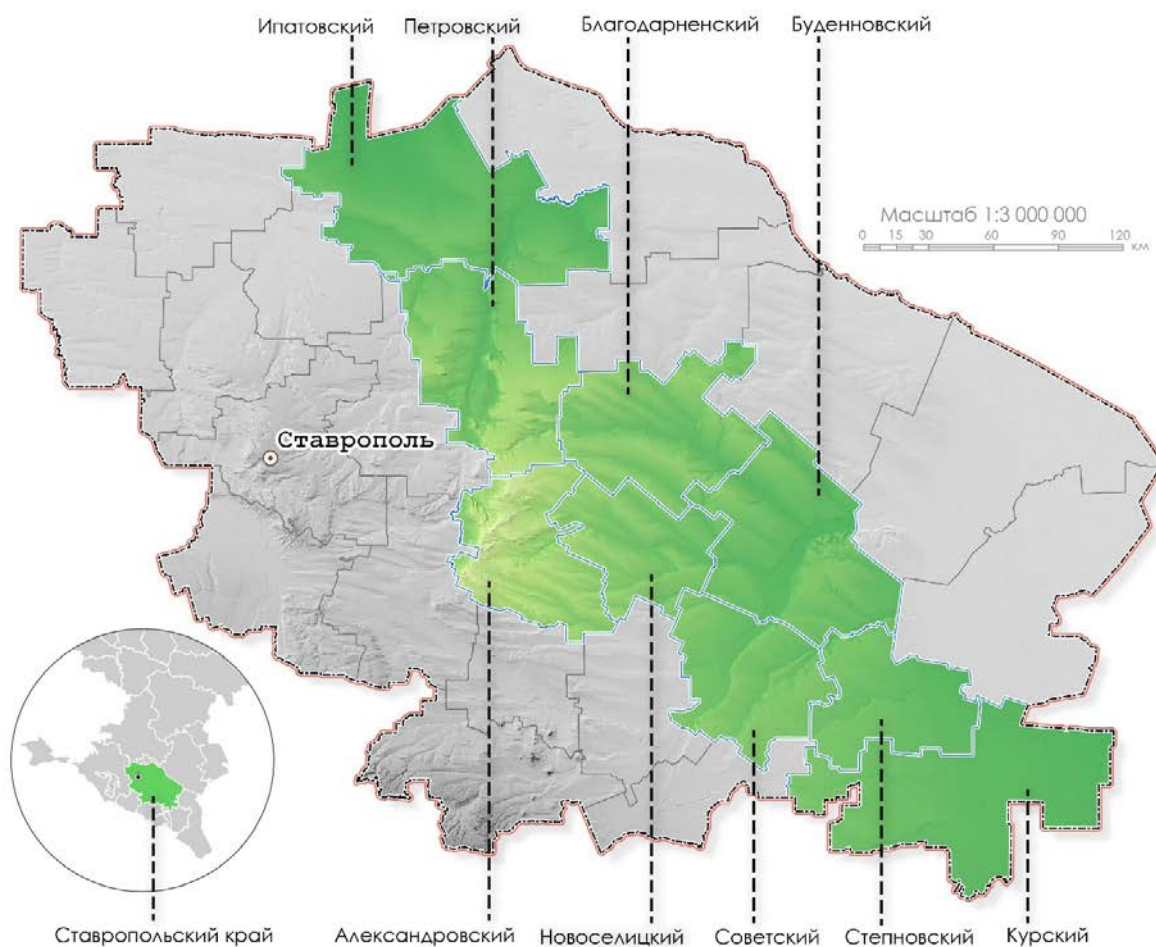


Рис. 1. Территория исследования

Fig. 1. Study area

Общая площадь территории исследования составляет более 23 тыс. км<sup>2</sup>. За счет растениеводческой специализации данной зоны площадь пашни превышает 1,6 млн. га<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Доклад о состоянии окружающей среды и природопользовании в Ставропольском крае. Электронный ресурс: <http://www.mpr26.ru/deyatelnost/otchety-doklady/o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy-i-prirodopolzovanii-v-stavropolskom-krae> (дата обращения 16.03.2022).

Данная территория характеризуется высокой степенью распаханности – 71 %. В целом орографическая составляющая местности представляет собой низменную равнину, расчлененную балками и речными долинами, переходящую в Терско-Кумскую низменность на востоке и Азово-Кубанскую низменность на западе. Но на отдельной территории встречаются отроги Ставропольской возвышенности (Александровское, Петровское МО) [Лыхварь, 2018]. Перепад высот – от 59 до 675 м над ур. м.

По результатам многолетних климатических наблюдений (1991–2020 гг.), данная местность входит в засушливую агроклиматическую зону, значение ее гидротермического коэффициента около 0.7. Сумма активных температур составляет 3743°C, среднегодовая температура – 10,4°C. Засушливая зона Ставропольского края входит в пояс со среднеконтинентальным типом климата. Преобладающим направлением в розе ветров является восточное<sup>1</sup>.

В засушливой зоне края преобладают каштановые типы почв (темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые), иногда встречаются засоленные участки (солонцы и солончаки) с различной глубиной залегания. В восточной части зоны встречаются легкосуглинистые участки. В западной части зоны выделяются территории с черноземами обыкновенными и черноземами южными.

На начальном этапе исследования была произведена оцифровка защитных лесных насаждений всех типов (приовражные, прибалочные и т.д.) и пахотных земель с помощью программы Google Earth Pro по данным за 2018–2019 гг. Распаханные участки, где прежде находились защитные лесные насаждения, и посадки внутри населенных пунктов не учитывались. Векторизация проводилась по прямым дешифровочным признакам. В результате было получено более 23 тыс. полигонов лесных насаждений (рис. 2) и более 19 тыс. полигонов пашни.

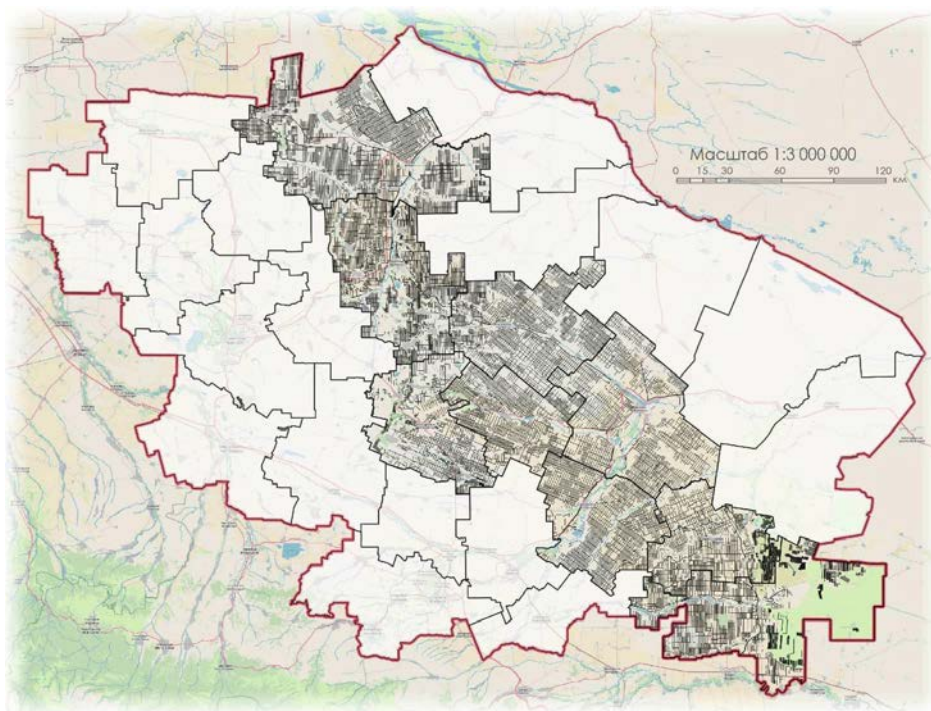


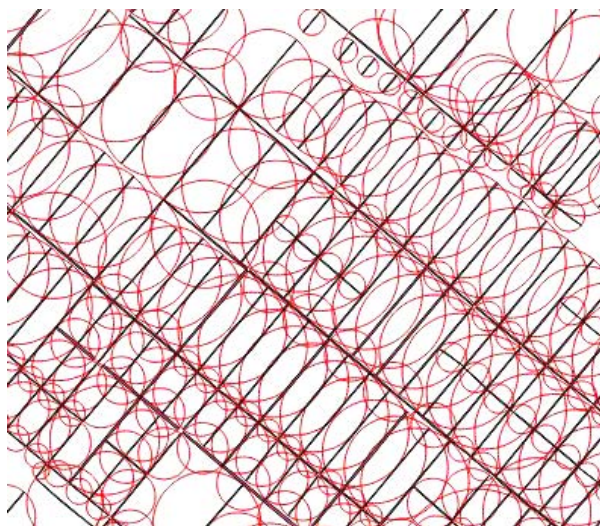
Рис. 2. Защитные лесные насаждения засушливой зоны Ставропольского края  
Fig. 2. Protective forest plantations of the arid zone of the Stavropol Territory

<sup>1</sup> АИС Агроклимат. Электронный ресурс: <http://climate.sniish.ru/> (дата обращения 20.02.2022).

Полученные данные были экспортированы в формате \*.kml / kmz. Для расчета метрических характеристик полученных объектов в программном комплексе ArcGIS с помощью инструментов Arc Tool Box была произведена конвертация из формата \*.kml / kmz в формат shapefile (\*.shp). Особенностью полученных с помощью программы Google Earth Pro данных является использования географической проекции GCS WGS 1984 (EPSG 4326). Для проведения расчетов метрических характеристик с помощью инструментов программы ArcGIS было сделано перепроецирование в метрическую проекцию координат WGS World Mercator (EPSG 3395).

Следующим этапом стал расчет метрических характеристик защитных лесных насаждений. При вычислении площади в атрибутивной таблице полигонов была создана колонка с форматом данных Double. При помощи инструмента «Расчет геометрии» была рассчитана площадь всех полигональных объектов.

В связи с особенностями формы ЗЛН (могут иметь различную ширину и форму) для вычисления их длины и ширины каждый полигон был вписан в окружность с помощью модуля «Минимальная ограничивающая геометрия» (рис. 3).



*Рис. 3. Результат использования модуля*  
*Fig. 3. The result of using the module*

Для полученных окружностей также была вычислена площадь. На основании рассчитанных метрических данных полигонов ЗЛН и окружностей был произведен расчет длины защитных лесных насаждений с помощью модуля «Калькулятор поля» (в поле таблицы атрибутов правой кнопкой по шапке столбца → Калькулятор поля). При расчете использовалось выражение для вычисления диаметра круга через площадь (1).

$$D = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}}, \quad (1)$$

где  $D$  – длина защитных лесных насаждений;  $S$  – площадь окружности.

При помощи «Калькулятора поля» с использованием выражения (2) была вычислена ширина защитных лесных насаждений.

$$L = S/D, \quad (2)$$

где  $L$  – ширина защитных лесных насаждений;  $D$  – длина защитных лесных насаждений;  $S$  – площадь защитных лесных насаждений.



Для оценки противодефляционной эффективности защитных лесных насаждений из набора полигональных объектов была проведена выборка полеззащитных лесных насаждений (основных), которые располагаются на территориях с уклоном не более  $2^\circ$  и перпендикулярно направлению наиболее вредоносных ветров и вдоль длинных сторон полей.

В агромелиорации существуют рекомендации, в которых определены оптимальные межполосные расстояния, соблюдение которых способствует наиболее эффективной защите почв от дефляции (табл. 1) [Родин и др., 2014].

Табл. 1. Межполосные расстояния относительно типов почв

Table. 1. Interstrip distances relative to soil types

Тип почвы	Расстояние (м)
Серые лесные, оподзоленные и выщелоченные черноземы	600
Типичные и обыкновенные черноземы	500
Южные черноземы	400
Темно-каштановые	350
Светло-каштановые	250
Песчаные	250

При определении типов почв использовались почвенные карты, подготовленные Ставропольским НИИ Гипрозем, которые были привязаны и оцифрованы в программе ArcGIS.

После получения данных о пространственном положении всех полеззащитных лесных насаждений были построены центры полигонов – центроиды (ArcToolBox → Управление данными → Пространственные объекты → Объект в точку).

Далее было проанализировано расстояние до ближайшего центроида с использованием модуля «Ближайший сосед» (ArcToolBox → Анализ → Близость → Ближайший сосед). На основании полученных расстояний и при наложении почвенной карты были определены насаждения, которые располагаются на рекомендованных расстояниях.

На следующем этапе был проведен расчет и картографирование защитной лесистости территории. Все вычисления велись в ГИС-программе QGIS.

С помощью функции Add geometry attributes была рассчитана площадь пашни. На основании полученных данных о площади пашни и площади защитных лесных насаждений через отношение площади ЗЛН к площади пашни был произведен расчет защитной лесистости территории. Полученные результаты носят общий характер и не отражают территориальные особенности распределения защитной лесистости.

Для более точного анализа защитной лесистости использовался гексагональный метод картографирования. С помощью модуля «Создать сетку» (ToolBox → Создание векторных объектов → Создать сетку) была создана регулярная сетка шестиугольников.

На следующем этапе необходимо было разрезать пашни и защитные лесные насаждения регулярной сеткой шестиугольников и вычислить площади для полученных разрезанных участков. Для разрезания использовался модуль «Пересечение» (Вектор → Геообработка → Пересечение). При помощи модуля «Add geometry attributes» рассчитаны площади ЗЛН и пашни. При вычислении в поле «Использовать систему координат» важно указать параметр «Эллипсоидный» (Вектор → Обработка геометрии → Add geometry attributes). В результате в атрибутивную таблицу было добавлено несколько полей, одно из которых называется «area» и в нем хранятся данные о площади объекта.

Далее для разрезанных слоев пашни и ЗЛН были построены геометрические центры полигонов – центроиды (ToolBox → Векторная геометрия → Центроиды). Для дальнейшего расчета необходимо провести операцию пространственного соединения центроидов и сетки шестиугольников. Для этого был использован модуль «Пространственное соединение (summary)» (ToolBox → Vector general → Пространственное соединение (summary)). При данном вычислении важно указать параметры: для поля «Геометрический предикат» – параметр «contains», в поле «Fields to summarize» указать столбец с площадью, в поле «Summarises to calculate» установить параметр «Сумма». Этот расчет необходимо выполнить для слоев с центроидами пашни и ЗЛН. В результате был получен слой шестиугольников с добавленной информацией о площади пашни и полезащитных лесных насаждений в каждом гексагоне.

Завершающим этапом стал расчет защитной лесистости с помощью модуля «Калькулятор полей» (Таблица атрибутов → Открыть калькулятор полей) с использованием формулы 3.

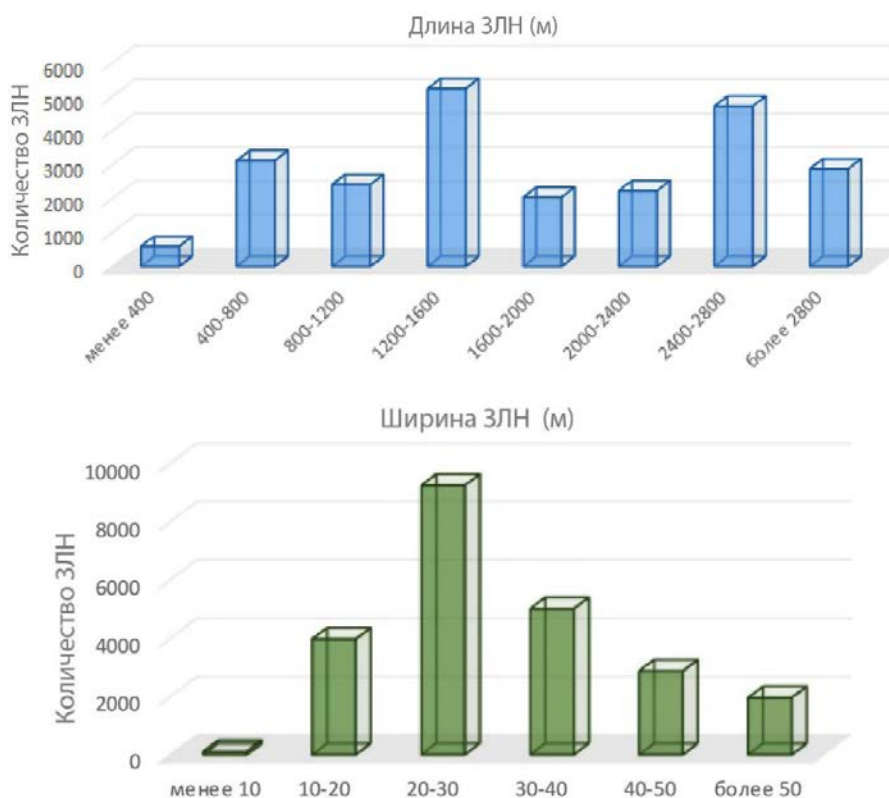
$$A = \left( \frac{S_{\text{ЗЛН}}}{S_{\text{пашни}}} \right) \cdot 100. \quad (3)$$

В результате создан столбец со значениями защитной лесистости территории. Но на данном этапе построение карты невозможно, поскольку не получится отделить гексагоны, в которых нет ЗЛН, но есть пашня, от гексагонов, в которых нет ни ЗЛН, ни пашни. Для решения данной проблемы в модуле «Калькулятор полей» был использован запрос «if (“столбец площади пашни” IS NOT NULL AND “столбец площади ЗЛН” IS NULL, 0, “столбец защитной лесистости”)». В результате в атрибутивных ячейках гексагонов с пашней и без защитных лесных насаждений присвоено значение «0», а гексагонам без ЗЛН и без пашни присвоен атрибут «NULL». Таким образом были подготовлены все необходимые данные для картографирования защитной лесистости.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате пространственного анализа установлено, что суммарная площадь сохранившихся защитных лесных насаждений в засушливой зоне Ставропольского края составляет 72 тыс. га, при этом по отдельным административным единицам значения колеблются от 4,5 тыс. га в Новоселицком муниципальном образовании (МО) до 13,4 тыс. га в Ипатовском муниципальном образовании. Средняя длина насаждений составляет 1925 м, средняя ширина – 32 м. По результатам наблюдений установлено, что 79 % ЗЛН имеют ширину от 10 до 40 м. Полученные результаты свидетельствуют о превышении в отдельных случаях ширины насаждений относительно проектируемых значений, что вызвано значительным разрастанием крон, для которых необходимо проводить рубки ухода (рис. 4).

На основании полученных метрических данных, в результате дифференциации по функциональным типам была произведена выборка основных полезащитных лесных насаждений (ПЗЛН). Основными ЗЛН являются насаждения, имеющие длину в пределах от 800 до 2000 м и располагающиеся на участках с крутизной в диапазоне 1,5 – 2°, а также ориентированные перпендикулярно направлению вредоносных ветров [Балакай, 2016]. Для данной территории преобладающим типом являются именно основные ЗЛН – 56 %. Следовательно, защитные лесные насаждения используются на территории исследования в основном для защиты от дефляции.

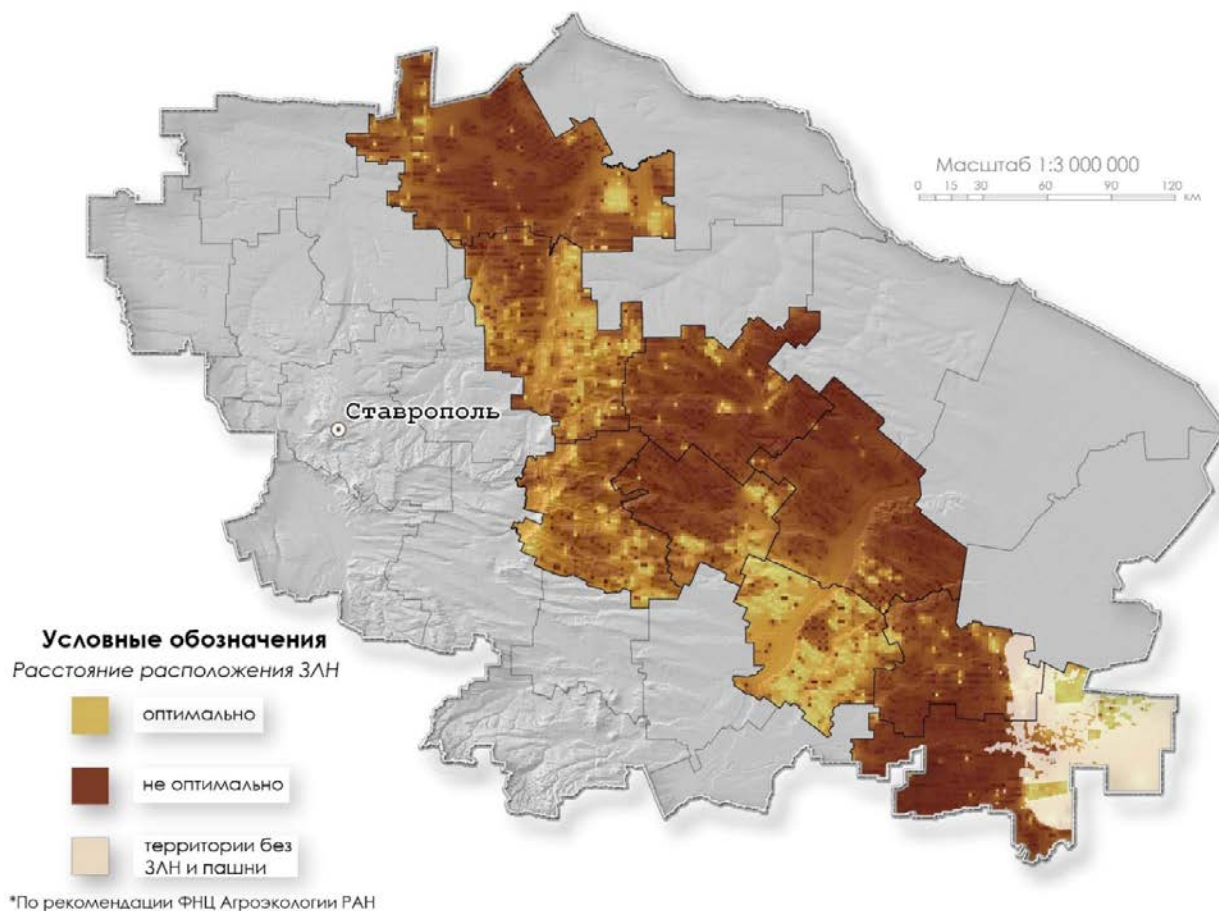


*Рис. 4. Распределение метрических характеристик защитных лесных насаждений*  
*Fig. 4. Distribution of metric characteristics of protective forest plantations*

По результатам пространственного анализа были определены участки территории, на которых отмечается снижение эффективности защитных лесных насаждений. В результате были выделены области, в которых расстояние между основными полезащитными лесными насаждениями превышает рекомендованные значения (рис. 5).

На территории исследования только 26 % полезащитных лесных насаждений расположены на рекомендованных расстояниях. Наиболее остро данная проблема стоит в 5 территориальных единицах засушливой зоны края: Благодарненский, Буденновский, Ипатовский, для них характерны значения менее 12 %. Наибольший процент насаждений, расположенных на оптимальных расстояниях, отмечается в Советском муниципальном образовании – 69 %.

Основными причинами данной проблемы являются гибель деревьев вследствие естественных (достижение ими предельного возраста) или антропогенно-хозяйственных причин (сжигание стерни, вырубка насаждений в слабогазифицированных районах, расширение пахотных угодий за счет выкорчевывания). Неоптимальность межполосных расстояний на территории засушливой зоны Ставропольского края может быть связана с использованием нормативов 1952 г., согласно которым рекомендованные расстояния составляли 1000 м [Молчанов, 1966].



*Рис. 5. Оптимальность межполосных расстояний в засушливой зоне Ставропольского края*

*Fig. 5. Optimality of interband distances in the arid zone of the Stavropol Territory*

Одним из важнейших показателей для регионов с высокой сельскохозяйственной нагрузкой является защитная лесистость территории. Соотношение площади пашни и многолетних насаждений (в том числе и лесов) определяется именно этим показателем. Особенности оптимальности данного показателя проявляются в зональной структуре территории. Согласно рекомендациям «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН» значение лесистости составляет [Абакумова и др., 2004]:

- лесная зона – 2,0–2,4 %;
- лесостепная зона – 2,3–2,6 %;
- степная зона – 2,8–3,6 %;
- сухостепная зона – 3,8–4,8 %.

Засушливая зона Ставропольского края относится к сухостепной зоне. Для нее рекомендованное значение защитной лесистости должно находиться в интервале 3,8–4,8 %, что является нижней границей рекомендаций. По результатам анализа определены 5 территориальных единиц края, где отмечается недостаточная лесистость территории: Степновский, Буденновский, Новоселицкий, Советский, Ипатовский МО (табл. 2).

Табл. 2. Защитная лесистость засушливой зоны Ставропольского края  
 Table 2. Protective forest cover of the arid zone of the Stavropol Territory

Название	Защитная лесистость
Александровский	4,3
Благодарненский	4,9
Буденновский	2,5
Ипатовский	3,7
Курский	3,9
Новоселицкий	3,0
Петровский	5,3
Советский	3,6
Степновский	2,2
Засушливая зона	3,8

Наиболее остро данная проблема стоит в Степновском муниципальном образовании, где лесистость составляет всего 2,2 % при норме 3,8–4,8 %. Распределение защитной лесистости внутри муниципального образования может носить локальный характер (рис. 6). Согласно полученным данным, выделяются локальные участки в Александровском, Ипатовском, Буденновском, Курском муниципальных образованиях. В основном снижение защитной лесистости происходит за счет неконтролируемой распашки сенокосов и пастбищ, а также гибели насаждений.

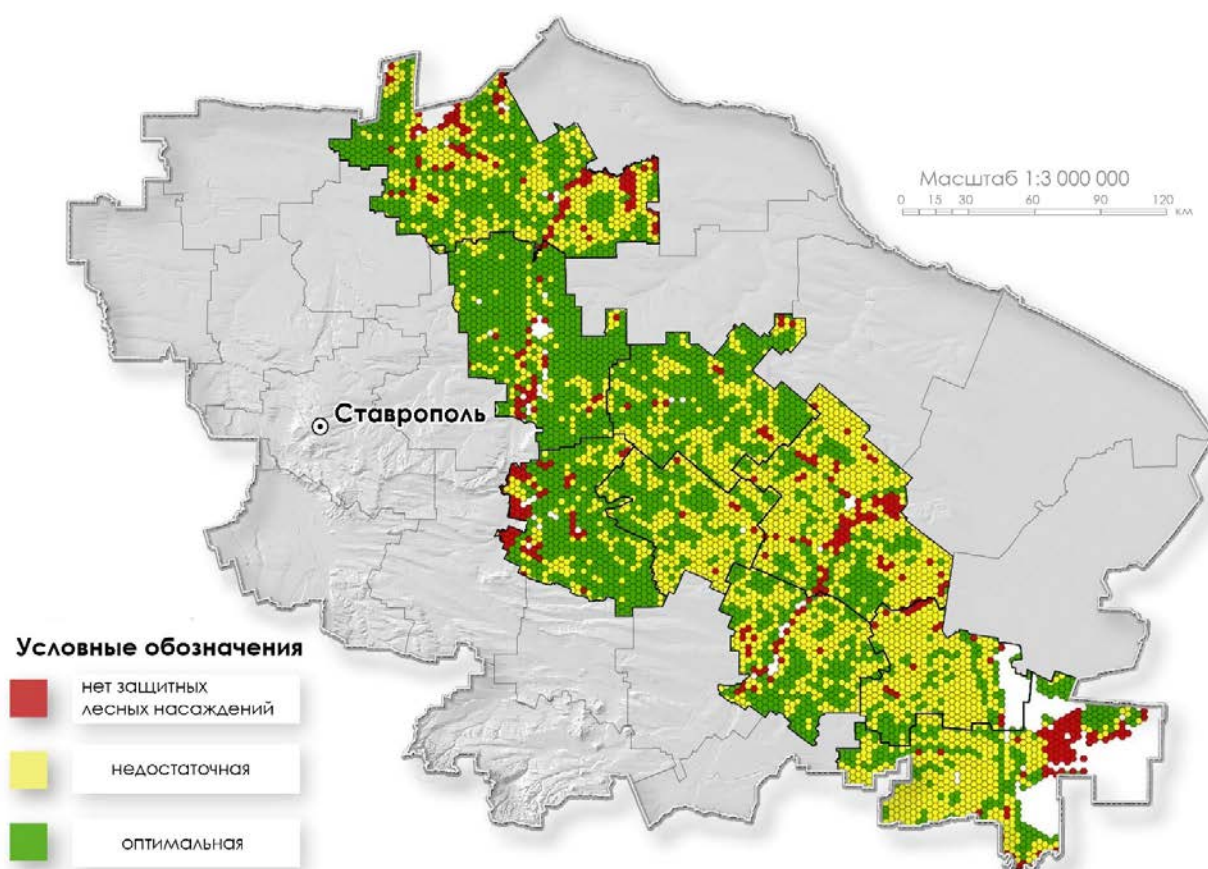


Рис. 6. Защитная лесистость засушливой зоны Ставропольского края  
 Fig. 6. Protective forest cover of the arid zone of the Stavropol Territory

## ВЫВОДЫ

Использование данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий позволяет оперативно, в сравнении с полевыми исследованиями, проводить оценку защитной лесистости территории и анализировать расстояния между полезащитными лесными насаждениями.

Современные геоинформационные технологии позволяют значительно расширить перечень анализируемых показателей для оценки эффективности защитных лесных насаждений за счет использования возможностей моделирования различных природных объектов и процессов, таких как поверхностный сток, направление и скорость ветра, особенности рельефа.

В дальнейшем роль геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли в подобных исследованиях будет возрастать, а полевых методов – снижаться.

На основе разработанной технологической схемы картографирования получена карта проблемных участков защитных лесных насаждений на территории исследования, которая может быть использована при планировании мероприятий по агролесомелиоративному обустройству территорий муниципальных образований.

Использованные методические подходы могут быть адаптированы для любого аграрного региона Российской Федерации с учетом его почвенных, климатических и отраслевых особенностей в рамках реализации концепции перехода на адаптивно-ландшафтные системы земледелия, которая принята во многих аграрных регионах России.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абакумова Л.И., Аверьянов О.А., Архангельская Г.П. и др.* Энциклопедия агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 675 с.
2. *Антонов С.А.* Динамика линейной водной эрозии на пашне Ставропольского края по результатам дистанционного мониторинга. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 5 (85). С. 12–17.
3. *Антонов С.А.* Изменение засушливости территории Ставропольского края за последние 50 лет (1969–2018 гг.). Сельскохозяйственный журнал. 2019. № 2 (12). С. 6–12. DOI: 10.25930/001.2.12.2019.
4. *Антонов С.А.* Пространственный анализ и картографирование защитных лесных насаждений: методические рекомендации. Ставрополь: Сервисшкола, 2020. 83 с.
5. *Балакай Н.И.* Функциональное назначение защитных лесных насаждений, их размещение и конструкции. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 2 (62). С. 63–69.
6. *Богомазов С.В., Балакирева О.С., Ефремова Е.В., Ткачук О.А., Лянденбургская А.В., Левин А.А.* Инвентаризация защитных лесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения. Нива Поволжья. 2019. № 4 (53). С. 73–76.
7. *Ерусалимский В.И., Рожков В.А.* Многофункциональная роль защитных лесных насаждений. Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. М.: Почвенный институт, 2017. № 88. С. 121–138.
8. *Лыхварь А.В.* К истории изучения степной флоры Центрального Предкавказья. Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. № 27 (4). С. 116–122. DOI: 10.24411/2073-1035-2018-10152.
9. *Молчанов А.А.* Оптимальная лесистость. Академия наук СССР. М.: Наука, 1966. 127 с.
10. *Петяева Е.В.* Пути мониторинга лесных насаждений Калмыкии. Вестник ИКИАТ. 2013. № 1 (26). С. 60–62.

11. Родимцева А.В., Несват А.П. Дистанционная оценка и картографирование агроландшафтов Южного Урала. Известия ОГАУ. 2015. № 3 (53). С. 14–16.
12. Родин А.Р., Васильев С.Б., Силаев Г.В. Лесомеарация ландшафтов: учебник. М.: ФГБЦУ ВПО МГУЛ, 2014. 192 с.
13. Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Кошелев А.В., Рулева О.В. Методика применения ГИС Map-Info в агролесомелиоративном картографировании. Известия НВ АУК. 2013. № 2 (30).
14. Рулев А.С. Ландшафтно-географический подход в агролесомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2007. 160 с.
15. Шаповалов Д.А., Фомин А.А., Савинова С.В., Ключин П.В. Агроклиматические условия центральных степных ландшафтов Ставропольского края по данным наземных наблюдений. Московский экономический журнал. 2021. № 12 (25). DOI: 10.24412/2413-046X-2021-10708.
16. Юфев В.Г. Агрлесомелиоративное картографирование и моделирование дегра-дационных процессов на основе аэрокосмического мониторинга и геоинформационных технологий: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2009.
17. Ghimire K., Dulin M.W., Atchison R.L., Goodin D.G., Hutchinson J. Identification of windbreaks in Kansas using object-based image analysis, GIS techniques and field survey. Agroforestry Systems. 2014. Vol. 88 (5). P. 1–11. DOI: 10.1007/s10457-014-9731-4.
18. Podhrázská J., Kučera J., Doubrava D., Doležal P. Functions of Windbreaks in the Landscape Ecological Network and Methods of Their Evaluation. Forests, 2021. Vol. 12 (1). DOI: 10.3390/f12010067.
19. Smith M., Bentrup G., Kellerman T., MacFarland K., Straight R., Ameyaw L. Windbreaks in the United States: A systematic review of producer-reported benefits, challenges, management activities and drivers of adoption. Agricultural Systems. 2021. Vol. 187. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.103032.

## REFERENCES

1. Abakumova L.I., Averyanov O.A., Arkhangelskaya G.P., et al. Encyclopedia of agroforestry. Volgograd: VNIALMI, 2004. 675 p. (in Russian).
2. Antonov S.A. Dynamics of linear water erosion on the arable land of the Stavropol Territory based on the results of remote monitoring. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2020. Vol. 85 No. 5. P. 12–17 (in Russian).
3. Antonov S.A. Changes in the aridity of the territory of the Stavropol Territory over the past 50 years (1969–2018). Agricultural magazine, 2019. Vol. 12. No. 2. P. 6–12 (in Russian).
4. Antonov S.A. Spatial analysis and mapping of protective forest plantations: guidelines. Stavropol: Servisshkola, 2020. 83 p. (in Russian).
5. Balakai N.I. Functional purpose of protective forest plantations, their placement and design. Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2016. Vol. 62. No. 2. P. 63–69 (in Russian).
6. Bogomazov S.V., Balakireva O.S., Efremova E.V., Tkachuk O.A., Lyandenburgskaya A.V., Levin A.A. Inventory of protective forest plantations on agricultural land. Niva Volga region. 2019. Vol. 53. No. 4. P. 73–76 (in Russian).
7. Erusalimsky V.I., Rozhkov V.A. Multifunctional role of protective forest plantations. Bulletin of the Soil Institute named after V.V. Dokuchaev. Moscow: Soil Institute, 2017. No. 88. P. 121–138 (in Russian).
8. Ghimire K., Dulin M.W., Atchison R.L., Goodin D.G., Hutchinson J. Identification of windbreaks in Kansas using object-based image analysis, GIS techniques and field survey. Agroforestry Systems. 2014. Vol. 88 (5). P. 1–11. DOI: 10.1007/s10457-014-9731-4.

9. *Lykhvar A.V.* On the history of the study of the steppe flora of the Central Ciscaucasia. Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology. 2018. No. 27. P. 116–122 (in Russian).
  10. *Molchanov A.A.* Optimal woodiness. USSR Academy of Sciences. Moscow: Nauka, 1966. 127 p. (in Russian).
  11. *Petyaeva E.V.* Ways of monitoring forest plantations in Kalmykia. Vestnik IKIAT. 2013. Vol. 26. No. 1. P. 60–62 (in Russian).
  12. *Podhrázská J., Kučera J., Doubrava D., Doležal P.* Functions of Windbreaks in the Landscape Ecological Network and Methods of Their Evaluation. Forests, 2021. Vol. 12 (1). DOI: 10.3390/f12010067.
  13. *Rodimtseva A.V., Nesvat A.P.* Remote assessment and mapping of agricultural landscapes of the Southern Urals. Izvestiya OGAU. 2015. Vol. 53. No. 3. P. 14–16 (in Russian).
  14. *Rodin A.R., Vasiliev S.B., Silaev G.V.* Landscape forest measurement: a textbook. Moscow: FGBSCHU VPO MGUL, 2014. 192 p. (in Russian).
  15. *Rulev A.S., Kosheleva O.Yu., Koshelev A.V., Ruleva O.V.* The method of using MapInfo GIS in agroforestry mapping. Izvestia NV AUK. 2013. Vol. 30. No. 2 (in Russian).
  16. *Rulev A.S.* Landscape-geographical approach in agroforestry. Volgograd: VNIALMI, 2007. 160 p. (in Russian).
  17. *Shapovalov D.A., Fomin A.A., Savinova S.V., Klyushin P.V.* Agro-climatic conditions of the central steppe landscapes of the Stavropol Territory according to ground-based observations. Moscow Economic Journal. 2021. Vol. 25. No. 12. DOI: 10.24412/2413-046X-2021-10708 (in Russian).
  18. *Smith M., Bentrup G., Kellerman T., MacFarland K., Straight R., Ameyaw L.* Windbreaks in the United States: A systematic review of producer-reported benefits, challenges, management activities and drivers of adoption. Agricultural Systems. 2021. Vol. 187. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.103032.
  19. *Yuferev V.G.* Agroforest reclamation mapping and modeling of degradation processes based on aerospace monitoring and geoinformation technologies. PhD dissertation abstract. Volgograd, 2009 (in Russian).
-