



УДК 528.88

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-3-356-365

Состояние залежных земель и особенности их спектрально-отражательных свойств на территории Среднерусской лесостепи

Терехин Э.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы 85
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Аннотация. Изучение залежных или оставленных аграрных земель выступает одной из актуальных задач в оценке состояния ландшафтов Среднерусской лесостепи. В статье представлены результаты анализа состояния залежных земель, типичных для региона. Изучены особенности растительного покрова залежей по состоянию на 2020 г., параметры их лесистости, обусловленной процессами естественного лесовозобновления, и спектрально-отражательные характеристики. В большинстве исследованных областей Центрального Черноземья количественно преобладают залежи с доминированием травянистых участков, но с присутствием древесной растительности. Залежи с высокой долей древесной растительности распространены в Орловской и Тамбовской областях. Наименьшую долю составляют травянистые залежи с отсутствием древесной растительности. Средняя лесистость одновозрастных залежей варьирует от 12 % в Воронежской области до 62 % в Орловской области. Высокие внутрирегиональные различия современной лесистости залежей выступают индикаторами пространственной вариации в скорости ее годового прироста. Внутрирегиональные отличия в лесистости оставленных аграрных земель проявляются в их спектрально-отражательных характеристиках красного и части инфракрасного диапазонов. Они находятся в обратной зависимости от величины покрытия залежей древесной растительностью.

Ключевые слова: залежные земли, спектральная отражательная способность, лесистость, лесовозобновление, Sentinel-2, Среднерусская лесостепь

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00291.

Для цитирования: Терехин Э.А. 2022. Состояние залежных земель и особенности их спектрально-отражательных свойств на территории Среднерусской лесостепи. Региональные геосистемы, 46(3): 356–365 DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-356-365

Parameters of Abandoned Agricultural Lands and Their Reflectance in the Central Russian Forest-Steppe

Edgar A. Terekhin

Belgorod National Research University,
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Abstract. The study of abandoned agricultural lands is an urgent task in estimating the state of landscapes in the Central Russian forest-steppe. The results of the abandoned lands analysis, typical of the region were presented. Abandoned agricultural land parameters were studied at the end of the second decade of the 21st century (2020). Abandoned lands with a predominance of herbaceous areas and the presence of forest vegetation are quantitatively dominated in the most of the Central Chernozem Region oblasts. Abandoned agricultural lands with a high share of forest vegetation are spread in the Oryol and Tambov

oblats. The smallest proportion is grassy abandoned land with no forest. The average forest cover of abandoned lands of the same age varies from 12 % in the Voronezh oblast to 62 % in the Oryol oblast. High intra-regional differences in the current forest cover of abandoned lands are indicators of differences in the intensity of reforestation. Intra-regional differences in the forest cover of abandoned agricultural lands are observed in the red and infrared spectral reflectance. The reflectance of these ranges is inversely related to the forest cover of abandoned lands.

Keywords: abandoned agricultural lands, spectral reflectance, forest cover, reforestation, Sentinel-2, Central Russian forest-steppe

Acknowledgements: The work was supported by grant of Russian Science Foundation (Project Number 22-27-00291).

For citation: Terekhin E.A. 2022 Parameters of Abandoned Agricultural Lands and Their Reflectance in the Central Russian Forest-Steppe. Regional Geosystems, 46(3): 356–365
DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-3-356-365

Введение

Восстановительные сукцессии, протекающие на оставленных аграрных землях, выступают фундаментальными процессами, связанными с естественной динамикой природной среды в регионах аграрного использования [Кудрявцев, 2007; Кулик, Пугачёва, 2016; Собина и др., 2022]. Изменения в почвенном и растительном покрове залежных земель могут приводить к смене внешнего облика ландшафтов [Трушков и др., 2017; Атутова, 2020]. Формирование новых типов растительных сообществ меняет видовой состав территории [Панкратова, Ганнибал, 2009; Попова и др., 2019]. Восстановительные сукцессии на залежах влияют на потоки углерода [Романовская и др., 2005; Karel et al., 2017; Fradette et al., 2021], объем наземной биомассы [Сорокина, 2018; Титлянова, Шибарева, 2022] и микроклиматические особенности [Bell et al., 2021; Khorchani et al., 2022]. При планировании долгосрочных стратегий природопользования мониторинг залежных земель [Fayet et al., 2022] становится достаточно актуальной задачей, решение которой необходимо для получения объективных представлений о современном состоянии ландшафтов многих регионов.

На территории Центрального Черноземья залежные земли выступают одним из немногих элементов ландшафтов, на основе которых могут быть изучены естественные изменения растительного покрова. Основная часть региона расположена в условиях лесостепной природной зоны. Учитывая вариацию природных условий в его субмеридиональных границах от лесной зоны до зоны степи, анализ характеристик оставленных аграрных земель позволяет получить представление о внутрирегиональных особенностях естественной динамики растительного покрова.

Спутниковые данные высокого и сверхвысокого пространственного разрешения выступают одним из наиболее достоверных источников информации, связанных с оценкой ряда характеристик залежей, включая особенности лесистости и лесовозобновления [Терехин, Постернак, 2019; Yin et al., 2020; Zhu et al., 2021]. Используя влияние параметров залежных земель на спектральный отклик, можно получить данные о состоянии оставленных аграрных земель.

Цель исследования – анализ характеристик залежных земель Центрального Черноземья и Орловской области, связанных с распространением на них древесной растительности вследствие восстановительных сукцессий. Задачи исследования включали оценку лесистости одновозрастных залежей в областях региона в конце второго десятилетия XXI в., анализ их спектрально-отражательных свойств.

Объекты и методы исследования

Исследование выполнено на территории лесостепи в пределах шести областей: Белгородской, Курской, Орловской, Липецкой, Тамбовской и Воронежской области. Анализируемая территория расположена в условиях умеренно-континентального климата и полностью охватывает лесостепь в субмеридиональных границах от лесной зоны на северо-западе Орловской области до зоны степи на юге Воронежской области.

Особенности залежных земель изучены на основе 960 объектов, суммарной площадью 48489,7 га, выявленных и изученных по материалам спутниковых съемок. Залежные земли подбирали для анализа на основе снимков высокого пространственного разрешения *Sentinel-2* (источник данных: <https://earthexplorer.usgs.gov/>) и сверхвысокого пространственного разрешения (1 м), полученных из сервиса *Google Earth*. Анализируемые угодья выявляли и отбирали таким способом, чтобы они были репрезентативно представлены во всех исследуемых областях.

Для каждого угодья было определено состояние растительного покрова в 2020 г.: полное покрытие древесной растительностью (лесные насаждения), доминирование древесной растительности, доминирование травянистой растительности, травянистые сообщества. Для каждого объекта с наличием древесной растительности также был установлен тип формирующихся лесных насаждений (лиственный, хвойный, смешанный) и величина лесистости или проективное покрытие древесной растительностью по состоянию на анализируемую дату (от 0 до 1). После оценки фактических параметров залежей для каждой из них был рассчитан набор спектрально-отражательных характеристик, включающих значения спектральной отражательной способности – безразмерных коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) в трех диапазонах: Red, SWIR1, SWIR2. В перечисленных участках спектра проявляется наиболее тесная связь с возрастом формирующихся лесных насаждений [Терехин, 2020], вследствие чего отражательная способность в этих участках спектра может быть использована для анализа лесовозобновления. Для ее анализа были применены многозональные спутниковые снимки *Sentinel-2*, характеризующиеся высоким пространственным (10–20 м) и радиометрическим разрешением [Immitzer et al., 2019; Fan et al., 2020]. Вследствие регулярности получения этих снимков, на их основе предоставляется возможность формирования полного покрытия изображений на всю территорию региона, что необходимо для объективной оценки особенности спектрального отклика оставленных аграрных земель, расположенных в его различных частях.

Для выявления залежей и анализа их спектрально-отражательных свойств на всю территорию исследования было сформировано покрытие изображений *Sentinel-2 MSI* 2019 г. Оно включало 22 фрагмента или тайла снимков, полученных в примерно одни и те же сроки вегетационного сезона (период августа). Все снимки прошли атмосферную и радиометрическую корректировку, в результате которой они были пересчитаны до соответствующего уровня обработки – L2A. Она была осуществлена в программе *SNAP (Sentinel Application Platform)*, модуле *Sen2Cor*. Для анализа залежных земель также была использована подборка разновременных снимков *Landsat TM/OLI* 2000–2020 гг. на территорию региона с целью анализа особенностей растительного покрова залежей в последние два десятилетия.

Оценка современной лесистости залежных земель в областях Центрального Черноземья и Орловской области проведена на основе подвыборки объектов, включающей только угодья одинакового возраста, которые были выведены из аграрного использования в начале 2000-х гг. и оставались в состоянии залежи как минимум до 2020 г. Эта выборка включала угодья с древесной растительностью из лиственных пород, либо угодья без древесной растительности. Выполнение соответствующего условия необходимо для корректного сравнения спектрально-отражательных характеристик оставленных аграрных земель, находящихся в различных областях. Спектральная отражательная способность листвен-

ных и хвойных пород отличается, поэтому их сравнение может привести к некорректным результатам.

На основе подвыборки одновозрастных залежей выполнен анализ спектрального отклика как индикатора лесистости и ее прироста на оставленных аграрных землях. Для всех исследуемых объектов подготовлена векторная основа, в атрибутивной составляющей которой была интегрирована информация о характеристиках залежей и их спектральной отражательной способности. На ее основе осуществлены оценка параметров растительного покрова залежных земель в различных областях Центрального Черноземья и анализ спектрально-отражательных свойств.

Результаты и их обсуждение

В конце второго десятилетия XXI в. в большинстве изученных областей наибольшую долю в количественном отношении составляли залежные земли с наличием древесной растительности, но преобладанием травянистых участков (рис. 1). Залежные земли с доминированием древесной растительности занимали наибольшую долю только в Орловской области. В наибольшей степени по соотношению различных типов залежных земель на нее похожа Тамбовская область. Часть территории обоих субъектов занимает подзона северной лесостепи. В остальных областях Центрального Черноземья (Курской, Липецкой, Белгородской, Воронежской области) соотношение залежей по состоянию растительного покрова в значительной степени идентично.

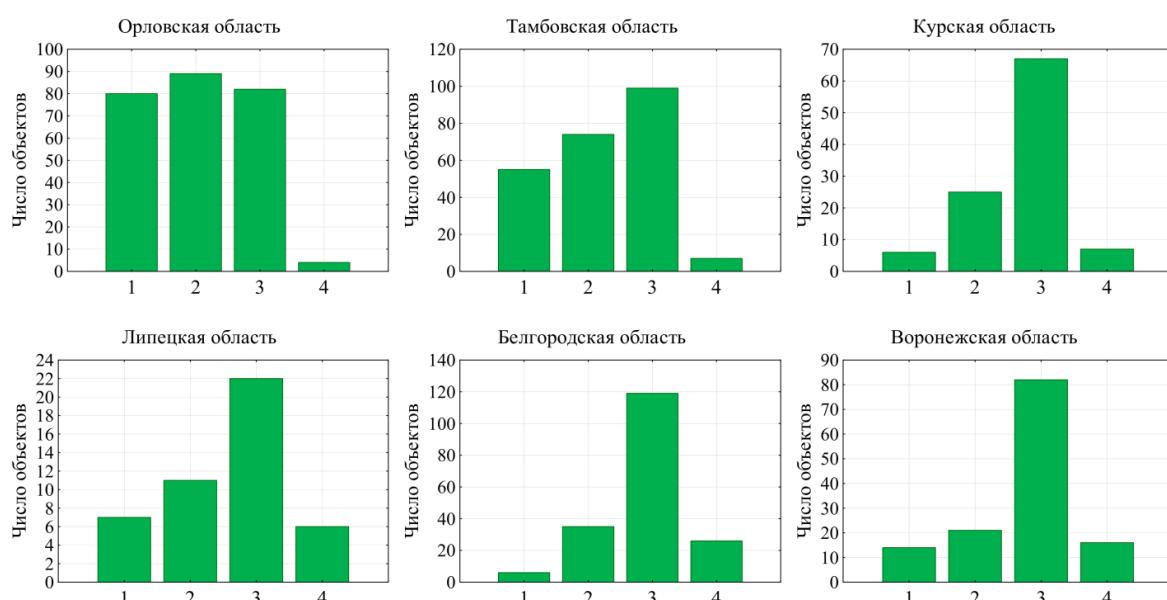


Рис. 1. Состояние растительного покрова залежных земель Центрального Черноземья и Орловской области в 2020 г.

1 – Лесные насаждения, 2 – преобладание лесных насаждений, 3 – преобладание травянистых участков, 4 – травянистые залежи

Fig. 1. The state of the abandoned lands vegetation cover in the Central Chernozem region and Oryol oblast in 2020

1 – Forest, 2 – Predominance of forest, 3 – Predominance of grassy areas, 4 – Grassly lands

Величина лесистости или облесенности одновозрастных залежных земель в конце второго десятилетия XXI в. (2020 гг.) существенно различалась между изученными областями (табл. 1). Наиболее высокая лесистость выявлена в Орловской области, расположенной в условиях северной и типичной лесостепи. Наименьшая лесистость зафиксирована в Воронежской области, основная часть которой расположена в подзонах типичной и южной лесостепи. Величина лесистости залежей между областями региона отличается более чем в 5 раз.

Учитывая, что все анализируемые угодья характеризовались примерно одинаковым временем восстановительных сукцессий (20 лет), величина их облесенности на анализируемые сроки одновременно выступала и индикатором различий в скорости лесовозобновления или прироста лесистости. В Белгородской и Воронежской областях, характеризующихся наименьшей лесистостью залежных земель, одновременно выявлена наиболее значительная вариация по величине покрытия залежей древесной растительностью.

Таблица 1
 Table 1

Характеристики лесистости для одновозрастных залежей в изученных областях в 2020 г.

Forest cover parameters of abandoned lands in the studied oblasts in 2020

Область РФ	Среднее	Коэффициент вариации, %
Белгородская область	0,15	113,6
Воронежская область	0,12	99,9
Курская область	0,40	76,3
Липецкая область	0,28	90,2
Орловская область	0,62	46,5
Тамбовская область	0,43	52,4

Рост лесистости залежей в подзоне северной лесостепи (части Орловской, Курской и Тамбовской областей) характеризуется достаточно высокими темпами (рис. 2), что является причиной высокой современной величины покрытия залежей древесной растительностью на северо-западе и северо-востоке региона.

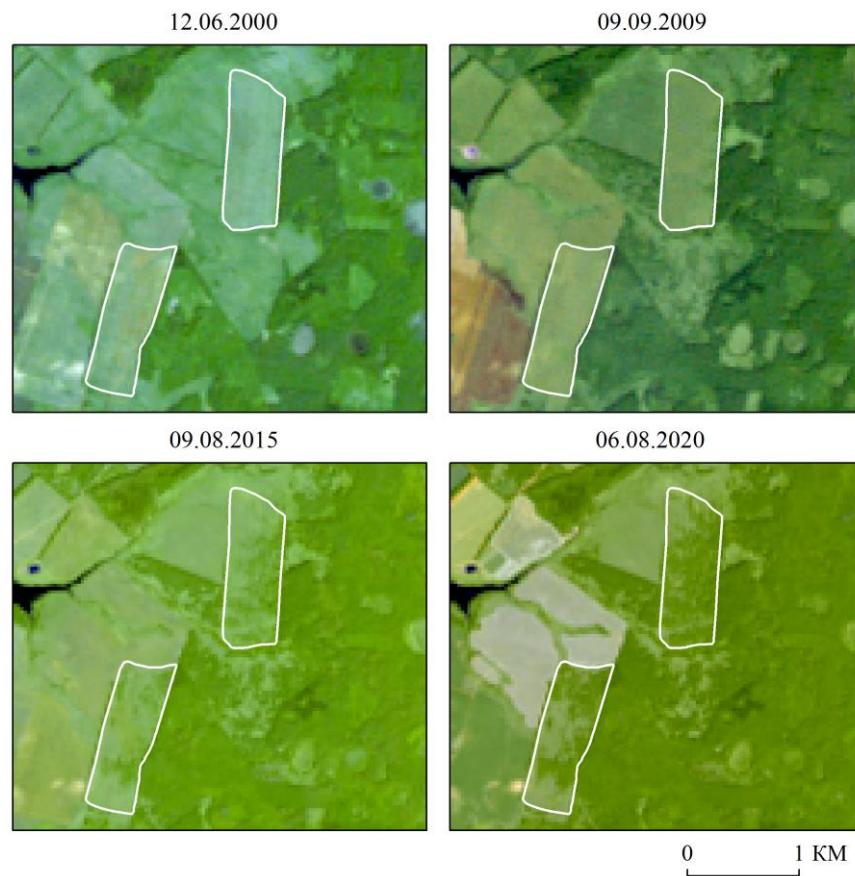


Рис. 2. Отображение процессов лесовозобновления, протекающих на оставленных аграрных землях лесостепи, на разновременных снимках Landsat TM/OLI. Тамбовская область

Fig. 2. Reforestation on abandoned agricultural lands in the forest-steppe natural zone.

Multitemporal Landsat TM/OLI data. Tambov Oblast

При соответствующих темпах лесовозобновления за 20-летний анализируемый период основная часть залежи успевает покрыться древесной растительностью.

Индикаторами различий в лесистости залежей выступают и их спектрально-отражательные характеристики красного (Red) и SWIR-диапазонов (табл. 2), находящиеся в зависимости от нее.

Таблица 2
Table 2

Параметры спектрально-отражательных характеристик залежных земель
в областях Центрального Черноземья и Орловской области в 2019 г. по данным Sentinel-2
Parameters of abandoned lands reflectance in the oblasts of Central Chernozem region and Oryol Oblast in 2019

Область РФ	Red-диапазон		SWIR1-диапазон		SWIR2-диапазон	
	Среднее	Коэффициент вариации	Среднее	Коэффициент вариации	Среднее	Коэффициент вариации
Белгородская	0,055	22,6	0,230	12,0	0,132	18,4
Воронежская	0,054	12,3	0,235	8,2	0,135	11,3
Курская	0,050	18,5	0,202	10,4	0,114	16,8
Липецкая	0,051	15,7	0,222	9,1	0,121	18,5
Орловская	0,039	40,9	0,178	16,5	0,089	26,2
Тамбовская	0,043	22,9	0,198	10,0	0,103	13,6

Снижение величины покрытия залежей древесной растительностью для каждого из изученных диапазонов спектра сопровождается повышением коэффициентов спектральной яркости (рис. 3).

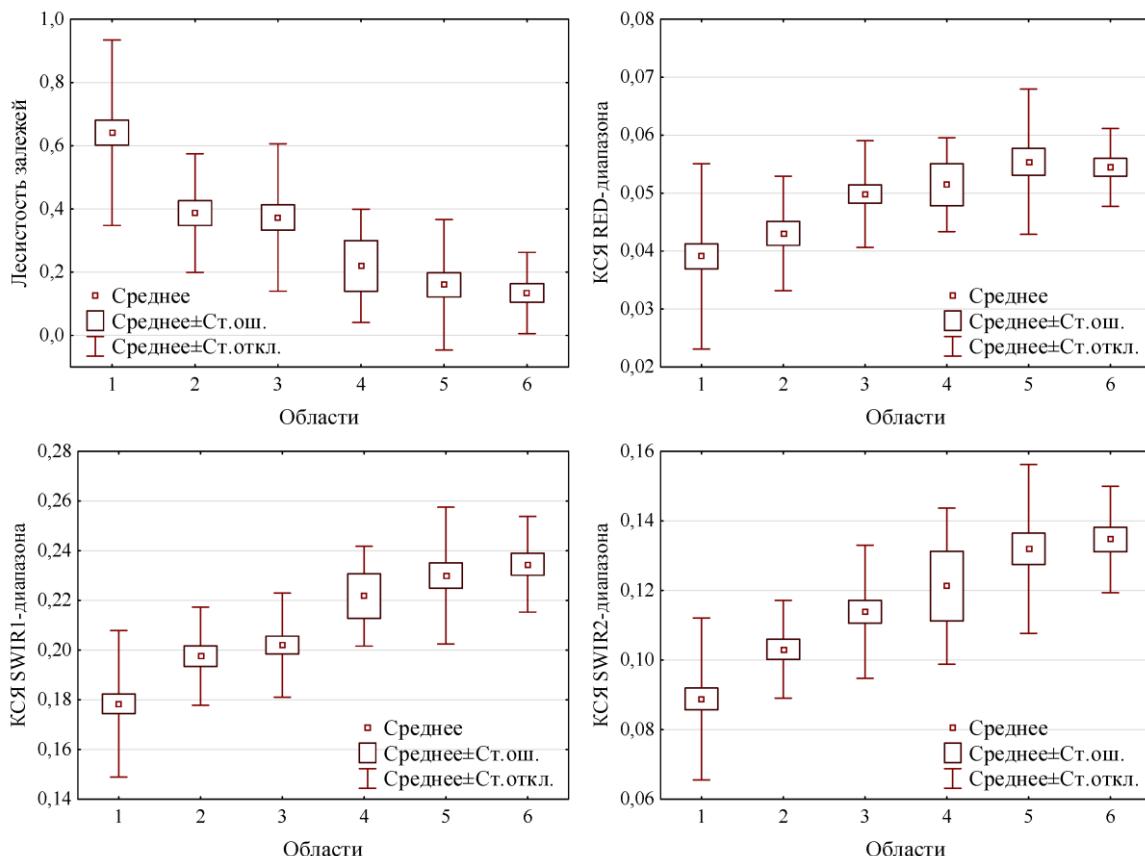


Рис. 3. Характеристики лесистости и спектрально-отражательных свойств одновозрастных залежей. 1 – Орловская область, 2 – Тамбовская область, 3 – Курская область,

4 – Липецкая область, 5 – Белгородская область, 6 – Воронежская область

Fig. 3. Parameters of abandoned lands. 1 – Oryol oblast, 2 – Tambov oblast, 3 – Kursk oblast,
4 – Lipetsk oblast, 5 – Belgorod oblast, 6 – Voronezh oblast

Значения спектральной отражательной способности залежей (2019 г.), усредненные для отдельных областей региона, отражают фактические различия в их лесистости. Орловская область характеризуется наиболее высокой лесистостью залежей среди изученных областей. Вместе с этим для нее типичны и наиболее низкие значения коэффициентов отражения оставленных аграрных земель. Обратная ситуация наблюдается в Воронежской области, т.е. регионе, находящемся в наиболее контрастных условиях с Орловской областью. Существенные внутрирегиональные различия в лесистости одновозрастных залежей являются следствием внутризональных физико-географических условий в регионе. Они проявляются, в частности, в климатических и почвенных особенностях. В пределах региона наблюдаются достаточно существенные различия в гидротермических условиях, в том числе, в сумме активных температур, количестве осадков в период с температурами выше 10 °С, гидротермическом коэффициенте. Перечисленные показатели наиболее существенно изменяются от северо-запада Орловской до юга Воронежской области.

Для Орловской области, расположенной значительной частью в условиях подзоны северной лесостепи, среди изученных областей характерно наибольшее распространение серых лесных почв, которые преобладают в ее северо-западной половине. Для Воронежской области, значительная часть которой расположена в подзоне южной лесостепи, характерно существенное распространение черноземов обыкновенных, а на юге – и черноземов южных, отсутствующих в остальных изученных областях. Неодинаковая конкурентоспособность лесной растительности на разных типах постагрогенных почв может быть причиной значительных внутрирегиональных различий в величине покрытия залежей древесной растительностью.

Заключение

Исследованы особенности растительного покрова по состоянию на конец второго десятилетия XXI в. для залежных земель, типичных для Среднерусской лесостепи, и расположенных в Центральном Черноземье и Орловской области. В большинстве из них, за исключением Орловской области, преобладают залежи, на которых доминирует травянистая растительность при одновременном присутствии древесной растительности. Во всех областях, кроме Орловской области, число залежей убывает в следующем ряду: доминирование травянистой растительности – доминирование древесной растительности – полное покрытие древесной растительностью – травянистые залежи. Наиболее высокая лесистость одновозрастных залежей с древесной растительностью из лиственных пород, типичных для региона, характерна для Орловской области, наименьшая – для Воронежской области. Различия в лесистости одновозрастных залежей между отдельными областями достигают 5 раз, что одновременно выступает индикатором внутрирегиональных различий в интенсивности лесовозобновления на оставленных аграрных землях. Спектрально-отражательные характеристики залежных земель, измеренные по спутниковым данным *Sentinel-2* в красном и инфракрасных диапазонах спектра, отражают внутрирегиональные различия в лесистости оставленных аграрных земель региона.

Список литературы

- Атутова Ж.В. 2020. Современное состояние залежных угодий Тункинской котловины (юго-западное Прибайкалье). География и Природные ресурсы, 2(161): 51–61.
DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-2(51-61).
- Кудрявцев А.Ю. 2007. Восстановительная динамика растительности лесостепного комплекса Среднего Поволжья. Экология, 5: 323–330.
- Кулик К.Н., Пугачёва А.М. 2016. Структура растительных сообществ залежных земель в системе куртинных защитных лесных насаждений в сухих степях. Аридные Экосистемы, 22(1(66)): 77–85.

- Панкратова Л.А., Ганнибал Б.К. 2009. Восстановительные сукцессии травяных сообществ в ландшафтах южной лесостепи (Воронежская область, музей-заповедник «Дивногорье»). Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География, 2: 92–95.
- Попова А.А., Паринова Т.А., Наквасина Е.Н. 2019. Биоэкологический анализ фитоценозов в динамике самовосстановления постагрогенных экосистем в пойме р. Северная Двина. Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал, 1(29): 30–40. DOI: 10.32516/2303-9922.2019.29.4.
- Романовская А.А., Гитарский М.Л., Карабань Р.Т., Назаров И.М. 2005. Роль залежных земель России в поглощении диоксида углерода из атмосферы. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 20: 219–237.
- Собина А.С., Хачиков Э.А., Шмареева А.Н., Федоренко А.Н., Приходько В.Д., Казеев К.Ш. 2022. Биологическая активность чернозема обыкновенного через 5 лет после прекращения агрогенной обработки. Агрохимический вестник, 1: 22–26. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-1-005.
- Сорокина О.А. 2018. Оценка запасов фитомассы и плодородия серых почв залежей. Почвы и окружающая среда, 1(3): 170–179. DOI: 10.31251/pos.v1i3.40
- Терехин Э.А., Постернак Т.С. 2019. Процессы лесовозобновления на залежных землях юга Западной Сибири и их анализ с применением данных дистанционного зондирования. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 16(4): 161–172. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-161-172.
- Терехин Э.А. 2020. Влияние параметров лесных насаждений на их спектральный отклик (на примере лесов юга Среднерусской возвышенности). Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса, 17(7): 142–154. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-142-154.
- Титлянова А.А., Шибарева С.В. 2022. Изменение чистой первичной продукции и восстановление запасов углерода в почвах залежей. Почвоведение, 4: 500–510. DOI: 10.31857/S0032180X2204013X.
- Трушков А.В., Одабашян М.Ю., Казеев К.Ш. 2017. Биологическая активность постагрогенного чернозема на ранних стадиях демутации. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 19(2–2): 345–348.
- Bell S.M., Terrer C., Barriocanal C., Jackson R.B., Rosell-Melé A. 2021. Soil Organic Carbon Accumulation Rates on Mediterranean Abandoned Agricultural Lands. Science of The Total Environment, 759: 143535. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143535.
- Fan X., Vrielink A., Muller B., Nelson A. 2020. Winter Cover Crops in Dutch Maize Fields: Variability in Quality and Its Drivers Assessed from Multi-Temporal Sentinel-2 Imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 91: 102139. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102139.
- Fayet C.M.J., Reilly K.H., Van Ham C., Verburg P.H. 2022. The Potential of European Abandoned Agricultural Lands to Contribute to the Green Deal Objectives: Policy Perspectives. Environmental Science & Policy, 133: 44–53. DOI: 10.1016/j.envsci.2022.03.007.
- Fradette O., Marty C., Faubert P., Dessureault P.-L., Paré M., Bouchard S., Villeneuve, C. 2021. Additional Carbon Sequestration Potential of Abandoned Agricultural Land Afforestation in the Boreal Zone: A Modelling Approach. Forest Ecology and Management, 499: 119565. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119565.
- Immitz M., Neuwirth M., Böck S., Brenner H., Vuolo F., Atzberger C. 2019. Optimal Input Features for Tree Species Classification in Central Europe Based on Multi-Temporal Sentinel-2 Data. Remote Sensing, 11(22). DOI: 10.3390/rs11222599.
- Karelin D.V., Goryachkin S.V., Kudikov A.V., Lopes de Gerenu V.O., Lunin V.N., Dolgikh A.V., Lyuri D.I. 2017. Changes in Carbon Pool and CO₂ Emission in the Course of Postagrogenic Succession on Gray Soils (Luvic Phaeozems) in European Russia. Eurasian Soil Science, 50: 559–572. DOI: 10.1134/S1064229317050076.
- Kharchani M., Nadal-Romero E., Lasanta T., Tague C. 2022. Carbon Sequestration and Water Yield Tradeoffs Following Restoration of Abandoned Agricultural Lands in Mediterranean Mountains. Environmental Research, 207: 112203. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112203.
- Yin H., Brandão A., Buchner J., Helmers D., Iuliano B.G., Kimambo N.E., Lewińska K.E., Razenkova E., Rizayeva A., Rogova N., Spahn S.A., Xie Y., Radloff V.C. 2020. Monitoring Cropland



Abandonment with Landsat Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 246: 111873.
DOI: 10.1016/j.rse.2020.111873.

Zhu X., Xiao G., Zhang D., Guo L. 2021. Mapping Abandoned Farmland in China Using Time Series MODIS NDVI. *Science of The Total Environment*, 755(2): 142651.
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142651.

References

- Atutova Zh.V. 2020. The Current State of Fallow Lands in the Tunka Depression (Southwestern Cisbaikalia). *Geography and Natural Resources*, 2(161): 51–61 (in Russian).
DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-2(51-61).
- Kudryavtsev A.Yu. 2007. Vegetation Restoration Dynamics in the Forest-Steppe System of the Middle Volga Region. *Russian Journal of Ecology*, 38(5): 299–305 (in Russian).
DOI: 10.1134/S1067413607050013.
- Kulik K.N., Pugacheva A.M. 2016. The Structure of Plant Communities of Fallow Land in the System of Protective Forest Plantations in Dry Steppes. *Arid Ecosystems*, 6(1): 63–69 (in Russian).
DOI: 10.1134/S2079096115040058.
- Pankratova L.A., Gannibal B.K. 2009. Progressive Succession of Grass Vegetation on the Forest-Steppe Landscapes (Voronezh Province, "Divnogorie" Museum-Reserve). *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*, 2: 92–95 (in Russian).
- Popova A.A., Parinova T.A., Nakvasina E.N. 2019. Bio-Ecological Dynamic Analysis of Plant Communities of Self-Healing Floodplain Postagrogenic Ecosystems of the Northern Dvina River. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*, 1(29): 30–40 (in Russian). DOI: 10.32516/2303-9922.2019.29.4.
- Romanovskaya A.A., Gitarskiy M.L., Karaban' R.T., Nazarov I.M. 2005. A Role of Abandoned Land of Russia in the Removal of Carbon Dioxide from the Atmosphere. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, 20: 219–237 (in Russian).
- Sobina A.S., Khachikov E.A., Shmaraeva A.N., Fedorenko A.N., Prikhod'ko V.D., Kazeev K.Sh. 2022. Biological Activity of Common Chernozem 5 Years After Termination of Agrogenic Treatment. *Agrochemical Herald*, 1: 22–26 (in Russian). DOI: 10.24412/1029-2551-2022-1-005.
- Sorokina O.A. 2018. Estimation of Phytomass Stock and Gray Soil Fertility of Abandoned Land. *Journal of Soils and Environment*, 1(3): 170–179 (in Russian). DOI: 10.31251/pos.v1i3.40.
- Terekhin E.A., Posternak T.S. 2019. Reforestation on Abandoned Arable Lands in the South of Western Siberia and Its Analysis Using Remote Sensing Data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 16(4): 161–172 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-161-172.
- Terekhin E.A. 2020. The Effect of Stand Parameters on the Spectral Response of Forests (Case Study of the South of the Central Russian Upland). *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 17(7): 142–154 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-142-154.
- Titlyanova A.A., Shibareva S.V. 2022. Change in Net Primary Production and Recovery of Carbon Stock of Old Field Soils. *Pochvovedenie*, 4: 500–510 (in Russian).
DOI: 10.31857/S0032180X2204013X.
- Trushkov A.V., Odabashyan M.Yu., Kazeev K.Sh. 2017. Biological Activity of Black Soil in Early Stages of Demutation. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 19: 345–348 (in Russian).
- Bell S.M., Terrer C., Barriocanal C., Jackson R.B., Rosell-Melé A. 2021. Soil Organic Carbon Accumulation Rates on Mediterranean Abandoned Agricultural Lands. *Science of The Total Environment*, 759: 143535. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143535.
- Fan X., Vrieling A., Muller B., Nelson A. 2020. Winter Cover Crops in Dutch Maize Fields: Variability in Quality and Its Drivers Assessed from Multi-Temporal Sentinel-2 Imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91: 102139. DOI: 10.1016/j.jag.2020.102139.
- Fayet C.M.J., Reilly K.H., Van Ham C., Verburg P.H. 2022. The Potential of European Abandoned Agricultural Lands to Contribute to the Green Deal Objectives: Policy Perspectives. *Environmental Science & Policy*, 133: 44–53. DOI: 10.1016/j.envsci.2022.03.007.
- Fradette O., Marty C., Faubert P., Dessureault P.-L., Paré M., Bouchard S., Villeneuve, C. 2021. Additional Carbon Sequestration Potential of Abandoned Agricultural Land Afforestation in the

- Boreal Zone: A Modelling Approach. *Forest Ecology and Management*, 499: 119565. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119565.
- Immitzer M., Neuwirth M., Böck S., Brenner H., Vuolo F., Atzberger C. 2019. Optimal Input Features for Tree Species Classification in Central Europe Based on Multi-Temporal Sentinel-2 Data. *Remote Sensing*, 11(22). DOI: 10.3390/rs11222599.
- Karelin D.V., Goryachkin S.V., Kudikov A.V., Lopes de Gerenu V.O., Lunin V.N., Dolgikh A.V., Lyuri D.I. 2017. Changes in Carbon Pool and CO₂ Emission in the Course of Postagrogenic Succession on Gray Soils (Luvic Phaeozems) in European Russia. *Eurasian Soil Science*, 50: 559–572. DOI: 10.1134/S1064229317050076.
- Kharchani M., Nadal-Romero E., Lasanta T., Tague C. 2022. Carbon Sequestration and Water Yield Tradeoffs Following Restoration of Abandoned Agricultural Lands in Mediterranean Mountains. *Environmental Research*, 207: 112203. DOI: 10.1016/j.envres.2021.112203.
- Yin H., Brandão A., Buchner J., Helmers D., Iuliano B.G., Kimambo N.E., Lewińska K.E., Razenkova E., Rizayeva A., Rogova N., Spahn S.A., Xie Y., Radeloff V.C. 2020. Monitoring Cropland Abandonment with Landsat Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 246: 111873. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111873.
- Zhu X., Xiao G., Zhang D., Guo L. 2021. Mapping Abandoned Farmland in China Using Time Series MODIS NDVI. *Science of The Total Environment*, 755(2): 142651. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142651.

Поступила в редакцию 14.06.2022;
поступила после рецензирования 11.07.2022;
принята к публикации 26.08.2022

Received June 14, 2022;
Revised July 11, 2022;
Accepted August 26, 2022

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Терехин Эдгар Аркадьевич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела геоинформатики Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов; доцент кафедры природопользования и земельного кадастра Института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Edgar A. Terekhin, PhD in Geography, Senior Researcher, Department of Geoinformatics, Federal Regional Center for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources, Associate Professor, Department of Natural Resources and Land Cadastre, Institute of Earth Sciences, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia