

РАЗДЕЛ 2.
ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ
ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 911.2+504.54

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИНДИКАТОРЫ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ТЕНДЕНЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ)

Гусев А.П.

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, Гомель, Республика Беларусь
E-mail: andi_gusev@mail.ru

Работа посвящена оценке современных ландшафтно-экологических тенденций на основе использования дистанционных индикаторов – динамики NDVI и лесного покрова. По данным космического мониторинга изучены изменения NDVI и лесного покрова ландшафтов юго-востока Беларуси в 2000-2018 гг. Установлено, что для 47,7% территории характерен достоверный рост NDVI, а на 4,4% территории – достоверное снижение. На половине территории статистически достоверные изменения NDVI отсутствуют. По критерию деградации лесного покрова критическая тенденция характерна для 37,0% территории региона. Сокращение лесного покрова в наибольшей степени происходит во вторично-моренном, моренно-зандровом и водно-ледниковом ландшафтах. Предполагается, что изменения биопродуктивности ландшафтов в 2000-2018 гг. могут быть обусловлены сложным сочетанием влияния климатического тренда и хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: ландшафт, динамика, индикаторы, ландшафтно-экологические тенденции, лесной покров, NDVI.

ВВЕДЕНИЕ

Ландшафтно-экологическая тенденция – направленность пространственно-временных изменений экологического состояния ландшафтов (или потенциальная ландшафтно-экологическая ситуация). Предлагается различать долговременные и современные тенденции. Долговременная тенденция – это изменения ландшафтов во временном масштабе от нескольких десятилетий до первых столетий. Современная тенденция – от нескольких лет до первых десятилетий. Оценка ландшафтно-экологических тенденций можно осуществлять на основе двух видов показателей: статических и динамических. Статические показатели (индикаторы состояния) – характеристики ландшафтов на определенном временном срезе, которые влияют на устойчивость ландшафтов, на восстановительные и дигрессивные процессы. Динамические показатели (индикаторы тренда) характеризуют направление и скорость изменений [1, 2, 3].

Выбор динамических показателей-индикаторов для оценки ландшафтно-экологических тенденций определяется рядом критериев: 1) применимость в различных пространственных масштабах, т.е. возможность оценивать геосистемы разных уровней иерархии; 2) экологическая значимость – показатель должен индексировать важнейшие экологические характеристики ландшафтов; 3)

комплексность – показатель должен оценивать состояние ландшафта в целом; 4) охват, достаточный для применения пространственного анализа; 5) непрерывность и регулярность ряда наблюдений во времени; 6) наличие доступных баз данных.

Этим критериями соответствуют определяемые на основе космических съемок площадь лесного покрова и вегетационные индексы. Среди вегетационных индексов наиболее изученный и широко используемый – NDVI [4], который рассчитывается по общеизвестной формуле: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, где NIR – значения отражения в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра. Это безразмерный показатель, изменяющийся от -1 до 1.

NDVI следует считать индикатором биопродуктивности ландшафтов, поскольку во многих исследованиях установлена сильная степень корреляции между NDVI и первичной продукцией [5, 6, 7]. Корреляция NDVI с первичной продукцией меняется в зависимости от типа растительного покрова: более сильная в ландшафтах с травянистой растительностью, менее сильная – в ландшафтах с древесной растительностью и с разреженным покровом [6]. Тесная взаимосвязь между NDVI и первичной продукцией подтверждается для разных регионов мира. Так, на северо-западе Китая между NDVI и чистой первичной продукцией коэффициент корреляции Пирсона составил $r = 0,858$ при $p < 0,001$ [7].

Лесной покров играет огромную роль в функционировании ландшафтов, является стабилизирующим фактором, регулятором влагооборота и климата [8, 9]. Деградация лесного покрова обуславливает развитие многообразных негативных процессов – водной и ветровой эрозии, оврагообразования, потери плодородия почв, опустынивания и т.д. Простым, но важным статическим показателем служит удельная площадь лесов – лесистость. Динамический показатель – изменение лесистости во времени [1].

Цель наших исследований – оценка ландшафтно-экологических тенденций ландшафтов юго-востока Беларуси на основе дистанционных индикаторов. Решаемые задачи: изучение динамики NDVI и лесного покрова ландшафтов юго-востока Беларуси в 2000-2018 гг. по данным космического мониторинга; оценка ландшафтно-экологических тенденций в выделах родов ландшафтов; выявление ареалов с негативными изменениями; анализ причин изменений биопродуктивности ландшафтов юго-востока Беларуси.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследований – восточная часть (в пределах Полесско-Приднепровского геоботанического округа) Полесской ландшафтной провинции, занимающая юго-восток Беларуси (подзона широколиственно-лесных ландшафтов). Общая площадь изучаемого региона составляет 34,9 тысяч км². На территории провинции представлены следующие рода ландшафтов (согласно классификации ландшафтов Беларуси [10]): водно-ледниковые с сосновыми и широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах, мелколиственными лесами, лугами и болотами на торфяно-болотных почвах – 35,8% от общей площади; озерно-аллювиальные с широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолистых, часто заболоченных, почвах, мелколиственными лесами и болотами на торфяно-

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИНДИКАТОРЫ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ)

болотных почвах – 20,7%; аллювиальные террасированные с сосновыми, широколиственно-сосновыми, дубовыми лесами на дерново-подзолистых, часто заболоченных, почвах, мелколиственными лесами, лугами и болотами на торфяно-болотных почвах – 17,3%; пойменные с дубравами на дерново-заболоченных почвах, мелколиственными лесами, лугами и болотами на торфяно-болотных почвах – 8,5%; моренно-зандровые с сосновыми и широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах, частично распаханые – 8,0%; озерно-болотные с мелколиственными лесами, лугами и болотами на торфяно-болотных почвах – 7,9%; холмисто-моренно-эрозионные с широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах, значительно распаханые – 1,0%; вторично-моренные с сосновыми, широколиственно-сосновыми лесами на дерново-подзолистых почвах, лугами на дерновых заболоченных почвах, значительно распаханые – 0,7%. В качестве операционной территориальной единицы выступал выдел рода ландшафта (всего 70 выделов).

В качестве индикаторов ландшафтно-экологических тенденций использовались два показателя: $dNDVI$ и DD_F . Индикатором изменений биопродуктивности ландшафтов служил показатель $dNDVI = NDVI_2 - NDVI_1$, где $NDVI_1$ – среднее значение за 2000-2004 гг.; $NDVI_2$ – среднее значение за 2014-2018 гг. Достоверность различий между 2000-2004 и 2014-2018 гг. оценивалась по критерию Вилкоксона для зависимых выборок. 5-летний период был взят для устранения возможного влияния метеорологических аномалий (например, аномально сухое и жаркое лето или аномально холодное лето). Значения $NDVI$ были получены из продукта MOD13Q1 (данные съемки радиоспектрометра MODIS спутника Terra). Продукт MOD13Q1 представляют собой растровый композит с пространственным разрешением 250 м, образованный из максимальных значений $NDVI$ за 16 суток, что позволяет уменьшить влияние помех, вызванных изменчивостью свойств атмосферы. Находится в свободном доступе на портале NASA (<https://search.earthdata.nasa.gov>). Для устранения влияния сезонной variability $NDVI$ для анализа использовались композиты только летнего сезона. Временной период космосъемки охватывает 2000-2018 гг.

Для оценки ландшафтно-экологических тенденций использованы градации: нормальная – достоверное увеличение $NDVI$ ($dNDVI > 0$, $p < 0,05$); удовлетворительная – различия между двумя интервалам не достоверны ($p > 0,05$); критическая – достоверное снижение $NDVI$ ($dNDVI < 0$, $p < 0,05$).

Показатель дигрессивной динамики лесного покрова – $DD_F = (S_{LF}/S_F) * 100\%$, где S_{LF} – площадь вырубленных, застроенных, сгоревших и т.д. лесов за предыдущие 10 лет; S_F – площадь лесов в год оценки. Данные об изменениях лесного покрова в 2000-2018 гг. были взяты с портала проекта Global Forest Change [11]. Для оценки ландшафтно-экологических тенденций предложены следующие градации DD_F : нормальная – менее 2,5%; удовлетворительная – 2,5-5%; критическая – более 5%.

Операции с растрами (привязка, перепроецирование, оцифровка, зональная статистика растров) выполнены в QGIS 2.14.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В табл. 1 приведены средние значения индикаторов современных ландшафтно-экологических тенденций по родам ландшафтов Полесской провинции. Индикатор dNDVI для всех родов ландшафтов, за исключением вторично-моренного ландшафта, положительный, т.е. наблюдается рост значений вегетационного индекса, что указывает на увеличение биопродуктивности ландшафтов региона в 2000-2018 гг. Средние значения индикатора DD_F находятся от 3,2 (холмисто-моренно-эрозионный ландшафт) до 8,7% (вторично-моренный ландшафт).

В пределах разных выделов одного и того же рода ландшафтов значения этих индикаторов могут колебаться в значительных пределах. Так, dNDVI в выделах моренно-зандрового ландшафта изменяется от -0,018 до 0,031, в выделах водно-ледникового ландшафта – от -0,022 до 0,055, в выделах озерно-болотного ландшафта – от -0,004 до 0,047. Наибольший прирост характерен для пойменных ландшафтов (dNDVI=0,027). Для пойм разных рек этот показатель изменяется в пределах от 0,013 (пойма Днепра) до 0,045 (пойма Ствиги – притока Припяти). В аллювиальных террасированных и озерно-аллювиальных ландшафтах, характеризующихся относительно высокой лесистостью (40-50%), NDVI увеличился на 0,020-0,022.

Пространственно выделы с положительным dNDVI тяготеют к южным районам региона, примыкающим к государственной границе Республики Беларусь, в том числе к зоне отселения Чернобыльской АЭС.

Значение DD_F в выделах моренно-зандрового ландшафта колеблется от 2,8 до 6,1%, в выделах водно-ледникового – от 2,8 до 10,0%, в выделах озерно-болотного – от 1,2 до 6,8%. В тех выделах, где значение DD_F превышает 5,0%, лесной покров полностью исчезнет в течение времени от нескольких десятилетий до столетия. Согласно [1] такие темпы деградации лесов соответствуют зоне экологического риска.

Таблица 1

Индикаторы ландшафтно-экологических тенденций (средние значения)

Род ландшафта	dNDVI, доли единицы	DD _F , %
Холмисто-моренно-эрозионный	0,016	3,2
Вторично-моренный	-0,018	8,7
Моренно-зандровый	0,004	4,6
Водно-ледниковый	0,014	4,9
Аллювиальный террасированный	0,022	4,3
Озерно-аллювиальный	0,020	3,4
Озерно-болотный	0,020	3,8
Пойменный	0,027	3,5
Весь регион	0,018	4,2

**ДИСТАНЦИОННЫЕ ИНДИКАТОРЫ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ТЕНДЕНЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ)**

Оценка статистической достоверности отличий показала, что для 47,7% территории характерен достоверный рост NDVI, а на 4,4% территории – достоверное снижение. На половине территории статистически достоверные изменения NDVI отсутствуют (табл. 2).

Видно, что статистически достоверное увеличение (нормальная ландшафтно-экологическая тенденция) имеет место на 79,4% площади пойменных, 73,9% площади аллювиальных террасированных, 57,2% площади озерно-болотных 52,7% площади озерно-аллювиальных ландшафтов. В водно-ледниковых ландшафтах рост NDVI достоверен только на 33,5%, а в моренно-зандровых – 12,2% площади (табл. 2). Достоверное снижение (критическая ландшафтно-экологическая тенденция) отмечено в единственном выделе вторично-моренного ландшафта, на 25,2% площади моренно-зандрового ландшафта и 4,8% площади водно-ледникового ландшафта.

Таблица 2

Пространственная структура ландшафтно-экологических тенденций

Род ландшафта	Ландшафтно-экологическая тенденция (% от общей площади ландшафта)		
	Нормальная	Удовлетвори- тельная	Критическая
Холмисто-моренно-эрозионный	0,0*	100,0	0,0
	0,0**	100,00	0,0
Вторично-моренный	0,0	0,0	100,0
	0,0	0,0	100,0
Моренно-зандровый	12,2	62,6	25,2
	0,0	26,5	73,5
Водно-ледниковый	33,5	61,7	4,8
	0,0	50,2	49,8
Аллювиальный террасированный	73,9	26,1	0,0
	10,5	72,3	17,2
Озерно-аллювиальный	52,7	47,3	0,0
	0,0	82,1	17,9
Озерно-болотный	57,2	42,8	0,0
	21,7	36,9	41,4
Пойменный	79,4	20,6	0,0
	24,2	55,2	20,6
Весь регион	47,7	47,9	4,4
	5,0	58,0	37,0

* – по dNDVI; ** – по DD_F

По индикатору DD_F критическая ландшафтно-экологическая тенденция характерна для всего вторично-моренного ландшафта, 73,5% площади моренно-зандрового ландшафта, 49,8% площади водно-ледникового ландшафта, 41,4% площади озерно-болотного ландшафта. Это указывает на значительные темпы не

столько снижения лесистости, а сколько на темпы «оборота» лесов – значительная часть вырубок и гарей используется по древесные культуры. Негативным следствием является резкое преобладание молодняков и полное отсутствие старовозрастных ненарушенных лесов в этих ландшафтах.

Вероятной причиной регионального повышения NDVI и соответственно продуктивности широколиственно-лесных ландшафтов предполагается потепление климата на юге Беларуси, где за последние 20-25 лет по сравнению с периодом 1881-1990 гг. средние температуры января и февраля выросли на 2,5°, марта – на 2,0°С, июля и августа – на 1,3-1,4°С. Годовая сумма активных температур (выше 10°С) в 2006-2013 гг. превысила 2600 градусов [12].

Однако, как видно из полученных результатов, динамика NDVI неоднородна в пространстве: часть территории характеризуется достоверным повышением, а часть, наоборот, – достоверным снижением средних значений NDVI. Вероятной причиной отрицательного тренда во вторично-моренном ландшафте и отдельных выделах моренно-зандрового и водно-ледникового ландшафтов является антропогенное преобразование ландшафтов, которое сопровождающиеся деградацией растительного покрова.

По 60 выделам был проведен корреляционный анализ связи между индикаторам тенденций (dNDVI и DD_F) и статическими характеристиками ландшафтов – лесистостью (% от общей площади), фрагментацией (средняя площадь лесного массива, км²), удельной площадью застроенных и нарушенных земель ((% от общей площади), удельной площадью пахотных земель ((% от общей площади). Полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Корреляция индикаторов ландшафтно-экологических тенденций со статическими показателями (коэффициент ранговой корреляции Спирмена)

Статический показатель	dNDVI	DD _F
Лесистость, %	Н.д.*	Н.д.
Средняя площадь лесного массива, км ²	0,30	Н.д.
Удельная площадь застроенных и нарушенных земель, %	-0,44	0,30
Удельная площадь пахотных земель, %	-0,60	0,31

* – значение коэффициента корреляции недостоверно ($p > 0,05$)

Видно, что лесистость выдела не влияет на динамические показатели. Достоверная отрицательная связь прослеживается между dNDVI и площадью застроенных и нарушенных земель, dNDVI и площадью пахотных земель. Чем больше площадь застроенных, нарушенных и пахотных земель, тем ниже dNDVI. Такая взаимосвязь указывает на то, что рост NDVI, вероятно, происходит за счет лесных и луговых угодий. Соответственно снижение NDVI может объясняться расширением площадей застроенных, нарушенных и пахотных земель. Величина DD_F также достоверно коррелирует с удельной площадью застроенных, нарушенных и пахотных земель. Кроме того, достоверная отрицательная корреляция

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИНДИКАТОРЫ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ)

установлена между $dNDVI$ и DD_F (коэффициент корреляции Спирмена составил - 0,32 при $p < 0,05$).

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено, что для 47,7% территории региона характерен достоверный рост $NDVI$, а для 4,4% территории – достоверное снижение. Исходя из имеющихся фактов, выявленные по $dNDVI$ изменения биопродуктивности ландшафтов в 2000-2018 гг. обусловлены сложным сочетанием влияния климатического тренда и хозяйственной деятельности. Положительный тренд биопродуктивности ($dNDVI > 0$) может быть связан как потеплением (при сохранении режима увлажнения), так и восстановительными процессами в ландшафтах, выведенных из оборота после аварии на Чернобыльской АЭС, залесением эродированных пахотных земель, частичной реабилитацией осушенных болот. Отрицательный тренд биопродуктивности ($dNDVI < 0$) характерен для наиболее сильно трансформированных ландшафтов, имеющих высокую степень хозяйственной освоенности. Вероятной причиной снижения биопродуктивности таких ландшафтов является расширение площади застроенных и нарушенных земель в связи с активной застройкой сельскохозяйственных и лесных угодий вблизи городов – Гомеля (прирост населения в 2000-2018 гг. составил более 50 тысяч человек), в меньшей степени – Речицы.

Оценка по индикатору дигрессивной динамики лесного покрова DD_F показывает, что критическая ситуация характерна для 37,0% территории региона. Сокращение лесного покрова в наибольшей степени происходит во вторично-моренном, моренно-зандровом и водно-ледниковом ландшафтах.

Индикаторы $dNDVI$ и DD_F взаимосвязаны (на что указывает достоверная отрицательная корреляция между ними), что объясняется существенным вкладом лесного покрова в изменения среднего значения $NDVI$ выдела ландшафта.

Список литературы

1. Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии. М.: ГЕОС, 1998. 418 с.
2. Гусев А.П. Диагностика ландшафтно-экологических ситуаций на основе фитоиндикации // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2016. №4. С. 77–83.
3. Гусев А.П. Индикаторы ландшафтно-экологических тенденций (на примере Восточной части Белорусского Полесья) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2018. №2. С. 28–33.
4. 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.
5. Vox E.O., Holben B.N., Kalb V. Accuracy of the AVHRR Vegetation Index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO_2 flux // Vegetatio. 1989. Vol. 80. P. 71–89.
6. 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.

7. Xu C. 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. P. 1275–1286.
8. Молчанов А.А. Влияние леса на окружающую среду. М.: Наука, 1973. 358 с.
9. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
10. Марцинкевич Г. И. Ландшафтоведение. Минск: БГУ, 2007. 206 с.
11. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change / M. C. Hansen et al. // Science. 2013. Vol. 342 (6160). P. 850–853.
12. Логинов В.Ф. Климатические условия Беларуси за период инструментальных наблюдений // Наука и инновации. 2016. № 9. С. 25–29.

REMOTE INDICATORS OF LANDSCAPE-ECOLOGICAL TRENDS (ON THE EXAMPLE OF SOUTH-EAST BELARUS)

Gusev A.P.

*Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus
E-mail: gusev@gsu.by*

The work is devoted to the assessment of modern landscape-ecological trends based on the use of remote indicators – dynamics of NDVI and forest cover. The research area is south-east of Belarus. The object of research - broad-leaved forest landscapes of Polesye. The total area of the studied region is 34,9 thousand km². As an operational territorial unit, a landscape genus allotment (a total of 70 units) acted. Two indicators were used as indicators of landscape-ecological trends: dNDVI and DD_F. The indicator of changes in landscape bioproductivity: dNDVI = NDVI₂-NDVI₁, where NDVI₁ – the average value for 2000-2004; NDVI₂ – the average value for 2014-2018. NDVI were obtained from the MOD13Q1 (data from the Terra satellite, MODIS spectrometer). Data on changes in forest cover of landscapes of Polesye in 2000-2018 were taken from the Global Forest Change project. According to space monitoring data, changes in NDVI and forest cover of landscapes in the south-east of Belarus in 2000-2018 were studied. It was found that 47,7% of the territory is characterized by a significant increase in NDVI, and by 4,4% of the territory - a significant decrease. In half the territory, there are no statistically significant changes in NDVI. An increase in NDVI (normal landscape-ecological trend) occurs in 79,4% of the area of floodplain, 73,9% of the area of alluvial terraced, 57,2% of the area of lake-bog 52,7% of the area of lake-alluvial landscapes. A significant decrease in NDVI (critical landscape-ecological trend) was noted in a single section of the secondary moraine landscape, by 25,2% of the moraine landscape and 4,8% of the water-glacier landscape. According to the DD_F-indicator, a critical landscape-ecological trend is characteristic of the entire secondary moraine landscape, 73,5% of the moraine landscape, 49,8% of the water-glacier landscape, 41,4% of the lake-bog landscape. A reliable negative relationship is traced between dNDVI and the area of built-up and disturbed lands, dNDVI and the area of arable lands. The larger the area of built-up, disturbed and arable lands, the lower dNDVI. This relationship indicates that NDVI growth is likely due to forest and meadow lands. Accordingly, a decrease in NDVI can be explained by the expansion of the area of built-up, disturbed and arable lands. The DD_F-value reliably

correlates with the specific area of built-up, disturbed and arable lands. It is assumed that changes in the bioproductivity of landscapes in 2000-2018 may be due to a complex combination of the influence of the climate trend and human activity. A positive trend in bioproductivity ($dNDVI > 0$) may be associated with climate warming and restoration processes in abandoned landscapes. A negative trend in bioproductivity ($dNDVI < 0$) is characteristic of the most strongly transformed landscapes with a high degree of economic development.

Keywords: landscape, dynamics, indicators, landscape-ecological trends, forest cover, NDVI.

References

1. Vinogradov B.V. *Osnovy landshaftnoy ekologii (Fundamentals of landscape ecology)*. M.: GEOS (Publ.), 1998, 418 p. (in Russian).
2. Gusev A.P. Diagnostika landshaftno-ekologicheskikh situatsiy na osnove fitoindikatsii (Diagnostics of landscape-ecological situations based on phytoindication). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2016, no 4, pp. 77–83 (in Russian).
3. Gusev A.P. Indikatory landshaftno-ekologicheskikh tendentsiy (na primere Vostochnoy chasti Belorusskogo Poles'ya) (Indicators of landscape-ecological trends (on the example of the eastern part of Belarusian Polesie)). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*. 2018, no 2, pp.28–33 (in Russian).
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Xu C. 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.
8. Molchanov A.A. *Vliyaniye lesa na okruzhayushchuyu sredu (The impact of the forest on the environment)*. Moscow: Nauka (Publ.), 1973. 358 p. (in Russian).
9. Sochava V.B. *Vvedeniye v ucheniye o geosistemakh (Introduction to the doctrine of geosystems.)*. Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1978. 319 p. (in Russian).
10. Martsinkevich G. I. *Landshaftovedeniye (Landscape science)*. Minsk: BGU (Publ.), 2007. 206 p. (in Russian).
11. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change / M. C. Hansen et al. // *Science*, 2013, Vol. 342 (6160), pp. 850–853.
12. Loginov V.F. *Klimaticheskiye usloviya Belarusi za period instrumental'nykh nablyudeny (Climatic conditions of Belarus for the period of instrumental observations)*. *Nauka i innovatsii*, 2016, no 9, pp. 25–29.

Поступила в редакцию 29.08.2019