



УДК 528.88
DOI 10.52575/2712-7443-2025-49-3-450-461
EDN: GNM FAR

Оценка скорости формирования древесной растительности на разных типах залежных земель юга Среднерусской возвышенности

Терехин Э.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы 85
terekhin@bsuedu.ru

Аннотация. Анализ влияния процессов облесения постагрогенных земель на их спектрально-отражательные свойства выступает необходимым условием развития подходов мониторинга восстановительных сукцессий на основе спутниковых данных. Изложены результаты оценки многолетней динамики вегетационного индекса для залежных земель юга Среднерусской возвышенности, отличающихся по породному составу древесной растительности и формам ее участия. Установлено, что в начале третьего десятилетия XXI века средняя величина лесистости постагрогенных земель с хвойными породами в несколько раз выше, чем залежей с древесной растительностью, состоящей из лиственных пород. Особенностью постагрогенных земель с лиственными породами на территории региона является то, что для их большинства после более чем двадцатилетнего периода восстановительных сукцессий величина покрытия древесной растительностью не превышает 20 %. Различия в скорости роста вегетационного индекса, описываемые логарифмической кривой, отражают отличия между залежами с лиственными и хвойными породами. Вместе с тем тренды многолетних изменений вегетационного индекса характеризуют различия между залежами по наличию участков сплошной или разреженной древесной растительности. После периода восстановительной сукцессии, охватывающего около двух десятилетий, на залежах с лиственными породами статистически значимый тренд вегетационного индекса наблюдается при формировании участков сплошной древесной растительности и не выявляется в случае их отсутствия, при наличии отдельно стоящих деревьев. На постагрогенных землях с хвойными породами статистически значимый положительный тренд выявлен как при формировании участков сплошной, так и разреженной древесной растительности.

Ключевые слова: оставленные аграрные земли, древесная растительность, многолетние ряды, восстановительные сукцессии, NDVI

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. 2025. Оценка скорости формирования древесной растительности на разных типах залежных земель юга Среднерусской возвышенности. Региональные геосистемы, 49(3): 450–461. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-450-461 EDN: GNM FAR

Estimating the Afforestation Rate on Different Types 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
terekhin@bsuedu.ru

Abstract. Analysis of the impact produced by afforestation of postagrogenic lands on their spectral-reflective properties is a necessary condition for the development of approaches to monitoring restorative

© Терехин Э.А., 2025

successions based on remote sensing data. The paper analyses the long-term dynamics of the vegetation index for abandoned agricultural lands in the south of the Central Russian Upland, differing in the species composition of tree vegetation and the forms of its participation. In the early 2020s, the average forest cover of postagrogenic lands with coniferous species is several times higher than that of lands with forest vegetation of deciduous species. A regional feature of postagrogenic lands with deciduous trees is that for most of them, after more than a twenty-year period of restorative successions, the forest cover does not exceed 20 %. Differences in the growth rate of the vegetation index, described by a logarithmic curve, characterize the differences between abandoned agricultural lands with deciduous and coniferous species. At the same time, the long-term dynamics of the vegetation index also characterizes the differences between abandoned lands in terms of the presence of areas of continuous or sparse tree vegetation. After a twenty-year period of restorative successions on abandoned lands with deciduous trees, a statistically significant trend in the vegetation index is observed during the formation of areas of continuous forest vegetation and is not detected in the presence of isolated trees. On postagrogenic lands with coniferous species, a statistically significant positive trend is present both in the case of the formation of continuous and sparse tree vegetation.

Keywords: abandoned agricultural lands, tree vegetation, time series, secondary succession, NDVI

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. 2025. Estimating the afforestation rate on different types of postagrogenic lands in the south of the Central Russian Upland. *Regional Geosystems*, 49(3): 450–461 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-3-450-461 EDN: GNM FAR

Введение

Процессы формирования сообществ древесной растительности в последние десятилетия получили достаточно значительное распространение на постагрогенных землях лесной и лесостепной природных зон [Москаленко, Бобровский, 2012; Лежнин, 2016; Пономарева и др., 2018; Данилов и др., 2023]. Анализ естественного облесения и особенностей распространения древесных пород выступает одной из ключевых задач в оценке восстановительных сукцессий, протекающих на них [Карпин и др., 2017; Fradette et al., 2021; Широких и др., 2023]. Вместе с тем крайне актуальными задачами становятся развитие подходов к оценке скорости облесения залежей и разработка показателей, позволяющих анализировать ее пространственные различия. При отсутствии антропогенных или природных нарушений процесс распространения древесной растительности протекает непрерывно, определяя изменения растительного покрова залежных земель на протяжении десятилетий.

Мониторинг восстановительных процессов на бывших пахотных угодьях необходим для решения фундаментальных задач, связанных с географическими особенностями сукцессий [Голеусов, Лисецкий, 2009]. Одновременно мониторинг растительного покрова залежей важен и в контексте принятия решений об их дальнейшем использовании [Иванов и др., 2020; Бурлуцкий и др., 2021; Нечаева, 2023; Сорокина, 2024], особенно в регионах, играющих ключевую роль в аграрном секторе страны [Русанов, 2012; Черкасов, Сосов, 2017; Левыкин и др., 2020]. Примером таких регионов является юг Среднерусской возвышенности, расположенный в условиях лесостепи и характеризующийся преобладанием черноземных почв. На залежных землях в большинстве случаев распространены деревья лиственных пород: яблоня, груша, робиния ложноакациевая, клен ясенелистный и др. Среди них присутствуют и инвазивные виды, которые могут вытеснять местные. В районах произрастания хвойных лесов, часто имеющих искусственное происхождение, на залежных землях формируются насаждения из сосны обыкновенной. На постагрогенных землях региона вследствие восстановительных процессов формируются участки как сплошной, так и разреженной древесной расти-



тельности. Таким образом, анализ скорости облесения залежных земель обуславливает необходимость ее рассмотрения в контексте разных форм участия древесной растительности и различий в ее породном составе.

Возможности объективной оценки скорости облесения постагрогенных земель во многом связаны с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Обусловлено это тем, что практически только на их основе возможно решение двух ключевых задач, позволяющих выполнить анализ многолетних изменений в лесистости залежей: сформировать необходимую выборку объектов с аналогичным временем постагрогенного восстановления и построить длительный ряд наблюдений. В условиях региона многие угодья, ранее пребывавшие в залежном состоянии, вновь вводятся в оборот, поэтому возникает необходимость использования наблюдений за каждый анализируемый год. Вместе с тем становится необходимым и подбор данных за период, достаточный для того, чтобы процессы формирования древесной растительности позволили оценить их скорость, региональные особенности и отличия, обусловленные породным составом. Перечисленные факторы требуют ретроспективного анализа на десятилетия назад. Такие возможности доступны на основе рядов спутниковых наблюдений, позволяющих распознать залежи среди других типов земель. Спутниковые данные при этом должны иметь необходимое пространственное разрешение [Медведев и др., 2019; Домнина и др., 2022] и достаточно большой временной охват, чтобы максимально учесть время восстановительных процессов на залежных землях. Не менее важной является и задача корректного анализа и интерпретации их многолетних рядов дистанционно измеряемых характеристик, например, вегетационных индексов. Ее решение обуславливает необходимость использования однотипных спутниковых данных для исключения влияния фактора конструктивных различий съемочной аппаратуры, проявляющихся, например, в границах спектральных диапазонов. В настоящее время наиболее полно перечисленным условиям удовлетворяют данные с прибора *MODIS*, функционирующего на орбите с начала 2000-х гг. Информационные продукты, разрабатываемые на его основе, рассчитываются по атмосферно и радиометрически откорректированным спутниковым данным. Они составляют основу многих исследований, связанных с количественным анализом изменений, происходящих на земной поверхности [Justice et al., 2002; Heck et al., 2019; Zhu et al., 2021].

Цель исследования заключалась в анализе особенностей многолетней динамики вегетационного индекса постагрогенных земель юга Среднерусской возвышенности в условиях формирования на них древесной растительности. Задачи исследования включали сравнение многолетней динамики вегетационного индекса на залежных землях с лиственными и хвойными породами в условиях, когда происходит формирование разреженной или сплошной, сомкнутой древесной растительности.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выступали постагрогенные земли, располагающиеся на юге Среднерусской возвышенности (преимущественно территория Белгородской области). Для основной части территории исследования характерны условия типичной лесостепи, а для юго-восточной части – южной лесостепи.

Формирование выборки объектов проводили таким образом, чтобы она включала постагрогенные земли с разными породами деревьев (лиственные или хвойные), с разной величиной проективного покрытия древесной растительностью, измеряемой от 0 до 1, и разной формой ее участия (сплошная или разреженная). При подборе объектов стремились отбирать постагрогенные земли с одинаковым периодом восстановительных сукцессий, т. е. находящихся в залежном состоянии в период исследования 2000–2022 гг.

Выявление различных типов постагрогенных земель осуществлено на основе совместного анализа разновременных снимков *Landsat TM/OLI* 2000–2022 гг., снимков из

сервиса *Google Earth* аналогичного периода и снимков *Sentinel-2* 2022 года. Для каждого объекта по снимкам *Sentinel-2* подготовлен векторный контур. Снимки из *Google Earth* и *Sentinel-2* применялись для определения формы участка древесной растительности на залежах, либо подтверждения ее отсутствия на них. Для постагрогенных земель, на которых присутствует древесная растительность, определена ее величина методом визуального дешифрирования. После подготовки векторной основы для каждой залежи вычислена ее площадь в гектарах. На основе полученной информации установлены количественные данные о распределении залежных земель с лиственными и хвойными породами в разных грациях проективного покрытия от 0 до 1 с интервалом 0,2. Учитывая примерно одинаковое время восстановительной сукцессии на залежных землях, полученные данные на следующем этапе позволили исследовать параметры многолетних рядов индекса *NDVI* как показателей скорости формирования древесной растительности. В общей сложности сформированная выборка включала 138 постагрогенных земель суммарной площадью 2188,2 га.

Следующий этап исследования включал вычисление и анализ для каждой залежи многолетнего ряда вегетационного индекса *NDVI*. Соответствующий показатель выбран в связи с тем, что он находится в достаточно сильной зависимости от величины покрытия залежных земель древесной растительностью [Терехин, 2021]. Для расчета индекса использованы информационные продукты *MOD13Q1* [Testa et al., 2018; Anees et al., 2024]. Они являются 16-дневными композитными изображениями *NDVI*, полученными на основе снимков с прибора *MODIS*, прошедших атмосферную и радиометрическую коррекцию. Прибор установлен на спутнике *Terra* и функционирует с начала 2000 года. Для каждой залежи методом зональной статистики рассчитаны значения вегетационного индекса, усредненные в пределах их контуров. Учитывая ограничения пространственного разрешения снимков *MODIS*, для статистического анализа многолетних значений *NDVI* использованы только залежные земли с площадью более 15–20 га. Из 23 значений вегетационного индекса каждого года в анализ включены величины, охватывающие период с начала апреля по конец октября. Они применены для формирования многолетних рядов индекса периода 2000–2022 гг., которые рассчитали для каждой залежи. Для исследования особенностей многолетней динамики каждого типа залежных земель (с лиственными или хвойными породами, с разной формой участка древесной растительности) вычислены ряды, усредненные на основе значений с каждого анализируемого типа постагрогенных земель. С учетом того, что многолетняя динамика вегетационного индекса в условиях развития процессов облесения хорошо описывается логарифмической зависимостью, особенности этой функции могут быть использованы для сравнения скорости облесения постагрогенных земель. Соответствующий подход может быть использован для сравнения относительных различий между анализируемыми типами залежных земель по скорости роста их проективного покрытия древесной растительностью.

В качестве показателя скорости облесения постагрогенных земель использованы также параметры (абсолютная величина и уровень значимости) величины *tau* критерия Манна-Кендалла. Он является непараметрическим критерием для выявления наличия или отсутствия статистически значимого тренда в многолетнем ряде. Абсолютная величина *tau* находится в зависимости от скорости облесения постагрогенных земель [Терехин, 2022]. Для расчета параметров этой величины также были использованы многолетние ряды вегетационного индекса, состоящие из значений апреля – октября с 2000 по 2022 год. В рамках исследования фактические особенности постагрогенных земель с разной формой участка и скоростью формирования древесной растительности, определенные на основе спутниковых данных, с учетом результатов наземных обследований растительного покрова были сопоставлены с графиками и параметрами многолетней динамики вегетационного индекса на наиболее типичных объектах.

Результаты и обсуждение

В начале третьего десятилетия XXI века на территории юга Среднерусской возвышенности в категории залежных земель с лиственными породами преобладают угодья, величина проективного покрытия древесной растительностью (лесистости) которых не превышает 20 % (рис. 1). Среди залежных земель с хвойными породами деревьев наибольшую долю занимают участки с лесистостью выше 80 %. Обозначенные различия выступают следствием разной скорости заселения лиственными и хвойными породами залежных земель в регионе.

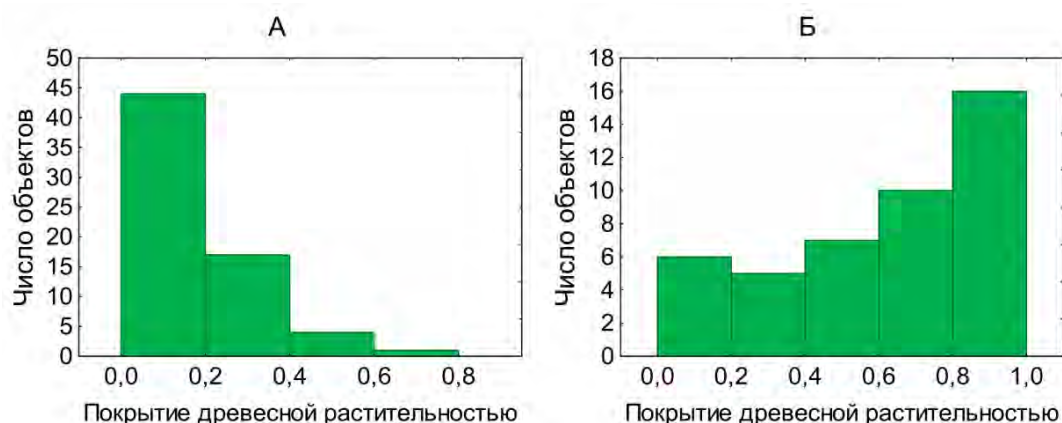


Рис. 1. Гистограммы постагрогенных земель, типичных для юга Среднерусской возвышенности, с древесной растительностью, состоящей из лиственных (А) и хвойных пород (Б)

Fig. 1. Histograms of postagrogenic lands typical for the south of the Central Russian Upland, with tree vegetation of deciduous (А) and coniferous (Б) species

Более высокая степень облесения постагрогенных земель с хвойными породами обусловлена тем, что участки, на которых они распространяются, непосредственно граничат с сосновыми лесами, а также особенностями самой сосны. Она характеризуется неприхотливостью и очень быстро поселяется на постагрогенных землях. Залежи с лиственными породами в большинстве случаев окаймляются лесными посадками.

Для постагрогенных земель региона, на которых распространяются лиственные породы деревьев, в начале третьего десятилетия XXI века характерна относительно невысокая величина лесистости при достаточно высоком коэффициенте вариации (табл. 1). Он является следствием различий в состоянии травянистого покрова залежей, которые также оказывают влияние на их значения вегетационного индекса.

Таблица 1
Table 1

Характеристики лесистости постагрогенных земель, типичных для юга Среднерусской возвышенности, в начале третьего десятилетия XXI в.
Parameters of forest cover of postagrogenic lands typical for the south of the Central Russian Upland in the early third decade of the 21st century

Тип залежных земель	Число наблюдений	Среднее	Коэффициент вариации, %
С лиственными породами деревьев	66	0,16	97,5
С хвойными породами деревьев	44	0,62	46,8

Постагрогенные земли с хвойными породами, наоборот, характеризуются высокой средней величиной проективного покрытия древесной растительностью при более низком ее коэффициенте вариации.

Различия в скорости облесения достаточно хорошо проявляются в параметрах многолетнего ряда вегетационного индекса, охватывающего период восстановительных сукцессий на постагрогенных землях. На залежных землях с лиственными породами в условиях формирования участков сплошной древесной растительности скорость роста значений спектрального индекса существенно выше, чем на угодьях, на которых распространяются одиночные деревья (рис. 2). При этом стоит отметить, что, несмотря на наличие участков сплошной древесной растительности, величина проективного покрытия крон для залежных земель региона с лиственными породами редко превышает 0,25, т. е. основная часть угодий даже после более чем двадцатилетнего периода восстановительных сукцессий остается покрытой травянистой растительностью. Различия в скорости облесения постагрогенных земель отражаются через значения коэффициентов перед логарифмом аппроксимирующей функции. В условиях отсутствия формирования сплошных участков из древесных пород положительная тенденция вегетационного индекса просматривается крайне незначительно.

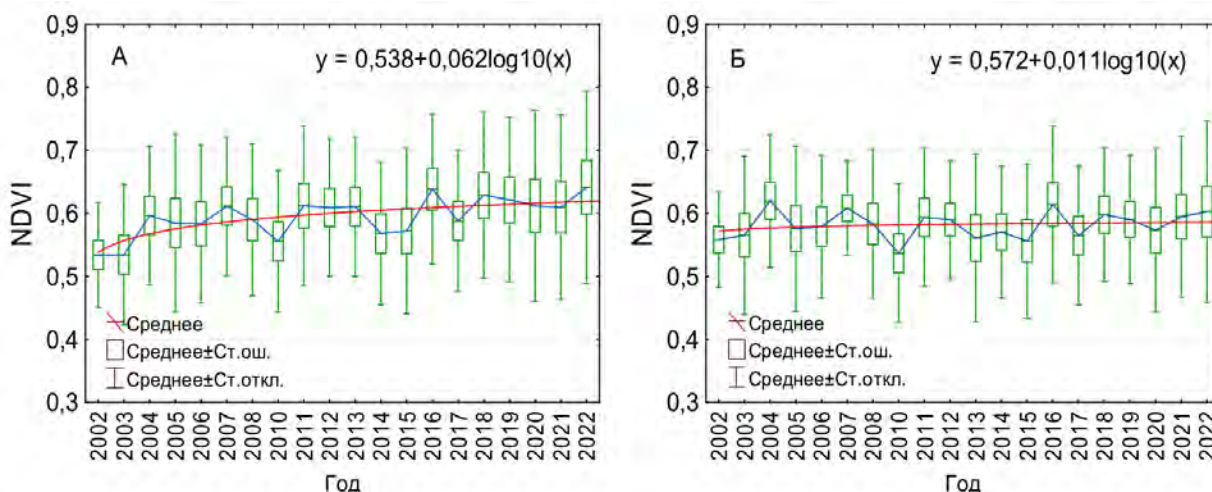


Рис. 2. Параметры многолетней динамики вегетационного индекса залежных земель, типичных для юга Среднерусской возвышенности, с наличием участков сплошной (А) и разреженной древесной растительности (Б), состоящей из лиственных пород

Fig. 2. Parameters of long-term dynamics of vegetation index for postagrogenic lands in the south of the Central Russian upland with areas of continuous (A) and sparse tree vegetation (B) of deciduous species

Более высокая скорость облесения постагрогенных земель с хвойными породами отражается в форме кривой многолетней динамики вегетационного индекса и, соответственно, в значениях коэффициента перед логарифмом (рис. 3). Для этого типа постагрогенных земель он выше, чем для залежей с лиственными породами. Соответствующая особенность проявляется как в случае формирования сплошной, так и разреженной древесной растительности. Рост многолетних значений вегетационного индекса, усредненных с начала апреля по конец октября каждого года, происходит по зависимости, которая аппроксимируется также логарифмической функцией. Ее первая производная по времени характеризует скорость роста значений вегетационного индекса.

Учитывая, что для постагрогенных земель с хвойными породами деревьев и наличием участков сплошного лесного покрова (рис. 3 А) средняя величина проективного покрытия в 2022 году составила около 0,69, более высокая скорость роста значений NDVI на них по сравнению с аналогичным типом залежей с лиственными породами согласуется с фактическими значениями лесистости. Из анализа многолетней динамики вегетационного индекса следует, что скорость распространения хвойных пород на постагрогенных землях региона выше в сравнении с залежами с лиственными породами на основной части исследуемого периода восстановительных сукцессий.

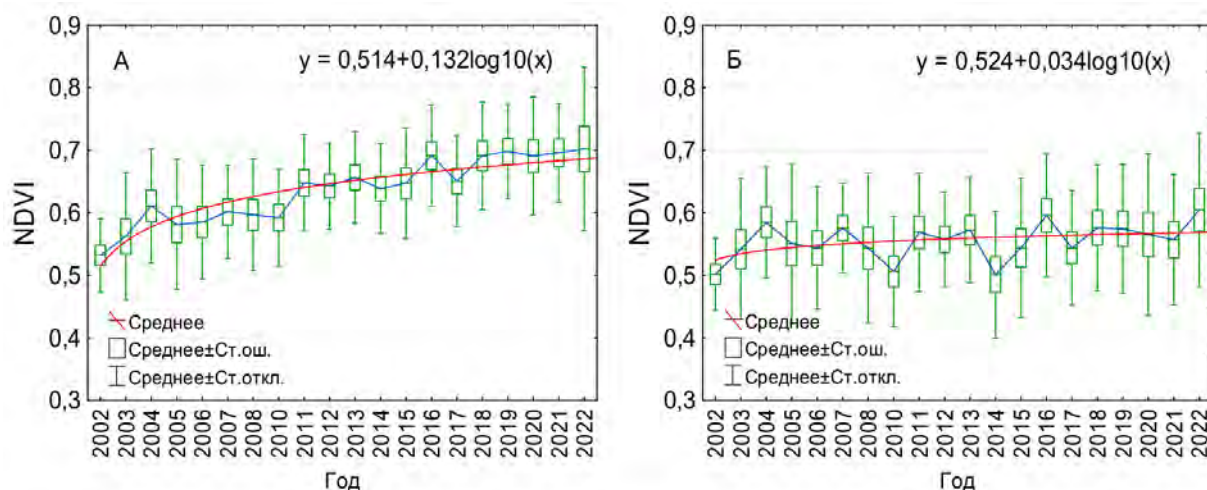


Рис. 3. Параметры многолетней динамики вегетационного индекса залежных земель, типичных юга Среднерусской возвышенности, с наличием участков сплошной (А) и разреженной древесной растительности (Б), состоящей из хвойных пород
Fig. 3. Parameters of long-term dynamics of vegetation index for postagrogenic lands in the south of the Central Russian upland with areas of continuous (А) and sparse tree vegetation (Б) of coniferous species

На основе оценки параметров многолетней динамики вегетационного индекса (величина *tau* Манна-Кендалла и уровень ее значимости) также можно сделать вывод о более интенсивном росте годовых значений вегетационного индекса на залежах с хвойными породами при формировании как сплошных участков древесной растительности, так и при распространении отдельно стоящих деревьев (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

Параметры многолетней динамики вегетационного индекса в 2002–2022 гг. различных типов залежных земель с древесной растительностью, состоящей из лиственных и хвойных пород
Parameters of long-term dynamics of vegetation index in 2002–2022 for different types of abandoned lands with tree vegetation of deciduous and coniferous species

Тип залежных земель	Тau Манна-Кендалла	Уровень значимости Тау Манна-Кендалла
С лиственными породами со сплошной древесной растительностью	0,12	0,003
С лиственными породами с разреженной древесной растительностью	0,04	0,330
С хвойными породами со сплошной древесной растительностью	0,36	0,000
С хвойными породами с разреженной древесной растительностью	0,12	0,002

При формировании на залежных землях участков сплошной древесной растительности в обоих случаях наблюдается статистически значимый тренд. При этом абсолютное значение *tau* и уровень ее значимости для постагрогенных земель с хвойными породами значительно выше, чем с лиственными. Распространение одиночных разреженных деревьев из лиственных пород не показало статистически значимого тренда вегетационного индекса. На залежных землях с присутствием разреженных хвойных пород такой тренд наблюдается, хотя и абсолютное значение *tau* многолетнего ряда в 3 раза ниже, чем в условиях формирования сплошной древесной растительности.

Сопоставление постагрогенных земель на снимках высокого пространственного разрешения (рис. 4) и особенностей их многолетней динамики вегетационного индекса (рис. 5) достаточно наглядно показывает влияния фактической достигнутой лесистости на скорость роста значений *NDVI*, либо же отсутствие его положительной динамики в условиях присутствия на залежах только травянистой растительности.



Рис. 4. Примеры постагрогенных земель юга Среднерусской возвышенности, отличающихся по участию древесной растительности, на снимках Sentinel-2 (Синтез каналов 4-3-2).

1, 2 – величина проективного покрытия древесной растительностью 0,34 и 0,12. 3 – древесная растительность отсутствует

Fig. 4. Examples of postagrogenic lands in the south of the Central Russian upland, distinguished by the presence of forest vegetation, in Sentinel-2 data (Bands synthesis 4-3-2).

1, 2 – forest cover is 0.34 and 0.12. 3 – without tree vegetation

Сравнение графиков многолетней динамики вегетационного индекса (рис. 5) показывает, что различия между залежными землями проявляются по двум показателям: по скорости набора годовых значений и по их абсолютным величинам.

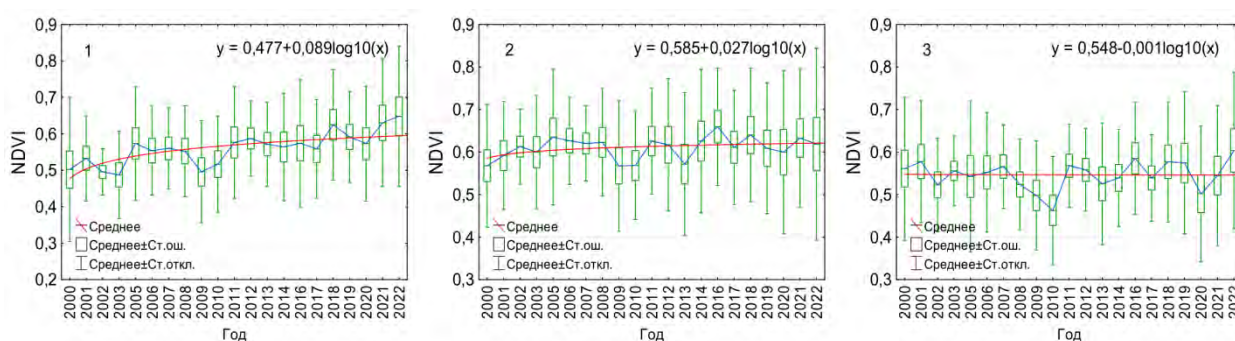


Рис. 5. Примеры многолетней динамики вегетационного индекса различных типов

постагрогенных земель, представленных на рис. 4: 1, 2 – величина проективного покрытия древесной растительностью 0,34 и 0,12. 3 – древесная растительность отсутствует

Fig. 5. Examples of long-term dynamics of the vegetation index for different types of postagrogenic lands are presented in Figure 4: 1, 2 – forest cover is 0.34 and 0.12. 3 – without tree vegetation

В условиях формирования древесной растительности вегетационный индекс показывают положительную динамику. Скорость роста логарифмической функции при этом может отличаться в зависимости от скорости увеличения лесистости залежей, особенно в начале периода восстановительной сукцессии.



Заключение

На постагрогенных землях, типичных для юга Среднерусской возвышенности и отличающихся по присутствию лиственных или хвойных пород, а также формой распространения древесной растительности, различия в скорости облесения описываются через параметры многолетнего ряда вегетационного индекса. В начале третьего десятилетия XXI века региональной особенностью является более высокая величина лесистости залежных земель с хвойными породами, чем с лиственными, которая стала следствием разной скорости формирования на них древесной растительности. В условиях развития этого процесса многолетняя динамика вегетационного индекса залежей описывается логарифмической кривой. Разная скорость роста вегетационного индекса при этом характеризует не только отличия между залежными землями с лиственными или хвойными породами, но и отличия, обусловленные присутствием участков сплошной или разреженной древесной растительности. Статистически значимый тренд вегетационного индекса наблюдается для обеих категорий залежных земель с хвойными породами. Для залежей с лиственными породами значимый тренд характерен только при формировании участков сплошного лесного покрова.

Список литературы

- Бурлуцкий В.А., Мазуров В.Н., Семешкина П.С., Косолапов В.М. 2021. Продукционный потенциал и освоение растительных сообществ залежных земель Мещовского ополья в Калужской области. Вестник российской сельскохозяйственной науки, 1: 45–52. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/1/45-52>
- Голеусов П.В., Лисецкий Ф.Н. 2009. Воспроизводство почв в антропогенных ландшафтах лесостепи. Москва, ГЕОС, 210 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>
- Домнина Е.А., Адамович Т.А., Тимонов А.С., Ашихмина Т.Я. 2022. Мониторинг зарастания заброшенных земель сельскохозяйственного назначения по спутниковым снимкам высокого разрешения. Теоретическая и прикладная экология, 3: 82–89. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-082-089>
- 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>
- Карпин В.А., Петров Н.В., Туюннен А.В. 2017. Восстановление лесных фитоценозов после различных видов сельскохозяйственного использования земель в условиях среднетаежной подзоны. Сибирский лесной журнал, 6: 120–129. <https://doi.org/10.15372/SJFS20170610>
- Левыкин С.В., Чибилёв А.А., Кочуров Б.И., Казачков Г.В. 2020. К стратегии сохранения и восстановления степей и управления природопользованием на постцелинном пространстве. Известия Российской академии наук. Серия географическая, 4: 626–636. <https://doi.org/10.31857/S2587556620040093>
- Лежнин С.А. 2016. Создание и актуализация базы данных по зарастающим сельскохозяйственным землям республики Марий Эл. Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: технологическая, 4: 16–21.
- Медведев А.А., Тельнова Н.О., Кудиков А.В. 2019. Дистанционный высокодетальный мониторинг динамики зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель лесной растительностью. Вопросы лесной науки, 2(3): 1–12. <https://doi.org/10.31509/2658-607X-2019-2-3-1-12>
- Москаленко С.В., Бобровский М.В. 2012. Расселение лесных видов растений из старовозрастных дубрав на брошенные пашни в заповеднике «Калужские засеки». Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 14(1–5): 1332–1335.
- Нечаева Т.В. 2023. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор). Почвы и окружающая среда, 6(2): e215. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>

- Пономарёва Т.В., Пономарёв Е.И., Шишикин А.С., Швецов Е.Г. 2018. Мониторинг трансформации старопахотных почв лесостепной зоны при лесовосстановлении. География и природные ресурсы, 2: 154–161. [https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2018-2\(154-161\)](https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2018-2(154-161))
- Русанов А.М. 2012. Естественное восстановление агроландшафтов степной и лесостепной зон Оренбургской области. Степной бюллетень, 36: 8–12.
- Сорокина О.А. 2024. Трансформация плодородия почв залежей лесостепной зоны при различном направлении их использования. Вестник КрасГАУ, 5: 93–100. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-5-93-100>
- Терехин Э.А. 2021. Индикация многолетних изменений в растительном покрове залежных земель лесостепи на основе рядов вегетационного индекса NDVI. Компьютерная оптика, 45(2): 245–252. <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-797>
- Терехин Э.А. 2022. Оценка процессов лесовозобновления на залежах европейской территории России с использованием многолетних изменений спектрально-отражательных характеристик. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 19(3): 233–244. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-3-233-244>
- Черкасов Г.Н., Сосов Н.А. 2017. Приемы создания высокоурожайных сенокосов на залежных землях склонов в Центральном Черноземье. Достижения науки и техники АПК, 31(5): 13–15.
- 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>
- Anees S.A., Mehmood K., Rehman A., Rehman N.U., Muhammad S., Shahzad F., Hussain K., Luo M., Alarfaj A.A., Alharbi S.A., Khan W.R. 2024. Unveiling Fractional Vegetation Cover Dynamics: a Spatiotemporal Analysis Using MODIS NDVI and machine learning. Environmental and Sustainability Indicators, 24: 100485. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100485>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119565>
- Heck E., de Beurs K.M., Owsley B.C., Henebry G.M. 2019. Evaluation of the MODIS Collections 5 and 6 for Change Analysis of Vegetation and Land Surface Temperature Dynamics in North and South America. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 156: 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.07.011>
- Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Saleous N., Roy D.P., Morisette J.T. 2002. An Overview of MODIS Land Data Processing and Product Status. Remote Sensing of Environment, 83(1–2): 3–15. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00084-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00084-6)
- Testa S., Soudani K., Boschetti L., Borgogno Mondino E. 2018. MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI Time Series to Estimate Phenological Metrics in French Deciduous Forests. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 64: 132–144. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.006>
- 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

- Burluckij V.A., Mazurov V.N., Semeshkina P.S., Kosolapov, V.M. 2021. Production Capabilities and Exploitation of Fallow Lands Plant Communities of Meshchovsky Opolye in the Kaluga Region. Vestnik of the Russian agricultural sciences, 1: 45–52 (in Russian). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/1/45-52>
- Goleusov P.V., Lisetskii F.N. 2009. Reproduction of Soils in Anthropogenous Landscapes of Forest-Steppe Zone. Moscow, Publ. GEOS, 210 p. (in Russian).
- Danilov D.A., Yakovlev A.A., Krylov I.A. 2023. Formation of Natural Plant Associations on Post-agrogenic Lands. Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii, 242: 60–82 (in Russian). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.242.60-82>
- Domnina E.A., Adamovich T.A., Timonov A.S., Ashihmina T.Ja. 2022. Monitoring of Overgrowing of



- Abandoned Agricultural Lands Using High-Resolution Satellite Images. *Theoretical and Applied Ecology*, 3: 82–89 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-082-089>
- Ivanov A.I., Ivanova Zh.A., Sokolov I.V. 2020. Secondary Development of Unused Land. *Russian Agricultural Sciences*, 46(3): 274–278. DOI: 10.3103/S1068367420030076
- Karpin V.A., Petrov N.V., Tuyunen A.V. 2017. Regeneration of Forest Phytocoenoses after Various Agricultural Land Use Practices in the Conditions of Middle Taiga Subzone. *Siberian Journal of Forest Science*, 6: 120–129 (in Russian). <https://doi.org/10.15372/SJFS20170610>
- Levykin S.V., Chibilev A.A., Kochurov B.I., Kazachkov G.V. 2020. To the Strategy of Steppes' Conservation and Restoration and Natural Resource Use in the Area of Post-Virgin Lands. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 4: 626–636 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2587556620040093>
- Lezhnin S.A. 2016. Creating and Updating a Database of Reforestation on Abandoned Agricultural Lands of the Republic of Mari El. *Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Seriya: tehnologicheskaja*, 4: 16–21 (in Russian).
- Medvedev A.A., Telnova N.O., Kudikov A.V. 2019. Highly Detailed Remote Sensing Monitoring of Tree Overgrowth on Abandoned Agricultural Lands. *Forest Science Issues*, 2(3): 1–12 (in Russian). <https://doi.org/10.31509/2658-607X-2019-2-3-1-12>
- Moskalenko S.V., Bobrovsky M.V. 2012. Forest Herb Colonization in Abandoned Arable Land from the Old-Growth Oak-Dominated Forest (in the Reserve "Kaluzhskie Zaseki"). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 14(1–5): 1332–1335 (in Russian).
- Nechaeva T.V. 2023. Abandoned Lands in Russia: Distribution, Agroecological Status and Perspective Use (a Review). *The Journal of Soils and Environment*, 6(2): e215 (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>
- Ponomareva T.V., Ponomarev E.I., Shishikin A.S., Shvetsov E.G. 2018. Monitoring of Transformation of Postagrogenic Soils in Forest-Steppe Zone During the Process of Reforestation. *Geography and Natural Resources*, 2: 154–161 (in Russian). [https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2018-2\(154-161\)](https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2018-2(154-161))
- Rusanov A.M. 2012. Natural Recovery of Agricultural Landscapes in Steppe and Forest-Steppe Zones of Orenburg Province. *Stepnoj bjulleten'*, 36: 8–12 (in Russian).
- Sorokina O.A. 2024. Transformation of Fallow Lands Soils Fertility in the Forest-Steppe Zone with Their Use Different Directions. *Bulliten KrasGAU*, 5: 93–100 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-5-93-100>
- Terekhin E.A. 2021. Indication of Long-Term Changes in the Vegetation of Abandoned Agricultural Lands for the Forest-steppe Zone Using NDVI Time Series. *Computer Optics*, 45(2): 245–252 (in Russian). <https://doi.org/10.18287/2412-6179-CO-797>
- Terekhin E.A. 2022. Estimation of Reforestation on Abandoned Agricultural Lands in European Russia Using Long-Term Changes in Spectral Response. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 19(3): 233–244 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-3-233-244>
- Cherkasov G.N., Sosov N.A. 2017. Methods of Creating High-Yield Hayfields on Idle Sloping Lands in the Central Chernozem Area. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 31(5): 13–15 (in Russian).
- 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>
- Anees S.A., Mehmood K., Rehman A., Rehman N.U., Muhammad S., Shahzad F., Hussain K., Luo M., Alarfaj A.A., Alharbi S.A., Khan W.R. 2024. Unveiling Fractional Vegetation Cover Dynamics: a Spatiotemporal Analysis Using MODIS NDVI and machine learning. *Environmental and Sustainability Indicators*, 24: 100485. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100485>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119565>
- Heck E., de Beurs K.M., Owsley B.C., Henebry G.M. 2019. Evaluation of the MODIS Collections 5 and 6 for Change Analysis of Vegetation and Land Surface Temperature Dynamics in North and South

- America. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 156: 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.07.011>
- Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Saleous N., Roy D.P., Morisette J.T. 2002. An Overview of MODIS Land Data Processing and Product Status. Remote Sensing of Environment, 83(1–2): 3–15. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00084-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00084-6)
- Testa S., Soudani K., Boschetti L., Borgogno Mondino E. 2018. MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI Time Series to Estimate Phenological Metrics in French Deciduous Forests. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 64: 132–144. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.006>
- 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 14.07.2025;
поступила после рецензирования 21.08.2025;
принята к публикации 08.09.2025*

*Received July 14, 2025;
Revised August 21, 2025;
Accepted September 08, 2025*

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, доктор географических наук, старший научный сотрудник отдела геоинформатики Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Edgar A. Terekhin, Doctor of Geographical Sciences, 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, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia