

Лесомелиоративная оценка защищённости сельскохозяйственных угодий в сухостепной природной зоне

© 2026. А. А. Выприцкий, м. н. с., А. А. Хованская, лаборант-исследователь,
Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного
лесоразведения Российской академии наук,
400062, Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97,
e-mail: vyprickiy-a@vfanc.ru

В условиях сухостепной природной зоны каштановые почвы слабогумусированы и не имеют значительных запасов питательных элементов, в связи с чем любой вид их деградации приводит к резкому снижению продуктивности. Лесомелиорация является важнейшим инструментом защиты агролесоландшафтов от воздействия негативных факторов. В условиях сухой степи для лесных насаждений требуются регулярные лесоводственные уходы, при отсутствии которых в настоящее время наблюдается снижение их сохранности вплоть до полного распада лесомелиоративных систем. В связи с этим анализ сохранности таких систем с определением их пространственного размещения даёт возможность разработать картографические модели восстановления защитных лесомелиоративных насаждений. Используемое понятие лесомелиоративной защищённости предполагает определение соответствия конструкции, размещения и сохранности полезащитных лесных полос (ПЗЛП) лесомелиоративным нормам. Решение этой задачи в работе проведено методами геоинформационного анализа данных дистанционного зондирования Земли. В исследовании рассматриваются пахотные и залежные земли Михайловского района Алтайского края. Полученные результаты в ходе векторизации обрабатываемых земель коррелируют со статистическими данными на 97,5 %. Оценка современного состояния ПЗЛП осуществлена с использованием ГИС технологий и продуктов для оценки лесной растительности – ESRI Land Cover, Global Forest Change (GFC), вегетационного индекса NDVI и канала «красный» снимков сверхвысокого пространственного разрешения (Maxar). Проведена оценка точности результатов на тестовом участке для наиболее подходящих для исследования продуктов (NDVI – 68 %, классификация по «красному» каналу – 86 %). Выявлено, что 71721,5 га площади пахотных земель не защищены ПЗЛП.

Ключевые слова: лесные насаждения, сельскохозяйственные угодья, агролесомелиорация, дистанционное зондирование Земли.

Forest reclamation assessment of the protection of agricultural lands in the dry steppe natural zone

© 2026. A. A. Vypritskiy ORCID: 0000-0002-3095-6834, A. A. Khovanskaya ORCID: 0009-0006-8957-241X,
Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective
Afforestation of the Russian Academy of Sciences,
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, Russia, 400062,
e-mail: vyprickiy-a@vfanc.ru

Forest reclamation is an essential tool to protect agroforestry landscapes from negative impacts. However, forest reclamation plantations function only in compliance with the standards of placement and design, which primarily depends on the soil and geomorphological characteristics of the landscape. In the dry steppe, forest plantations require regular silvicultural care, in the absence of which their conservation is currently decreasing up to the complete collapse of forest reclamation systems. In this regard, the analysis of the preservation of such systems with the definition of their spatial location makes it possible to develop cartographic models for the restoration of protective forest reclamation plantations. The solution of this problem in this work was carried out using methods of geoinformation analysis of Earth remote sensing data. The study examines the arable and fallow lands of the Mikhailovskiy district of the Altai Krai. The results obtained during vectorization correlate with statistical data by 97.5 %. **The study uses 4 products to assess the actual state of the forest shelter-belts** – ESRI Land Cover, Global Forest Change (GFC), NDVI, classification by the “red” channel of ultra-high spatial resolution images. The accuracy of the results in the test area for the most suitable products for research was assessed (NDVI – 68 %, classification by the “red” channel – 86 %). It was revealed that 71,721.5 ha of arable lands are unprotected by the forest shelter-belts. The results obtained can be used for the further development of agroforestry complexes.

Keywords: forest plantations, agricultural lands, agroforestry, remote sensing.

Нерациональное природопользование отрицательно влияет на состояние почв. Обработанные земли подвержены деградации в результате ветровой (дефляции) и водной эрозии. Для предотвращения деградации земель, используемых для выращивания сельскохозяйственных культур, разрабатывают комплексы полезащитных лесных полос (ПЗЛП). В сухостепной географической зоне для защиты земель от деградации проектируются и создаются полезащитные и противоэрозионные (стокорегулирующие, прибалочные и приовражные) лесные насаждения соответствующей конструкции, учитывающие особенности характеристик территории. Полезащитные лесные полосы обеспечивают снижение скорости ветра, обеспечивая защиту полей от дефляции, а противоэрозионные полосы регулируют сток и предотвращают линейную и плоскостную эрозию. При этом сохраняется влажность почвы, улучшается микроклимат, задерживается снежный покров, обеспечивается защита от суховея и пыльных бурь [1].

Алтайский край является одним из сельскохозяйственных регионов страны, посевная площадь на территории края составляет более 5,3 млн га (по данным федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и Республике Алтай) [2, 3]. Михайловский район, площадь которого составляет 3113 км², находится на юго-западе края. Район граничит с Ключевским, Волчихинским и Угловским районами, а также Республикой Казахстан. Исследуемая территория находится в зоне сухой степи в пределах Кулундинской равнины с резко континентальным климатом: тёплым летом – средняя температура июля +21 °С и недостаточным увлажнением почв – среднегодовые осадки составляют 250 мм, более 70 % которых приходится на тёплый период [4]. В районе полностью отсутствует речная сеть, а часть территорий занимают солёные и солёно-горькие озёра. В Михайловском районе преобладают тёмно-каштановые, каштановые почвы и солонцы преимущественно легкосуглинистого и супесчаного гранулометрического состава, на юге района в ленточном бору преобладают боровые пески [5].

Защищённость сельскохозяйственных угодий лесными насаждениями является одним из главных факторов в поддержании продуктивности почв и уменьшении влияния процессов эрозии и дефляции на состояние пахотных земель [6]. Состояние, сохранность, породный состав и возраст древостоя в ПЗЛП

на территории Алтайского края и отдельных его районов изучались и ранее, но данные на настоящий момент не актуализированы [1, 7]. Следует отметить, что в ранее проведённых исследованиях не применялись методы с применением геоинформационного картографирования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), научные работы строились на обработке статистических данных и полевых исследованиях.

Целью работы является оценка защищённости лесными насаждениями сельскохозяйственных угодий Михайловского района Алтайского края в настоящее время.

Материалы и методы исследования

Анализ состояния защитных лесных насаждений показал, что ПЗЛП на территории Михайловского района Алтайского края достигли предельного возраста и не способны эффективно выполнять защитные функции [1]. Стоит отметить, что в Лесном плане отсутствуют статистические данные по площадям ПЗЛП, в связи с тем, что большая их часть размещена на землях сельскохозяйственного назначения. В настоящее время это является проблемой, не позволяющей актуализировать данные по состоянию ПЗЛП. Использование технологий с применением геоинформационных систем (ГИС) для анализа и картографирования лесных насаждений по данным ДЗЗ позволяет получить современные данные об их сохранности.

Объектом исследования являются сельскохозяйственные угодья и защитные лесные насаждения на территории Михайловского района Алтайского края. Предмет исследования – современная агролесомелиоративная защищённость сельскохозяйственных угодий.

Территория Михайловского района характеризуется большой степенью распаханности земель в неблагоприятных для ведения сельского хозяйства почвенно-климатических условиях. По открытым статистическим данным [2], площадь пахотных земель на 2016 г. составляла 95801,3 га, площадь залежей – 259,7 га. Согласно Л.В. Лебедевой и Н.М. Лучниковой [8], площадь обрабатываемых земель на территории исследования составляет 96775,4 га. Более 30 % площади района занимают сельскохозяйственные угодья (пахотные и залежные земли). Район находится в зоне недостаточного увлажнения – это означает, что урожай сельскохозяйственных культур зависит от количества осадков

в период вегетации. Наибольшую посевную площадь, по данным 2016 г., занимали зерновые и зернобобовые культуры: пшеница, рожь, ячмень, овёс, кукуруза на зерно, просо, гречиха, горох – 44486 га. На технические культуры (подсолнечник и картофель) приходилось 23176 га, на кормовые культуры – 13258 га, на овощные и бахчевые культуры – 220 га [2].

Картографирование границ сельскохозяйственных угодий и проектной площади ПЗЛП проводились в ГИС QGIS 3.40 с использованием космоснимков сверхвысокого пространственного разрешения провайдера Махаг. Для сравнения ретроспективных данных об используемых землях (карты пахотных земель, на основе данных спутника Landsat-5, 1989 г.) на территории исследования применялись снимки со спутников Landsat-8, 9 в комбинации каналов RGB (4,3,2) (на 01.08.2024).

Для расчёта фактической площади полога ПЗЛП были использованы 4 продукта: 1) открытый источник данных ESRI Land Cover, предоставляющий ежегодную карту ландшафтов Земли с 2017 по 2023 гг., основанную на космических снимках спутников Sentinel-2 пространственного разрешения 10 м [9]; 2) данные **Global Forest Change (GFC)**, основанные на космических снимках спутника Landsat на 2000 г. и имеющие информацию о территориях с потерей лесного покрова в период с 2000 по 2019 гг., пространственного разрешения 15 м [10]; 3) спутниковые снимки высокого разрешения (10 м) второго уровня обработки после коррекции атмосферных искажений Sentinel-2, полученные с сервиса «Bera-Science» [11] – T44ULC, T44UMC на 21.09.2024. Выбранная дата съёмки обусловлена наиболее удобным временем определения площади полога в связи с окончанием вегетационного периода у прилегающих к проектной площади ПЗЛП сельскохозяйственных культур [12]; 4) снимки сверхвысокого пространственного разрешения Google, полученные с сервиса Google Earth Pro [13]. Недостатком этого продукта является отсутствие выбора определённой даты съёмки, в большинстве случаев композит изображений состоит из разновременной мозаики снимков, что не даёт возможности для обобщённой классификации по «красному» каналу [14] лесного полога на всю территории исследования. В связи с этим, был подготовлен композит изображений по предлагаемым актуальным датам с сервиса Google Earth Pro – 05.04.2024, 24.05.2024, 01.06.2024, 06.06.2024, 11.06.2024, 17.07.2024, 18.09.2024, 01.10.2024. Классификация по

«красному» каналу проводилась для каждого снимка индивидуально.

В связи с тем, что лесомелиоративная теория [15, 16] определяет склоны крутизной более 2° как эрозионноопасные, то при выделении контуров обрабатываемых земель они классифицируются по крутизне склона менее и более 2°. Для построения карты крутизны склонов использована цифровая модель рельефа SRTM-1 с пространственным разрешением 30 м. На основании разработанной карты крутизны склона проводилась дифференциация обрабатываемых полей. При этом выделялись поля по классам: преимущественно дефляционно-опасные и преимущественно эрозионно-опасные, на которых предусматриваются применение полевых защитных и противоэрозионных лесных насаждений соответственно.

По рекомендациям, представленным в работах по защитному лесоразведению [17], для обеспечения защиты почв от дефляции рекомендуется размещать ПЗЛП перпендикулярно направлению преобладающих ветров в летний период. При этом расстояние между основными полосами для обыкновенных и южных чернозёмов составляет 500 и 400 м соответственно. На тёмно-каштановых и каштановых почвах это расстояние составляет 350 м, на светло-каштановых почвах – 250 м. Для расчёта преобладающих ветров использовался справочно-информационный портал «Погода и Климат», который предоставляет данные о посуточных направлениях ветра, количестве осадков и средних температур.

Оценка приуроченности сельскохозяйственных угодий к определённым типам почв проводилась по разработанной векторной почвенной карте (рис. 1), составленной на основе почвенной карты Алтайского края масштаба 1:2500000 [5].

В результате исследования установлено, что большая часть сельскохозяйственных угодий Михайловского района Алтайского края располагается на каштановых и тёмно-каштановых почвах (рис. 1).

Результаты и обсуждение

Данные ДЗЗ широко применяются для оценки состояния агролесоландшафтов, в том числе лесомелиоративной защищённости полей и сохранности ПЗЛП. Спутниковые снимки сверхвысокого пространственного разрешения используют для изучения агролесоландшафтов, при этом используют визуальный, полуавтоматический или автоматиче-

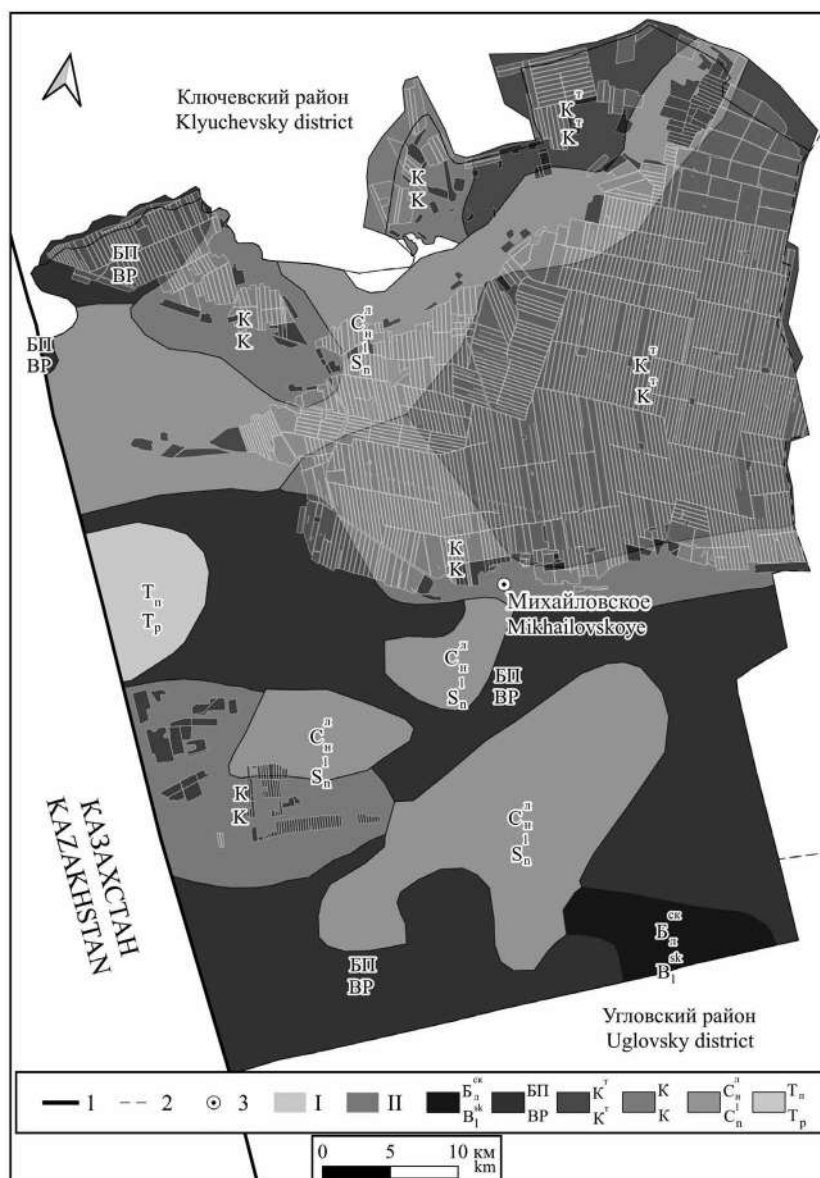


Рис. 1. Карта-схема расположения обрабатываемых земель, залежей и типов почв в Михайловском районе Алтайского края. 1 – государственная граница; 2 – граница района; 3 – населённые пункты; I – пашня; II – залежь; B^{sk} – лугово-болотные солончаковатые и солонцеватые почвы; BP – боровые пески; K^t – тёмно-каштановые почвы; K – каштановые почвы; Cⁿ – солонцы луговые (гидроморфные); Tⁿ – торфяные болотные переходные почвы
Fig. 1. Map of cultivated and fallow lands and soil types in the Mikhailovskiy district of the Altai Krai. 1 – state border; 2 – district border; 3 – settlements; I – cropland; II – fallow; B^{sk} – Endosalic Gleysols Sodic; BP – Rubic Arenosols Eutric; K^t – Haplic Kastanozems Chromic; K – Haplic Kastanozems Chromic; Cⁿ – Gleyic Solonetz Albic; Tⁿ – Fibric Histosols Dystric

ский метод дешифрирования, в зависимости от объёма картографирования и масштаба изображения [18–20]. Такие исследования проводят для определения: сохранности лесных насаждений, плодородия почв, площади пожаров [21–23], проективного покрытия растительности [24, 25].

Изучение ПЛЗП с помощью данных ДЗЗ имеет свои особенности из-за необходимости использования снимков сверхвысокого разрешения, заключающиеся в применении

полуавтоматического метода выделения древостоя по значению энергетической яркости их отражения на снимке [14, 26].

В результате картографирования пахотных и залежных земель по снимкам сверхвысокого разрешения выделено контурами: 1342 объекта, из них 1129 относится к обрабатываемым полям, 213 – к залежам. Площадь обрабатываемых полей составила 93440,6 га. Площадь залежей составила 9633,3 га. Завышенные полученные результаты по площадям

залежных территорий обуславливаются наиболее поздним используемым источником (по данным спутника Landsat-5 на 1989 г.).

Проектная площадь ПЗЛП, полученная в ходе ручной векторизации, составила 6229 га. При сравнении информационных продуктов выделения лесного полога внутри контуров ПЗЛП получены следующие фактические площади лесных насаждений. Векторному слою проектной площади был присвоен атрибут с помощью инструмента «Зональная статистика» о количестве пикселей растровых данных продуктов GFC и ESRI, затем это количество умножено на площадь, равную пространственному разрешению каждого источника (15 и 10 м соответственно). Полученная площадь составила 47 и 0 га. Полученные результаты с помощью NDVI и классификации по «красному» каналу снимков с Google Earth Pro составили 3465,3 и 3478,6 га соответственно. В данных Лесного плана [27] не предоставляется информация о площадях ПЗЛП, только общая площадь лесных насаждений, расположенных на землях лесного фонда по муниципальным образованиям. По данной причине для определения точности картографирования методом кросс-валидации рассчитано значение попиксельного соответствия площадей, классифицированных с площадями выделенных ручным картографированием лесных насаждений на выборке в 111 выделов, что составляет 7,65 % от всех

ПЗЛП Михайловского района. Точность выделения лесного полога на снимке с помощью классификации по «красному» каналу и NDVI составила 86 и 68 % соответственно (рис. 2). В связи с этим, дальнейший анализ проводился по результатам, полученным с помощью классификации по «красному» каналу.

С использованием классификации по «красному» каналу разработана векторная карта фактической площади лесных насаждений по каждому муниципалитету территории исследования и установлена их сохранность (табл. 1) [28]. Большая часть лесных насаждений в районе имеет низкую и очень низкую сохранность с площадью в 2237,4 и 2106,7 га соответственно. Насаждения с высокой сохранностью полога в Михайловском районе имеют площади менее 10 % от общей площади. Наибольшая площадь насаждений с высокой и очень высокой сохранностью наблюдается в Полуямском сельсовете и составляет около 50 %. Наименьшая площадь насаждений с высокой и очень высокой сохранностью наблюдается в Михайловском сельсовете – менее 10 %.

В связи с отсутствием метеорологических станций в исследуемом районе, рассматривались усреднённые значения с портала «Погода и Климат» на административный центр района – село Михайловское. Среднемесячные направления преобладающих ветров на период вегетации (апрель–сентябрь) были рассчитаны на период с 2011 по 2023 гг. (рис. 3).

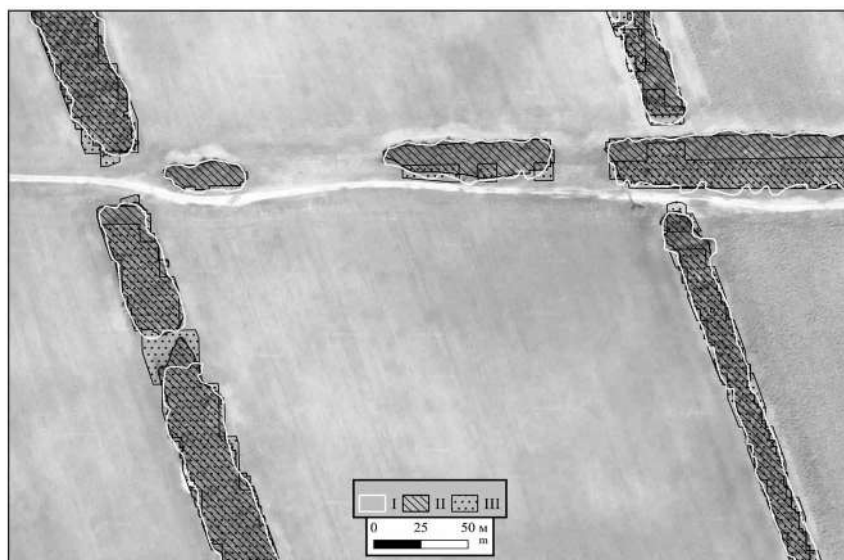


Рис. 2. Выделение лесного полога на тестовом участке на основе классификации по «красному» каналу и вегетационного индекса NDVI (I – контур ручной векторизации; II – классификация по «красному» каналу; III – классификация по вегетационному индексу NDVI)

Fig. 2. Allocation of the forest canopy in the test area based on the classification according to the “red” channel and the NDVI vegetation index (I – manual vectorization contour; II – classification according to the “red” channel; III – classification according to the NDVI vegetation index)

Таблица 1 / Table 1

Сохранность полегающих лесных полос в Михайловском районе Алтайского края, га
Forest shelter-belts preservation degree in the Mikhailovskiy district of the Altai Krai, ha

Сельсовет Village Council	Проектная площадь лесных полос с различной степенью сохранности / The design area of forest shelter-belts with different degree of preservation				Общее Total
	очень низкой very low (0–50 %)	низкой low (50–70 %)	высокой high (70–80 %)	очень высокой very high (80–100 %)	
Ащергульский Aschegulskiy	113,6	143,6	51,2	50,6	359
Бастанский Bastanskiy	178,5	163,8	135,7	77,1	555
Михайловский Mikhailovskiy	621,7	339,3	52	3,6	1016,6
Назаровский Nazarovskiy	189,0	144,9	43,8	16,5	394,2
Николаевский Nikolaevskiy	392,3	378,5	192,1	73,8	1036,8
Полуямский Poluyamskiy	243,6	256,4	275,8	213,9	989,7
Ракитовский / Rakitovskiy	367,9	810,9	481,7	118,2	1778,8
Всего / Total	2106,7	2237,4	1232,3	553,8	6130,1
*Прочее / Other	24,5	38,6	19,2	16,5	98,8

Примечание / Note: * – полегающие лесные полосы, прилегающие к угодьям Михайловского района / forest shelter-belts adjacent to the Mikhailovskiy district lands.

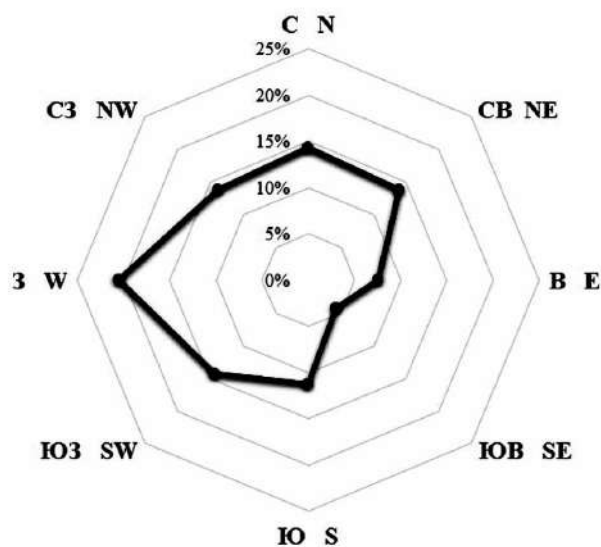


Рис. 3. Среднегодовые показатели преобладающих ветров в Михайловском районе
Fig. 3. Average annual indicators of prevailing winds in the Mikhailovskiy district

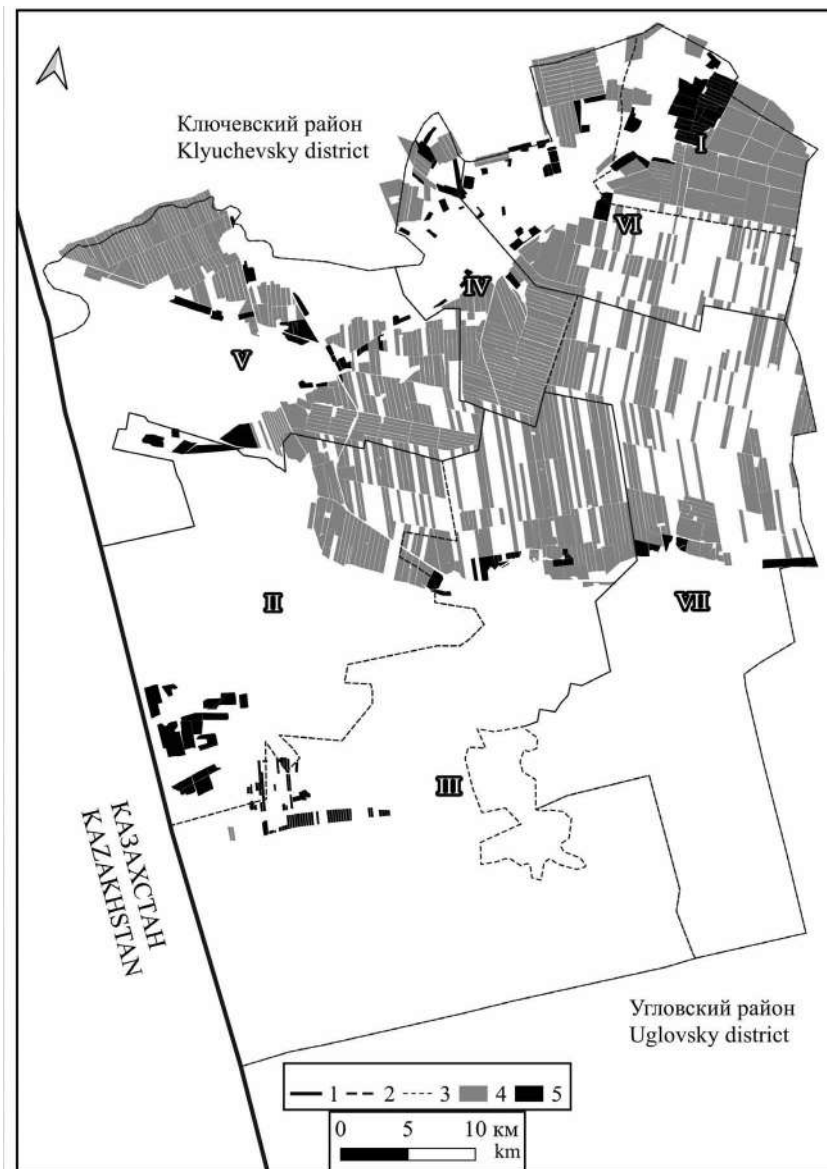


Рис. 4. Пространственное распределение незащищённых от преобладающих ветров сельскохозяйственных угодий Михайловского района Алтайского края.

1 – государственная граница, 2 – граница района, 3 – граница муниципалитетов, 4 – незащищённые пахотные земли, 5 – незащищённые залежные земли, I–VII – сельсоветы

Fig. 4. Spatial distribution of agricultural lands unprotected from prevailing winds in the Mikhailovskiy district of the Altai Krai. 1 – state border, 2 – district border, 3 – municipal border, 4 – unprotected arable lands, 5 – unprotected fallow lands, I–VII – village councils

Таблица 2 / Table 2

Распределение площади сельскохозяйственных угодий, незащищённых лесомелиоративными системами / The area of arable lands unprotected by forest reclamation systems

Сельсовет Village council	Площадь угодий, незащищённых по направлению ветра, % The area of arable lands unprotected in the wind direction, %								Всего, га Total, ha
	C N	CB NE	B E	ЮВ SE	Ю S	ЮЗ SW	З W	СЗ NW	
I	99,8	100,0	92,5	100,0	99,3	100,0	93,9	100,0	8915,9
II	100,0	76,5	67,4	100,0	100,0	89,7	71,2	100,0	7895,6
III	100,0	66,5	66,5	100,0	100,0	71,8	68,5	100,0	14297,1
IV	80,6	99,7	96,3	100,0	86,0	93,9	97,5	100,0	7438,6
V	90,4	73,1	82,2	100,0	90,5	77,5	86,2	100,0	15973,6
VI	96,3	96,6	46,3	96,6	96,1	96,7	54,8	95,7	14585,0
VII	99,5	86,1	39,2	100,0	98,8	79,4	39,9	100,0	24334,7
Сельсовет Village council	Количество угодий, незащищённых по направлению ветра The number of arable lands unprotected in the wind direction								Всего, шт. Total, pcs.
	C N	CB NE	B E	ЮВ SE	Ю S	ЮЗ SW	З W	СЗ NW	
I	89	90	54	90	87	90	61	90	90
II	102	71	57	102	102	86	61	102	102
III	135	83	79	138	138	90	84	138	138
IV	94	115	102	118	100	106	107	118	118
V	284	211	231	315	284	219	250	315	315
VI	254	254	89	254	253	255	120	253	256
VII	309	260	104	313	308	240	109	313	313

Примечание: здесь и на рис. 4: I – Ащегульский, II – Бастанский, III – Михайловский, IV – Назаровский, V – Николаевский, VI – Полуямский, VII – Ракитовский.

Note: here and in Fig. 4: I – Aschegulskiy, II – Bastanskiy, III – Mikhailovskiy, IV – Nazarovskiy, V – Nikolaevskiy, VI – Poluyamskiy, VII – Rakitovskiy.

С целью оценки защищённости сельскохозяйственных угодий на территории исследования каждой полосе был присвоен атрибут с азимутами (с юга на север) для расчёта эффективности ПЗЛП и защиты сельскохозяйственных угодий от разных направлений ветров. Через инструмент «Буферизация» в ГИС был создан векторный слой в 350 м фактических площадей ПЗЛП, защищающих угодья. Против преобладающих ветров с западного направления, по рекомендациям защитного лесоразведения, рассматривались ПЗЛП с азимутами от 330 до 30°, против ветров с северо-западного направления – от 15 до 75° и т. д. Общая площадь полей, незащищённых от преобладающих ветров с западного направления, на территории Михайловского района Алтайского края составила 69,6 % (табл. 2).

В результате исследования составлена карта-схема сельскохозяйственных угодий Михайловского района Алтайского края, незащищённых от преобладающих ветров (рис. 4). Полученная схема может быть использована при составлении предложений по восстановлению отсутствующих лесных насаждений, необходимых для защиты угодий.

Заключение

По результатам исследования разработаны на основе данных ДЗЗ геоинформационные картографические слои пространственного размещения сельскохозяйственных угодий и полевых защитных лесных полос. Установлено фактическое соответствие конструкции размещения ПЗЛП в агролесоландшафтах лесомелиоративным нормам, что определяет лесомелиоративную защищённость сельскохозяйственных угодий. Разработаны картографические векторные слои используемых земель и залежей, которые коррелируют со статистическими данными по региону исследований.

Выполнено определение точности выявления фактических площадей лесных насаждений с использованием 4 продуктов – ESRI, GFC, NDVI и методом классификации по «красному» каналу по сравнению с ручной векторизацией. Установлено, что более точным из них является определение методом компьютерной классификации по «красному» каналу (86 %) на тестовом участке площадью, составляющей 7,65 % от общей проектной пло-

щади ПЗЛП (6130,1 га). Выявлено, что более 70 % от всей проектной площади насаждений имеют низкую и очень низкую сохранность, что соответствует практическому распаду насаждений и не выполнению ими своих по-лезащитных функций. Полезащитные лесные полосы с очень высокой сохранностью на территории исследования занимают площадь 553,8 га. Площадь обрабатываемых полей, не-защищённых лесомелиоративными системами от преобладающих ветров, на территории ис-следования составляет 69,6 %. Такая высокая доля незащищённых земель может привести к значительным потерям плодородного слоя почвы и к снижению продуктивности сель-скохозяйственных угодий.

Полученные результаты могут быть ис-пользованы при проектировании размеще-ния агролесомелиоративных комплексов для защиты сельскохозяйственных земель от деградации.

Работа выполнена в рамках Госзадания ФНЦ агроэкологии РАН № FNFE-2024-0008 «Ма-тематическое моделирование и прогнозирование процессов дефляции земель сельскохозяйствен-ного назначения при техногенных и природных воздействиях на современном уровне лесомелио-ративной защищённости».

Литература

1. Манаенков А.С., Абакумова А.С., Подгаецкая П.М. Повышение долговечности полезащитных лесных полос на юге Западной Сибири // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее про-фессиональное образование. 2014. № 2 (34). С. 41–47.
2. Федеральная служба государственной статистики по Алтайскому краю и Республике Алтай [Электронный ресурс] <https://22.rosstat.gov.ru/statistic> (Дата обраще-ния: 20.11.2024).
3. Калюта Е.В., Мальцев М.И., Базарнова Н.Г. Анализ пестицидной нагрузки при возделывании зерновых культур в Алтайском крае // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 175–181. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-175-181
4. Беховых Ю.В. Продуктивные запасы влаги в почвах горельников юго-западной части ленточных боров Алтайского края в условиях сухостепной зоны // Вестник Алтайского государственного аграрного уни-верситета. 2011. № 11 (85). С. 48–52.
5. Почвенная карта РСФСР. Масштаб 1:2 500 000 / Отв. ред. В.М. Фридланд. М.: Главное управление гео-дезии и картографии при Совете Министров СССР, 1988.
6. Синельникова К.П. Анализ современного состоя-ния защитных лесных насаждений в зоне каштановых почв Донской гряды // Степи Северной Евразии: мате-риалы X международного симпозиума. Оренбург: ИС УрО РАН, 2024. С. 1243–1245. doi: 10.24412/cl-37200-2024-1243-1245.
7. Барышникова О.Н., Ольферт А.П., Репко А.Г., Фатуева Ю.И. Проблемы создания экологического каркаса агроландшафтов на территории Алтайского края // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29. № 3. С. 353–361. doi: 10.35634/2412-9518-2019-29-3-353-361
8. Лебедева Л.В., Лучникова Н.М. Рациональное использование и охрана земель сельскохозяйственного назначения (на примере Михайловского района Алтай-ского края) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 7 (201). С. 46–51.
9. Huan V.D. Accuracy assessment of land use land cover LULC 2020 (ESRI) data in Con Dao island, Ba Ria – Vung Tau province, Vietnam // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2022. V. 1028. No. 1. Article No. 012010. doi: 10.1088/1755-1315/1028/1/012010
10. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Han-cher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Steh- man S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. V. 342. P. 850–853. doi: 10.1126/ science.1244693
11. Loupian E., Bourtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. Usage experience and capabilities of the VEGA-science system // Remote Sens. 2022. V. 14. No. 1. Article No. 77. doi: 10.3390/rs14010077
12. Рулев А.С., Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С. Оценка лесистости агроландшафтов юга Приволжской возвышенности по данным NDVI // Известия Ниж-неволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2016. № 4 (44). С. 24–32.
13. Zhao Q., Yu L., Li X., Peng D., Zhang Y., Gong P. Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine // Remote Sens. 2021. V. 13. No. 18. Article No. 3778. doi: 10.3390/rs13183778
14. Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С., Коше-лев А.В. Способ определения состояния защитных лесных насаждений // Патент RU 2330242 С1. Заяв-ление: 2006144553/28, 13.12.2006. Дата публикации: 27.07.2008. Бюлл. 21.
15. Рулев А.С., Юферев В.Г., Юферев М.В. Гео-информационное картографирование и моделирование эрозийных ландшафтов. Волгоград: Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт, 2015. 153 с.
16. Рулев А.С., Юферев В.Г. Математико-геоморфо-логическое моделирование эрозийных ландшафтов // Геоморфология. 2016. № 3. С. 36–45. doi: 10.15356/0435-4281-2016-3-36-45
17. Агролесомелиорация: монография / Ред. А.Л. Ива-нов, К.Н. Кулик. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. 746 с.

18. Нарожняя А.Г., Чендев Ю.Г. Изучение современного экологического состояния лесных полос с использованием ГИС и ДДЗ // ИнтерКарто. Интер-ГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: материалы междунар. конф. М.: Изд-во Московского ун-та, 2020. Т. 26. Ч. 2. С. 54–65. doi: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-54-65

19. Koshelev A.V., Tkachenko N.A., Shatrovskaya M.O. Decoding of forest belts using satellite images // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2021. V. 875. Article No. 012065. doi: 10.1088/1755-1315/875/1/012065

20. Vassilev K.V., Assenov A.I., Velez N.I., Grigorov B.G., Borissova B.B. Distribution, characteristics and ecological role of protective forest belts in Silistra municipality, Northeastern Bulgaria // Ecologia Balcanica. 2019. V. 11. No. 1. P. 191–204.

21. Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Егоров В.А., Ершов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 158–175. doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175

22. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотноков Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.

23. 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

24. Барталев С.А., Богодухов М.А., Жарко В.О., Сидоренков В.М. Исследование возможностей использования данных ICESat-2 для оценки высоты лесов России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 195–206. doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-195-206

25. Ховратович Т.С., Барталев С.А., Кашницкий А.В. Метод детектирования изменений лесов на основе попиксельной оценки проективного покрытия древесного полога по разновременным спутниковым изображениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 102–110. doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-102-110

26. Рулев А.С., Юферев В.Г., Юферев М.В. Картографо-аэрокосмический мониторинг аридных агроландшафтов // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. 2011. № 1 (22). С. 57–63.

27. Лесной план Алтайского края на 2019–2028 гг., утверждён постановлением губернатора Алтайского края №33 от 26.02.2019 г. Министерство природных ресурсов и экологии Алтайского края [Электронный ресурс] https://minprirody.alregn.ru/dokument/lesnoj_plan_

[altajskogo_kraja_/lesnoj_plan_2019-2028_gg./](https://minprirody.alregn.ru/dokument/lesnoj_plan_) (Дата обращения: 17.11.2024).

28. Рулев А.С., Юферев В.Г., Михалев В.Ю., Маенко А.Н. Способ определения сохранности лесных насаждений // Патент RU 2437061 С1. Заявление: 2010115216/28, 19.04.2010. Дата публикации: 20.12.2011. Бюлл. 35.

References

1. Manaenkov A.S., Abakumova A.S., Podgaetskaya P.M. Increasing the durability of protective forest belts in the south of Western Siberia // Proceedings of lower Volga agro-university complex: Science and higher education. 2014. No. 2 (34). P. 41–47 (in Russian).

2. Federal State Statistics Service for the Altai Krai and the Altai Republic [Internet resource] <https://22.rosstat.gov.ru/statistic> (Accessed: 20.11.2024) (in Russian).

3. Kalyuta E.V., Maltsev M.I., Bazarnova N.G. Analysis of the pesticide load in the Altai Region's cereal cropping // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 1. P. 175–181 (in Russian) doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-175-181

4. Behovykh Yu.V. Productive moisture reserves in the soils of mountain forests of the southwestern part of the ribbon forests of the Altai Territory in the conditions of the dry-steppe zone // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2011. No. 11 (85). P. 48–52 (in Russian).

5. Soil map of the RSFSR. Scale 1:2,500,000 / Ed. V.M. Friedland. Moskva: Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov SSSR, 1988 (in Russian).

6. Sinelnikova K.P. Analysis of the current state of protective forest plantations in the zone of chestnut soils of the Don ridge // Steppes of Northern Eurasia: materialy X mezhdunarodnogo simpoziuma. Orenburg: IS UrO RAN, 2024. P. 1243–1245 (in Russian) doi: 10.24412/cl-37200-2024-1243-1245

7. Baryshnikova O.N., Olfert A.P., Repko A.G., Fatueva Yu.I. Problems of creating an ecological framework of agro-landscapes in the territory of Altai Krai // Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2019. V. 29. No. 3. P. 353–361 (in Russian) doi: 10.35634/2412-9518-2019-29-3-353-361

8. Lebedeva L.V., Luchnikova N.M. Rational use and protection of agricultural lands (case study of the Mikhailovskiy district of the Altai Region) // Bulletin of Altai State Agricultural University. 2021. No. 7 (201). P. 46–51 (in Russian).

9. Huan V.D. Accuracy assessment of land use land cover LULC 2020 (ESRI) data in Con Dao island, Ba Ria – Vung Tau province, Vietnam // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 2022. V. 1028. No. 1. Article No. 012010. doi: 10.1088/1755-1315/1028/1/012010

10. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Han-cher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Steh-

man S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // *Science*. 2013. V. 342. P. 850–853. doi: 10.1126/science.1244693

11. Loupian E., Bourtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. Usage experience and capabilities of the VEGA-science system // *Remote Sens*. 2022. V. 14. No. 1. No. 77. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31

12. Rulev A.S., Kosheleva O.Yu., Shinkarenko S.S. Assessing of woodiness in agrolandscapes of the Southern Volga Upland according to NDVI // *Proceedings of lower Volga agro-university complex: Science and higher education*. 2016. No. 4 (44). P. 24–32 (in Russian).

13. Zhao Q., Yu L., Li X., Peng D., Zhang Y., Gong P. Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine // *Remote Sens*. 2021. V. 13. No. 18. Article No. 3778. doi: 10.3390/rs13183778

14. Juferev V.G., Kulik K.N., Rulev A.S., Koshelev A.V. Method of protective forest range condition monitoring // Patent RU 2330242 C1. Application: 2006144553/28, 12/13/2006. Date of publication: 27.07.2008. Bull. 21 (in Russian).

15. Rulev A.S., Yuferev V.G., Yuferev M.V. Geoinformation mapping and modeling of erosive landscapes. Volgograd: All-Russian Scientific Research Agroforestry Institute, 2015. 153 p. (in Russian).

16. Rulev A.S., Yuferev V.G. Mathematical and geomorphological modeling of erosion landscapes // *Geomorfologia*. 2016. No. 3. P. 36–45 (in Russian). doi: 10.15356/0435-4281-2016-3-36-45

17. Agroforestry: monograph / Eds. A.L. Ivanov, K.N. Kulik. Volgograd: VNIALMI, 2006. 746 p (in Russian).

18. Narozhnyaya A.G., Chendev Yu.G. The study of the modern ecological state of shelterbelts using GIS and Remote Sensing Data // *InterCarto. InterGIS. Geoinformatsionnoe obespechenie ustoychivogo razvitiya territoriy: materialy mezhdunarodnoy konferentsii*. Moskva: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta. 2020. V. 26. Pt. 2. P. 54–65 (in Russian). doi: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-54-65

19. Koshelev A.V., Tkachenko N.A., Shatrovskaya M.O. Decoding of forest belts using satellite images // *IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science*. 2021. V. 875. Article No. 012065. doi: 10.1088/1755-1315/875/1/012065

20. Vassilev K.V., Assenov A. I., Velev N. I., Grigorov B.G., Borissova B.B. Distribution, characteristics and ecological role of protective forest belts in Silistra municipi-

pality, northeastern Bulgaria // *Ecologia Balcanica*. 2019. V. 11. No. 1. P. 191–204.

21. Loupian E.A., Bartalev S.A., Balashov I.V., Egorov V.A., Ershov D.V., Kobets D.A., Senko K.S., Stytsenko F.V., Sychugov I.G. Satellite monitoring of forest fires in the 21st century in the territory of the Russian Federation (facts and figures based on active fires detection) // *Current problems of remote sensing of the Earth from space*. 2017. V. 14. No. 6. P. 158–175 (in Russian) doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175

22. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V. Land cover mapping over Russia using Earth observation data. Moskva: Russian Academy of Sciences' Space Research Institute, 2016. 208 p. (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 // *Current problems of remote sensing of the Earth from space*. 2018. V. 15. No. 1. P. 157–168 (in Russian) doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-157-168

24. Bartalev S.A., Bogodukhov M.A., Zharko V.O., Sidorenkov V.M. Investigation of the ICESat-2 data capabilities for forest height estimation over Russia // *Current problems of remote sensing of the Earth from space*. 2022. V. 19. No. 4. P. 195–206 (in Russian) doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-195-206

25. Khovratovich T.S., Bartalev S.A., Kashnitskii A.V. Forest change detection based on sub-pixel estimation of crown cover density using bitemporal satellite data // *Current problems of remote sensing of the Earth from space*. 2019. V. 16. No. 4. P. 102–110 (in Russian) doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-102-110

26. Rulev A.S., Yuferev V.G., Yuferev M.V. The mapping-aerospace monitoring of the arid agrolandscapes // *Vestnik Instituta kompleksnykh issledovaniy aridnykh territoriy*. 2011. No. 1 (22). P. 57–63 (in Russian).

27. The forest plan of the Altai Krai for 2019–2028, approved by the decree of the Governor of the Altai Krai No. 33 dated 26.02.2019. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Altai Krai [Internet resource] https://minprirody.alregn.ru/dokument/lesnoj_plan_altajskogo_kraja/lesnoj_plan_2019-2028_gg/ (Accessed: 17.11.2024) (in Russian).

28. Rulev A.S., Juferev V.G., Mikhalev V.Ju., Mayenko A.N. Method for determining safety of forest ranges // Patent RU 2437061 C1. Application: 2010115216/28, 04/19/2010. Date of publication: 20.12.2011. Bull. 35 (in Russian).