

Научная статья/Research Article

УДК 528.88

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-108-115

Юрий Николаевич Трубников^{1✉}, Александр Владимирович Дергунов²,
Константин Вячеславович Краснощеков³, Анна Сергеевна Кузнецова⁴

^{1,2,3,4}ФИЦ «Красноярский научный центр» Сибирского отделения РАН, Красноярск, Россия

¹trubnikov124@yandex.ru

²alexdergunov@icm.krasn.ru

³krasko@icm.krasn.ru

⁴anna.simakina.97@mail.ru

ДИАГНОСТИКА ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ И АГРОЦЕНОЗОВ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Цель исследований – установить возможность и разработать критерии диагностики разновозрастных залежных земель и агроценозов методами дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий. Объекты исследований – разновозрастные залежные земли подтаежной зоны Красноярского края, расположенные на Зареченском стационаре ФИЦ КНЦ СО РАН (с. Зареченка, Тухтетский район). Согласно природному районированию, эта территория входит в южнотаежно-лесной, плоскоравнинный, суглинистый, дерново-подзолистый и болотно-подзолистый район подтаежной зоны. Почва стационара: дерново-подзолистая легкосуглинистая с содержанием гумуса 2,1–2,4 %; рН_{сол.} – 4,4–4,6; P₂O₅ – 2,8–3,1 мг/100 г почвы; K₂O – 4,5–5,5 мг/100 г почвы (по Кирсанову). Всего на исследуемой территории расположено 3 разновозрастных залежных участка, 3 обрабатываемых поля и 1 участок, осваиваемый после 10 лет залежи. Приводятся результаты мониторинга разновозрастных залежей Зареченского стационара ФИЦ КНЦ СО РАН, расположенного в подтаежной зоне Красноярского края. Дистанционное зондирование осуществлялось посредством БПЛА (квадрокоптер DJI Matrice 210 V2) с установленной мультиспектральной камерой RedEdge-MX, а также с использованием мультиспектральных космических снимков Sentinel-2, работа с которыми производилась в программном комплексе QGIS. Применялись различные способы анализа и обработки спутниковых данных: визуальное дешифрирование, комбинация различных спектральных каналов, а также расчет индекса NDVI. Полученные результаты продемонстрировали высокую сопряженность показателей, зафиксированных с помощью спутника, а также БПЛА. Дистанционное зондирование разновозрастных залежных земель, а также полей, занятых паром и зерновыми культурами, показало возможность дифференциации земель по видам и качеству их использования посредством применения БПЛА и спутников Sentinel-2.

Ключевые слова: залежь, дистанционное зондирование Земли, NDVI, геоинформационная диагностика, БПЛА, Sentinel-2, RedEdge-MX

Для цитирования: Диагностика залежных земель и агроценозов методами дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий / Ю.Н. Трубников [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 5. С. 108–115. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-108-115.

Yuri Nikolaevich Trubnikov^{1✉}, Alexander Vladimirovich Dergunov²,
Konstantin Vyacheslavovich Krasnoshchekov³, Anna Sergeevna Kuznetsova⁴

^{1,2,3,4}FRC Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS, Krasnoyarsk, Russia

¹trubnikov124@yandex.ru

²alexdergunov@icm.krasn.ru

³krasko@icm.krasn.ru

⁴anna.simakina.97@mail.ru

FALLOW LAND AND AGROCENOSIS DIAGNOSTICS BY REMOTE SENSING OF THE EARTH METHODS AND GEOINFORMATION TECHNOLOGY

The purpose of research is to establish the possibility and develop criteria for diagnosing fallow lands and agrocenoses of different ages using the methods of remote sensing of the Earth and geoinformation technologies. The objects of research are fallow lands of different ages in the subtaiga zone of the Krasnoyarsk Region, located at the Zarechenka station of the FRC KSC SB RAS (Zarechenka village, Tyukhtet District). According to natural zoning, this territory is included in the southern taiga-forest, flat-plain, loamy, sod-podzolic and swamp-podzolic region of the subtaiga zone. The soil of the station: soddy-podzolic light loamy with a humus content of 2.1–2.4%; pH_{sol} – 4.4–4.6; P₂O₅ – 2.8–3.1 mg/100 g soil; K₂O – 4.5–5.5 mg/100 g of soil (according to Kirsanov). In total, in the study area there are 3 fallow areas of different ages, 3 cultivated fields and 1 area developed after 10 years of fallow. Presents the results of monitoring fallow lands of different ages at the Zarechenska station of the Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS, located in the subtaiga zone of the Krasnoyarsk Region. Remote sensing was carried out using a UAV (DJI Matrice 210 V2 quadcopter) with a RedEdge-MX multispectral camera installed, as well as using Sentinel-2 multispectral satellite images, which were processed in the QGIS software package. Various methods of analyzing and processing satellite data were used: visual interpretation, a combination of various spectral channels, and also calculation of the NDVI index. The results obtained demonstrated a high correlation between the indicators recorded using the satellite and the UAV. Remote sensing of fallow lands of different ages, as well as fields occupied by fallow and grain crops, has shown the possibility of differentiating lands by type and quality of their use through the use of UAVs and Sentinel-2 satellites.

Keywords: fallow lands, Earth remote sensing, NDVI, geographic information diagnostics, UAV, Sentinel-2, RedEdge-MX

For citation: Fallow land and agrocenosis diagnostics by remote sensing of the Earth methods and geoinformation technology / Yu.N. Trubnikov [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(5): 108–115 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-108-115.

Введение. В Приенисейской Сибири в залежном состоянии находится около 1,5 млн га земель различных сроков выведения из пашни – от 2 до 25 лет [1]. Состояние неиспользуемых экосистем различно – от сформировавшихся со временем луговых растительных сообществ до сплошных лесных массивов. Все смены растительности после прекращения использования сельскохозяйственных угодий протекают по типу демулационных смен, причем по мере восстановления растительности уменьшается доля сорно-рудеральных видов растений [2].

Отсутствие надлежащего государственного контроля за состоянием земельных ресурсов, экстенсивный характер землепользования порождают негативные экологические и социально-экономические последствия в виде снижения плодородия почв, утраты обжитых территорий, демографической деградации села, продовольственной безопасности [3, 4].

По сведениям Государственного (национального) доклада о состоянии и использовании земель в Российской Федерации, в 2021 г. в структуре сельскохозяйственных угодий площадь пашни составила 122 688,4 тыс. га, зале-

жи – 4 951,7 тыс. га (2,2 % пашни) [5]. По другим источникам [6, 7] за постсоветский период в России в залежное состояние перешло от 30 до 45 млн га пашни. В Красноярском крае, по данным Росреестра, площадь залежных земель составляет 123,5 тыс. га (4,2 % от площади пашни) [8]. Фактически же не используется 1 153,6 тыс. га пахотных земель (39 % от пашни). Многократная разница статистических и фактических данных обусловлена тем, что официальный учет стихийно возникших залежей в период системного кризиса страны 90-х гг. XX в. должным образом не проводился [9]. Только небольшая часть земель оформлена и зарегистрирована как категория «залежи», остальные земли не обрабатываются и не оформляются.

На сегодня дать объективную оценку площади залежных земель и оценить их почвенно-агроэкологический потенциал сложно. Установление факта и длительности неиспользования земли осуществлялось по результатам полевого обследования и на основании ботанических и почвенно-агрофизических признаков [10]. Реализация перечисленных подходов требует использования значительных финансовых и тру-

довых ресурсов, а также продолжительного времени исполнения.

Более эффективным методом учета и контроля состояния залежей может стать применение геоинформационной диагностики, где ведущая роль отводится дистанционному зондированию Земли (ДЗЗ). В ряде работ приводятся сведения об использовании данных спутников Landsat-8, Sentinel-2 и Terra для синтезирования изображений поверхности по различным комбинациям спектральных каналов и расчета вегетационного индекса NDVI с целью выявления дешифровочных признаков залежей, определения их возраста [11, 12].

Помимо спутниковых данных мониторинг небольших территорий возможен с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с мультиспектральной камерой на борту. Данный подход обеспечивает наиболее подробную информацию за счет высокого пространственного разрешения.

Актуальность данных исследований состоит в необходимости дистанционной диагностики залежных земель с целью введения их в активный сельскохозяйственный оборот и разработки технологий их освоения.

Цель исследований – установить возможность и разработать критерии диагностики разновозрастных залежных земель и агроценозов методами дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий.

Объекты и методы. Основными объектами исследований служили разновозрастные залежные земли подтаежной зоны Красноярского края, расположенные на Зареченском стационаре ФИЦ КНЦ СО РАН (с. Зареченка, Тюхтетский район). Согласно природному районированию, эта территория входит в южнотаежно-лесной, плоскоровнинный, суглинистый, дерново-подзолистый и болотно-подзолистый район подтаежной зоны [13]. Почва стационара: дерново-подзолистая легкосуглинистая с содержанием гумуса – 2,1–2,4 %; pH_{сол.} – 4,4–4,6; P₂O₅ – 2,8–3,1; K₂O – 4,5–5,5 мг/100 г почвы (по Кирсанову).

Всего на исследуемой территории расположено 3 разновозрастных залежных участка, 3 обрабатываемых поля и 1 участок, осваиваемый после 10 лет залежи (табл.).

Для достижения поставленной цели был применен метод геоинформационного картографирования.

Характеристика модельных объектов исследований

Номер объекта	Характеристика агроценозов и залежей		Площадь, м ²
	2022 г.	2023 г.	
1	Пар	Пшеница яровая	1270
2	Пшеница	Озимая рожь	840
3	Залежь 4 года	Залежь 5 лет	890
4	Залежь 10 лет + освоение (озимая рожь)	Залежь 10 лет + освоение (озимая рожь)	600
5	Залежь 16 лет	Залежь 17 лет	980
6	Залежь 26 лет	Залежь 27 лет	1330
7	Озимая рожь	Овес яровой	1180

Использовались мультиспектральные космические снимки Sentinel-2, работа с которыми производилась в программном комплексе QGIS. К ним применялись различные способы анализа и обработки спутниковых данных: визуальное дешифрирование, синтез различных спектральных каналов, а также расчет индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный вегетационный индекс).

Дистанционное зондирование проводилось с высоты 120 м посредством БПЛА (квадрокоптер

DJI Matrice 210 V2) с установленной мультиспектральной камерой RedEdge-MX.

Камера RedEdge-MX состоит из двух блоков: датчика солнечного спектра DLS2 и самой камеры. Датчик солнечного спектра (освещенности) имеет встроенный GPS модуль, что позволяет осуществлять координатную привязку каждого снимка. Сенсор камеры оснащен пятью независимыми каналами с разрешением 1.2 Мпикс каждый, длина волны: синий – 475 нм; зеленый – 560; красный – 668; дальний красный – 717; ближний инфракрасный – 840 нм.

Массив мультиспектральных изображений, полученный в ходе аэрофотосъемки, обрабатывался в программном обеспечении Agisoft Metashape Professional. В нем изображения камеры RedEdge-MX проходят несколько этапов предварительной обработки: выравнивание и оптимизацию. На основе рассчитанных положений снимков программа строит для них карты. Итоговыми продуктами обработки являются многоканальные ортофотопланы местности с пространственным разрешением 8 см/пикс.

Также в работе использовались данные ДЗЗ миссии Copernicus Sentinel-2, состоящей из группировки двух полярно-орбитальных спутников (A/B). Наличие двух спутников способствует проведению повторной съемки каждые 5 дней на экваторе. Съемка со спутников ведется в 13 спектральных каналах. Пространственное разрешение составляет от 10 до 60 м/пикс. Всего в работе использовалось 14 снимков Sentinel-2 за вегетационный период 2022 г. и 15 – за 2023 г.

На основе многоканальных ортофотопланов местности и снимков Sentinel-2 проведено вычисление 6 различных вегетационных индексов: NDVI, NDVIre, CIGreen, Clre, VARI и MSAVI2. Из представленного перечня для геоинформационной диагностики залежных земель был выбран индекс NDVI как наиболее информативный.

Результаты и их обсуждение. Для выявления и оценки залежных земель часто используются космические снимки Landsat-8 [14]. Результаты наших исследований, а также работы, проведенные в Западной Сибири [11], показали, что снимки, полученные посредством этих спутников, обеспечивающих пространственное разрешение 30 м/пиксель, для работы с небольшими площадями, характерными для подтаежной зоны, являются недостаточно информативными. Поэтому целесообразно использовать снимки с разрешением не ниже 10 м/пиксель, которые предоставляет семейство спутников Sentinel-2. Уникальность этой миссии связана с сочетанием большого территориального охвата

и частотой мультиспектральных съемок высокого разрешения.

Дистанционная диагностика разновозрастных залежных полей с лесной и кустарниковой растительностью, а также культурных агроценозов отражает определенную дифференциацию вегетационных индексов (ВИ) по показателям NDVI, NDVIre и наземной фотометрической диагностики [15]. Опять же разница в показателях как NDVI, так и NDVIre объясняется фазами вегетационного развития растений. Максимальные показатели ВИ в 2022 г. отмечались на объекте 4 (Залежь 10 лет + освоение), что согласуется с характером растительного покрова. В 2022 г. этот участок не обрабатывался и зарос сурепкой обыкновенной (*Barbarea vulgaris*), у которой из-за теплой и продолжительной осени произошло вторичное цветение, которое и обусловило максимальный ВИ. На всех снимках выделялись фрагментарные участки с показателями ВИ 0,50–0,75. Это массивы произрастания вязолистных кустарников, которые были покрыты еще зелеными и желто-зелеными листьями.

Следует отметить, что любые вегетационные индексы не дают абсолютных количественных показателей исследуемого свойства, и их значения зависят от характеристик сенсора (ширина спектральных каналов, разрешения), условий съемки, освещенности, состояния атмосферы и т. д. Они представляют только относительные оценки свойств растительного покрова, которые могут быть интерпретированы и с привлечением данных наземного мониторинга пересчитаны в абсолютные. На Зареченском стационаре изучаемые объекты находятся на сопредельных территориях, что исключает влияние факторов, несвойственных любому из обследуемых объектов, на показатели вегетационных индексов.

Анализ снимков, полученных с БПЛА и спутников Sentinel-2, показал, что диапазон изменений индекса NDVI зависит от содержания агроценоза (пар, культура), фазы вегетационного развития растений и возраста залежей (рис. 1, 2).

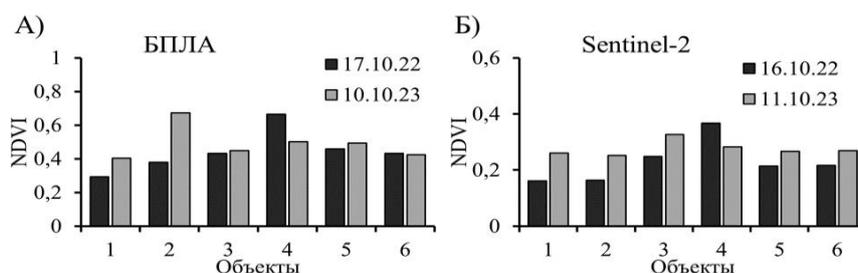


Рис. 1. Значения индекса NDVI по данным съемки БПЛА (А) и Sentinel-2 (Б) в зависимости от режима использования земель

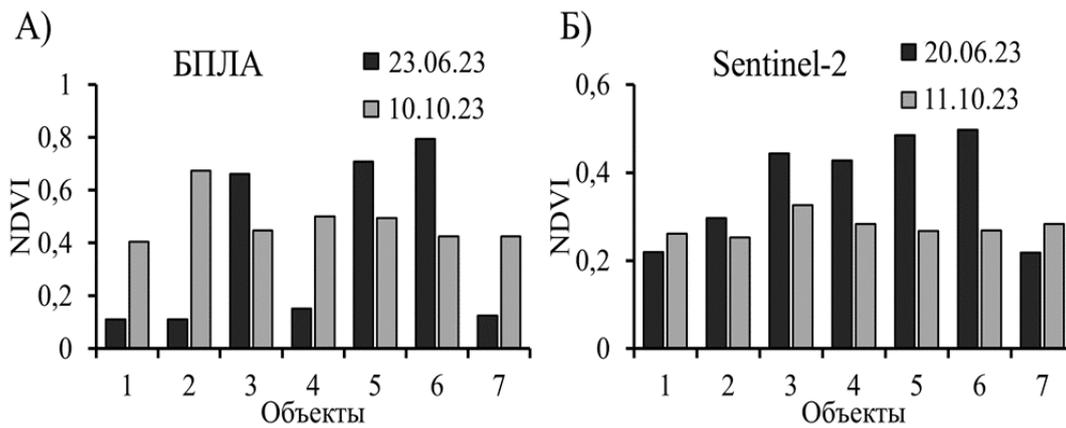


Рис. 2. Значения индекса NDVI по данным съемки БПЛА (А) и Sentinel-2 (Б) в разные фазы развития агробиоценозов

Результаты, отображенные на рисунках 1, 2, демонстрируют высокую сопряженность значений индекса NDVI, полученного посредством аэро- и космосъемки. Исключение составляют объекты 2 и 4, на которых в 2023 г. посеяна озимая рожь. Здесь снимки с БПЛА отображают показатели NDVI, соответствующие фазам развития культуры. В июне проводилась культивация полей для посева ржи, и показатели ВИ были минимальными. В октябре, когда озимая рожь находилась в фазе кущения, ВИ достигал пиковых значений. Снимки, полученные посредством Sentinel-2, показали близкие значения ВИ на объекте 2 и отличающиеся по срокам на объекте 4, что можно объяснить небольшой площадью полей и фоновым влиянием близлежащего леса (объект 5, залежь 17 лет), который может создавать «маскировочный» эффект для спутника с разрешением съемки 10 м/пиксель.

Установлено, что наибольшие значения NDVI, зафиксированные как БПЛА, так и с помощью спутников, характерны для залежных территорий в конце июня. Самое высокое значение имеет объект 6, соответствующий залежи возрастом 27 лет, затем идет объект 5 – залежь возрастом 17 лет, а за ним объект 3 – залежь возрастом 5 лет. По данным с БПЛА 10 октября наибольшие значения NDVI имеют объекты 2 и 4 с озимой рожью по 0,673 и 0,501 соответственно. Объекты с яровой пшеницей и овсом имеют более низкие значения ВИ. Близкими значениями NDVI характеризуются объект 5 (залежь возраст

том 27 лет) – 0,497 и объект 1 с яровой пшеницей – 0,404, что вполне закономерно, поскольку цветовая гамма лесной растительности на залежном участке близка по спектру к полю, занятому пшеницей, которая к 10 октября находилась в фазе полного созревания.

По данным Sentinel-2 11 октября наибольшее значение NDVI имеет объект 3 – с пятилетней залежью (0,326), наименьшие – объекты 1 и 2 с яровой пшеницей и озимой рожью со значениями 0,261 и 0,252 соответственно. Итак, можно констатировать, что данные съемок с БПЛА и спутников Sentinel-2 демонстрируют высокую сопряженность показателей NDVI как по годам, так и в течение вегетационного периода.

На основе спутниковой съемки Sentinel-2 построена динамика изменения индекса NDVI рассматриваемых объектов за вегетационный период (рис. 3).

Наибольшие значения индекса NDVI имеют залежные земли почти на всем протяжении периода наблюдений. Результаты показали прямую зависимость между возрастом залежи и соответствующей ему величины индекса NDVI в начале и середине вегетационного периода. Разница значений NDVI между объектами объясняется фазами вегетационного развития растительной биомассы. Различия амплитуды изменений вегетационного индекса дают возможность более четкой дифференциации земель по виду и состоянию их использования.

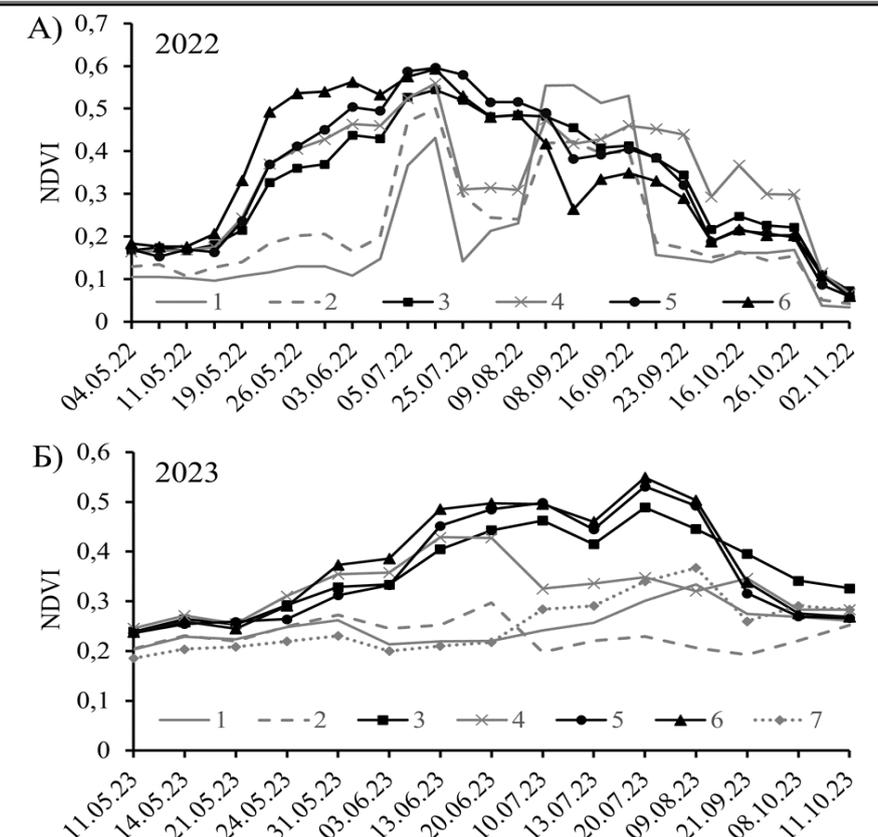


Рис. 3. Изменение NDVI исследуемых объектов за вегетационный период по данным Sentinel-2

Заключение. Диагностирование залежей и их возраста является важной комплексной задачей, которая требует применения как ГИС-технологий, так и традиционных полевых и лабораторных методов. Полученные результаты продемонстрировали выраженную тенденцию сопряженности показателей, зафиксированных с помощью спутника, а также БПЛА. Анализ динамики изменения индекса NDVI за вегетационный период показал прямую зависимость между возрастом залежи и соответствующей ему величины вегетационного индекса. Дистанционное зондирование разновозрастных залежных земель, а также полей, занятых паром и зерновыми культурами, показало возможность дифференциации земель по видам и качеству их использования посредством применения БПЛА и спутников Sentinel-2.

Список источников

1. Савостьянов В.К. Консервация земель как способ предотвращения их дальнейшей деградации и продвижения к устойчивому развитию // Сибирский вестник сельскохозяйственных наук. 2003. № 2. С. 96–98.
2. О датировке возраста залежей при выведении земель из сельскохозяйственного оборота / С.М. Сычев [и др.] // Агротехнический вестник. 2023. № 4. С. С. 56–61. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-4-009.
3. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв / Д.И. Люри [и др.]. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
4. Иванов А.Л. Рациональное использование и охрана земельных (почвенных) ресурсов Российской Федерации // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 1. С. 7–10.
5. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2021 году. М.: Росинформгортех, 2022. С. 29.
6. Орлова О.И. Борьба за землю: восстановление залежных земель // Карельский научный журнал. 2015. № 2 (11). С. 130–133.
7. Рекомендации по вовлечению в хозяйственный оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения / С.В. Шукин [и др.] // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. № 1 (41). С. 87–98.

8. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2022 году». Красноярск, 2023. С. 125.
9. Ковалева Ю.П. Проблема инвентаризации залежных земель и пути ее решения // Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: мат-лы Всерос. науч. конф. / под ред. А.Л. Иванова; РАСХН. М., 2008. С. 307–309.
10. Дабахов М.В., Дабахова Е.В. Практика определения возраста залежи на основании закономерностей развития постагрогенной сукцессии // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2023. № 3. С. 28–35.
11. Выявление разновозрастных залежей на эрозионно-опасных территориях юга Западной Сибири с применением геоинформационных технологий / Е.А. Сайб [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 4. С. 129–136.
12. Терехин Э.А. Особенности многолетней динамики вегетационного индекса залежных земель на территории Центрального Черноземья // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45, № 4. С. 505–515.
13. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР / под ред. А.Н. Каштанова. М.: Колос, 1983. 336 с.
14. Белоусова А.П. Анализ использования пахотных земель по спутниковым снимкам Landsat на примере Кунгурской лесостепи // Географический вестник. 2018. № 4 (47). С. 133–143.
15. Трубников Ю.Н., Шпедт А.А., Соломенникова Ю.Н. Фотометрическая экспресс-диагностика азотного питания растений // Вестник КрасГАУ. 2023. № 11. С. 165–172. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-165-172.
- S.M. Sychev [i dr.] // Agrohimicheskij vestnik. 2023. № 4. S. S. 56–61. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-4-009.
3. Dinamika sel'skohozyajstvennyh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv / D.I. Lyuri [i dr.]. M.: GEOS, 2010. 416 s.
4. Ivanov A.L. Racional'noe ispol'zovanie i ohrana zemel'nyh (pochvennyh) resursov Rossijskoj Federacii // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2015. № 1. S. 7–10.
5. Gosudarstvennyj (nacional'nyj) doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossijskoj Federacii v 2021 godu. M.: Rosinformagroteh, 2022. S. 29.
6. Orlova O.I. Bor'ba za zemlyu: vosstanovlenie zaleznyh zemel' // Karel'skij nauchnyj zhurnal. 2015. № 2 (11). S. 130–133.
7. Rekomendacii po вовлечениyu v hozyajstvennyj oborot neispol'zuemyh zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya / S.V. Schukin [i dr.] // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2018. № 1 (41). S. 87–98.
8. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ohrane okruzhayuschej sredy v Krasnoyarskom krae v 2022 godu». Krasnoyarsk, 2023. S. 125.
9. Kovaleva Yu.P. Problema inventarizacii zaleznyh zemel' i puti ee resheniya // Agro`ekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel' Rossii, vybyvshih iz aktivnogo sel'skohozyajstvennogo oborota: mat-ly Vseros. науч. конф. / pod red. A.L. Ivanova; RASHN. M., 2008. S. 307–309.
10. Dabahov M.V., Dabahova E.V. Praktika opredeleniya vozrasta zalezhi na osnovanii zakonornostej razvitiya postagrogennoj sukcesii // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 17. Pochvovedenie. 2023. № 3. С. 28–35.
11. Vyyavlenie raznovozrastnyh zalezhej na `erozionno-opasnyh territoriyah yuga Zapadnoj Sibiri s primeneniem geoinformacionnyh tehnologij / E.A. Sajb [i dr.] // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2020. T. 17, № 4. S. 129–136.
12. Terehin `E.A. Osobennosti mnogoletnej dinamiki vegetacionnogo indeksa zaleznyh zemel' na territorii Central'nogo Chernozem'ya // Regional'nye geosistemy. 2021. T. 45, № 4. S. 505–515.

References

1. Savost'yanov V.K. Konservaciya zemel' kak sposob predotvrascheniya ih dal'nejshej degradacii i prodvizheniya k ustojchivomu razvitiyu // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennyh nauk. 2003. № 2. S. 96–98.
2. O datirovke vozrasta zalezhej pri vyvedenii zemel' iz sel'skohozyajstvennogo oborota /

13. Prirodno-sel'skohozyajstvennoe rajonirovanie i ispol'zovanie zemel'nogo fonda SSSR / pod red. A.N. Kashtanova. M.: Kolos, 1983. 336 s.
14. Belousova A.P. Analiz ispol'zovaniya pahotnyh zemel' po sputnikovym snimkam Landsat na primere Kungurskoj lesostepi // Geograficheskij vestnik. 2018. № 4 (47). S. 133–143.
15. Trubnikov Yu.N., Shpedt A.A., Solomennikova Yu.N. Fotometrisheskaya `ekspress-diagnostika azotnogo pitaniya rastenij // Vestnik KrasGAU. 2023. № 11. S. 165–172. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-165-172.

Статья принята к публикации 06.06.2024 / The article accepted for publication 03.06.2024.

Информация об авторах:

Юрий Николаевич Трубников¹, главный научный сотрудник лаборатории космических систем и технологий, доктор сельскохозяйственных наук

Александр Владимирович Дергунов², младший научный сотрудник лаборатории космических систем и технологий

Константин Вячеславович Краснощеков³, младший научный сотрудник лаборатории космических систем и технологий

Анна Сергеевна Кузнецова⁴, младший научный сотрудник лаборатории космических систем и технологий

Information about the authors:

Yuri Nikolaevich Trubnikov¹, Chief Researcher, Laboratory of Space Systems and Technologies, Doctor of Agricultural Sciences

Alexander Vladimirovich Dergunov², Junior Researcher, Laboratory of Space Systems and Technologies

Konstantin Vyacheslavovich Krasnoshchekov³, Junior Researcher, Laboratory of Space Systems and Technologies

Anna Sergeevna Kuznetsova⁴, Junior Researcher, Laboratory of Space Systems and Technologies

