

УДК 911.2+504.54

**МНОГОЛЕТНИЕ ТРЕНДЫ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В
ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ БЕЛОРУССКОГО
ПОЛЕСЬЯ ПО ДАННЫМ MODIS (2000–2019)**

Гусев А. П.¹, Филончик Н. Н.², Шпилевская Н. С.³

^{1,3}*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель, Республика Беларусь*

²*Ланьчжоуский транспортный университет, Ланчжоу, КНР*

E-mail: ¹gusev@gsu.by, ²filonchik.mikalai@gmail.com, ³t_asha@mail.ru

Цель работы — оценка временных трендов, усредненных за летний сезон значений NDVI как показателей состояния растительного покрова в природных и антропогенных ландшафтах Белорусского Полесья. Объекты исследования: растительный покров природных ландшафтов (на примере национального парка «Припятский»), растительный покров антропогенных ландшафтов (эксплуатируемых — пахотные земли; выведенные из хозяйственного оборота — зона отчуждения Чернобыльской АЭС). На основе продукта MOD13Q1 были определены усредненные для летнего сезона значения NDVI в период 200–2019 гг. для каждого тестового участка. Рассчитаны параметры уравнений линейного тренда NDVI и оценена их статистической значимости. Установлено, что для всех тестовых участков пахотных земель уравнения тренда и коэффициенты детерминации статистически недостоверны. В ландшафтах зоны отчуждения и национального парка «Припятский» установлен положительный линейный тренд значений NDVI. Предложены возможные причины динамики значений NDVI в природных и антропогенных ландшафтах Белорусского Полесья.

Ключевые слова: растительный покров, ландшафты, дистанционное зондирование, MODIS, NDVI, тренд, Белорусское Полесье.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время дистанционное зондирование Земли является мощным инструментом мониторинга растительного покрова как на локальном, так и на региональном уровнях. Многозональная спутниковая съемка позволяет оперативно картографировать растительный покров, прослеживать сезонную и многолетнюю динамику растительного покрова, оценивать породный состав лесов, выявлять зоны пожаров, оценивать экологические ситуации и т. д. [1–6].

Для целей оценки состояния растительного покрова в природных и антропогенных ландшафтах широко используют вегетационные индексы — показатели, которые рассчитываются в результате математических действий с разными спектральными каналами. Наиболее широко известный индекс — NDVI (нормализованный дифференцированный вегетационный индекс), который имеет высокую степень корреляции с зеленой фитомассой и продуктивностью [7–10]. NDVI — это надежный индикатор продуктивности растительного покрова, так как в разных природных зонах и регионах была установлена сильная степень связи между значениями NDVI и первичной продукцией [7].

Цель настоящей работы — оценка временных трендов, усредненных за летний сезон значений NDVI как индикаторов динамики состояния растительного покрова в ландшафтах Белорусского Полесья в 2000–2019 гг. В ходе исследований решались следующие задачи: выбор тестовых участков, представляющих собой

антропогенные и природные ландшафты; расчет усредненных для летнего сезона значений NDVI в период 2000—2019 гг. для каждого тестового участка; определение параметров уравнений линейного тренда усредненных значений NDVI и оценка их статистической значимости; выяснение вероятных причин многолетних трендов значений NDVI в ландшафтах Белорусского Полесья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследований — Белорусское Полесье. Климат — умеренно-континентальный. Средняя температура июля составляет от 18,6 до 20,4 °С, средняя температура января — от минус 5,0 до минус 2,1°С. Продолжительность периода с температурой выше 10°С изменяется от 152 до 168 суток. Годовая сумма температур более 10° составляет 2 400–2 700 градусов. Количество осадков находится в пределах 550–700 мм/год.

Объекты исследований: растительный покров антропогенных ландшафтов (агрофитоценозы на пахотных землях); растительный покров антропогенных ландшафтов, выведенных из хозяйственного оборота после аварии на ЧАЭС (преимущественно бывшие сельскохозяйственные и лесохозяйственные земли); растительный покров природных ландшафтов.

Антропогенные ландшафты представлены эксплуатируемыми в настоящее время пахотными землями, расположенными на территории 10 административных районов Гомельской области. Природная подсистема представлена преимущественно водно-ледниковыми, аллювиальными террасированными, озерно-аллювиальными, моренно-зандровыми ландшафтами. Преобладающая литогенная основа — песчаные и супесчаные, редко суглинистые отложения. Почвы — дерново-подзолистые, реже дерновые и дерново-глеевые. Растительный покров представлен агрофитоценозами (пропашные и зерновые культуры).

Антропогенные ландшафты, выведенные из хозяйственного оборота, представлены бывшими пахотными, лугово-пастбищными, лугово-сенокосными, лесохозяйственными угодьями, территориями населенных пунктов, торфоразработок. Эксплуатация этих ландшафтов была прекращена в конце 1980-х гг. в связи с высоким радиоактивным загрязнением. В настоящее время эти территории относятся к Полесскому государственному радиационно-экологическому заповеднику и Ветковскому спецлесхозу.

Природные ландшафты представлены территорией Национального парка «Припятский» (организован в 1969 г.), где сохранились массивы пойменных дубрав, полидоминантных широколиственных лесов, верховых и низинных болот.

Для изучения динамики состояния растительного покрова нами были использованы данные радиоспектрометра MODIS (размещен на спутнике Terra) — продукт MOD13Q1, представляющий собой растр с пространственным разрешением 250 м, скомпонованный из максимальных значений NDVI за 16 суток. Данные получены с сайта NASA (<https://search.earthdata.nasa.gov/>). Чтобы устранить влияние сезонной вариабельности NDVI использовались композиты только летних сезонов (25.05–09.06, 10.06–25.06, 26.06–11.07, 12.07–27.07, 28.07–12.08, 13.08–28.08).

Временной охват — 2000–2019 гг. Для оценки многолетнего тренда в пределах каждого тестового участка рассчитывались усредненные значения NDVI для летнего сезона по 6 композитам за каждый год в период 2000–2019 гг.

При работе исходили из предположения, что тренд усредненных значений NDVI имеет линейный характер и описывается уравнением $y = b * t - a$, параметры которого определяются методом наименьших квадратов. Коэффициент тренда b показывает среднее изменение NDVI при изменении t (времени) на 1 год. Для оценки точности подбора уравнения тренда использовался коэффициент детерминации (R^2). Статистическая значимость коэффициента детерминации и уравнения тренда оценивалась с помощью критерия Фишера (F). Для характеристики тесноты зависимости усредненных значений NDVI от времени использовалось корреляционное отношение (η).

Для анализа временной динамики NDVI на тестовых участках определялись статистические характеристики (среднее, медиана, стандартное отклонение) за два 5-летних периода: 2000–2004 и 2015–2019 гг. 5-летний период был взят для устранения возможного влияния метеорологических аномалий (например, аномально сухое и жаркое лето или аномально холодное лето). Как индикатор изменений применялся показатель $dNDVI = NDVI_{2000-2004} - NDVI_{2015-2019}$, где $NDVI_{2000-2004}$ — среднее значение за 2000–2004 гг.; $NDVI_{2015-2019}$ — среднее значение за 2015–2019 гг. Достоверность различий между 2000–2004 и 2015–2019 гг. оценивалась по критерию Вилкоксона для зависимых выборок.

Для изучения структуры растительного покрова тестовых участков в 2000 и в 2018–2019 гг. использовались данные космической съемки Landsat (Landsat 4–5 TM, Landsat 8 OLI). Критерии отбора снимков: облачность — менее 10%, период съемки — июль–август. Данные спутников Landsat взяты с сайта Геологической службы США (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Снимки подвергались визуальному дешифрированию, на основе которого были созданы маски растительного покрова (выделялись категории — леса, луга и кустарники, пахотные земли).

Привязка данных Landsat и MODIS, атмосферная коррекция снимков Landsat, создание масок растительного покрова тестовых участков на 2 временных срезах, операции зональной статистики выполнены в QGIS 2.14.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ усредненных за летний период значений NDVI для эксплуатируемых антропогенных ландшафтов показал, что в целом для них характерны более низкие значения этого показателя, чем в природных ландшафтах. Так, для пахотных земель Мозырского района летние значения NDVI в течение 2000–2019 гг. колебались от 0,364 (2002 г.) до 0,700 (2019 г.). Для участков на территории Национального парка «Припятский» в этот же период NDVI составлял от 0,674 (2000 г.) до 0,815 (2019 г.).

Рассмотрим особенности изменения продуктивности агрофитоценозов в 2000–2019 гг. (табл. 1). Во всех случаях коэффициент детерминации и уравнение линейного тренда статистически не значимы. Эмпирическое корреляционное отношение, которое служит для измерения тесноты зависимости усредненных значений NDVI

МНОГОЛЕТНИЕ ТРЕНДЫ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ ...

от времени, только в 2 случаях (Мозырский и Хойникский районы) показывает умеренную связь ($0,3 < \eta < 0,5$).

Таблица 1.

Тренды усредненных значений NDVI в антропогенных и природных ландшафтах
(подчеркнуты статистически значимые уравнения)

Тестовый участок (площадь, км ²)	Уравнение тренда	R ²	F	η
Пахотные земли				
Мозырский район (19,06)	0,00397 * t - 7,388	0,123	2,52	0,35
Хойникский район (14,54)	- 0,00351 * t + 7,643	0,170	3,64	0,41
Петриковский район (3,41)	0,00054 * t - 0,377	0,007	0,12	0,08
Калинковичский район (15,7)	- 0,00060 * t + 1,846	0,006	0,11	0,08
Ельский район (66,58)	- 0,00051 * t + 1,665	0,003	0,06	0,05
Ветковский район (30,5)	- 0,00014 * t + 0,892	0,001	0,01	0,02
Буда - Кошелевский район (42,07)	- 0,00198 * t + 4,607	0,07	1,28	0,26
Речицкий район (20,79)	0,00047 * t - 0,389	0,001	0,02	0,04
Гомельский район (51,33)	0,00058 * t - 0,494	0,01	0,12	0,08
Добрушский район (28,85)	- 0,00167 * t + 3,975	0,04	0,74	0,20
Полесский государственный радиационно - экологический заповедник				
Лесные экосистемы (2445,3)	<u>0,0018 * t - 2,866</u>	0,27	6,48	0,52
Луговые экосистемы (3248,7)	<u>0,00358 * t - 6,432</u>	0,49	17,41	0,64
Зона отселения (Ветковский спецлесхоз)				
Лесные экосистемы (368,6)	<u>0,00577 * t - 10,822</u>	0,74	51,23	0,86
Луговые экосистемы (205,1)	<u>0,00244 * t - 4,142</u>	0,41	12,51	0,64
Населенные пункты (13,5)	<u>0,00377 * t - 6,851</u>	0,46	15,42	0,68
Национальный парк «Припятский»				
Лесные экосистемы (911,1)	<u>0,00318 * t - 5,581</u>	0,40	12,04	0,63
Луговые экосистемы (28,1)	<u>0,0043 * t - 7,897</u>	0,48	16,42	0,69
Болотные экосистемы (746,9)	<u>0,00317 * t - 5,642</u>	0,38	11,19	0,62

Сравнение средних значений NDVI за 5-летние периоды 2000–2004 и 2015–2019 гг. показывает, что на 8 участках произошло снижение этого показателя (статистически достоверно только на участке в Хойникском районе). На 2 участках значения NDVI немного увеличились, но отличия не достоверны (табл. 2). Полученные данные можно интерпретировать как результат постепенного снижения продуктивности агрофитоценозов региона в 2000–2019 гг. Отсутствие статически достоверных различий между NDVI_{2000–2004} и NDVI_{2015–2019} не дает возможности сделать окончательный вывод.

Вероятно, что колебания NDVI на пахотных землях обусловлены не только изменениями урожайности, а целым комплексом факторов: динамикой структуры

посевов, изменениями площадей, занятых теми или иными культурами, метеорологическими условиями конкретного года и т. д.

Таблица 2.

Сравнение усредненных значений NDVI на двух временных интервалах
(подчеркнуты достоверные отличия по критерию Вилкоксона)

Тестовый участок	NDVI _{2000–2004}	NDVI _{2015–2019}	dNDVI
Пахотные земли			
Мозырский район (19,06)	0,544	0,565	0,021
Хойникский район (14,54)	0,631	0,575	<u>-0,056</u>
Петриковский район (3,41)	0,694	0,697	0,003
Калинковичский район (15,7)	0,637	0,604	-0,033
Ельский район (66,58)	0,635	0,601	-0,034
Ветковский район (30,5)	0,616	0,587	-0,029
Буда-Кошелевский район (42,07)	0,639	0,604	-0,035
Речицкий район (20,79)	0,566	0,527	-0,039
Гомельский район (51,33)	0,638	0,633	-0,005
Добрушский район (28,85)	0,612	0,597	-0,015
Полесский государственный радиационно-экологический заповедник			
Лесные экосистемы (2445,3)	0,713	0,745	<u>0,032</u>
Луговые экосистемы (3248,7)	0,708	0,768	<u>0,060</u>
Зона отселения (Ветковский спецлесхоз)			
Лесные экосистемы (368,6)	0,703	0,803	<u>0,100</u>
Луговые экосистемы (205,1)	0,724	0,775	<u>0,051</u>
Населенные пункты (13,5)	0,676	0,754	<u>0,078</u>
Национальный парк «Припятский»			
Лесные экосистемы (911,1)	0,788	0,829	<u>0,041</u>
Луговые экосистемы (28,1)	0,712	0,768	<u>0,056</u>
Болотные экосистемы (746,9)	0,690	0,736	<u>0,046</u>

На территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника и Ветковского спецлесхоза находятся бывшие антропогенные ландшафты, которые после аварии на Чернобыльской АЭС были выведены из эксплуатации. После снятия антропогенного пресса в этих ландшафтах уже более 30 лет развиваются процессы восстановительных сукцессий растительности [11]. В настоящее время на бывших сельскохозяйственных землях сформировались луга, кустарники, мелколиственные и сосновые леса. Процессы восстановления растительного покрова отражаются в многолетних изменениях NDVI. Эти изменения могут быть описаны уравнениями линейного тренда (табл. 1). Как в случае лесных, так и луговых экосистем эти уравнения статистически значимы. Эмпирическое корреляционное отношение указывает на относительно тесную зависимость усредненных значений NDVI от времени ($\eta=0,52 - 0,86$). Таким образом, для заброшенных антропогенных ландшафтов Полесья, в которых

развиваются процессы восстановления растительного покрова, в 2000–2019 гг. характерен положительный линейный тренд летних значений NDVI.

Сравнение средних значений NDVI за 5-летние периоды 2000–2004 и 2015–2019 гг. также показывает, что на данных территориях происходит рост NDVI. Для лесных и луговых экосистем установлены статистически достоверные различия между $NDVI_{2000-2004}$ и $NDVI_{2015-2019}$. Максимум $dNDVI$ (0,1) наблюдается для лесных экосистем Ветковского спецлесхоза (табл. 2). Увеличение NDVI лесов может быть обусловлено несколькими процессами: зарастанием вырубок, полян, просек, увеличением возраста насаждений (и соответственно фитомассы). Зафиксирован рост NDVI на территории бывших населенных пунктов ($dNDVI = 0,078$). После отселения жителей большая часть зданий и сооружений была разрушена, а на огородах, пустырях, элементах инфраструктуры, в садах стали развиваться восстановительные сукцессии растительности [11]. Значительная часть территории населенных пунктов к 2015–2019 гг. заросла кустарниками и деревьями. Таким образом, динамика NDVI отражает процессы восстановления растительного покрова в бывших антропогенных ландшафтах.

Большая часть Белорусского Полесья трансформирована деятельностью человека, но на территории Национального парка «Припятский» сохранились фрагменты слабо измененных ландшафтов с коренными фитоценозами. Динамика NDVI изучалась отдельно для лесных, луговых и болотных экосистем. Лесные экосистемы национального парка представлены пойменными дубравами, широколиственными дубово-ясенево-черноольховыми лесами, сосновыми лесами. Луговые экосистемы представлены пойменными лугами, местами с зарослями кустарников и группами деревьев.

Анализ показывает наличие в ландшафтах национального парка положительного линейного тренда летних значений NDVI, которые статистически достоверны (табл. 1). Значения коэффициента детерминации составляет 0,38–0,48, а эмпирического корреляционного отношения — 0,62–0,69.

Сравнение средних значений NDVI за 5-летние периоды 2000–2004 и 2015–2019 гг. также показывает, что на данных территориях наблюдается рост NDVI. $dNDVI$ составило 0,041–0,056. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что продуктивность как лесных, так луговых и болотных экосистем на территории национального парка «Припятский» в 2000–2019 гг. возросла. Поскольку антропогенное воздействие на растительный покров национального парка сильно ограничено, то изменения его продуктивности в основном зависят от протекающих здесь восстановительных сукцессий, а также, вероятно, от климатических изменений в регионе.

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования показывают, что для агрофитоценозов, изученных на примере 10 тестовых участков пахотных земель, тренды усредненных значений NDVI статистически не достоверны. Сравнение NDVI за 5-летние периоды 2000–2004 и 2015–2019 гг. также указывают на отсутствие статически достоверных различий, что

не дает возможности сделать окончательный вывод.

На территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника и Ветковского спецлесхоза в бывших антропогенных ландшафтах, развиваются процессы восстановительных сукцессий растительности, которые отражаются в многолетних изменениях NDVI. Эти изменения могут быть статистически достоверно описаны уравнениями линейного тренда (коэффициенты детерминации $R^2 = 0,27 - 0,74$). Сравнение средних значений NDVI за 5-летние периоды 2000–2004 и 2015–2019 гг. также показывает, что на данных территориях происходит рост NDVI ($dNDVI = 0,032 - 0,100$). Увеличение NDVI может быть обусловлено комплексом восстановительных процессов: зарастанием сельскохозяйственных земель, вырубок, полей, просек, а также увеличением возраста древесных насаждений (и соответственно фитомассы).

На территории Национального парка «Припятский» наблюдается положительный линейный тренд летних значений NDVI, который статистически достоверен (значения коэффициента детерминации составляет 0,38–0,48, а эмпирического корреляционного отношения — 0,62–0,69). Сравнение средних значений NDVI за 5-летние периоды 2000–2004 и 2015–2019 гг. также показывает, что на данных территориях наблюдается рост NDVI ($dNDVI = 0,041 - 0,056$). Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что продуктивность как лесных, так луговых и болотных экосистем на территории национального парка «Припятский» в 2000–2019 гг. возросла, что может быть обусловлено восстановительными сукцессиями и, вероятно, климатическими изменениями.

Список литературы

1. Терехин Э. А. Оценка нарушенности лесных экосистем юго-запада Среднерусской возвышенности с применением материалов космических съемок // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 4. С. 112–124.
2. Письман Т. И., Ботвич И. Ю., Шевырнов А. П. Оценка состояния лесной растительности Красноярского края (заповедник «Столбы») по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 15. С. 130–140.
3. Гусев А. П. Дистанционные индикаторы ландшафтно-экологических тенденций (на примере юго-востока Беларуси) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. Том 5 (71). № 3. С. 127–135.
4. Гусев А. П. Изменения NDVI как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции) // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2020. № 1. С. 101–107.
5. Тельнова Н. О. Выявление и картографирование многолетних трендов NDVI для оценки вклада изменений климата в динамику биологической продуктивности агроэкосистем лесостепной и степной зон Северной Евразии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 97–107.
6. Терехин Э. А., Чендев Ю. Г. Оценка изменения лесистости в современный период на юге Среднерусской возвышенности с использованием материалов разновременных космических съемок // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 114–126.
7. The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations / G. T. Yengoh, D. Dent,

- L. Olsson, A. E. Tengberg, C. J. Tucker. Lund University Centre for Sustainability Studies LUCSUS, 2014. 80 p.
8. Box E. O., Holben B. N., Kalb V. Accuracy of the AVHRR Vegetation Index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO₂ flux // *Vegetatio*. 1989. Vol. 80. pp. 71–89.
 9. Phillips L. B., Hansen A. J., Flather C. H. Evaluating the species energy relationship with the newest measures of ecosystem energy: NDVI versus MODIS primary production // *Remote Sensing of Environment*. 2008. Vol. 112. pp. 4381–4392.
 10. Evaluating the difference between the normalized difference vegetation index and net primary productivity as the indicator of vegetation vigor assessment at landscape scale / C. Xu, Y. Li et al // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012. Vol. 184. pp. 1275–1286.
 11. Гусев А. П. Растительный покров антропогенных ландшафтов в зоне отселения Чернобыльской АЭС // *Поволжский экологический журнал*. 2004. №3. С. 246–251.

**LONG-TERM TRENDS OF STATE OF VEGETATION IN NATURAL AND
ANTHROPOGENIC LANDSCAPES OF THE BELARUSIAN POLESYA
ACCORDING TO MODIS DATA (2000–2019)**

Gusev A. P.¹, Filonchyk N. N.², Shpilevskaya N. S.³

^{1,3}*Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus*

²*Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, China*

E-mail: ¹gusev@jgsu.by, ²filonchyk.mikalai@gmail.com, ³t_asha@mail.ru

The purpose of the work is to assess the time trends of the averaged NDVI values for the summer season as indicators of the state of vegetation cover in the natural and anthropogenic landscapes of Belarusian Polesya. Objects of study: the vegetation cover of natural landscapes (on the example of the Pripyatsky national park), the vegetation cover of anthropogenic landscapes (exploited — arable land; withdrawn from economic circulation — the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant). In the course of the research, the following tasks were solved: selection of test plots representing anthropogenic and natural landscapes; calculation of averaged NDVI values for the summer season in the period 2000–2019 for each test site; determination of the parameters of linear trend equations of averaged NDVI values and assessment of their statistical significance; elucidation of the probable causes of long-term trends in NDVI values in the landscapes of Belarusian Polesya. Based on the product MOD13Q1 (data from the Terra satellite, MODIS spectrometer), the average NDVI values for the summer season in the period 2000–2019 were determined for each test site. To study the structure of the vegetation cover of test sites in 2000 and in 2018–2019. Landsat satellite imagery data was used (Landsat 4–5 TM, Landsat 8 OLI). Landsat and MODIS data binding, atmospheric correction of Landsat images, creation of a vegetation cover mask were performed in QGIS 2.14. The parameters of the NDVI linear trend equations are calculated and their statistical significance is estimated. It was found that for all test plots of arable land, the trend equations and determination coefficients are statistically unreliable. On the territory of former anthropogenic landscapes (exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant), the processes of restoration succession of vegetation are

developing, which are reflected in the long-term changes of the NDVI. Equations of linear trend NDVI in 2000—2019 are obtained (determination coefficient $R^2 = 0,27-0,74$). The increase in NDVI may be due to reductive successions of vegetation in former agricultural lands, clearings, etc. On the territory of the Pripyatsky National Park, a positive linear trend of summer NDVI values is observed (the values of the determination coefficient R^2 are $0,38-0,48$). Comparison of average NDVI values over 5-year periods 2000–2004 and 2015–2019. also shows that in these areas there is an increase in NDVI ($dNDVI = 0,041-0,056$). These data show that the productivity of forest, meadow and bog ecosystems in the territory of the Pripyatsky National Park in 2000–2019. increased. This increase may be due to restorative successions and, possibly, climate change.

Keywords: vegetation cover, landscapes, remote sensing, MODIS, NDVI, trend, Belarusian Polesya.

References

1. Terekhin E. A. Otsenka narushennosti lesnykh ekosistem yugo-zapada Srednerusskoi vozvyshennosti s primeneniem materialov kosmicheskikh s"emok (Estimation of forest ecosystems disturbance in the southwest of Central Russian Upland using remote sensing data). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, vol. 14, no. 4, pp. 112–124 (in Russian).
2. Pis'man T. I., Botvich I. Yu., Shevymogov A. P. Otsenka sostoyaniya lesnoi rastitel'nosti Krasnoyarskogo kraia (zapovednik «Stolby») po sputnikovym dannym (Assessment of the state of forest vegetation in Krasnoyarsk Territory (Stolby Nature Reserve) according to satellite data). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, vol. 15, no. 15, pp. 130–140 (in Russian).
3. Gusev A.P. Distantsionnye indikatory landshaftno-ekologicheskikh tendentsii (na primere yugo-vostoka Belarusi) (Remote indicators of landscape-ecological trends (on the example of south-east Belarus)). *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*, 2019, vol. 5 (71), no. 3, pp. 127–135 (in Russian).
4. Gusev A. P. Izmeneniya NDVI kak indikator dinamiki ekologicheskogo sostoyaniya landshaftov (na primere vostochnoi chasti Poleskoi provintsii) (NDVI changes as an indicator of the dynamics of the ecological state of landscapes (on the example of the eastern part of the Polesie province)). *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2020, no. 1, pp. 101–107 (in Russian).
5. Tel'nova N. O. Vyyavlenie i kartografirovaniye mnogoletnikh trendov NDVI dlya otsenki vklada izmenenii klimata v dinamiku biologicheskoi produktivnosti agroekosistem lesostepnoi i stepnoi zon Severnoi Evrazii (Revealing and mapping long-term NDVI trends for the analysis of climate change contribution to agroecosystems' productivity dynamics in the Northern Eurasian forest-steppe and steppe). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017. vol. 14, no. 6, pp. 97–107 (in Russian).
6. Terekhin E. A., Chendev Yu. G. Otsenka izmeneniya lesistosti v sovremennyi period na yuge Srednerusskoi vozvyshennosti s ispol'zovaniem materialov raznovremennykh kosmicheskikh s"emok (Estimation of forest cover changes during modern period in the south of the Central Russian Upland using multiyear remote sensing data). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, vol. 15, no. 3, pp. 114–126 (in Russian).
7. Yengoh G. T., Dent D., Olsson L., Tengberg A. E., Tucker C. J. The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations. *Lund University Centre for Sustainability Studies LUCSUS (Publ.)*, 2014, 80 p.
8. Box E. O., Holben B. N., Kalb V. Accuracy of the AVHRR Vegetation Index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO₂ flux. *Vegetatio*, 1989, vol. 80, pp. 71–89.
9. Phillips L. B., Hansen A. J., Flather C. H. Evaluating the species energy relationship with the newest measures of ecosystem energy: NDVI versus MODIS primary productio. *Remote Sensing of Environment*, 2008, vol. 112, pp. 4381–4392.

10. Evaluating the difference between the normalized difference vegetation index and net primary productivity as the indicator of vegetation vigor assessment at landscape scale. C. Xu, Y. Li et al. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, vol. 184, pp. 1275–1286.
11. Gusev A. P. Rastitel'nyi pokrov antropogennykh landshaftov v zone otseleniya Chernobyl'skoi AES (Vegetation cover of anthropogenic landscapes in the resettlement zone of the Chernobyl NPP). Povolzhskii ekologicheskii zhurnal, 2004, no. 3, pp. 246–251 (in Russian).

Поступила в редакцию 31.08.2020 г.