



УДК 528.88

DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-3-405-415

Особенности восстановления древесной растительности на постагрогенных землях юга Среднерусской возвышенности

Терехин Э.А.

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

Аннотация. В статье рассмотрены типы залежных земель юга Среднерусской возвышенности по участию древесной растительности. Выделены четыре категории залежей по этому признаку: с наличием участков полного покрытия древесной растительностью; с многочисленными отдельно стоящими деревьями; с редкими отдельно стоящими деревьями; с отсутствием древесной растительности. Типы залежей с отдельно стоящими деревьями характеризуются отсутствием статистически значимого тренда в многолетней динамике спектрально-отражательных характеристик, которая изучена на основе вегетационного индекса *NDVI*. Для залежей с наличием сплошной древесной растительности характерен многолетний тренд вегетационного индекса, но его статистическая значимость находится вблизи порогового значения. Форма участия древесной растительности на оставленных аграрных землях проявляется в их спектрально-отражательных характеристиках видимого, ближнего и коротковолнового инфракрасных диапазонов, измеренных по спутниковым данным *Sentinel-2*. Но типы залежей с отсутствием сплошной древесной растительности статистически значимо не отличаются друг от друга ни в одном из указанных диапазонов спектра. Статистически значимые отличия по отражательным характеристикам начинают появляться одновременно с формированием сомкнутых насаждений, когда величина проективного покрытия древесной растительностью отдельных залежей достигает 27–30%. Появление многочисленных отдельно стоящих деревьев при отсутствии их сплошного покрытия не приводит к формированию статистически значимых отличий спектрально-отражательных характеристик, измеренных по данным *Sentinel-2*, от залежей без древесной растительности.

Ключевые слова: оставленные аграрные земли, естественное облесение, многолетние ряды, Среднерусская возвышенность, *Sentinel-2*

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2023-0011.

Для цитирования: Терехин Э.А. 2024. Особенности восстановления древесной растительности на постагрогенных землях юга Среднерусской возвышенности. Региональные геосистемы, 48(3): 405–415. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-3-405-415

Natural Afforestation of Postagrogenic Lands in the South of the Central Russian Upland

Edgar A. Terekhin

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

Abstract. The article explores types of postagrogenic lands in the south of the Central Russian Upland, differing in natural afforestation. Four land categories are distinguished according to this feature: with areas of closed forest; with numerous isolated trees; with rare isolated trees; without forest vegetation. The abandoned lands with isolated trees and without closed forest vegetation are characterized by the absence of a statistically significant trend in the long-term dynamics of the *NDVI* vegetation index. Abandoned farmlands with areas of



closed forest have a trend, but its statistical significance is close to the threshold value. The distribution of forest vegetation on abandoned agricultural lands is manifested in the spectral reflectance of visible, near and short-wave infrared ranges derived from Sentinel-2 data. However, the types of abandoned agricultural lands without closed forest do not display any statistically significant difference from each other in any spectral range. Statistically significant differences start to appear simultaneously with the formation of such areas, when forest cover of individual land reaches 27–30 %. The appearance of numerous isolated trees in the absence of a continuous tree cover does not lead to the formation of statistically significant differences in the spectral reflectance measured using Sentinel-2 data from lands without tree vegetation.

Keywords: abandoned agricultural lands, natural afforestation, time series, Central Russian Upland, Sentinel-2

Acknowledgements: This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of State Assignment No. FZWG-2023-0011

For citation: Terekhin E.A. 2024. Natural Afforestation of Postagrogenic Lands in the South of the Central Russian Upland. *Regional Geosystems*, 48(3): 405–415 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-3-405-415

Введение

Объективная оценка состояния выведенных из оборота аграрных земель выступает необходимой задачей в системе мониторинга землепользования и актуальна для разных стран [Bowen et al., 2007; Иванов и др., 2020; Fayet et al., 2022]. Распространение залежных земель обусловлено рядом причин, одна из которых – повышение продуктивности сельского хозяйства [Estel et al., 2015] и концентрация растениеводства на наиболее продуктивных землях. Вследствие нее малопродуктивные угодья выводятся из оборота. Другие причины связаны с урбанизацией и снижением численности сельского населения. Прекращение распашки обуславливает развитие процессов восстановления почвенного и растительного покрова, приводящих к появлению новых растительных формаций [Голеусов, Лисецкий, 2009; Данилов и др., 2023]. Важнейшей особенностью восстановительных процессов на постагrogenных землях разных природных зон в начале XXI века является формирование на них древесной растительности. Оно наблюдается в Северной Евразии на всем субширотном простирании от Атлантического океана до Урала и Сибири [Koroleva et al., 2018; Атутова, 2020; Velázquez et al., 2022; Широких и др., 2023]. Проблема изучения бывших пахотных земель является актуальной и для территории юга Среднерусской возвышенности [Китов, Цапков, 2015]. Регион расположен в условиях умеренного климата в лесостепной зоне, подзонах типичной и южной лесостепи на границе со степной зоной. На оставленных аграрных землях после прекращения распашки в большинстве случаев формируется древесная растительность из лиственных пород, примерами которых являются яблоня, груша, клен ясенелистный, акация и др.

К началу третьего десятилетия XXI века наиболее эффективным средством выявления и анализа состояния оставленных земель выступает комбинированное использование материалов спутниковой съемки различного пространственного разрешения и частоты получения. Применение разновременных снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения позволяет достоверно выявлять оставленные аграрные земли среди обрабатываемых земель, лесных массивов и других типов объектов земной поверхности.

Учитывая, что при отсутствии нарушений растительного покрова, процесс формирования древесной растительности продолжается непрерывно, значительный интерес представляет рассмотрение его влияния на спектрально-отражательные характеристики земель, которые могут быть изучены на основе рядов спутниковых снимков. В этой связи перспективы представляет использование информационных продуктов, содержащих многолетние ряды спектрально-отражательных характеристик объектов. К настоящему времени такие возможности предоставляют данные, создаваемые на основе снимков *MODIS*

[Zhu et al., 2021; Zhao et al., 2023; Wu et al., 2023], непрерывные архивы которых накоплены с начала XXI века. С другой стороны, объективная оценка спектрально-отражательных характеристик залежных земель с целью их дальнейшей интерпретации как показателей особенностей распространения древесной растительности обуславливает необходимость использования многозональных снимков высокого пространственного и радиометрического разрешения. Их примером являются снимки со спутников *Sentinel-2 A, B* [Курбанов и др., 2018; Vera et al., 2023; Yang et al., 2023], накопление которых ведется со второго десятилетия XXI века.

Одним из открытых, но при этом важных вопросов использования данных дистанционного зондирования в оценке состояния залежных земель является анализ возможностей их спектрально-отражательных свойств для определения участков с разными видами участия древесной растительности. Среди них встречается зарастание сплошными участками лесной растительности, распространение отдельно стоящих деревьев без формирования сомкнутых насаждений. Хотя древесно-кустарниковая стадия сукцессий на них в итоге может способствовать полному покрытию залежных земель лесом, процесс распространения деревьев в условиях лесостепи может занимать десятилетия. В условиях региона иногда встречаются и залежи без древесной растительности.

Цель исследования заключалась в оценке наиболее распространенных типов оставленных аграрных земель по особенностям формирования на них древесной растительности на основе материалов дистанционного зондирования Земли и данных наземных наблюдений. Задачи исследования включали выявление наиболее типичных постагрогенных земель по особенностям распространения древесной растительности, оценку различных типов залежей по спектрально-отражательным характеристикам, определение параметров многолетней динамики отражательных свойств каждого типа залежных земель.

Объекты и методы исследования

Физико-географические условия юга Среднерусской возвышенности обуславливают разную скорость распространения древесной растительности на постагрогенных землях, вследствие которой распространены залежи как с участками ее полного покрытия, так и единичного распространения. Исходя из анализа залежей на основе спутниковых данных и материалов полевых наблюдений, оставленные аграрные земли региона предложено разделить по этому критерию на следующие категории: 1 – залежные земли без древесной растительности; 2 – залежи с единичными отдельно стоящими деревьями, расстояние между которыми более 50 м; 3 – залежи с многочисленными отдельно стоящими деревьями, но с расстоянием между ними более 9–10 м; 4 – залежи с участками полного покрытия древесной растительностью, когда расстояние между деревьями составляет менее 9–10 м. Различные типы залежных земель по этому критерию обусловлены особенностями скорости этого процесса, которая значительно ниже, чем в подзоне северной лесостепи. Необходимо отметить, что, несмотря на то, что древесная растительность формируется на большинстве оставленных аграрных земель [Терехин, 2022], залежи, полностью покрытые древесной растительностью, представлены крайне редко. При этом распространены бывшие пахотные земли, сочетающие участки травянистой и древесной, в том числе, сплошной растительности.

Исследование выполнено на основе данных со 103 оставленных аграрных земель, расположенных на территории юга Среднерусской возвышенности (преимущественно на территории Белгородской области). Выявление залежей осуществлено на основе материалов разновременной спутниковой съемки сверхвысокого пространственного разрешения, представленной в интернет-сервисах открытого доступа. Примеры каждого типа залежей изучены в полевых условиях с целью описания фактических особенностей растительного покрова и распространения древесной растительности (табл. 1).



Таблица 1
 Table 1

Характеристики изученных оставленных аграрных земель,
 типичных для юга Среднерусской возвышенности
 Parameters of the studied abandoned agricultural lands, typical for the south
 of the Central Russian Upland

Тип	Описание	Площадь средняя, га	Число залежей	Площадь суммарная, га
1	Отсутствие древесной растительности	14,9	18	267,7
2	Единичные отдельно стоящие деревья	10,4	24	250,2
3	Многочисленные отдельно стоящие деревья	12,7	14	178,1
4	Наличие участков сплошного покрытия древесной растительностью	11,3	47	530,8
Всего		11,9	103	1226,8

Состояние постагрогенных земель оценивалось на начало третьего десятилетия XXI в. Критерии отбора залежных земель сформулированы следующим образом:

- 1) выборка должна представлять все анализируемые типы залежных земель по участию древесной растительности;
- 2) каждый объект должен непрерывно в течение предыдущих 15–18 лет находиться в залежном состоянии;
- 3) на каждый объект на конечную дату исследования должен быть доступен космический снимок сверхвысокого пространственного разрешения и снимок высокого пространственного разрешения *Sentinel-2*;
- 4) на залежах должна присутствовать древесная растительность из лиственных пород, либо древесная растительность не должна быть представлена;
- 5) время, в течение которого угодья были в залежном состоянии, должно быть максимально аналогично для всех объектов.

Для изученных залежных земель с использованием геоинформационных средств по спутниковым данным был подготовлен векторный слой. В его атрибутивную составляющую добавлены необходимые сведения. Они включали информацию об особенностях древесной растительности на залежных землях, исходя из категорий, представленных в табл. 1. Для каждой залежи также оценена площадь.

На следующем этапе для залежных земель рассчитан набор спектрально-отражательных характеристик. Он включал многолетние ряды вегетационного индекса *NDVI* периода 2006–2022 гг. и значения коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) в различных зонах спектра в 2022 году. Коэффициенты спектральной яркости являются безразмерными показателями, принимающими значения от 0 до 1 и характеризующими отражательную способность объектов земной поверхности. *NDVI* основан на отражательных характеристиках в красном и ближнем инфракрасном диапазонах. Значения вегетационного индекса получены на основе информационных продуктов *MOD13Q1*, представляющих 16-дневные композитные изображения вегетационного индекса, создаваемые на основе атмосферно и радиометрически откорректированных снимков *MODIS*. Многолетние ряды *NDVI*, сформированные для анализа, включали значения периода вегетации каждого года с начала апреля по конец октября.

Значения спектрально-отражательных характеристик (КСЯ) были изучены в 9 зонах спектра по многозональным данным *Sentinel-2*: синем, зеленом, красном, трех крайних красных, ближнем инфракрасном и двух коротковолновых инфракрасных диапа-

зонах. Для анализа были использованы безоблачные изображения периода августа 2022 года, включающие тайлы (фрагменты снимков) *T37UCS* (24.08.2022), *T37UDS* (06.08.2022), *T37UDR* (06.08.2022). Все снимки *Sentinel-2* прошли атмосферную и радиометрическую коррекцию, в процессе которой были пересчитаны в коэффициенты спектральной яркости на нижней границе атмосферы в программе *SNAP (Sentinel Application Platform)*. Пространственное разрешение всех используемых каналов приведено к 20 м. Значения спектрально-отражательных характеристик для конкретных залежных земель вычислены методом зональной статистики.

После интеграции необходимой информации осуществлено сопоставление особенностей древесной растительности залежей, их состояния на снимках и на местности, выполнен статистический анализ спектрально-отражательных характеристик отдельных залежных земель. Статистический анализ включал изучение параметров многолетних рядов вегетационного индекса для каждого типа залежей, включая наличие и статистическую значимость тренда (на основе критерия Манна – Кендалла). На этом же этапе исследованы различия типов залежей по отражательным характеристикам в каждой зоне спектра.

Результаты и их обсуждение

Постагrogenные земли с единичной древесной растительностью, либо ее отсутствием (1–2 Тип) уверенно отличаются между собой на снимках сверхвысокого пространственного разрешения (1 м). При этом наличие редких, одиночных деревьев не отображается на снимках высокого разрешения (10 м), в данном случае – *Sentinel-2*, синтезированных в каналах видимого диапазона наибольшей детальности (рис. 1).

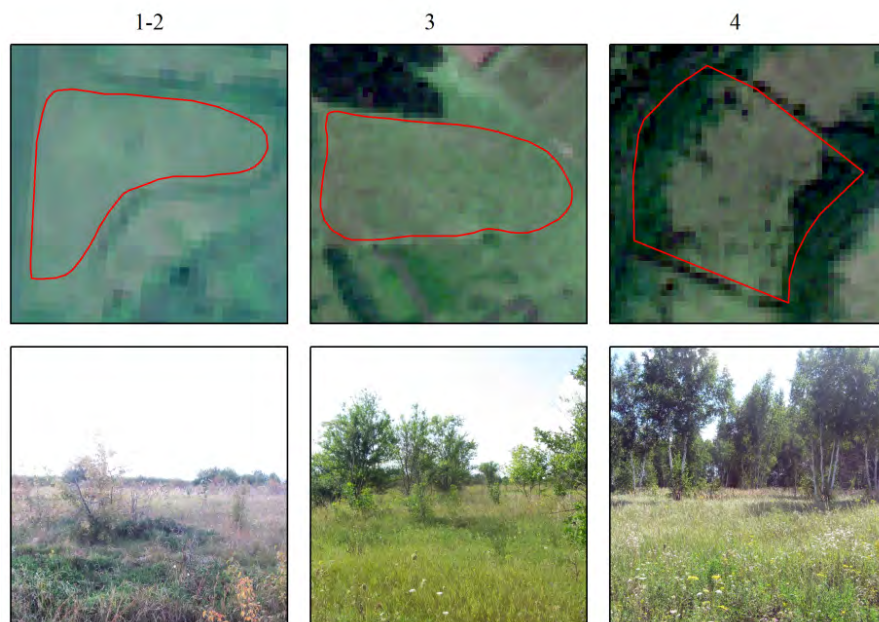


Рис. 1. Типы оставленных аграрных земель (1–4) юга Среднерусской возвышенности по особенностям покрытия древесной растительностью на многозональных снимках *Sentinel-2* (Синтез каналов 4 – 3 – 2) и на местности: 1, 2 – с редкими одиночными деревьями или без древесной растительности, 3 – с частыми одиночными деревьями, 4 – с наличием участков полного покрытия древесной растительностью

Fig. 1. Types of abandoned agricultural lands in the south of the Central Russian Upland by forest cover in *Sentinel-2* images and on the ground: 1, 2 – with rare single trees or without forest vegetation, 3 – with frequent single trees, 4 – with presence of areas with closed forest cover

Достаточно многочисленны, но одиночные деревья с расстоянием от 9–10 м между собой, не формирующие сплошного покрытия (Тип 3), обуславливают формирование

на снимках *Sentinel-2* более пятнистой текстуры. При этом такие залежи также слабо отличаются от залежей без древесной растительности. Появление участков сомкнутой растительности (Тип 4) уверенно проявляется при визуальном анализе на снимках *Sentinel-2*.

Многолетняя динамика спектрально-отражательных характеристик разных типов залежных земель (на примере индекса *NDVI*) проанализирована по следующим параметрам: графические особенности динамики, величина углового коэффициента линейного тренда, величина параметра *tau* критерия Манна – Кендалла и его статистическая значимость. Критерий Манна – Кендалла является непараметрическим показателем, характеризующим наличие непрерывной тенденции.

Из графической интерпретации многолетней динамики вегетационного индекса (рис. 2) достаточно хорошо просматривается отсутствие каких-либо тенденций для залежей без древесной растительности (Тип 1), либо ее слабая выраженность (Тип 2).

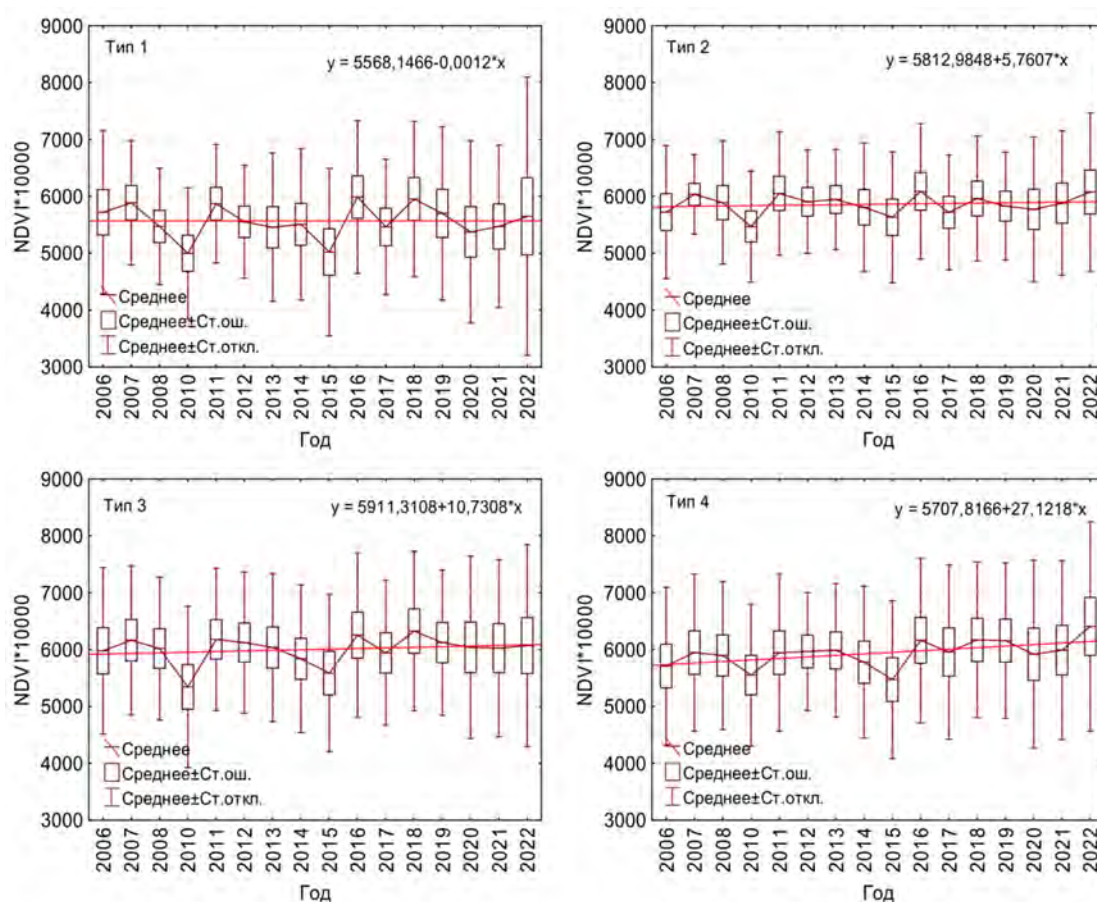


Рис. 2. Параметры многолетней динамики вегетационного индекса для различных типов залежных земель юга Среднерусской возвышенности: 1 – без древесной растительности; 2 – с редкими одиночными деревьями; 3 – с частыми одиночными деревьями; 4 – с наличием участков полного покрытия древесной растительностью

Fig. 2. Parameters of long-term dynamics of vegetation index for different types of abandoned agricultural lands in the south of the Central Russian Upland: 1 – without forest vegetation; 2 – with rare single trees; 3 – with frequent single trees; 4 – with presence of areas with closed forest cover

Сопоставление значений *NDVI* в начале и конце исследуемого периода показывает, что величина индекса изменений не претерпела и находится в диапазоне 0,5–0,6. Для залежей с многочисленной, разреженной древесной растительностью (Тип 3) начинает наблюдаться определенный положительный тренд. При этом диапазон варьирования вегетационного индекса такой же, как в предыдущем случае. Наличие выраженного тренда

наблюдается только для залежей с наличием участков сплошной древесной растительности (Тип 4).

По значениям углового коэффициента линейного тренда *NDVI* между типами залежных земель наблюдаются определенные различия. Они состоят в повышении его значений при переходе от одного типа к другому (табл. 2). Необходимо отметить, что величины углового коэффициента тренда для удобства анализа получены на основе значений *NDVI*, умноженных на 10000, т. к. для исходных значений они были бы очень малы. В то же время динамика индекса может быть нелинейной, что может ограничивать оценки на основе углового коэффициента тренда.

Таблица 2
Table 2

Параметры многолетней динамики вегетационного индекса
для различных типов залежных земель в 2006–2022 гг.
Parameters of long-term dynamics of vegetation index for different types
of abandoned lands in 2006–2022

Тип залежей по участию древесной растительности	Угловой коэффициент линейного тренда	Тан Манна – Кендалла	Уровень значимости Тан Манна – Кендалла
1	0,001	0,008	0,862
2	5,760	0,011	0,818
3	10,73	0,024	0,611
4	27,12	0,064	0,167

Показатель *tau* Манна – Кендалла (абсолютная величина *tau*) последовательно растет в ряду анализируемых типов залежей к типу с наличием участков сплошной древесной растительности. При этом для первых трех типов залежей она статистически не значима (см. табл. 2), что можно интерпретировать как отсутствие значимого многолетнего тренда. Для залежей с наличием участков сплошной древесной растительности (4 Тип) значения *tau* Манна – Кендалла существенно превышают аналогичную величину всех остальных типов оставленных аграрных земель.

Его уровень значимости находится вблизи пороговой величины. При этом отсутствие статистической значимости в целом для угодий этого типа обусловлено тем, что на этот показатель влияет не только само наличие участков сплошной древесной растительности, но их доля от общей площади угодья [Терехин, 2022]. На части Среднерусской возвышенности, располагающейся в условиях подзоны типичной лесостепи [Физико-географическое районирование ..., 1961], величина лесистости залежей (с древесной растительностью из лиственных пород), как правило, не превышает 0,3–0,4 для большинства таких земель, у которых период восстановительных сукцессий составляет до 20–25 лет.

Представление об особенностях различных типов залежных земель по участию на них древесной растительности может быть получено методом анализа их спектрально-отражательных характеристик, измеренных в конце исследуемого периода. Снимки *Sentinel-2* вследствие более низкой частоты получения данных и меньшем времени работы сенсора (с 2015 года) в сравнении с *MODIS* не позволяют сформировать многолетний ряд спектрально-отражательных признаков. Вместе с тем их преимущество заключается в более высоком пространственном разрешении (20 м), сочетающимся с высокой радиометрической точностью.

В начале видимой спектральной области, охватывающей синий (*Blue*), зеленый (*Green*) и красный (*Red*) диапазоны (табл. 3), происходит последовательное снижение коэффициентов спектральной яркости при переходе от 1 типа залежей (отсутствие древес-



ной растительности) к 4 типу (наличие участков сплошной древесной растительности. В начале крайней красной области (*Red Edge 1*) эта закономерность исчезает. Необходимо отметить, что средняя величина покрытия сплошной древесной растительностью для залежей, где такие участки присутствовали, составляла порядка 27–30 %, что можно рассматривать как величину, как минимум с которой фактор наличия сплошной растительности на залежах начинает оказывать статистически значимое влияние на их спектрально-отражательные характеристики.

Таблица 3
 Table 3

Параметры спектрально-отражательных характеристик в видимой области спектра для различных типов залежных земель по данным *Sentinel-2* (2022)
 Parameters of spectral reflectance in visible ranges for different types of abandoned land derived from *Sentinel-2* data (2022)

Тип залежей	Величина покрытия древесной растительности	Blue	Green	Red	Red Edge 1
1	0,00	0,142 ± 0,001	0,167 ± 0,001	0,159 ± 0,002	0,210 ± 0,002
2	0,02 ± 0,00	0,140 ± 0,001	0,166 ± 0,001	0,155 ± 0,002	0,211 ± 0,002
3	0,06 ± 0,01	0,139 ± 0,001	0,166 ± 0,002	0,156 ± 0,002	0,215 ± 0,002
4	0,27 ± 0,03	0,134 ± 0,001	0,160 ± 0,001	0,145 ± 0,001	0,202 ± 0,002

В более длинноволновой крайней красной области (*Red Edge 2*) появляется обратная не сильно выраженная закономерность увеличения спектрально-отражательных характеристик в этом же ряду, которая наблюдается также в ближней инфракрасной (*NIR*) области (табл. 4). В коротковолновой инфракрасной (*SWIR 1, 2*) части спектра вновь выявляется тенденция снижения спектрально-отражательных характеристик в ряду типов залежей 1–4, которая наблюдалась в видимой области.

Таблица 4
 Table 4

Параметры спектрально-отражательных характеристик в крайней красной, ближней и коротковолновой инфракрасной области спектра для различных типов залежных земель по данным *Sentinel-2* (2022)
 Parameters of spectral reflectance in NIR and SWIR ranges for different types of abandoned land derived from *Sentinel-2* data (2022)

Тип залежей	Величина покрытия древесной растительности	Red Edge2	NIR	SWIR1	SWIR2
1	0,00	0,320 ± 0,009	0,379 ± 0,011	0,340 ± 0,004	0,242 ± 0,006
2	0,02 ± 0,00	0,319 ± 0,006	0,376 ± 0,008	0,336 ± 0,006	0,236 ± 0,004
3	0,06 ± 0,01	0,323 ± 0,008	0,384 ± 0,009	0,338 ± 0,006	0,233 ± 0,005
4	0,27 ± 0,03	0,337 ± 0,004	0,407 ± 0,004	0,317 ± 0,002	0,214 ± 0,002

Таким образом, наблюдается чувствительность спектрально-отражательных характеристик залежей к формам участия на них древесной растительности. С другой стороны, оценка статистической значимости выявленных различий, проведенная по критерию наименьшей существенности разности, показала, что значимо отличается от всех остальных только 4-й тип залежных земель. Он, на уровне значимости 0,05, отличен от остальных типов постагрогенных земель. Первый, второй и третий типы залежных земель по отражательным характеристикам ни в одной зоне спектра не отличаются между собой.

Заключение

Выведенные из оборота аграрные земли, типичные для юга Среднерусской возвышенности, можно разделить на несколько категорий по участию древесной растительности. К ним относятся залежи без древесной растительности; с единичными, редкими деревьями; с отдельно стоящими многочисленными деревьями; с наличием участков сплошной древесной растительности. Для залежей с наличием одиночных деревьев в любой форме (частая или редкая), но без участков сплошной древесной растительности не выявлено выраженных изменений в многолетней динамике вегетационного индекса (по данным *MOD13Q1*) за 18-летний период восстановительных сукцессий. Она установлена только для залежей с наличием участков сплошного лесного покрова и величиной проективного покрытия крон, составляющей на конец анализируемого периода 27–30 %. В каналах видимого и коротковолнового инфракрасного диапазонов (по *Sentinel-2*) происходит последовательное снижение значений спектрально-отражательных характеристик в изученном ряду залежей. При этом статистически значимых различий по спектрально-отражательным свойствам между залежами без древесной растительности, с единичными отдельно стоящими деревьями и многочисленными отдельно стоящими деревьями, не обнаружено.

Список литературы

- Атутова Ж.В. 2020. Современное состояние залежных угодий Тункинской котловины (юго-западное Прибайкалье). География и природные ресурсы, 2(161): 51–61. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-2\(51-61\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-2(51-61))
- Голеусов П.В., Лисецкий Ф.Н. 2009. Воспроизводство почв в антропогенных ландшафтах лесостепи. М., Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 232 с.
- Данилов Д.А., Яковлев А.А., Крылов И.А. 2023. Формирование естественных растительных ассоциаций на постагрогенных землях. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 242: 60–82. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.242.60-82>
- Иванов А.И., Иванова Ж.А., Соколов И.В. 2020. Вторичное освоение неиспользуемых угодий. Российская сельскохозяйственная наука, 2: 48–52. <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-2-48-52>
- Китов М.В., Цапков А.Н. 2015. Изменения площадей залежных земель на Европейской территории России за период 1990-2013 гг. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 15(212): 163–171.
- Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Меньшиков С.А., Смирнова Л.Н. 2018. Распознавание лесных насаждений и доминирующих древесных пород Пензенской области по данным спутника Sentinel-2. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 15(5): 154–166. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-5-154-166>
- Терехин Э.А. 2022. Особенности лесовозобновления на залежных землях Среднерусской лесостепи. Известия РАН. Серия географическая, 86(4): 594–604. <https://doi.org/10.31857/S2587556622040112>
- Широких П.С., Федоров Н.И., Туктамышев И.Р., Бикбаев И.Г., Мартыненко В.Г. 2023. Закономерности лесовосстановительных сукцессий на заброшенных сельскохозяйственных землях Башкирского Предуралья. Экология, 3: 179–187. <https://doi.org/10.31857/S036705972303006X>
- Физико-географическое районирование центральных черноземных областей. 1961. Под ред. Ф.Н. Милькова. Воронеж, Изд-во Воронежского университета, 263 с.
- Bera D., Das Chatterjee N., Bera S., Ghosh S., Dinda S. 2023. Comparative Performance of Sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI Data in Canopy Cover Prediction Using Random Forest Model: Comparing Model Performance and Tuning Parameters. Advances in Space Research, 71(11): 4691–4709. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.01.027>
- Bowen M.E., McAlpine C.A., House A.P.N., Smith G.C. 2007. Regrowth Forests on Abandoned Agricultural Land: A Review of Their Habitat Values for Recovering Forest Fauna, Biological



- Conservation, 140(3–4): 273–296. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.08.012>
- Estel S., Kuemmerle T., Alcántara C., Levers C., Prishchepov A., Hostert P. 2015. Mapping Farmland Abandonment and Recultivation Across Europe Using MODIS NDVI Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 163: 312–325. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.028>
- Fayet C.M.J., Reilly K.H., Van Ham C., Verburg P.H. 2022. What is the Future of Abandoned Agricultural Lands? A Systematic Review of Alternative Trajectories in Europe. *Land Use Policy*, 112: 105833. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105833>
- Koroleva N.V., Tikhonova E.V., Ershov D.V., Saltykov A.N., Gavrilyuk E.A., Pugachevskii A.V. 2018. Twenty-Five Years of Reforestation on Nonforest Lands in Smolenskoe Poozerye National Park According to Landsat Imagery Assessment. *Contemporary Problems of Ecology*, 11(7): 719–728. <https://doi.org/10.1134/S1995425518070077>
- Velázquez E., Martínez-Jaraíz C., Wheeler C., Mitchard E.T.A., Bravo F. 2022. Forest Expansion in Abandoned Agricultural Lands has Limited Effect to Offset Carbon Emissions from Central-North Spain. *Regional Environmental Change*, 22(4): 132. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01978-0>
- Wu J., Jin S., Zhu G., Guo J. 2023. Monitoring of Cropland Abandonment Based on Long Time Series Remote Sensing Data: a Case Study of Fujian Province, China. *Agronomy*, 13(6): 1585. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061585>
- Yang X., Qiu S., Zhu Z., Rittenhouse C., Riordan D., Cullerton M. 2023. Mapping Understory Plant Communities in Deciduous Forests from Sentinel-2 Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 293: 113601. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113601>
- Zhao X., Wu T., Wang S., Liu K., Yang J. 2023. Cropland Abandonment Mapping at Sub-Pixel Scales Using Crop Phenological Information and MODIS Time-Series Images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 208: 107763. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107763>
- 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: 142651. <https://doi.org/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). [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-2\(51-61\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2020-2(51-61))
- Goleusov P.V., Lisetskii F.N. 2009. Reproduction of Soils in Anthropogenous Landscapes of Forest-Steppe Zone. Moscow, Publ. Belgorodskiy gosudarstvennyy natsionalnyy issledovatel'skiy universitet, 232 p. (in Russian).
- Danilov D.A., Yakovlev A.A., Krylov I.A. 2023. Formation of Natural Plant Associations on Post-Agrogenic Lands. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 242: 60–82 (in Russian). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.242.60-82>
- Ivanov A.I., Ivanova Zh.A., Sokolov I.V. 2020. Secondary Development of Unused Land. *Russian Agricultural Sciences*, 2: 48–52 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-2-48-52>
- Kitov M.V., Tsapkov A.N. 2015. Assessment of the Area of Fallow Land in the Belgorod Region and Other Regions of European Russia for the Period 1990–2013 Years. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series*, 15(212): 163–171 (in Russian).
- Kurbanov E.A., Vorobev O.N., Menshikov S.A., Smirnova L.N. 2018. Identification of Forest Stands and Ominant Tree Species in Penza Region Using Sentinel-2 Imagery. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 15(5): 154–166 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-5-154-166>
- Terekhin E.A. 2022. Reforestation on Abandoned Agricultural Lands in the Central Russian Forest-Steppe. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 86(4): 594–604 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587556622040112>
- Shirokikh P.S., Fedorov N.I., Tukhtamyshev I.R., Bikbaev I.G., Martynenko V.B. 2023. Patterns of Reforestation Successions on Abandoned Agricultural Lands of the Bashkir Cis-Urals. *Èkologiã*, 3: 179–187 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S036705972303006X>
- Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie tsentral'nykh chernozemnykh oblastey [Physical-Geographical Zoning of the Central Black Earth Regions]. 1961. Ed. by F.N. Milkov. Voronezh, Publ. Voronezh University, 263 p. (in Russian).



- Bera D., Das Chatterjee N., Bera S., Ghosh S., Dinda S. 2023. Comparative Performance of Sentinel-2 MSI and Landsat-8 OLI Data in Canopy Cover Prediction Using Random Forest Model: Comparing Model Performance and Tuning Parameters. *Advances in Space Research*, 71(11): 4691–4709. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.01.027>
- Bowen M.E., McAlpine C.A., House A.P.N., Smith G.C. 2007. Regrowth Forests on Abandoned Agricultural Land: A Review of Their Habitat Values for Recovering Forest Fauna, *Biological Conservation*, 140(3–4): 273–296. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.08.012>
- Estel S., Kuemmerle T., Alcántara C., Levers C., Prishchepov A., Hostert P. 2015. Mapping Farmland Abandonment and Recultivation Across Europe Using MODIS NDVI Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 163: 312–325. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.028>
- Fayet C.M.J., Reilly K.H., Van Ham C., Verburg P.H. 2022. What is the Future of Abandoned Agricultural Lands? A Systematic Review of Alternative Trajectories in Europe. *Land Use Policy*, 112: 105833. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105833>
- Koroleva N.V., Tikhonova E.V., Ershov D.V., Saltykov A.N., Gavriluk E.A., Pugachevskii A.V. 2018. Twenty-Five Years of Reforestation on Nonforest Lands in Smolenskoe Poozerye National Park According to Landsat Imagery Assessment. *Contemporary Problems of Ecology*, 11(7): 719–728. <https://doi.org/10.1134/S1995425518070077>
- Velázquez E., Martínez-Jaraíz C., Wheeler C., Mitchard E.T.A., Bravo F. 2022. Forest Expansion in Abandoned Agricultural Lands has Limited Effect to Offset Carbon Emissions from Central-North Spain. *Regional Environmental Change*, 22(4): 132. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01978-0>
- Wu J., Jin S., Zhu G., Guo J. 2023. Monitoring of Cropland Abandonment Based on Long Time Series Remote Sensing Data: a Case Study of Fujian Province, China. *Agronomy*, 13(6): 1585. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061585>
- Yang X., Qiu S., Zhu Z., Rittenhouse C., Riordan D., Cullerton M. 2023. Mapping Understory Plant Communities in Deciduous Forests from Sentinel-2 Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 293: 113601. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113601>
- Zhao X., Wu T., Wang S., Liu K., Yang J. 2023. Cropland Abandonment Mapping at Sub-Pixel Scales Using Crop Phenological Information and MODIS Time-Series Images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 208: 107763. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107763>
- 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: 142651. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142651>

*Поступила в редакцию 26.07.2024;
поступила после рецензирования 29.08.2024;
принята к публикации 01.09.2024*

*Received July 26, 2024;
Revised August 29, 2024;
Accepted September 01, 2024*

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, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Edgar A. Terekhin, PhD in Geography, Associate Professor, Department of Natural Resources and Land Cadastre, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia