
ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОХРАНА ЛАНДШАФТОВ

Научная статья
УДК 631.962; 630*561.24

ПОЛЕЗАЩИТНЫЕ ЛЕСОПОЛОСЫ В УСЛОВИЯХ СУХОЙ СТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ: ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ

© СС ВУ Шигимага А. А.¹, Быков Н. И.², Рыгалова Н. В.³

¹ Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, Российская Федерация
e-mail: anettshigimaga@mail.ru; ORCID: 0000-0002-7001-1448

² Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, Российская Федерация
e-mail: nikolai_bykov@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3756-1859

³ Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук
656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, Российская Федерация
e-mail: natalia.ml@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0078-6133

Поступила в редакцию 19.10.2024

После доработки 21.12.2024

Принята к публикации 05.02.2025

Аннотация

Цель. Оценка состояния полевых защитных лесных полос сухостепной подзоны (в пределах Алтайского края) и выявление ключевых факторов, способствующих их деградации и сокращению площади.

Процедура и методы. В исследовании использовались методы дендрохронологии, позволяющие анализировать годовые кольца деревьев для оценки их возраста, скорости роста и реакции на климатические изменения. В рамках дендроклиматологии изучалась связь между динамикой роста древесных насаждений и климатическими параметрами (температурой и осадками). Таксация насаждений включала полевые измерения, направленные на определение состава пород, высоты, диаметра стволов, сомкнутости крон и жизнеспособности деревьев. Дополнительно применялся анализ данных дистанционного зондирования, который позволил оценить пространственное распределение, плотность и изменения состояния лесных полос за последние годы на основе спутниковых снимков. Комплексное использование этих методов обеспечило всестороннюю оценку современного состояния полевых защитных лесных полос в условиях сухой степи Алтайского края и выявило ключевые факторы, влияющие на их устойчивость.

Результаты. Радиальный рост деревьев лесополос и их реакция на климатические факторы определяется их породным составом и географическим положением в пределах сухой степи. Дефицит осадков и повышение температуры воздуха чаще всего вызывают снижение величины прироста древесины. Возраст, морфометрические показатели деревьев и их санитарное состояние коррелятивно взаимосвязаны, что позволяет на их основе осуществлять прогноз состояния лесополос. Результаты обработки данных дистанционного зондирования (мультиспектральные снимки Landsat 5 и Landsat 8) свидетельствуют о значительном сокращении площади полевых защитных лесных полос с 1990 по 2022 г. Анализ динамики NDVI с 2017 по 2022 гг., выполненный с использованием данных Sentinel-2, выявил снижение значений индекса, что, вероятно, связано со старением насаждений. Деградация полевых защитных лесных полос в условиях сухой степи Алтайского края обусловлена комплексным воздействием природных и антропогенных факторов. Климатические изменения, проявляющиеся в увеличении аридности и учащении экстремальных засух, приводят к угнетению фитоценозов, снижению фотосинтетической активности и нарастанию водного дефицита. Естественные процессы старения древостоев снижают их резистентность к стрессовым воздействиям, что способствует фрагментации и снижению плотности насаждений. Антропо-

погенная нагрузка, включая нарушение целостности лесополос, усугубляет процессы деградации. Совокупное действие этих факторов приводит к снижению биопродуктивности, уменьшению площади лесополос и утрате их защитных функций.

Теоретическая и/или практическая значимость. Результаты исследования позволяют прогнозировать ухудшение состояния лесных полос через 5–7 лет и их частичное разрушение через 15 лет. Сформулированы предложения по обновлению лесополос с учётом их ориентации для повышения эффективности защиты от ветра и увеличения снегонакопления. Рекомендуется провести плановое лесовосстановление с использованием засухоустойчивых пород деревьев, адаптированных к местным условиям. Для поддержания устойчивости и продуктивности насаждений необходимо внедрить систему регулярных санитарных рубок, включая удаление сухостоя. Но самое важное — это разработка и внедрение региональной программы поддержки, направленной на восстановление и поддержание насаждений.

Ключевые слова: годовые кольца, дендроклиматический анализ, морфометрические показатели, данные дистанционного зондирования, NDVI

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ FUFZ-2021-0007).

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-6-26

Original Article

FOREST BELTS IN THE DRY STEPPES OF THE ALTAI REGION: ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE

© CC BY A. Shigimaga¹, N. Bykov², N. Rygalova³

¹ *Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
ul. Molodezhnaya 1, Barnaul 656038, Russian Federation
e-mail: anettshigimaga@mail.ru; ORCID: 0000-0002-7001-1448*

² *Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
ul. Molodezhnaya 1, Barnaul 656038, Russian Federation
e-mail: nikolai_bykov@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3756-1859*

³ *Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
ul. Molodezhnaya 1, Barnaul 656038, Russian Federation
e-mail: natalia.ml@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0078-6133*

Received 19.10.2024

Revised 21.12.2024

Accepted 05.02.2025

Abstract

Aim. Assessment of the state of forest shelterbelts in the dry-steppe subzone of the Altai Territory and identification of key factors contributing to their degradation and area reduction.

Methodology. To achieve the goal of the study, dendrochronology methods were used, which allow analyzing tree rings to assess their age, growth rate, and response to climate change. Dendroclimatology studied the relationship between the growth dynamics of tree stands and climatic parameters such as temperature and precipitation. The taxation of stands included field measurements aimed at determining the composition of species, height, trunk diameter, crown density, and tree viability. In addition, remote sensing data analysis was used to assess the spatial distribution, density, and changes in the condition of forest belts in recent years based on satellite images. The integrated use of these methods provided a comprehensive assessment of the current state of shelterbelts in the dry steppe of the Altai Territory and identified key factors influencing their sustainability.

Results. The radial growth of trees in shelterbelts and their response to climatic factors are determined by their species composition and geographical location within the dry steppe. Precipitation deficiency and rising air temperatures most often cause a decrease in wood growth. The age, morphometric parameters of trees and their sanitary condition are correlatively interconnected, which makes it possible to forecast the state of shelterbelts on their basis. The results of processing remote sensing data (multispectral Landsat 5 and Landsat 8 images) indicate a significant reduction in the area of shelterbelts from 1990 to 2022. An analysis of the NDVI dynamics from 2017 to 2022, performed using Sentinel-2 data, revealed a decrease in the index values, which is probably due to the

aging of plantations. Degradation of forest shelterbelts in the dry steppe conditions of the Altai Territory is caused by the complex impact of natural and anthropogenic factors. Climate changes, manifested in increased aridity and more frequent extreme droughts, lead to the suppression of phytocenoses, a decrease in photosynthetic activity and an increase in water deficit. Natural processes of forest stand aging reduce their resistance to stress effects, which contributes to fragmentation and a decrease in the density of plantations. Anthropogenic load, including damage to the integrity of forest belts, aggravates the degradation processes. The combined effect of these factors leads to a decrease in bioproductivity, a decrease in the area of forest belts and the loss of their protective functions.

Research implications. The results of the study allow us to predict the deterioration of the forest belts in 5–7 years and their partial destruction in 15 years. Proposals have been formulated for the renewal of forest belts taking into account their orientation to improve the efficiency of wind protection and increase snow accumulation. It is recommended to carry out planned reforestation using drought-resistant tree species adapted to local conditions. To maintain the sustainability and productivity of plantations, it is necessary to introduce a system of regular sanitary felling, including the removal of dead wood. However, the most important thing is to develop and implement a regional support program aimed at restoring and maintaining plantations.

Keywords: tree rings, dendroclimatic analysis, morphometric parameters, remote sensing data, NDVI

Acknowledgments. The study was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (no. FUFZ-2021-0007).

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-6-26

ВВЕДЕНИЕ

Полезашитное лесоразведение в условиях сухой степи представляет собой важный аспект улучшения экологических условий территории. Лесные полосы оказывают положительное влияние на сельскохозяйственные угодья. Они защищают посевы от воздействий сильных ветров, суховеев, засух, эрозии почвы, увеличивая урожайность сельскохозяйственных культур, а также формируют биоразнообразие территории¹ [1; 4; 5; 9; 10].

Самые масштабные работы по созданию лесополос характерны для лесостепной и степной зон страны. В России они осуществлялись с начала XX в.² Так, например, на территории сухостепной подзоны Алтайского края было создано более 24 тыс. га лесных полос [6; 8]. Однако в начале 90-х годов XX в.

в связи с социально-экономическими изменениями в стране работы по созданию и поддержанию лесополос были прекращены. Это привело к снижению их защитных функций, деградации и сокращению площадей. Проведённая в 2011 г. инвентаризация лесополос Алтайского края показала их низкую сохранность и необходимость обновления [8].

Лесополосы, произрастающие в экстремальных для древесных растений условиях, проявляют высокую чувствительность и уязвимость на фоне климатического потепления и прогнозируемого увеличения засушливости. В связи с этим существует риск их разрушения уже в ближайшем будущем.

Данное исследование полезашитных лесных полос позволит оценить их современное состояние и дать прогноз их развития на ближайшее время.

В качестве территории исследования была выбрана сухостепная подзона Кулунды в границах Алтайского края, которая, согласно физико-географическому районированию, принадлежит Западно-Кулундинской подпровинции [2]. Отличительной особенностью здесь является континентальность климата, повторяемость сухих лет, малоснежность и неравномерное распределение осадков в

¹ Романов Р. Е., Высоцкая Е. А., Горбунова Н. С. Трансформация почвенного компонента агроценозов под влиянием экосистемы лесополос // Научные чтения, посвященные 135-летию К. П. Горшенина и 110-летию Н. Д. Градобоева: мат.-лы конф. Омск: Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2023. С. 162–167.

² Лесомелиорация ландшафтов: учебник / А. Р. Родин, С. А. Родин, С. Б. Васильев, Г. В. Силаев. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2014. 192 с.

течение года [14]. Данная территория представляет собой пролювиально-аллювиальную равнину с преобладанием низменных сухостепных аллювиальных супесчаных и песчаных равнин на каштановых и тёмно-каштановых почвах. Также встречаются низинные солонцово-степные супесчано-суглинистые озёрные и речные территории на каштановых и тёмно-каштановых солонцеватых почвах.

Растительный покров состоит преимущественно из многолетних микротермных и ксерофильных травяных растений, в основном дерновинных злаков¹.

Объектом исследования выступали деревья 21 полезащитной лесополосы (рис. 1).

Выбор ключевых участков осуществлялся с учётом ландшафтных особенностей территории, а также видового разнообразия дре-

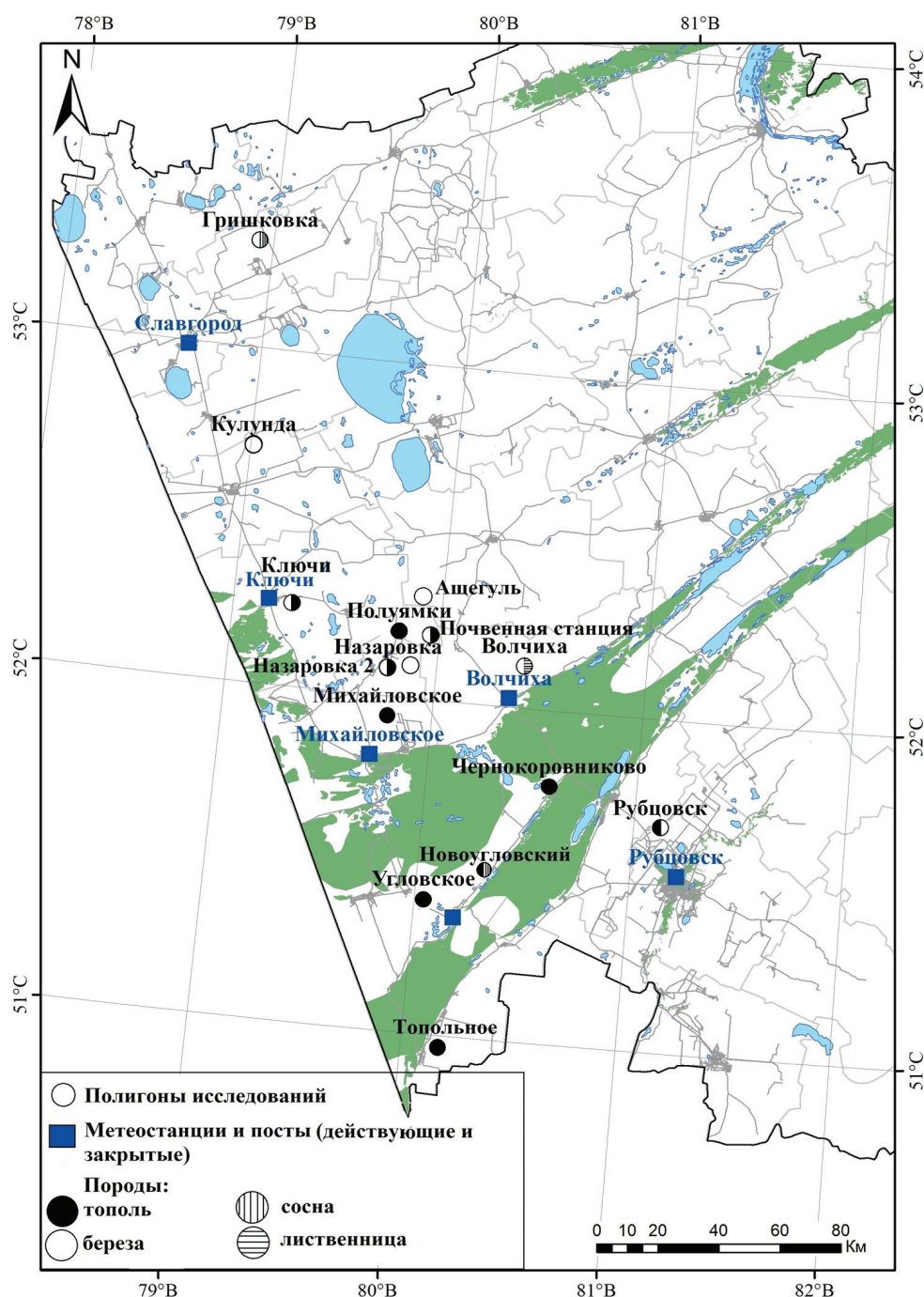


Рис. 1 / Fig. 1. Территория исследования / Research territory

Источник: составлено авторами

¹ Герасимов И.П. Материалы по геоморфологии Кулундинской степи // Тр. СОПС СН СССР, 1935. Вып. 10.

весных пород. Древесный состав представлен берёзой повислой (*Betula pendula* Roth.), тополем бальзамическим (*Populus balsamifera* L.), лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ldb.), сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (фото 1).

Для оценки современного состояния лесных полос был использован комплекс методов. На основе методов дендрохронологии и дендроклиматологии определялась возрастная структура древостоя с целью выявления основных природных факторов, оказывающих влияние на рост и развитие деревьев. Данный метод основывается на анализе данных о ширине колец годичного прироста деревьев и других параметрах [13]. Для этого в каждой лесополосе отбирались древесные керны с 15 здоровых, прямостоящих деревьев. При помощи возрастного бурава Haglof с каждого дерева было получено по 2 радиуса на высоте ~1,3 м. Для обеспечения репрезентативности данных образцы брались как с внутренней, так и с внешней стороны лесополос. Это позволило учесть влияние различных ми-

кроклиматических условий на рост деревьев. Отбор и обработка образцов выполнялись согласно общепринятой методике [7].

Измерение и анализ древесных кернов проводился при помощи специального оборудования LINTAB 6 и программного обеспечения TSAP [15], программы пакета DPL. Проверка качества измерений была проведена в программе COFESHA [12]. Стандартизация и построение обобщённых древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) выполнена в программе ARSTAN [11]. В качестве аппроксимирующих кривых были выбраны линейный тренд, негативная экспонента и кубический сплайн, которые подбирались в соответствии с особенностями ДКХ. У индивидуальных хронологий, полученных для каждого дендрополигона, проверялся так называемый единый популяционный сигнал (EPS — *Expressed Population Signal*), который показывает, насколько выборка отражает генеральную совокупность, и могут ли данные быть использованы для построения обобщённой хронологии конкретного дендрополигона [16].



Фото 1 / Foto 1. Исследуемые полезащитные лесные полосы / The studied forest shelterbelts

Источник: фото автора

Стандартизированные обобщённые древесно-кольцевые хронологии были проверены на предмет наличия в них климатического сигнала, который отражает коэффициент чувствительности, показывая степень воздействия внешних факторов на изменение величины прироста. Пороговым значением чувствительности древесно-кольцевых серий принято среднее значение коэффициента 0,2 [3].

Для проведения анализа между приростом и климатическими параметрами использовались данные среднесуточных температур и месячные суммы осадков ближайших метеостанций. Взаимосвязь между приростом ДКХ и климатическими определялась с помощью расчёта коэффициентов корреляции Пирсона.

При помощи методов лесотаксационных наблюдений проводился анализ морфометрических показателей деревьев и их санитарного состояния. Исследование было выполнено на 13 дендрополигонах в 14 лесополосах: Рубцовск (тополь и берёза), Чернокоровниково (тополь), Новоугловский (сосна), Топольное (тополь), Угловский (тополь), Михайловское (тополь), Назаровка (берёза), Назаровка 2 (берёза), Ащигуль (берёза), Почвенная станция (тополь и берёза), Ключи (тополь и берёза).

В каждой из них на площадке 400 м² у различных деревьев были измерены диаметр ствола у основания и на высоте ~1,3 м, высота, 2 диаметра кроны, выполнена оценка санитарного состояния и учтены повреждения на стволах и кроне (насекомые, следы пожаров и пр.). Оценка санитарного состояния деревьев проводилась в соответствии с действующими нормативными документами¹ и включала визуальный осмотр и классификацию деревьев по категориям состояния: здоровые, ослабленные, сильно ослабленные, усыхающие и сухостой. Учитывались признаки: наличие механических повреждений, степень поражения болезнями и вредителями, деформация ствола, усыхание ветвей и кроны, а также наличие плодовых тел грибов.

Анализ данных дистанционного зондирования и картографирование лесополос позволил сделать выводы о распределении полезащитных лесных полос и их площади на

исследуемой территории. В настоящее время методы дистанционного зондирования широко применяются для изучения лесополос, что позволяет получать актуальные данные о состоянии лесных экосистем².

Для создания карт плотности и нарушенности лесных полос использовались снимки *Landsat 8* (2022 г.), предоставленные USGS. На основе анализа спектральных характеристик и пространственного распределения лесных полос были выделены участки с нарушенной целостностью. В программе ArcGIS проведена оцифровка выпавших фрагментов и рассчитана площадь нарушений в км² с использованием инструментов геообработки. Для оценки ориентированности лесных полос применён анализ азимутального распределения.

Для оценки изменения площади лесных полос за последние 30 лет был выбран экспериментальный участок (рис. 2), территориально охватывающий Волчихинский и Михайловский районы Алтайского края. Были получены снимки *Landsat 5* за 1990 г. и *Landsat 8* за 2022 г. предоставленные *United States Geological Survey* (USGS). Такой подход позволил не только оценить текущее состояние полезащитных лесных полос, но и отследить их трансформацию за 3 десятилетия. Обработка изображений проводилась в программе ArcGIS Pro.

Для более детального выделения лесных полос и повышения их контрастности были применены различные индексы, однако наиболее эффективным оказался индекс TSAVI —

¹ Правила санитарной безопасности в лесах, 2020. Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах».

² Воробьев И. С. Концептуальные основания использования космического мониторинга в исследовании изменений состояния лесополос // Совершенствование методологии и организации научных исследований в целях развития общества Ч. 2: сб. ст. Стерлитамак, 2020. С. 17–21; Коба В. П., Мунтян О. Л. Космический мониторинг защитных лесополос степного Крыма // Синтез науки и образования в решении экологических проблем современности: мат-лы конф. Воронеж, 2022. С. 145–151; Колесникова И. А., Полушковский Б. В. Изучение состояния лесополос сельскохозяйственных земель Ставропольского края с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Землеустройство, кадастр недвижимости и мониторинг земельных ресурсов: мат-лы конф. / под ред. Л. О. Григорьевой. Улан-Удэ, 2021. С. 67–70; Незамов В. И., Ярлыкова Н. С. Перспективы применения аэрокосмических методов в лесном хозяйстве // Мировые научные исследования и разработки в эпоху цифровизации: сб. ст. Ч. 2. Ростов-на-Дону, 2021. С. 151–155.

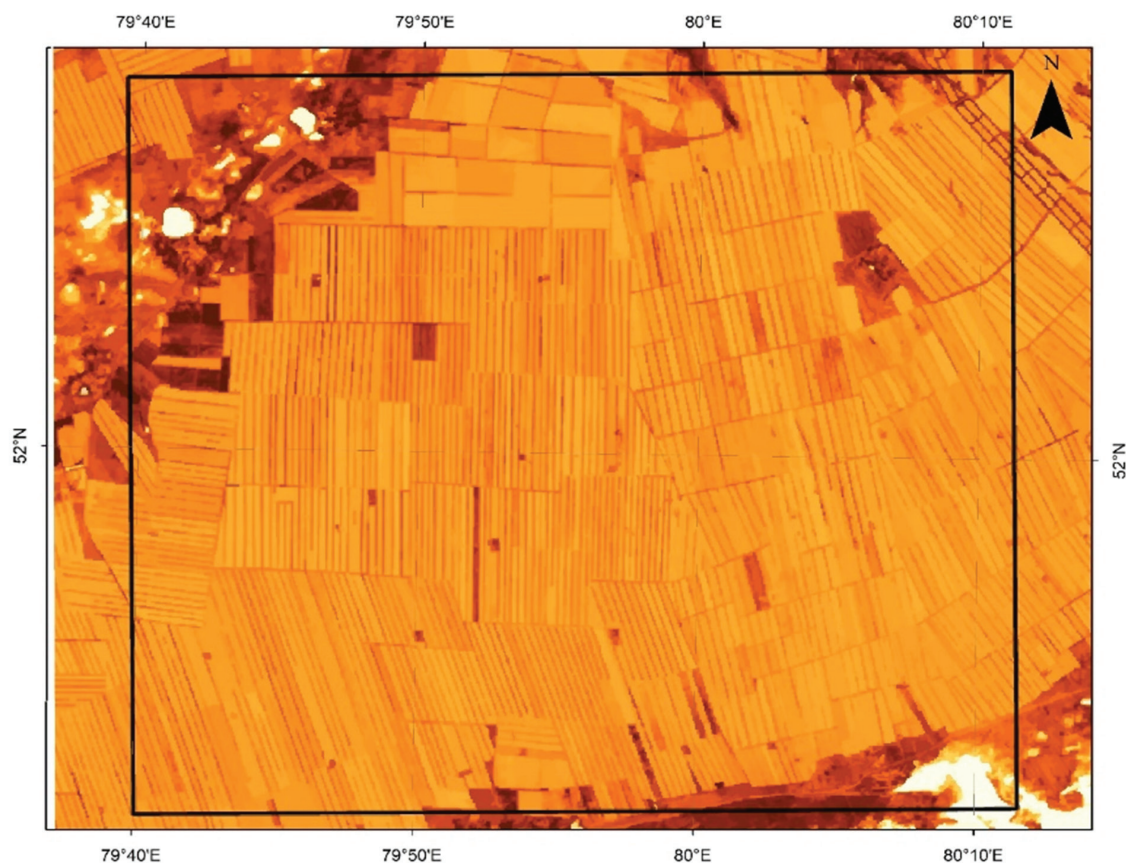


Рис. 2 / Fig. 2. Экспериментальный участок для расчёта изменения площади лесных полос за период с 1990 по 2022 г. / Experimental plot for calculating the change in the area of forest belts for the period from 1990 to 2022

Источник: составлено авторами

преобразованный индекс растительности с коррекцией по почве. Его использование обеспечило чёткое разделение растительности и почвы, увеличив контрастность между лесными полосами и окружающей средой.

Затем была проведена сегментация снимков с использованием кластерного алгоритма для автоматического выделения лесных полос. Далее была выполнена классификация этих участков. При помощи инструментов анализа выполнялся расчёт площади лесных полос за 1990 и 2022 г. Данная процедура позволила выделить преобразованные участки лесных полос и количественно оценить изменения.

Оценка изменения индекса NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) проведена с 2017 по 2022 г. Для получения данных была использована платформа Sentinel Hub и данные спутника Sentinel-2. Для каждой лесополосы рассчитаны даты начала и конца вегетационного периода на основе изменений значений NDVI. Начало вегетации определялось как

момент, когда значения NDVI устойчиво превышали порог 0,2–0,3, что свидетельствует о старте активной фотосинтетической деятельности растений. Конец вегетационного периода фиксировался при снижении значений NDVI ниже этого порога, что указывает на завершение активного роста. На основе этих данных для каждой лесополосы были получены максимальные значения NDVI за вегетационный период, которые отражают пик биологической активности растительности. Также определено общее количество дней вегетации, рассчитываемое как разница между датами начала и конца вегетационного периода.

Методы дендрохронологии, таксации, дистанционного зондирования и анализа NDVI, применённые в исследовании, взаимно дополняют друг друга, обеспечивая многоаспектную оценку состояния полей лесных полос. Если анализ данных дистанционного зондирования и NDVI позволяют оценить общую динамику растительности и площадь лесополос, то дендрохронологиче-

ский анализ даёт возможность изучить индивидуальные реакции деревьев на климатические и экологические изменения. На основе отобранных древесных кернов были построены древесно-кольцевые хронологии (ДКХ), которые раскрывают возрастную структуру, скорость радиального прироста и чувствительность деревьев к внешним факторам.

ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВАЯ ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС

Анализ древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) показал, что возраст самых длительных индивидуальных ДКХ варьирует от 39 до 73 лет, а самых коротких — от 14 до 51 года.

Средний возраст исследованных деревьев на участках изменяется от 35 до 65 лет в зависимости от породного состава: берёза — 37–62 года, тополь — 35–65 лет, лиственница — 55 лет, сосна — 39–41 год (табл. 1).

Коэффициенты вариации возраста деревьев на участках низкие (0,04–0,18) и обусловлены разной скоростью вертикального роста. Средняя ширина годичных колец варьирует в зависимости от породного состава и географического расположения лесополосы. Для индивидуальных хронологий показатель изменяется от 1,0 до 7,9 мм: берёза — 1,3–7,9, тополь — 1,9–5,4, лиственница — 1,0–3,5, сосна — 2,3–5,6. По участкам от 1,2 до 4,3 мм: берёза — 1,5–3,0, тополь — 3,2–4,3, лиственница — 1,2, сосна — 3,7–3,9 мм. Коэффициент вариации средней ширины годичных колец

Таблица 1 / Table 1

Средние показатели индивидуальных хронологий / Average values of individual chronologies

Название хронологии	Период	Среднее число лет в хронологиях	Средний радиус, мм	Средний годичный прирост, мм	Древесная порода	Широта Долгота
Ключи	1969–2018	45±5	99,3±17	2,2±0,5	Берёза	52°13'30.87"C 79°11'38.60"B
Ключи	1969–2019	42±,8	132,6±40,1	3,2±0,7	Тополь	52°13'28.36"C 79°11'39.76"B
Назаровка	1975–2018	39±2,6	99,9±17	2,6±0,5	Берёза	51°57'49.31"C 79°38'48.86"B
Назаровка 2	1979–2021	37±2,9	109,3±20,5	2,9±0,5	Берёза	51°59'35.66"C 79°36'03.16"B
Ащигуль	1965–2021	43±5,5	100,5±26,2	2,3±0,5	Берёза	52° 6'0.12"C 79°55'4.14"B
Рубцовск	1965–2018	50±3,6	128,7±24,2	2,6±0,5	Берёза	51°40'3.32"C 81° 3'27.18"B
Рубцовск	1947–2019	65±8,4	224,1±44,2	3,4±0,5	Тополь	51°40'28.47"C 81° 3'51.23"B
Почвенная станция	1949–2018	51±9,3	163,4±41,2	3,2±0,6	Тополь	52° 3'51.72"C 79°54'20.24"B
Почвенная станция	1975–2019	40±3,2	109,5±14,5	2,7±0,4	Берёза	52° 3'58.89"C 79°54'38.98"B
Полуямки	1950–2019	56±8,9	202,6±37,4	3,6±0,7	Тополь	52° 3'53.35"C 79°42'37.92"B
Михайловское	1979–2018	35±4,8	116,5±24	3,3±0,9	Тополь	51°51'33.08"C 79°42'32.03"B
Угловское	1972–2018	38±7,4	130,8±36,8	3,5±0,8	Тополь	51°22'54.44"C 80° 3'52.98"B
Новоугловский	1971–2018	38±7,4	138,0±33	3,8±0,6	Тополь	51°26'13.70"C 80°13'48.93"B
Новоугловский	1979	39±5,2	149,1±31,3	3,9±0,8	Сосна	51°25'25.92"C 80°15'10.08"B

Название хронологии	Период	Среднее число лет в хронологиях	Средний радиус, мм	Средний годичный прирост, мм	Древесная порода	Широта Долгота
Волчиха	1961–2018	55±2	65,2±12,3	1,2±0,2	Лиственница	52°02'34,01"С 80°18'41,38"В
Волчиха	1947–2019	62±5	93,2±19,9	1,5±0,3	Берёза	52°02'32,53"С 80°18'43,87"В
Чернокоровниково	1967–2020	45±4,1	156,3±31,5	3,4±0,6	Тополь	51°37'56,40"С 80°27'49,72"В
Топольное	1971–2020	48±2,2	208,7±41	4,3±0,8	Тополь	50°56'17,7" С 80°07' 36,5" В
Кулунда	1971-2020	46±3,5	90,8±17,2	2,0±0,4	Берёза	52°36'39,46"С 78°52'52,34"В
Гришковка	1978–2020	41±1,8	151,8±28	3,7 ±0,6	Сосна	53°11'49,3" С 78°52' 23,3" В
Гришковка	1975–2020	42±3,4	123,7±26,5	3.0 ±0,7	Берёза	53°11'49,3" С 78°52' 23,3" В

Источник: составлено авторами

изменяется от 0,13 до 0,37: берёза — 0,13–0,37, тополь — 0,17–0,30, лиственница — 0,18. Наблюдается зависимость средней ширины прироста от среднего возраста хронологий на участках, указывающая на наличие возрастного тренда в радиальном росте деревьев (рис. 3).

Наиболее высокую скорость роста в сухой степи демонстрируют тополь и сосна, затем берёза, наименьшими темпами роста характеризуется лиственница. Тополь опережает берёзу по скорости прироста на 30%, а берёза превосходит лиственницу на 25–40%. У тополя отмечается тенденция увеличения ширины годичного кольца в юго-западном направлении, что связано с климатическими и географическими особенностями. Аналогичная, но менее выраженная тенденция наблюдается у берёзы. Приросты деревьев лесополос также

определяются их положением в лесополосе. Сравнительный анализ приростов деревьев с наветренной и подветренной сторон показывает, что значительное влияние оказывает снегонакопление. Наибольшими приростами отличаются деревья, расположенные на северо-восточной окраине лесополос, что определяется лучшим их увлажнением в связи с формированием здесь снежных заносов. Наименьшие приросты отмечаются у деревьев в глубине лесополос.

Анализ скорости вертикального роста показал значительные различия: тополь увеличивается с 80 см до 120 см за год, берёза — за 2–3 года, сосна — за 5 лет. Коэффициент чувствительности варьирует от 0,18 до 0,5 (табл. 2). Наиболее чувствительна к колебаниям климата берёза, затем лиственница,

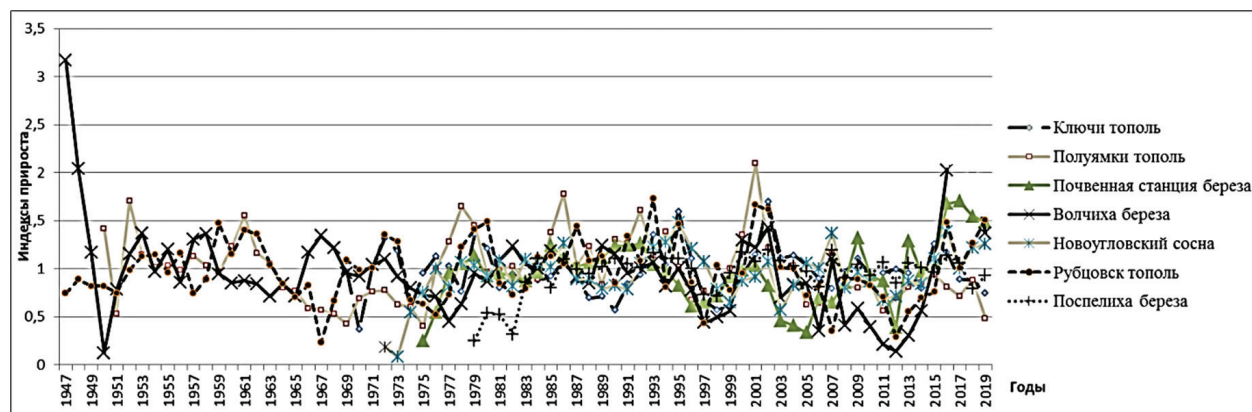


Рис. 3 / Fig. 3. Некоторые стандартизированные обобщённые древесно-кольцевые хронологии / Some standardized generalized tree-ring chronologies

Источник: составлено авторами

Таблица 2 / Table 2

Единый популяционный сигнал (EPS) абсолютных ДКХ и чувствительность обобщённых стандартизированных ДКХ/ Expressed Population Signal (EPS) of absolute (TRC) and sensitivity of generalized standardized (TRC)

Дендрополигон	Тополь		Берёза		Сосна		Лиственница	
	EPS	Чувствительность обобщённых ДКХ	EPS	Чувствительность обобщённых ДКХ	EPS	Чувствительность обобщённых ДКХ	EPS	Чувствительность обобщённых ДКХ
Гришковка			0.98	0.28	0.98	0.22		
Кулунда			0.99	0.41				
Ключи	0.94	0.28	0.98	0.41				
Почвенная станция	0.99	0.30	0.97	0.35				
Полуямки	0.98	0.29						
Назаровка			0.98	0.33				
Назаровка 2			0.98	0.19				
Ашигуль			0.99	0.34				
Михайловское	0.97	0.23						
Волчиха			0.93	0.33			0.99	0.31
Рубцовск	0.98	0.35	0.99	0.35				
Угловское	0.95	0.29						
Новоугловский	0.97	0.23			0.98	0.24		
Чернокоровниково	0.99	0.31						
Топольное	0.99	0.21						

Примечания: EPS – единый популяционный сигнал EPS (Expressed Population Signal), ДКХ – древесно-кольцевые хронологии.

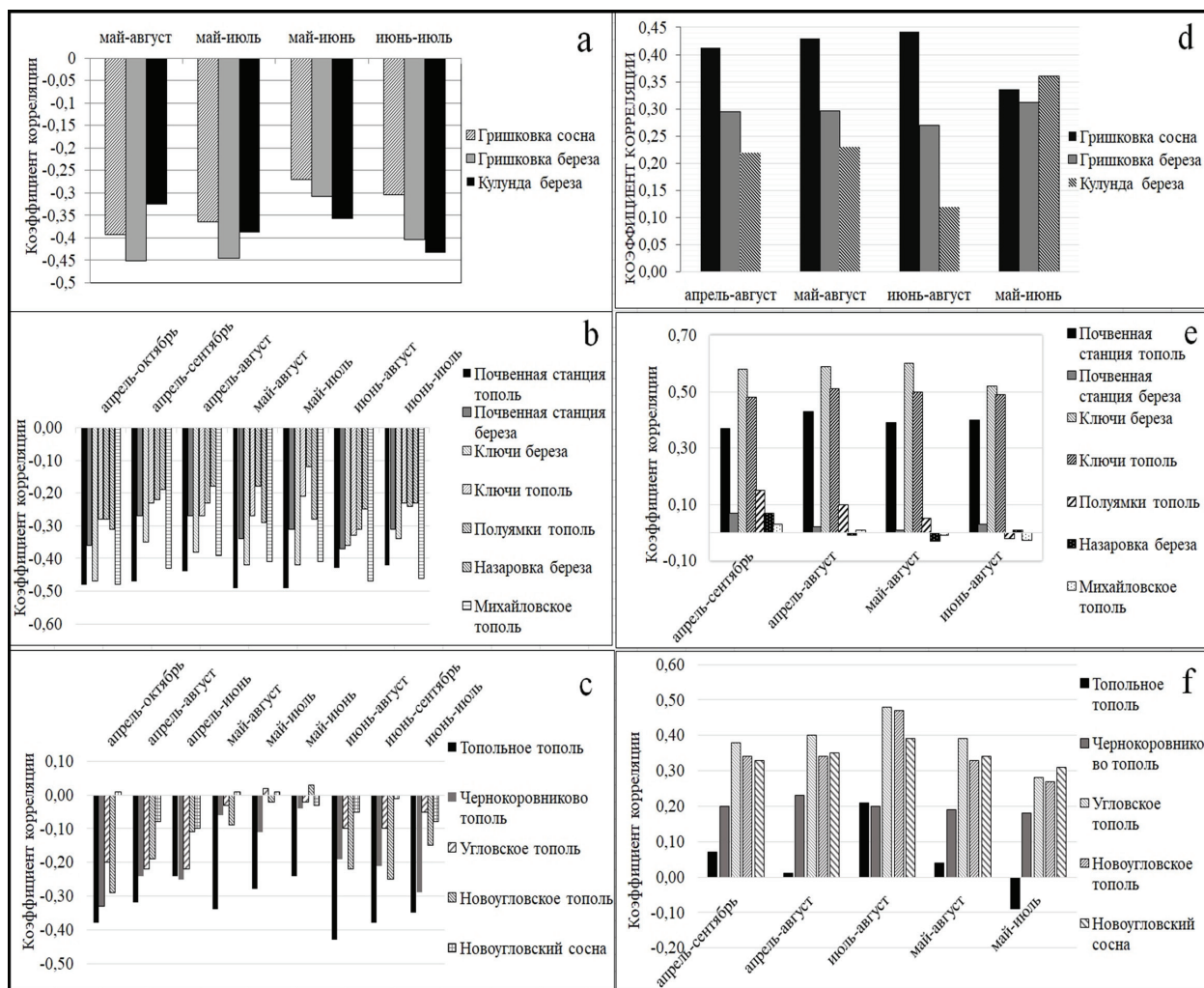
Источник: составлено авторами

тополь, а наименее – сосна. В группах тополевых и берёзовых хронологий отмечается повышение чувствительности хронологий в северо-восточном направлении. Чувствительность берёзовых хронологий изменяется в пределах ландшафтных катен: наибольшей чувствительностью отличаются берёзовые хронологии плакорных местоположений, а наименьшей – субкавальных участков.

Сопоставив данные древесно-кольцевых хронологий с количеством осадков и температурой, можно отметить, что взаимосвязь между радиальным приростом и среднемесячным количеством осадков выражена более отчетливо. Связи радиального прироста с осадками, преимущественно, положительные, это свидетельствует о том, что влага способствует увеличению прироста древесины в условиях сухой степи, и напротив, дефицит увлажнения вызывает уменьшение радиального прироста (рис. 4).

В северной части исследуемой территории в вегетационный период наиболее значимы осадки мая и июня, в средней – осадки за периоды апрель–август и май–август, а в южной части все деревья полезащитных лесополос положительно реагируют на осадки июля и августа. Внутри лесополосы также наблюдаются отличия, например, для деревьев северо-восточной окраины лесополосы наиболее значимыми являются осадки июня, а для деревьев, находящихся в середине лесополосы – осадки мая.

Взаимосвязь между среднемесячной температурой воздуха и радиальным приростом имеет обратную зависимость: повышение температуры воздуха вызывает снижение величины прироста древесины. Это объясняется возникновением неблагоприятных условий роста при повышении температуры воздуха: снижается влажность почвы, формируется дефицит влаги. Как правило, отрицательное



Условные обозначения:

- а) Связь средней температуры воздуха за определённые периоды на метеостанции «Славгород» с индексами приростов годичных колец;
- б) Связь средней температуры воздуха за определённые периоды на метеостанции «Ключи» с индексами приростов годичных колец;
- в) Связь средней температуры воздуха за определённые периоды на метеостанции «Угловское» с индексами приростов годичных колец;
- д) Связь индексов приростов древесных растений и суммы атмосферных осадков на метеостанции «Славгород» за отдельные периоды;
- е) Связь индексов приростов древесных растений и суммы атмосферных осадков на метеостанции «Ключи» за отдельные периоды;
- ф) Связь индексов приростов древесных растений и суммы атмосферных осадков на метеостанции «Угловское» за отдельные периоды.

Рис. 4 / Fig. 4. Связь индексов приростов древесных растений с температурой и суммами атмосферных осадков за отдельные периоды/ Relationship between growth indices of woody plants and temperature and precipitation amounts for individual periods

Источник: составлено авторами

воздействие оказывает повышение температуры в вегетационный период, начиная с апреля. При этом у северных хронологий наиболее значимыми оказываются июнь и июль, а у южных — май и июнь.

Анализ корреляции древесно-кольцевых хронологий с ГТК Селянинова (диапазон

значений 0,23–0,74) показал значимость совокупного фактора тепла и влаги (табл. 3). К увлажнению наиболее чувствительны сосна и берёза, а менее — тополь и лиственница.

Древесно-кольцевая индикация предоставляет ценные данные о возрасте деревьев, скорости их роста и реакции на внешние фак-

Таблица 3/ Table 3

Коэффициенты корреляции индексов обобщённых хронологий и ГТК Селянинова по метеостанции Рубцовск/Славгород за 1989–2018 гг./ Correlation coefficients of generalized chronology indices and Selyaninov's HTC for the Rubtsovsk/Slavgorod meteorological station for 1989–2018

Название хронологии	Порода	Коэффициент корреляции	Название хронологии	Порода	Коэффициент корреляции
Гришковка	Сосна	0,42/0,44	Полуямки	Тополь	0,23/0,24
Гришковка	Берёза	0,29/0,18	Михайловское	Тополь	0,41/0,58
Кулунда	Берёза	0,44/0,40	Волчиха	Лиственница	0,34/0,14
Ключи	Берёза	0,67/0,34	Волчиха	Берёза	0,60/0,32
Ключи	Тополь	0,41/0,42	Угловское	Тополь	0,37/0,28
Назаровка	Берёза	0,30/0,39	Новоугловский	Тополь	0,33/0,21
Назаровка 2	Берёза	0,59/0,32	Новоугловский	Сосна	0,74/0,38
Ашигуль	Берёза	0,50/0,32	Чернокоровниково	Тополь	-0,01/0,17
Почвенная станция	Тополь	0,28/0,54	Почвенная станция	Берёза	0,23/0,46
Рубцовск	Берёза	0,61/0,32	Топольное	Тополь	0,11/0,42
Рубцовск	Тополь	0,28/0,40			

Источник: составлено авторами

торы, что помогает понять долгосрочную динамику развития лесных полос. Однако для оценки их текущего состояния и разработки мер по сохранению необходимы точные данные о структуре насаждений. Таксационное обследование, включающее анализ высоты деревьев, диаметров стволов, состояния крон и санитарного состояния насаждений, позволяет дополнить данные дендрохронологии и получить комплексное представление о текущем состоянии и устойчивости полезащитных лесных полос.

ТАКСАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС

Таксационное обследование показало, что число деревьев на площадке размером 400 м² в изученных лесополосах колеблется от 10 до 61, а в среднем составляет 30,4 (табл. 4). Средняя высота деревьев изменяется от 8,9 м до 30,5 м. Диаметры стволов у основания и на высоте ~1,3 м в среднем составляют 37,3 и 28,9 см соответственно. При этом максимальные средние размеры у основания достигают 85,7 см, а минимальные — 12,5 см. На высоте ~1,3 м — 7,5 см, а максимальные — 44,6 см. Средний диаметр крон варьирует в лесополосах от 3,33 м до 20 м, по всем исследованным площадкам — 5,92 м. Средние по площадке

категории санитарного состояния деревьев изменяются от 1,55 до 3,33, а по всем площадкам — 2,11.

Многие показатели тесно связаны друг с другом. Наиболее сильно взаимосвязаны диаметры стволов у основания и на высоте ~1,3 м (коэффициент корреляции составляет 0,99). Высота деревьев имеет значимую связь с диаметрами стволов на различных уровнях, что прямо обусловлено их возрастом. Обратная связь со средними морфологическими показателями деревьев имеет число деревьев на площадке — выше деревья и толще их стволы, тем меньше их остаётся на площадке (табл. 5).

В соответствии с Правилами санитарной безопасности в лесах¹ почти все исследованные лесополосы относятся к категории ослабленных лесных насаждений (средневзвешенный балл 1,51–2,5) и 1 лесополоса — к категории сильно ослабленных лесных насаждений. Средневзвешенный балл санитарного состояния всех обследованных лесополос — 2,14. Это свидетельствует о том, что лесополосы в среднем близки к переходу в категорию сильно ослабленных насаждений.

Средневзвешенные категории санитарного состояния деревьев коррелируют с их морфологическими признаками (высота деревьев,

¹ Постановление Правительства РФ от 9 декабря 2020 г. № 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах» // СПС «Консультант Плюс».

Таблица 4 / Table 4

Средние показатели деревьев исследованных полевых защитных лесополос / Average indicators of trees in the studied shelterbelts

Название площадки	Порода	Число деревьев	Высота деревьев, м	Диаметр ствола у основания, см	Диаметр ствола на высоте ~1,3 м, см	Диаметр кроны, м	Категория санитарного состояния	Возраст, лет
Поспелиха	Лиственница	32	15±2,9	29,3±7,5	22,4±6,1	3,41±1,5	2,12±0,5	47
Рубцовск	Берёза	21	18,6±5,8	33±11,4	25,9±9,0	4±1,7	2±0,8	57
Рубцовск	Тополь	11	30,5±1,8	85,7±15,5	75,2±2,8	20±1,2	3,33±0,5	75
Ключи	Берёза	52	8,9±5,6	12,5±12,5	7,5±8,5	6,49±2,0	1,55±0,5	53
Ключи	Тополь	24	15±6,7	46,6±21,6	31,5±11,2	6,94±3,1	2±0,3	53
Чернокоровниково	Тополь	45	22,1±9,7	43,9±12,8	35,2±11,2	3,33±1,6	2,2±0,5	55
Новоугловский	Сосна	17	18,2±3,3	35±11,4	31,8±7,0	5,27±1,8	1,59±0,5	43
Угловское	Тополь	18	13±6,3	31,7±13,6	26,4±12,8	3,78±2,2	2,28±	50
Топольное	Тополь	15	21,2±3,5	43,8±7,7	37,7±7,4	5,14±2,3	2,1±0,3	51
Михайловское	Тополь	34	12,6±3,9	31,5±9,8	28±6,9	3,89±1,8	2,22±0,8	43
Назаровка	Берёза	45	10,3±5,2	12,6±12,2	8,6±8,1	4,14±1,8	1,8±0,7	47
Назаровка 2	Берёза	28	12,5±3,8	36,6±11,7	23,6±8,7	6±2,1	1,71±0,7	44
Ащигуль	Берёза	43	11,2±3,3	35,6±14,3	19,2±7,4	4,59±1,6	2,12±0,8	57
Почвенная станция	Тополь	10	19,6±5,2	57,4±20,8	44,6±11,7	8,29±2,6	2,4±0,7	73
Почвенная станция	Берёза	61	13,9±7,4	23,9±13,7	16,7±9,7	3,49±1,7	2,25±0,9	47

Источник: составлено авторами

Таблица 5 / Table 5

Связь таксационных показателей и санитарного состояния деревьев в полевых защитных лесополосах / Relationship between taxation indicators and the sanitary condition of trees in shelterbelts

Показатели	Число деревьев	Высота деревьев	Диаметр ствола у основания	Диаметр ствола на высоте ~1,3 м	Диаметр кроны	Категория состояния	Возраст
Число деревьев	1						
Высота деревьев	-0,57	1					
Диаметр ствола у основания	-0,68	0,90	1				
Диаметр ствола на высоте ~1,3 м	-0,69	0,92	0,99	1			
Диаметр кроны	-0,45	0,68	0,80	0,81	1		
Категория состояния	-0,38	0,72	0,82	0,83	0,73	1	
Возраст	-0,44	0,81	0,78	0,77	0,84	0,67	1

Источник: составлено авторами

диаметры их стволов, диаметр кроны). Чем больше их размеры, тем хуже их состояние. Наиболее хорошим физиономическим индикатором санитарного состояния деревьев является диаметр их ствола. Если средний на пло-

щадке диаметр стволов у их основания менее 30 см, то, как правило, средний балл категории санитарного состояния <2. По мере увеличения среднего диаметра от 30 до 80 см среди деревьев II категории увеличивается доля

деревьев III категории. Деревья с диаметром стволов более 80 см чаще всего имеют III и IV категорию санитарного состояния. Среднее значение санитарного состояния, равное 2, достигается деревьями лесополос сухостепной подзоны примерно в 40-летнем возрасте, а значение, равное 3 — в возрасте 55–60 лет (рис. 5).

Переход в категорию сильно ослабленных насаждений происходит, в среднем, в возрасте 50 лет (возраст дерева на высоте ~1,3 м). Поскольку возраст всех обследованных деревьев составляет 45 лет, следует ожидать, что большинство исследованных лесополос перейдут в категорию сильно ослабленных насаждений в течение ближайших 5–7 лет, а через 15 лет — в категорию усыхающих насаждений.

В лесополосах Ащигуль, Назаровка, Назаровка-2 и Рубцовск у основания стволов берёз были отобраны керны для проверки наличия ядровой гнили. Всего было обследовано 82 дерева. Оказалось, что 100% деревьев IV категории санитарного состояния поражены ядровой гнилью. Среди деревьев III категории поражены 88% деревьев, II категории — 59%, а среди I категории — 32%. Таким обра-

зом, ядровая гниль наиболее распространена среди деревьев с худшим санитарным состоянием.

АНАЛИЗ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСОПОЛОС

Использование методов дистанционного зондирования (мультиспектральные снимки Landsat 5 и Landsat 8) и картографирования лесополос исследуемой территории позволило сделать выводы о неравномерном их распределении и сокращении их площади за последние 30 лет. Наибольшая плотность лесных полос наблюдаются в центральной части, исследуемой территории, которая приурочена к Михайловскому, Волчихинскому и Кулундинскому районам Алтайского края (до 3,4 км длины лесных полос на км²) (рис. 6а).

Южная и северная оконечности исследуемой территории характеризуются наименьшей плотностью полезащитных лесных полос от 0 до 0,9 км на км². Площадь лесополос за период с 1990 по 2022 г. на модельном участке

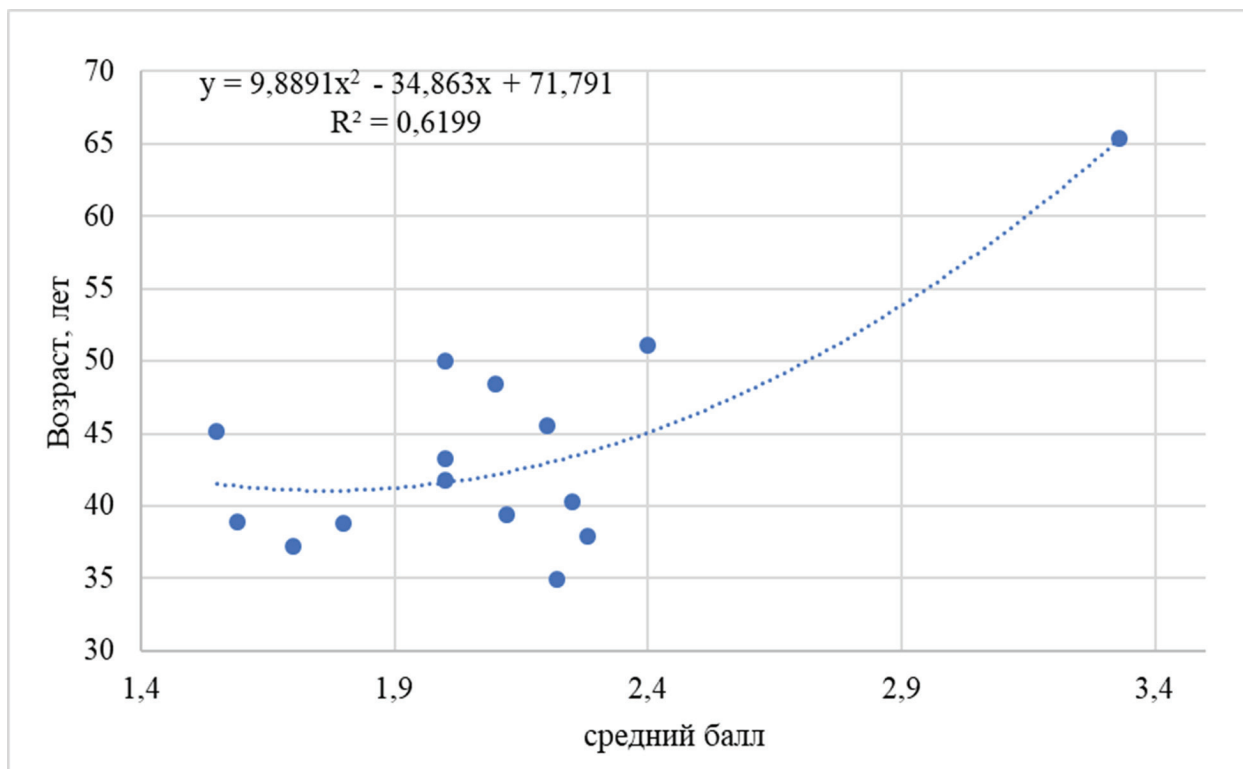


Рис. 5 / Fig. 5. Взаимосвязь среднего возраста и категорий санитарного состояния у деревьев полезащитных лесополос / Relationship between average age and categories of sanitary condition of trees in shelterbelts

Источник: составлено авторами

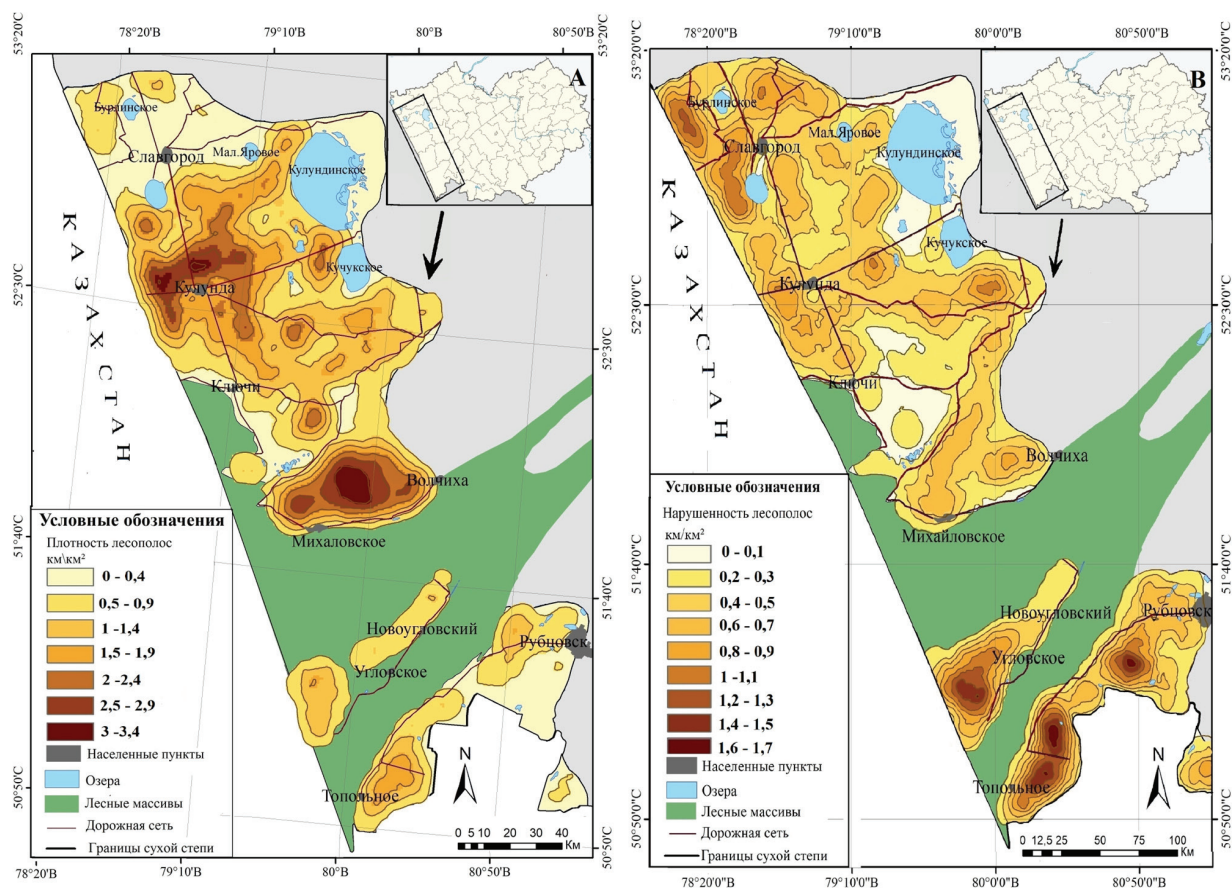


Рис. 6 / Fig. 6. Карты плотности (а) и нарушенности (б) лесных полос сухостепной подзоны Кулунды / Maps of density (a) and disturbance (b) of forest belts of the dry steppe subzone of Kulunda

Источник: составлено авторами

сократилась с 8 990 га до 8 080 га, что составляет почти 10%. Наиболее нарушенные участки отмечаются в Угловском, Рубцовском, Славгородском, Табунском районах Алтайского края. В данных районах на 1 км² приходится 1,7 км выпавших лесополос (рис. 6б).

Проанализировав расположение полевых защитных лесных полос относительно господствующих ветров, было установлено, что их ориентация иногда неэффективна с точки зрения уменьшения скорости ветра и снегонакопления¹. Наибольшее ветрозащитное влияние они оказывают в том случае, если расположены перпендикулярно направлению ветра. Отклонение направления ветра от перпендикулярного допускается не более 30°².

¹ Особенности распределения снежного покрова на сельскохозяйственных угодьях сухой степи Алтайского края / Н. И. Быков, Е. В. Рыгалов, А. А. Шигимага, А. А. Бондарович // География и природопользование Сибири. 2020. № 27. С. 63–72.

² Лесомелиорация ландшафтов: учебник / А. Р. Родин, С. А. Родин, С. Б. Васильев, Г. В. Силаев. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2014. 192 с.

Для достижения наибольшего положительного эффекта на прилегающие территории лесные полосы должны располагаться перпендикулярно господствующим ветрам. Результаты картографирования показывают, что в Ключевском и Кулундинском районах наблюдаются области с неэффективными защитными насаждениями, направление которых в большинстве соответствует от 0° до 90° и имеют северо-восточное направление (рис. 7). В данном случае лесные полосы параллельны господствующим ветрам и, соответственно, не обеспечивают достаточной защиты от ветров и их воздействия на окружающую среду. В Табунском, Волчихинском, Угловском районах Алтайского края наблюдается наиболее выгодное расположение насаждений, которое соответствует юго-восточному направлению.

Оценка индекса NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) показала, что вегетационный сезон у всех исследованных лесных полос начинается в период с апреля по май и заканчивается с сентября по октябрь в зависимости

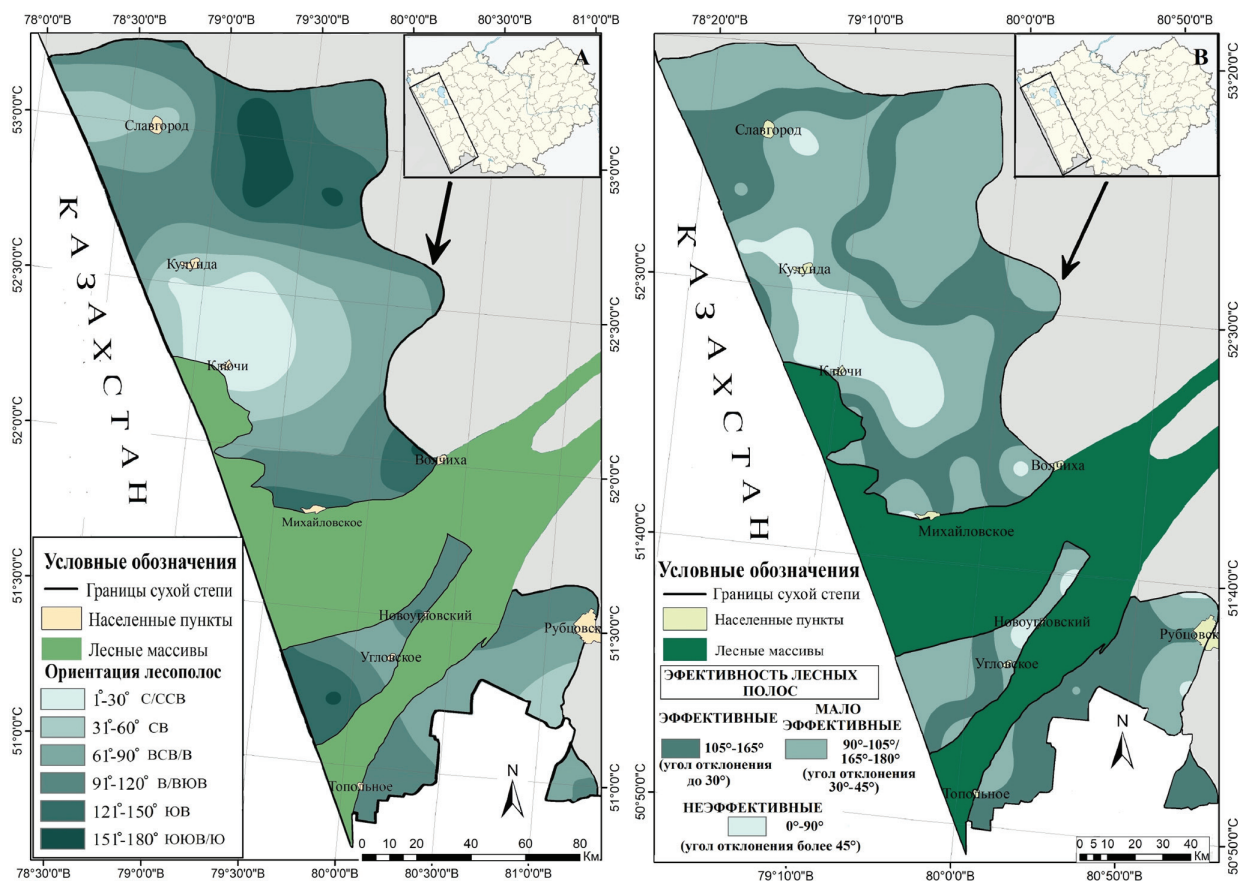


Рис. 7 / Fig. 7. Карты ориентированности (а) и эффективности (б) лесных полос сухостепной подзоны Кулунды / Maps of orientation (a) and efficiency (b) of forest strips in the dry-steppe subzone of the Kulunda subzone

Источник: составлено авторами

от конкретного года. Раньше всех вегетационный период начинается у берёзы повислой, несколько позднее (через 7–14 дней) у тополя бальзамического и далее у лиственницы сибирской. Окончание вегетации тополевых лесополос происходит раньше берёзы на несколько дней. В целом, средняя длина вегетационного периода у берёзы за исследованный период с 2017 по 2022 г. составляет 173 дня, у тополя — 164 дня, у лиственницы — 159 дней. По тополевым дендрополигонам отмечается уменьшение длины вегетационного периода в южном направлении, возможно, это связано с более засушливыми условиями на юге исследуемой территории, которые ограничивают доступность влаги для растительности (рис. 8). По берёзовым дендрополигонам особой закономерности выявлено не было.

Для исследованных дендрополигонов были рассчитаны максимальные значения индекса NDVI за период вегетации. Дендрополигоны: Рубцовск (берёза, тополь), Волчиха (лиственница), Назаровка-2 (берёза), Ащегуль

(берёза), Кулунда (берёза), характеризуются максимальными значениями индекса NDVI. Подобная тенденция может быть связана с различными факторами: породным составом, густотой насаждений (участки лесных полос с выпавшими деревьями имеют наименьшие значения индекса NDVI), климатическими факторами (осадками, температурой), и немаловажным моментом может выступать здоровье древесных насаждений. Кроме того, на некоторых дендрополигонах отмечена тенденция снижения значений индекса NDVI со временем.

Дополнительно был проведён анализ средних значений NDVI по дендрополигонам с таксационными показателями: диаметр крон, диаметр ствола у основания, диаметр ствола на высоте ~1,3 м, возраст, высота деревьев, а также категории состояния насаждений (рис. 9).

Анализ выявил устойчивые взаимосвязи между значениями NDVI и таксационными характеристиками древостоев. Наиболее выраженная корреляция NDVI с высотой де-

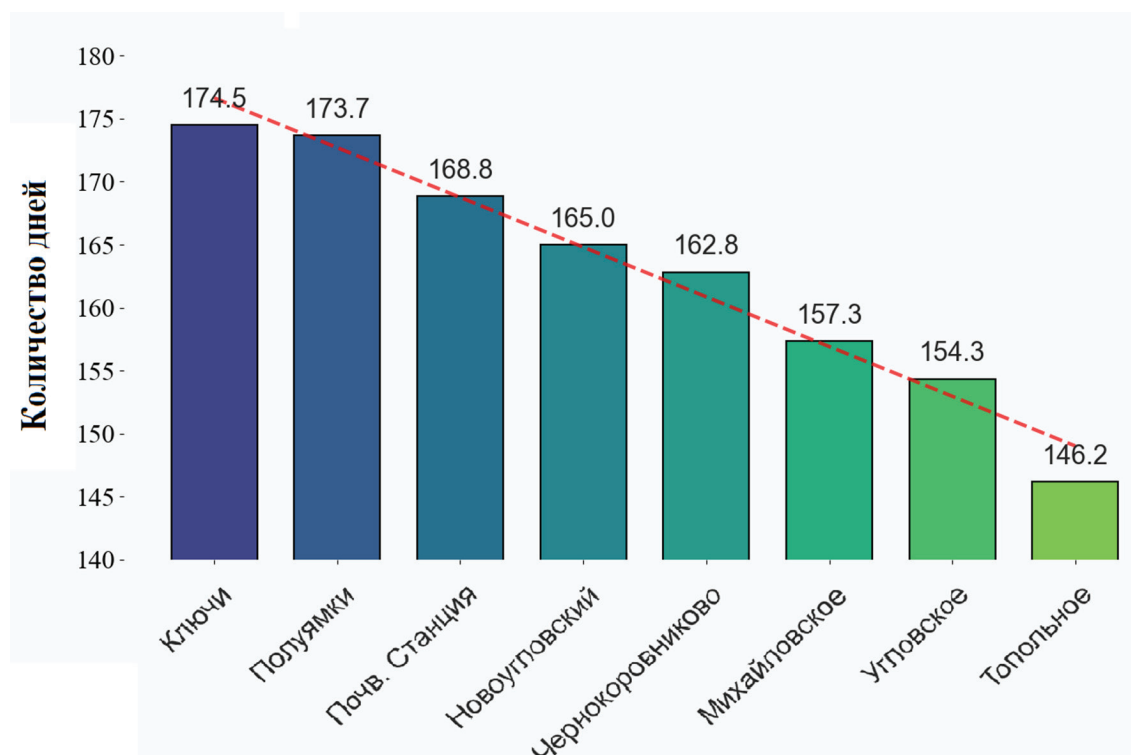


Рис. 8 / Fig. 8. Распределение длины вегетационного периода с севера на юг по тополевым дендрополигонам / Distribution of the length of the growing season from north to south across poplar dendropolygons

Источник: составлено авторами

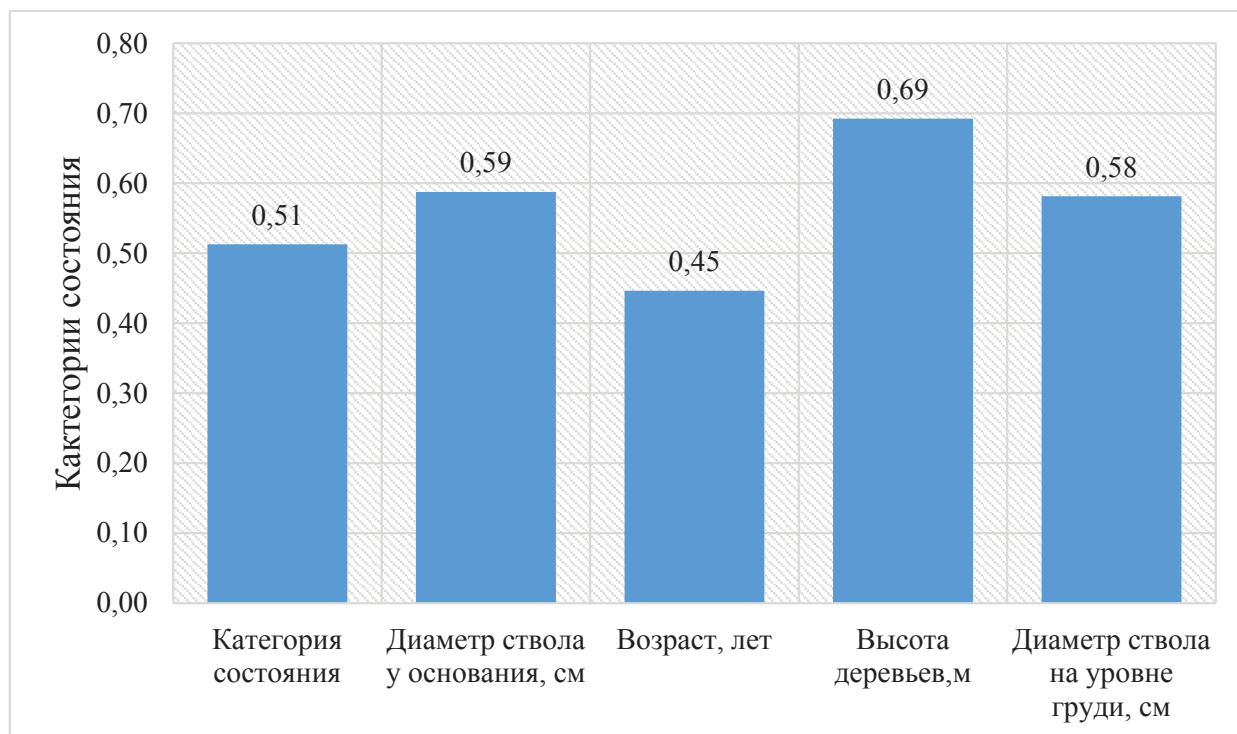


Рис. 9 / Fig. 9. Корреляция среднего значения NDVI дендрополигонов с таксационными показателями / Correlation of the average NDVI value of dendropolygons with taxation indicators

Источник: составлено авторами

ревьев, обусловлена увеличением площади листовой поверхности, что усиливает фотосинтетическую активность и, как следствие, повышает значения индекса. Диаметр ствола является показателем накопленной биомассы и общего развития дерева. Более толстые стволы обычно характерны для зрелых и здоровых деревьев, которые активно участвуют в фотосинтезе и имеют развитую корневую систему, обеспечивающую доступ к ресурсам. Это объясняет сильную связь с NDVI, т. к. такие деревья демонстрируют высокую вегетационную активность. При этом связь с возрастом деревьев менее выражена, что может быть связано с постепенным снижением фотосинтетической активности у старых деревьев, несмотря на увеличение их биомассы. Таким образом, NDVI демонстрирует высокую чувствительность к ключевым биометрическим параметрам, что делает его мощным инструментом для мониторинга продуктивности и здоровья лесных экосистем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ показал, что современное состояние полезащитных лесополос характеризуется значительным ухудшением, обусловленным как климатическими факторами, так и возрастной структурой насаждений. Наибольшее значения для радиального роста деревьев полезащитных лесополос сухой степи имеет увлажнение территории.

Возраст, морфометрические показатели деревьев и их санитарное состояние коррелятивно взаимосвязаны, что позволяет на их основе осуществлять прогноз состояния лесополос. Имеется устойчивая линейная связь морфометрических показателей с возрастом деревьев. При этом чем значительнее морфометрические показатели деревьев (высота деревьев, диаметры их стволов, диаметр крон), тем хуже их санитарное состояние. На основании установленной связи между возрастом деревьев и их санитарным состоянием можно прогнозировать, что через 5–7 лет они перейдут в категорию сильно ослабленных насаждений, что вызовет их частичное разрушение, а через 15 лет – в категорию усыхающих насаждений.

Анализ данных дистанционного зондирования и картографирование лесополос иссле-

дуемой территории позволил сделать выводы о неравномерном их распределении и сокращении их площади. Установлено, что ориентация лесных полос иногда неэффективна с точки зрения уменьшения скорости ветра и снегонакопления. Анализ данных NDVI свидетельствует о различиях в длине вегетационного периода у деревьев разных пород, а также сокращении значений NDVI в многолетнем плане, что, вероятно, обусловлено старением лесополос.

Наибольшему сокращению подвержены полезащитные лесные полосы возрастом более 50 лет, состоящие преимущественно из берёзы и тополя. Это связано с естественным старением древостоев, снижением их устойчивости к засухам и увеличением поражения ядровой гнилью.

Полученные результаты подчёркивают необходимость срочных управленческих мер для сохранения и восстановления лесополос, учитывая их значительную деградацию и возрастающие климатические риски. Требуется разработка и внедрение новых стратегий, направленных на улучшение санитарного состояния лесополос и их адаптацию к экстремальным климатическим условиям, чтобы обеспечить их устойчивость и функциональность в будущем.

Для предотвращения дальнейшей деградации и повышения устойчивости лесополос рекомендуется начать с поэтапной замены стареющих деревьев молодыми саженцами, уделяя особое внимание породам, показавшим наибольшую устойчивость и скорость роста.

На основе проведённого анализа можно сделать вывод, что наиболее успешной для формирования лесных полос в условиях сухой степи Алтайского края является сосна. Она демонстрирует высокую скорость радиального роста и устойчивость к засушливым условиям, что делает её наиболее подходящей для защиты от ветровой эрозии и улучшения микроклимата. Тополь также является быстрорастущей и засухоустойчивой породой, однако он более подвержен ядровой гнили и менее долговечен. Берёза и лиственница менее устойчивы к дефициту влаги и имеют более низкие темпы роста. Таким образом, приоритет следует отдавать сосне как наиболее перспективной и долговечной породе. Это позволит не только сохранить функциональ-

ность лесополос, но и адаптировать их к изменяющимся климатическим условиям.

Возведение новых полезащитных лесных полос необходимо проводить с учётом их ориентации для повышения эффективности защиты от ветра и увеличения снегонакопления. Для предотвращения развития заболеваний на здоровые деревья следует регулярно проводить санитарные рубки, удаляя деревья с III и IV категориями состояния и пораженные гнилью.

Однако самое важное — это разработка и внедрение региональной программы поддержки, направленной на восстановление и поддержание полезащитных насаждений, с привлечением финансирования из федеральных и местных бюджетов. Вовлечение местных сообществ и сельхозпроизводителей в процесс восстановления лесополос также является важным шагом, т. к. это позволит повысить осведомлённость о роли лесополос в защите почв и повышении урожайности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абакумов Б. А., Бабенко Д. К., Бертнев И. М. Защитное лесоразведение в СССР. М.: Агропромиздат, 1986. 263 с.
2. Алтайский край: атлас. Т. 1. М., Барнаул, 1978. 203 с.
3. Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С.. Дендроклиматические исследования в Урало Сибирской Субарктике. Новосибирск: Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 246 с.
4. Грибачева О. В., Сотников Д. В., Черская Н. А. Влияние полезащитных лесополос и сорной растительности на урожайность озимой пшеницы в ГУП ЛНР «Агрофонд» // Вестник аграрной науки. 2022. № 2. С. 12–19. DOI 10.17238/issn2587-666X.2022.2.12
5. Ишутин, Я. Н. Лесополосы в Кулундинской степи. Барнаул: Алт. Ун-т, 2005. 160 с.
6. Кукис С. И., Горин В. И. История защитного лесоразведения в Алтайском крае // Опыт полезащитного лесоразведения на Алтае: сб. ст. / сост. А. Д. Нехаев, Н. В. Яшутин. Барнаул: Алтайское кн. изд-во, 1973. С. 13–71.
7. Методы дендрохронологии. Ч. I / С. Г. Шиятов, Е. А. Ваганов, А. В. Кирдянов, В. Б. Круглов, В. С. Мазепа, М. М. Наурзбаев, Р. М. Хантемиров. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
8. Парамонов Е. Г. Итоги инвентаризации защитных лесных насаждений в Алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 8. С. 58–62.
9. Парамонов Е. Г., Ишутин Я. Н. Лесополосы как фактор улучшения экологической обстановки в степной Кулунде // Сибирский экологический журнал. 2009. № 5. С. 687–691.
10. Румянцев Д. Е. Лес, засуха, урожай зерновых и дендрохронология // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 3. С. 82–85.
11. Cook E. R., Krusic P. J. Program ARSTAN: A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics. Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University. Palisades. N.Y., 2005. 14 p.
12. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-Ring Bull. 1983. Vol. 43. № 3. P. 69–78.
13. Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian / eds.: M. Kaennel, F. H. Schweingruber. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 1995. 467 p.
14. Kharlamova N. F. Climatic Variability of the Kulunda Steppe // KULUNDA: Climate Smart Agriculture. Innovations in Landscape Research / eds.: M. Frühauf et al. Lentz. Springer, Cham, 2020. P. 19–32. DOI:10.1007/978-3-030-15927-6_3
15. Rinn F. TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
16. Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Htdrometeorology // Journal of Climate and Applied Meteorology. 1984. Vol. 23. P. 201–213.

REFERENCES

1. Abakumov B. A., Babenko D. K., Bertnev I. M. *Zashchitnoye lesorazvedeniye v SSSR* [Protective afforestation in the USSR]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 263 p.
2. *Altayskiy kray: atlas* [Altai region: atlas]. Vol. 1. Moscow, Barnaul, 1978. 203 p.
3. Vaganov E. A., Shiyatov S. G., Mazepa V. S. *Dendroklimaticheskiye issledovaniya v Uralo Sibirskoy Surktike* [Dendroclimatic studies in the Ural-Siberian Subarctic]. Novosibirsk, Sibirskaya izdatelskaya firma RAN Publ., 1996. 246 p.
4. Gribacheva O. V., Sotnikov D. V., Cherskaya N. A. [The influence of shelterbelts and weed vegetation on the yield of winter wheat in the State Unitary Enterprise of the LPR “Agrofond”]. In: *Vestnik agrarnoy nauki* [Bulletin of Agrarian Science], 2022, no. 2, pp. 12–19. DOI 10.17238/issn2587-666X.2022.2.12
5. Ishutin Ya. N. *Lesopolosy v Kulundinskoy stepi* [Forest Belts in the Kulunda Steppe]. Barnaul, Alt. Un-t Publ., 2005. 160 p.

6. Kukis S. I., Gorin V. I. [History of Protective Forest Cultivation in Altai Krai]. In: Nekhaev A. D., Yashutin N. V., eds. *Opyt polezashchitnogo lesorazvedeniya na Altaye* [Experience of Protective Forest Cultivation in Altai]. Barnaul, Altayskoye kn. izd-vo Publ., 1973, pp. 13–71.
7. Shiyatov S. G., Vaganov E. A., Kirdyanov A. V., Kruglov V. B., Mazepa V. S., Naurzbaev M. M., Khamtemirov R. M. [Dendrochronology Methods. Part I]. Krasnoyarsk, KrasGU Publ., 2000. 80 p.
8. Paramonov E. G. [Results of the inventory of protective forest plantations in Altai Krai]. In: *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 2012, no. 8, pp. 58–62.
9. Paramonov E. G., Ishutin Ya. N. [Shelterbelts as a factor in improving the environmental situation in the steppe Kulunda]. In: *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2009, no. 5, pp. 687–691.
10. Rumyantsev D. E. [Forest, drought, grain yield and dendrochronology]. In: *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2019, no. 3, pp. 82–85.
11. Cook E. R., Krusic P. J. *Program ARSTAN: A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics*. Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University. Palisades. N.Y., 2005. 14 p.
12. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. In: *Tree-Ring Bull*, 1983, vol. 43, no. 3, pp. 69–78.
13. Kaennel M., Schweingruber F. H., eds. *Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian*. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 1995. 467 p.
14. Kharlamova N. F. Climatic Variability of the Kulunda Steppe. In: Frühauf M. et al., eds. *KULUNDA: Climate Smart Agriculture. Innovations in Landscape Research*. Lentz. Springer, Cham, 2020, pp. 19–32. DOI:10.1007/978-3-030-15927-6_3
15. Rinn F. *TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation*. Heidelberg, Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p
16. Wigley T. M. L., Briffa K.R., Jones P. D. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. In: *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1984, vol. 23, pp. 201–213.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шигимага Анна Александровна — младший научный сотрудник лаборатории ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук;
e-mail: anettshigimaga@mail.ru

Быков Николай Иванович — кандидат географических наук, заведующий лабораторией ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук;
e-mail: nikolai_bykov@mail.ru

Рыгалова Наталья Викторовна — кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории ландшафтно-водноэкологических исследований и природопользования Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук;
e-mail: natalia.ml@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna A. Shigimaga — Junior Researcher, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Nature Management, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
e-mail: anettshigimaga@mail.ru

Nikolay I. Bykov — PhD (Geography), Laboratory Head, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Nature Management, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
e-mail: nikolai_bykov@mail.ru

Natalya V. Rygalova — PhD (Geography), senior researcher, Laboratory of Landscape-Water-Ecological Research and Environmental Management, Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;
e-mail: natalia.ml@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Шигимага А. А., Быков Н. И., Рыгалова Н. В. Комплексная оценка современного состояния полевых защитных лесных полос сухой степи Алтайского края // Географическая среда и живые системы. 2025. № 1. С. 6–26.

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-6-26

FOR CITATION

Shigimaga A. A., Bykov N. I., Rygalova N. V. Comprehensive assessment of the current state of field protection forest strips in the dry steppe of the Altai Territory. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 1, pp. 6–26.

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-1-6-26