

А.В. Кошелев<sup>1</sup>, М.О. Шатровская<sup>2</sup>

## АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ДАННЫХ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

### АННОТАЦИЯ

В настоящее время экономически нецелесообразно применение наземных методов инвентаризации лесных насаждений, поскольку масштаб и актуальность данного процесса значительно возросли, а это требует оперативности в решении задач распознавания по аэро- и космическим изображениям защитных лесных полос и проведения их дешифрирования. Таким образом, для составления рекомендаций по лесомелиоративным мероприятиям, направленным на повышение долговечности лесных насаждений, необходимо использовать имеющиеся данные дистанционного зондирования и современные ГИС-технологии при обследовании защитных лесных насаждений. Применение современных технологий позволит более качественно проводить оценку состояния лесонасаждений на территории Волгоградской области. Использование в исследованиях свободной бесплатной десктопной географической информационной системы QGIS демонстрирует ряд возможностей, в частности, дешифрирования современного состояния и проведения цифрового инвентаризационного картографирования защитных лесных насаждений на основе ГИС-технологий и аэрокосмических методов. Впоследствии полученные данные будут применены в разработке методов и принципов, обоснованных научно и направленных на рациональное использование ресурсов и нормирования антропогенных воздействий на агролесоландшафты региона. Исследование проводилось в южной части Иловлинского района Волгоградской области, расположенной в подзоне каштановых почв на тестовом участке «Качалино». По итогу выполненного исследования применение QGIS позволило осуществить дешифрирование защитных лесных насаждений, с целью определения их пространственного размещения, количества, видового и структурного состава. На заложенных площадках были составлены основные эталонные схемы породного смешения и выявлены ключевые признаки защитных лесных полос при дешифрировании. Осуществлено картографирование лесного фонда на основе данных, полученных в ходе визуального и инструментального дешифрирования. Полученные результаты станут основой для разработки региональной агролесомелиоративной геоинформационной системы, необходимой для обновления имеющихся лесных карт, проведения мониторинга состояния лесных насаждений и планирования различных лесохозяйственных мероприятий, направленных на эффективное управление агролесомелиоративным фондом Волгоградской области.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** картография, агролесомелиорация, защитные лесные насаждения, дешифровочные признаки, ГИС

---

<sup>1</sup> Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (ФНЦ Агроэкологии РАН), Университетский проспект, д. 97, 400062, Волгоград, Россия; *e-mail*: alexkosh@mail.ru

<sup>2</sup> Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (ФНЦ Агроэкологии РАН), проспект Университетский, д. 97, 400062, Волгоград, Россия; *e-mail*: shatrovskayam@vfanc.ru

**Alexander V. Koshelev<sup>1</sup>, Maria O. Shatrovskaya<sup>2</sup>**

## **AGROFORESTRY ASSESSMENT OF PROTECTIVE FOREST STANDS USING REMOTE DATA AND GEOINFORMATION TECHNOLOGIES**

### **ABSTRACT**

At present, it is not economically feasible to use ground methods for inventorying forest plantations, since the scale and relevance of this process have increased significantly, which requires promptness in solving problems of recognizing protective forest belts from aero and space images and deciphering them. From this it follows that in order to draw up recommendations on forest reclamation measures aimed at increasing the durability of forest plantations, it is necessary to use the available remote sensing data and modern GIS technologies when examining protective forest plantations. The use of modern technologies will allow for a more qualitative assessment of the state of forest plantations in the Volgograd region. The use of the free desktop geographic information system QGIS in research demonstrates a number of possibilities, in particular, deciphering the current state and conducting digital inventory mapping of protective forest plantations based on GIS technologies and aerospace methods. Subsequently, the obtained data will be applied in the development of methods and principles that are scientifically substantiated and aimed at the rational use of resources and the regulation of anthropogenic impacts on the agroforest landscapes of the region. The study was carried out in the southern part of the Ilovinsky District of the Volgograd region, located in the subzone of chestnut soils on the Kachalino test site. As a result of the study, the use of QGIS made it possible to decipher protective forest plantations in order to determine their spatial distribution, quantity, species and structural composition. On the laid out sites, the main reference schemes of rock mixing were compiled and key signs of protective forest belts were identified during interpretation. The mapping of the forest fund was carried out on the basis of data obtained in the course of visual and instrumental interpretation. The results obtained will become the basis for the development of a regional agroforestry reclamation geoinformation system necessary for updating existing forest maps, monitoring the state of forest plantations and planning various forest management activities aimed at the effective management of the agroforestry fund of the Volgograd region.

**KEYWORDS:** cartography, agroforestry, protective forest stands, canopy, deciphering signs, GIS

---

<sup>1</sup> Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FSC of Agroecology RAS), Universitetskiy avenue, 97, 400062, Volgograd, Russia; *e-mail:* alexkosh@mail.ru

<sup>2</sup> Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FSC of Agroecology RAS), Universitetskiy avenue, 97, 400062, Volgograd, Russia; *e-mail:* shatrovskayam@vfanc.ru

## ВВЕДЕНИЕ

Размещение защитных лесных насаждений (ЗЛН) по границам полей позволяет сформировать устойчивые агроландшафты [Barlow *et al.*, 2010; Котлярова, 2014; Кулик, 2016; Haddaway, 2016]. К сожалению, современное состояние полезащитных лесных полос в большинстве своем неудовлетворительное, это вызвано как природно-климатическими факторами, так и антропогенными [Кулик, Кошелев, 2017; Ткаченко, Кошелев, 2017]. В связи с этим остро стоит вопрос о необходимости проведения комплекса мероприятий лесохозяйственной направленности, позволяющих сохранить полезащитные лесные полосы и восстановить их утраченные функции.

Совокупная лесистость по всем районам Волгоградской области за последние десять лет стремительно снижается и в настоящее время, в сравнении с обоснованными научно нормами, сократилась в 2–3 раза [Кулик *и др.*, 2017]. Для исправления сложившейся ситуации на всей территории области необходимо провести агролесомелиоративную оценку лесных насаждений, осуществить проверку их состояния и определить перечень необходимых мероприятий, направленных на предотвращение процессов деградации и их восстановление [Манаенков, 2016]. В связи с этим актуальность и значимость проводимых исследований очевидна и несомненна, так как на пике находится потребность в инвентаризации ЗЛН как стратегически важного элемента аграрного производства региона, обеспечивающего экологическую стабильность и защиту при выращивании сельскохозяйственной продукции и повышении плодородия почв.

Дистанционное зондирование Земли широко изучается и применяется в лесном хозяйстве для различных задач [Жарко *и др.*, 2018; Чимитдоржиев, 2018; Балашов *и др.*, 2020; Терехин, 2020]. Развитие цифровых технологий способствовало совершенствованию современных космических снимков до уровня аэрофотоснимков с точки зрения спецификации объектов [Рулев *и др.*, 2014; Журилин *и др.*, 2018; Haddaway, 2016]. Таким образом, космоснимки в настоящее время обладают достаточно высоким разрешением, что позволяет им по детализированности стоять в одном ряду с аэроснимками, что подтверждается работами В.И. Кравцовой [Кравцова, Ложкарева, 2010; Кравцова, 2013]. Помимо этого еще одной примечательной возможностью космоснимков является факт их практически непрерывного получения [Franklin, 2001; Рулев *и др.*, 2014].

Целью данных исследований являлось картографирование и дешифрирование современного состояния ЗЛН и проведение их цифрового инвентаризационного картографирования с использованием аэрокосмических методов исследований и ГИС-технологий для последующей работы по научному обоснованию методов управления и нормирования антропогенных воздействий на агролесоландшафты региона.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований является тестовый участок «Качалино», площадью – 3950 га, расположенный в южной части Иловлинского района Волгоградской области в подзоне каштановых почв. Тестовый участок представлен солонцами и каштановыми солонцовыми разностями.

С 1985 по 1992 гг. на тестовом участке «Качалино» создавались четырехрядные лесные полосы. Лесообразующими породами внешних рядов являлся кустарник, представленный шиповником и смородиной золотистой. Внутренние ряды состояли из следующих лесообразующих пород: гледичия бесколочковая, вяз приземистый, робиния псевдоакация и дуб черешчатый. Междурядная ширина в ЗЛН равна 3 м.

В двух ЗЛН, состоящих из вяза приземистого во внутренних рядах и кустарника (шиповника и смородины золотистой) во внешних, были заложены ключевые участки.

Примечательно, что при проведении исследований было выявлено несоответствие в количестве рядов. Так, вместо заявленной четырехрядной полосы по факту оказалась полоса двухрядная, с размещением кустарника (шиповника и смородины золотистой) в ряду между основными лесообразующими породами.

Методика, применяемая в исследованиях, основана на геоинформационных средствах картографирования и данных дистанционных исследований [Кулик и др., 2003; Кулик и др., 2009].

В работе используется методология, позволяющая осуществлять геоинформационное моделирование ЗЛН Волгоградской области в агроландшафтах, а также применять дистанционную оценку лесистости. Данная методология имеет в основе трехуровневый анализ систем лесных полос в рамках административно-территориальных единиц (рис. 1).

Первый этап, включающий в себя предварительное дешифрирование, позволяет определить типичные для объекта исследований преобладающие проекты и планы смешения породного состава лесного насаждения. Помимо этого на данном этапе устанавливается возраст и конструкция изучаемого ЗЛН и проводится анализ тематических карт соответствующего масштаба, что выявляет различные пространственные закономерности и взаимосвязи. По причине большого объема имеющихся данных первоначально был создан векторный слой и выполнено визуальное дешифрирование космоснимков ЗЛН тестового участка «Качалино». Общая площадь объектов дешифрирования составила 1927,810 га, из которых 1501,861 га – фактическая площадь ЗЛН на данный момент времени, и 425,949 га приходится на потери ЗЛН от различного рода негативных факторов. Количество дешифрированных объектов суммарно составляет 5719 шт.



Рис. 1. Этапы дистанционной оценки ЗЛН

Fig. 1. Stages of remote assessment of PFP

Стандартный космоснимок ЗЛН, являясь двумерным изображением, транслирует проекцию разнообразных видов древесной растительности по аэрокосмическому изображению в общем объеме лесной полосы. В основе проекции лежит полог древесно-кустарниковой растительности, сформированный общностью отдельных крон, различающихся между собой размерами, формой и тоновому диапазону (рис. 2).

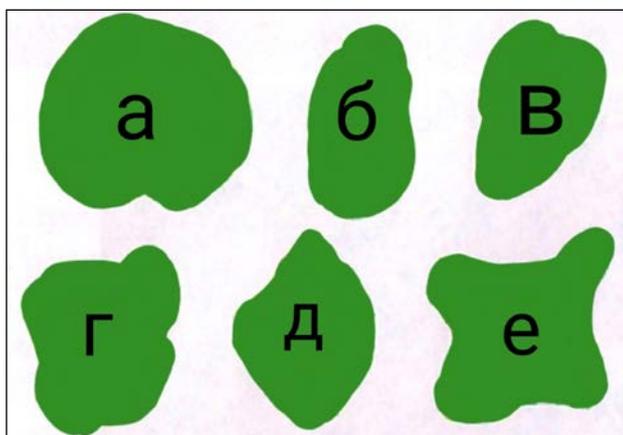


*Рис. 2. Защитная лесная полоса в горизонтальной проекции*

*Fig. 2. Protective forest strip in horizontal projection*

Учитывая, что формы проекций крон в пределах одного древостоя способны варьировать в достаточно широких пределах, то для анализа проекций крон в работе применялась классификация Г.Г. Самойловича. Причем, для упрощения анализа по характеристике крон были выбраны лишь основные типы форм, включающие: округлые (а), эллипсовидные (б), сжатые односторонне (в), неправильные (г), ромбовидные (д), узорчатые (е) (рис. 3).

В результате полевого эталонирования определяется схема посадки и схема смешения, а также породный состав, возраст, конструкция, сомкнутость, высота и лесоводственно-мелиоративная оценка.



*Рис. 3. Основные формы проекций крон*

*Fig. 3. The main forms of crown projections*

По итогу составляются эталоны преобладающих схем смешения на тестовом участке. На основе установленных ранее признаков дешифрирования и разработанных эталонов по космоснимкам был определен древесный состав тестовых участков ЗЛН. Состав древесных пород устанавливался, исходя из таких признаков, как: тона на космоснимке, формы крон горизонтальной проекции. Стоит отметить, что в зависимости от древесной породы эти признаки проявляются по-разному, что позволяет идентифицировать каждый вид.

В процессе инвентаризации при характеристике состояния ЗЛН применялась 6-балльная шкала академика Е.С. Павловского, используемая для лесоводственно-мелиоративной оценки насаждений, с целью определения их таксационных, мелиоративных и лесоводственных показателей.

В процентах от общей площади ЗЛН устанавливается сохранность насаждения, характеризующаяся наличием выпадов по всему периметру объекта. Установить сохранность ЗЛН позволяет анализ, определяющий плотность полога по распределению пикселей на космоснимке. Было оценено состояние системы ЗЛН, охарактеризованы такие параметры как защищенность и лесистость пашни.

На основе космоснимков на последнем этапе была создана геоинформационная база данных, в основу которой легли данные таксационно-мелиоративных показателей ЗЛН. Наличие геоинформационной базы данных в будущем позволит провести геоинформационное картографирование выбранных участков.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве объекта исследования были выбраны ЗЛП, расположенные в агролесоландшафтах Волгоградской области в зоне каштановых почв. Современное состояние лесных полос изучалось на тестовом участке в агролесоландшафте Иловлинского района области (рис. 4).

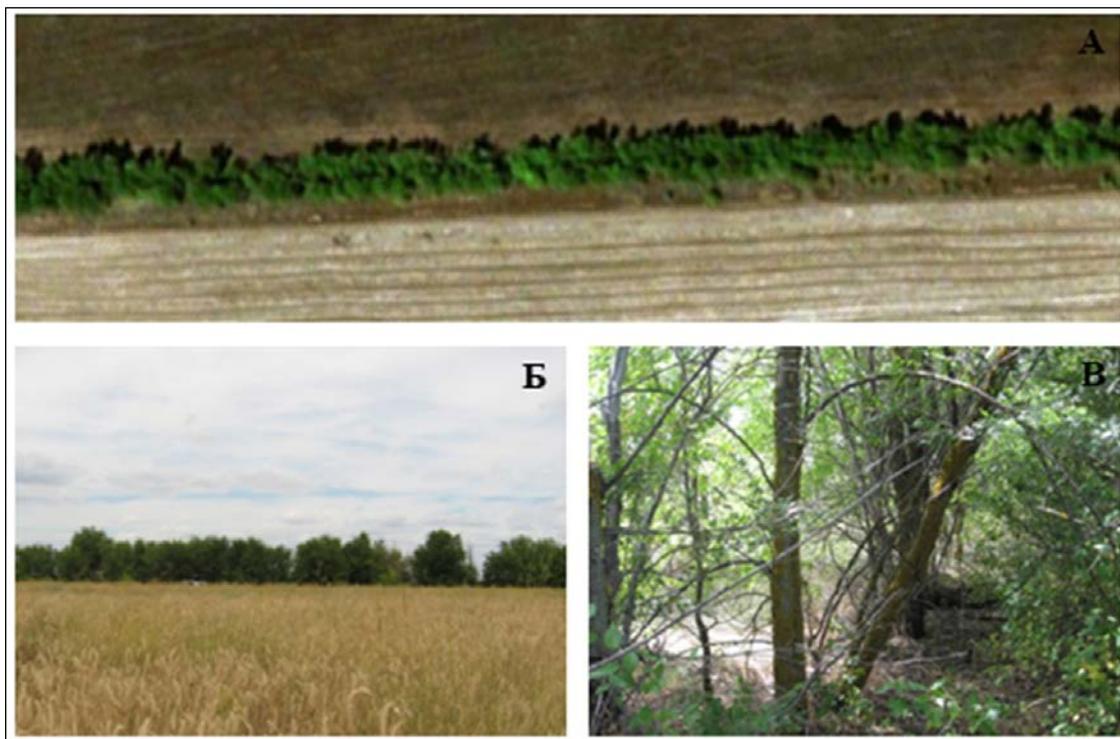


Рис. 4. Цифровой эталон лесной полосы тестового участка «Качалино» пробной площади № 1 (А – космоснимок лесной полосы; Б – вертикальный профиль; В – вид изнутри)

Fig. 4. Digital reference of the forest strip of the test site “Kachalino” of the test area No. 1 (A – satellite image of the forest strip; B – vertical profile; C – view from inside)

В программной среде QGIS были созданы геоинформационные картографические слои полевых лесных полос Иловлинского района Волгоградской области для последующего создания агролесомелиоративной ГИС исследуемого района на основе подложки космических снимков сервиса Google, автоматически подгружаемого в QGIS [Волосюк, Тоназ, 2018].

На тестовом участке «Качалино» были заложены 2 пробные площади, по которым проведено эталонное описание полевых лесных полос [Koshelev et al., 2021].

Площадка № 1 имеет координаты N 4906'29,8"; E 4410'12,4". Двурядная полевая лесная полоса на данном участке, состоящая из вяза приземистого и кустарника (шиповника и смородины золотистой), создавалась в 1990 году (рис. 4). Длина лесной полосы составляет 2080 м, ширина – 12 м. Сохранность лесной полосы – 99 %. Средняя высота деревьев составляет 7,5 м, диаметр ствола дерева в среднем равен 14,9 см. Общий запас стволовой древесины равен 35,7 м<sup>3</sup>/га при густоте 830 шт./га. Данному возрастному периоду соответствует II класс бонитета.

Подводя итог по оценке состояния лесной полосы на пробной площадке № 1, можно отметить ее удовлетворительное состояние, при 10 % суховершинности деревьев. При этом лесная полоса внутри имеет загущение смородиной золотистой, а на отдельных участках, где рядность нарушена, отмечено развитие живого надпочвенного покрова. Состояние лесной полосы, характеризуемое лесоводственно-мелиоративной оценкой 3а, свидетельствует о необходимости провести выборочную санитарную рубку.

Площадка № 2 имеет координаты N 4906'26,6"; E 4411'28,4". Полевая лесная полоса из вяза была заложена в 1990 году (рис. 5).

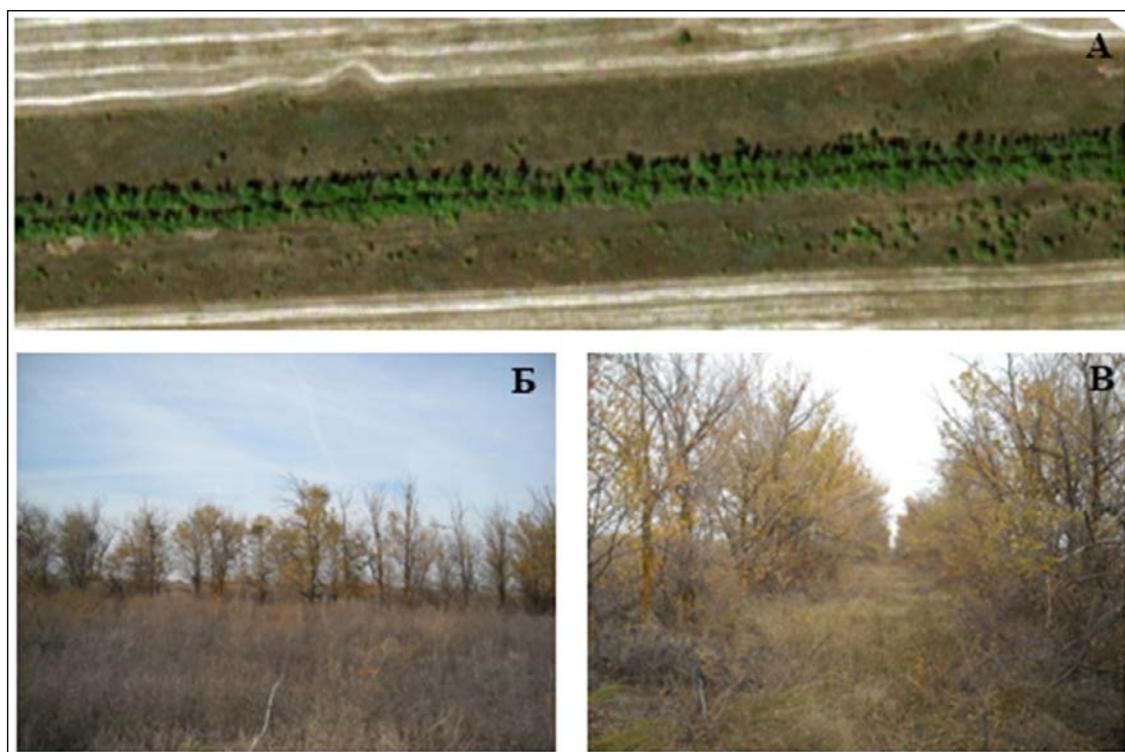


Рис. 5. Цифровой эталон лесной полосы тестового участка «Качалино» пробной площади № 2 (А – космоснимок лесной полосы; Б – вертикальный профиль; В – вид изнутри)

Fig. 5. Digital reference of the forest strip of the test site “Kachalino” of trial area No. 2 (A – satellite image of the forest strip; B – vertical profile; C – inside view)

Лесная полоса является парно-рядовой полевзащитной лесной полосой ажурной конструкции, состоящей из вяза приземистого и кустарника (шиповник и смородина золотистая). Длина полевзащитной лесной полосы равна 2280 м, ширина – 11 м. Высота деревьев в среднем составила 6,5 м, диаметр ствола дерева в среднем равен 14 см. Определяемая по протяженности, посредством анализа горизонтальной проекции полога, сохранность лесной полосы составила 95 %. Возрасту лесной полосы соответствует II класс бонитета. Общий запас стволовой древесины равен 22 м<sup>3</sup>/га при густоте 636 шт./га.

Состояние полосы оценивается как удовлетворительное, при 60–80 % суховершинности деревьев. Встречаются поваленные деревья. Развитию живого надпочвенного покрова способствует ширина междурядий в 7 м. Состояние лесной полосы по лесоводственно-мелиоративной оценке – 3а, в связи с чем рекомендуется периодически проводить санитарные рубки.

Результатом проведения векторизации контуров лесных полос Иловлинского района является расчет фактической площади полевзащитных лесных полос Иловлинского района, которая составила 1501,861 га, проектная площадь лесных полос – 1927,810 га, при этом общая фактическая сохранность лесных полос составила 77,9 %. Всего было векторизовано 4871 контур лесных полос (рис. 6).



*Рис. 6. Космосхема тестового участка «Качалино»*  
*Fig. 6. Space diagram of the test site “Kachalino”*

Таким образом, потери лесных полос по площади составили 425,949 га. Показатель защитной лесистости оценивался согласно значениям, приведенным в литературных источниках [Павловский, 1988; Баранов, Иванов, 2006; Кулик и др., 2009]. Защитная лесистость пашни при фактической площади 1501,861 га составила 0,4 %, что не соответствует принятым нормам облесенности в 3–4 % для данной территории.

Итогом работы по агролесомелиоративной оценке защитных лесных насаждений с применением дистанционных данных и геоинформационных технологий стала карта полезащитных лесных полос Иловлинского района Волгоградской области (рис. 7).

Анализ карты показал, что лесные полосы расположены в основном в восточной части района в междуречье рек Дона и Волги, в западной части района в основном расположены байрачные леса и насаждения по балкам, так как правобережье реки Дон характеризуется развитой овражно-балочной сетью.

Расчет защитной лесистости пашни Иловлинского района Волгоградской области выявил, что лесными полосами пашня защищена на 0,4 %, это достаточно низкий показатель полезащитной лесистости, при условии, что площадь пашни равна 378 943 га. По существующим нормативам защитная лесистость пашни для данных лесорастительных условий должна составлять 3–4 %. Соответственно, наряду с неудовлетворительным состоянием самих насаждений, из-за отсутствия необходимых лесохозяйственных уходов, существующие лесные полосы не выполняют полноценно своих защитных функций, отсюда их мелиоративный эффект на агроландшафты снижен.

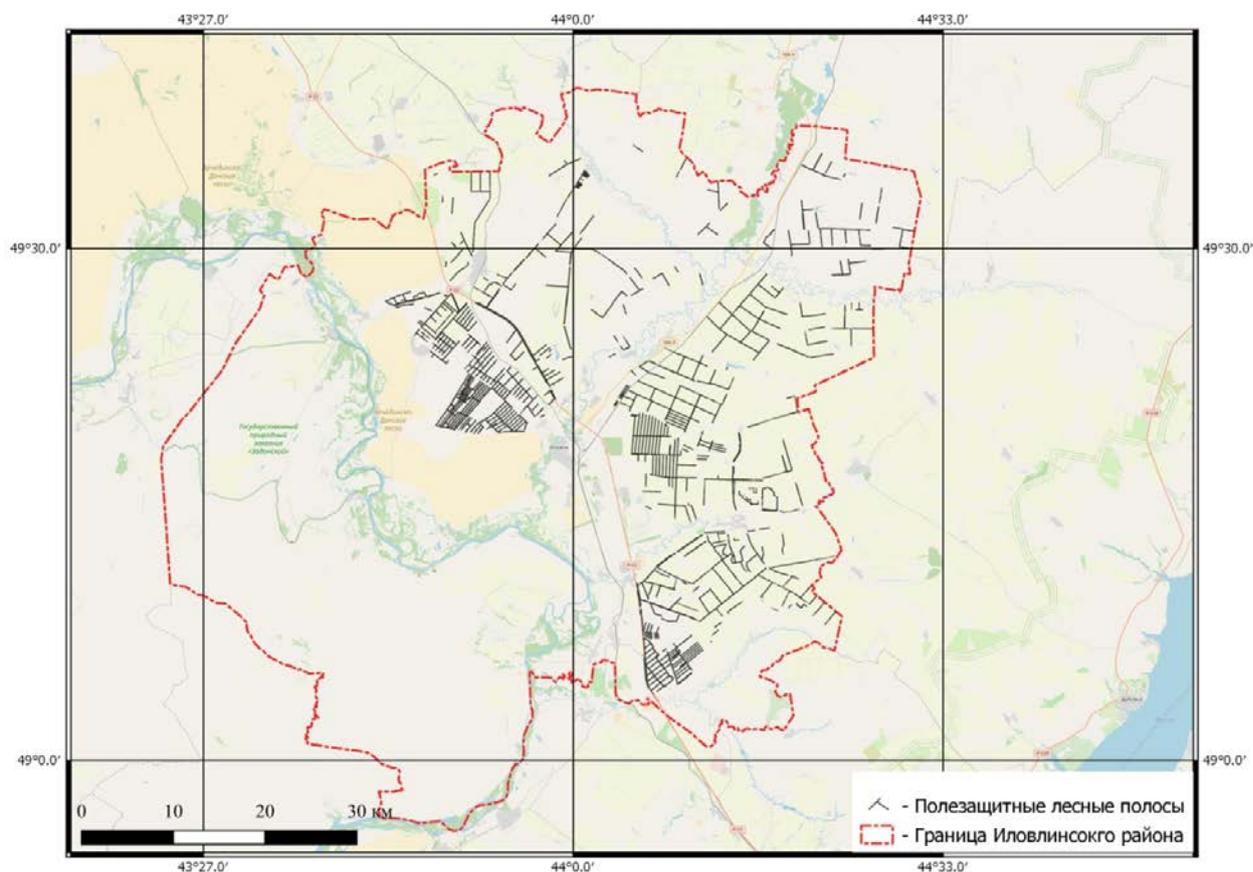


Рис. 7. Карта полезащитных лесных полос Иловлинского района

Fig. 7. Map of protective forest strips of Ilovlin District

Проведенное эталонирование и инвентаризация в совокупности с камеральным дешифрированием позволили на основе гистограммного анализа распределения пикселей по относительной плотности полого определить состояние ЗЛН. Были получены модели защитных лесных полос и установлено пространственное размещение насаждений, что в совокупности легло в основу планирования комплекса лесохозяйственных мероприятий по лесозащите.

## **ВЫВОДЫ**

По итогу исследований разработана методика агролесомелиоративной оценки ЗЛН с применением ГИС-технологий и дистанционных методов, которые позволяют сократить число наземных исследований в 1,6 раза и повысить точность получаемой информации о состоянии насаждений, и как следствие снизить материальные затраты на проведение полевых исследований.

Технология компьютерного дешифрирования аэрокосмической информации при картографировании агролесоландшафтов основана на применении спектрального анализа отраженного излучения в видимом диапазоне, фотоэталонировании таких объектов и создании базы эталонных образов состояния агролесоландшафтов.

В результате дешифрирования насаждений с применением данных дистанционного зондирования и полевого эталонирования были составлены цифровые эталоны ЗЛН, позволяющие распознать породный состав древостоя, необходимого при проведении инвентаризации защитных лесных насаждений Волгоградской области. Полученные эталоны лесных полос пополняют формирующуюся базу цифровых эталонов типичных агролесомелиоративных насаждений Волгоградской области.

Проведенные исследования станут основой для разработки региональной агролесомелиоративной геоинформационной системы, необходимой для проведения наблюдений за состоянием ЗЛН и обновления лесных карт, планирования и проектирования лесохозяйственных работ для эффективного управления агролесомелиоративным фондом Волгоградской области.

## **БЛАГОДАРНОСТИ**

Исследование выполнено в рамках Государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100312-0 «Теория и принципы формирования адаптивных агролесомелиоративных комплексов сухостепной зоны юга РФ в контексте климатических изменений».

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The study was supported by the State Assignment No. 122020100312-0 “Theory and principles of formation of adaptive agroforestry-meliorative complexes of the dry steppe zone of the south of the Russian Federation in the context of climate change” of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балашов И.В., Кашицкий А.В., Барталев С.А., Барталев С.С., Бурцев М.А., Ворущилов И.И., Егоров В.А., Жарко В.О., Кобец Д.А., Константинова А.М., Лупян Е.А., Сайгин И.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г., Хвостиков С.А., Ховратович Т.С.* Информационная система комплексного мониторинга лесов и охотничьих угодий России ВЕГА-Лес. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 73–88. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-73-88.
2. *Баранов В.А., Иванов А.В.* Агроресоландшафты юго-востока Европейской России: структура, эволюция, оптимизация. Саратов: Научная книга, 2006. С. 52–56.
3. *Волосюк А.И., Топаз А.А.* Обработка данных ДЗЗ в программном пакете SNAP ESA. ГИС-технологии в науках о Земле: материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых. 2018. С. 160–162.
4. *Жарко В.О., Барталев С.А., Егоров В.А.* Исследование возможностей оценки запасов древесины в лесах Приморского края по данным спутниковой системы Proba-V. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 1. С. 157–168. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-157-168.
5. *Жиринов В.М., Князева С.В., Эйдлина С.П.* Оценка биометрических параметров насаждений по изображениям межкоронового пространства на космических снимках сверхвысокого разрешения. Лесоведение. 2018. № 3. С. 163–177. DOI: 10.7868/S0024114818030014.
6. *Котлярова Е.Г.* Значение лесонасаждений в создании экологически безопасной конструкции агроландшафта. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 9. С. 62–66.
7. *Кравцова В.И.* Особенности дешифрирования северных лесов на космических снимках сверхвысокого разрешения. Лесоведение. 2013. № 1. С. 56–65.
8. *Кравцова В.И., Лошкарева А.Р.* Исследование северной границы леса по космическим снимкам разного разрешения. Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2010. № 6. С. 49–57.
9. *Кулик К.Н.* Лесомелиорация – основа создания устойчивых агроландшафтов в условиях недостаточного увлажнения. Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 29–40.
10. *Кулик К.Н., Барабанов А.Т., Манаенков А.С., Кулик А.К.* Обоснование прогноза развития защитного лесоразведения в Волгоградской области. Проблемы прогнозирования, 2017. № 6. С. 93–100.
11. *Кулик К.Н., Кошелев А.В.* Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга. Лесотехнический журнал. 2017. № 3 (27). С. 107–114.
12. *Кулик К.Н., Рулев А.С., Дорохина З.П.* Агроландшафтное картографирование нижнехоперского региона. В сборнике: Адаптивные системы и природоохранные технологии производства сельскохозяйственной продукции в аридных районах Волго-Донской провинции. Москва, 2003. С. 53–62.
13. *Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г.* Дистанционно-картографическая оценка деградационных процессов в агроландшафтах юга России. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2009. № 4 (16). С. 12–25.
14. *Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г., Бакурова К.Б., Дорохина З.П., Кошелев А.В., Березовикова О.Ю.* Методические указания по дистанционному эколого-экономическому мониторингу аридных пастбищ на основе ГИС-технологий. Москва, 2009.

15. Манаенков А.С. Развитие основ степного и защитного лесоразведения: теоретические, прикладные аспекты и задачи в современных условиях. Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 2 (30). С. 5–23.
16. Павловский Е.С. Экологические и социальные проблемы агролесомелиорации. М.: Агропромиздат, 1988. С. 152–153.
17. Рулев А.С., Анопин В.Н., Юферев В.Г., Рулев Г.А. Геоинформационный анализ состояния придорожных лесных насаждений. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 3 (47). С. 42–45.
18. Терехин Э.А. Влияние параметров лесных насаждений на их спектральный отклик (на примере лесов юга Среднерусской возвышенности). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 142–154. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-142-154.
19. Ткаченко Н.А., Кошелев А.В. Картографирование защитной лесистости агроландшафтов волгоградского Заволжья. Вестник АПК Ставрополя. 2017. № 2 (26). С. 137–143.
20. Чимитдоржиев Т.Н., Дмитриев А.В., Кирбижекова И.И., Шерхоева А.А., Балтукхаев А.К., Дагуров П.Н. Дистанционные оптико-микроволновые измерения параметров леса: современное состояние исследований и экспериментальная оценка возможностей. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 9–26. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-9-24.
21. Barlow J., Louzada J., Parry L., Hernandez M., Hawes J., Peres C.A., Vaz-de-Mello F.Z., Gardner T.A. Improving the design and management of forest strips in human dominated tropical landscapes: a field test on Amazonian dung beetles. Journal of Applied Ecology. 2010. № 47. P. 779–788.
22. Franklin Steven E. Remote sensing for sustainable forest management. New York: CRC Press, 2001. 424 p.
23. Haddaway N.R. The multifunctional roles of vegetated strips around and within agricultural fields. A systematic map protocol. Environmental Evidence. 2016. 11 p. DOI: 10.1186/s13750-016-0067-6.
24. Koshelev A.V., Tkachenko N.A., Shatrovskaya M.O. Decoding of forest belts using satellite images. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 875. 012065 p. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012065.

## REFERENCES

1. Balashov I.V., Kashnitskii S.A., Bartalev S.A., Bartalev S.S., Burtsev M.A., Vorushilov I.I., Egorov V.A., Zharko V.O., Kobets D.A., Konstatinova A.M., Loupian E.A., Saigin I.A., Senko K.S., Stytsenko F.V., Sychugov I.G., Khvostikov S.A., Khovratovich T.S. VEGA-Les: information system for complex monitoring of forests and hunting grounds in Russia. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2020. Vol. 17. No. 4. P. 73–88. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-73-88 (in Russian).
2. Baranov V.A., Ivanov A.V. Agroforest landscapes of the southeast of European Russia: structure, evolution, optimization. Saratov: Nauchnaya kniga, 2006. 52–56 p. (in Russian).
3. Barlow J., Louzada J., Parry L., Hernandez M., Hawes J., Peres C.A., Vaz-de-Mello F.Z., Gardner T.A. Improving the design and management of forest strips in human dominated tropical landscapes: a field test on Amazonian dung beetles. Journal of Applied Ecology. 2010. No. 47. P. 779–788.
4. Chimitdorzhiev T.N., Dmitriev A.V., Kirbizhekova I.I., Sherkhoeva A.A., Baltukhaev A.K., Dagurov P.N. Remote optical-microwave measurements of forest parameters: modern state of research and experimental assessment of potentials. Sovremennye problemy distantsionnogo

- zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2018. Vol. 15. No. 4. P. 9–26. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-4-9-24 (in Russian).
5. *Franklin Steven E.* Remote sensing for sustainable forest management. New York: CRC Press, 2001. P. 424.
  6. *Haddaway N.R.* The multifunctional roles of vegetated strips around and within agricultural fields. A systematic map protocol. *Environmental Evidence*. 2016. 11 p. DOI: 10.1186/s13750-016-0067-6.
  7. *Koshelev A.V., Tkachenko N.A., Shatrovskaya M.O.* Decoding of forest belts using satellite images. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021. Vol. 875. 012065 p. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012065 (in Russian).
  8. *Kotlyarova E.G.* The importance of forest plantations in creating an environmentally safe design of the agricultural landscape. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2014. No. 9. P. 62–66 (in Russian).
  9. *Kravtsova V.I.* Features of decoding of northern forests on ultra-high resolution satellite images. *Forestry*, 2013. No. 1. P. 56–65 (in Russian).
  10. *Kravtsova V.I., Loshkareva A.R.* Issledovanie severnoi granitsy lesa po kosmicheskim snimkam raznogo razresheniya (Study of the northern forest line using space imagery of different resolutions). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*. 2010. No. 6. P. 49–57 (in Russian).
  11. *Kulik K.N.* Forest reclamation is the basis for creating sustainable agricultural landscapes in conditions of insufficient moisture. *Forestry journal*. 2016. Vol. 6. No. 3 (23). P. 29–40.
  12. *Kulik K.N., Barabanov A.T., Manaenkov A.S., Kulik A.K.* Substantiation of the forecast of the development of protective afforestation in the Volgograd region. *Problems of Forecasting*. 2017. No. 6. P. 93–100 (in Russian).
  13. *Kulik K.N., Koshelev A.V.* Methodological basis for agroforestry assessment of protective forest plantations based on remote monitoring data. *Forestry Engineering Journal*. 2017. No. 3. P. 107–114 (in Russian).
  14. *Kulik K.N., Rulev A.S., Dorokhina Z.P.* Agro-landscape mapping of the Nizhnekhopersky region. In the collection: *Adaptive systems and environmental technologies of agricultural production in arid areas of the Volga-Don province*. Moscow, 2003. P. 53–62 (in Russian).
  15. *Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G.* Remote cartographic assessment of degradation processes in agricultural landscapes of southern Russia. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: Science and higher professional education*. 2009. No. 4 (16). P. 12–25 (in Russian).
  16. *Kulik K.N., Rulev A.S., Yuferev V.G., Bakurova K.B., Dorokhina Z.P., Koshelev A.V., Berezovikova O.Y.* Methodological guidelines for remote ecological and economic monitoring of arid pastures based on GIS technologies. Moscow, 2009. P. 38 (in Russian).
  17. *Manaenkov A.S.* Development of the fundamentals of steppe and protective afforestation: theoretical, applied aspects and tasks in modern conditions. *Bulletin of PSTU. Series: Forest Ecology. Nature Management*. 2016. No. 2 (30). P. 5–23 (in Russian).
  18. *Pavlovsky E.S.* Ecological and social problems of agroforestry. Moscow: Agropromizdat, 1988. P. 152–153 (in Russian).
  19. *Rulev A.S., Anopin V.N., Yuferev V.G., Rulev G.A.* Geoinformation analysis of the state of roadside forest plantations. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*, 2014. No. 3 (47). P. 42–45 (in Russian).
  20. *Terekhin E.A.* Influence of the parameters of forest plantations on their spectral response (on the example of forests in the south of the Central Russian Upland). *Modern*

- problems of remote sensing of the Earth from space, 2020. No. 17 (7). P. 142–154. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-142-154 (in Russian).
21. *Tkachenko N.A., Koshelev A.V.* Mapping of protective forest cover of agro-landscapes of the Volgograd Volga region. *Bulletin of Agroindustrial Complex of Stavropol.* 2017. No. 2 (26). P. 137–143 (in Russian).
  22. *Volosyuk A.I., Topaz A.A.* Remote sensing data processing in the SNAP ESA softwar package. GIS technologies in geosciences: materials of the rep. scientific-practical. Seminar of students and young scientists. 2018. P. 160–162 (in Russian).
  23. *Zharko V.O., Bartalev S.A., Egorov V.A.* Investigation of forest growing stock volume estimation possibilities over Russian Primorsky Krai region using Proba-V satellite data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* 2018. Vol. 15. No. 1. P. 157–168. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-157-168 (in Russian).
  24. *Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eidlina S.P.* Assessment of biometric parameters of plantations based on the images of intercrown space on ultra-high resolution satellite images *Forest Science.* 2018. P. 163–177. DOI: 10.7868/S0024114818030014 (in Russian).
-