

А. П. ГУСЕВ

**ИНДИКАТОРЫ СОВРЕМЕННЫХ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ТЕНДЕНЦИЙ
(НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ)**

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
г. Гомель, Республика Беларусь,
gusev@gsu.by*

В работе приводятся результаты диагностики ландшафтно-экологических тенденций в геосистемах регионального уровня на основе системы дистанционных индикаторов. Оценены ландшафтно-экологические тенденции по состоянию на 2020 г. Дан прогноз ландшафтно-экологических тенденций на 2030 г. с учетом климатических изменений.

Ключевые слова: индикатор, ландшафтно-экологические тенденции, природно-антропогенные ландшафты, тренды.

Долговременные изменения геосистем, т. е. территориально неоднородных объектов, которые характеризуются высокой сложностью, стохастичностью, континуальностью, разномасштабностью и полиструктурностью, не могут изучаться непосредственно. Ведущим методом их исследования являются космические спутниковые съемки, а фитоиндикация – ведущим методическим приемом, поскольку именно растительность позволяет интегрировать данные дистанционных и наземных исследований. Комплексное использование наземных и дистанционных данных базируется на ландшафтно-экологическом подходе, который объединяет ландшафтный (полицентрическая модель геосистемы, территориальность, хорологичность) и экологический (моноцентрическая модель экосистемы, биологический круговорот, учение о сукцессии) подходы [1, 2, 3].

Нами разработано понятие ландшафтно-экологической тенденции, под которой понимается направленность пространственно-временных изменений экологического состояния геосистем. Предложено различать долговременные (это изменения геосистем во временном масштабе от нескольких десятилетий до первых столетий) и современные (от нескольких лет до первых десятилетий) тенденции. Ландшафтно-экологические тенденции оцениваются на разных уровнях иерархии геосистем – от локального до глобального [4, 5].

Для диагностики современных ландшафтно-экологических тенденций нами предложена система статических (индикаторов состояния) и динамических (индикаторов трендов) индикаторов, определяемых на основе наземных и дистанционных исследований:

K_c – коэффициент экологической стабильности, который определяется как сумма произведений удельных площадей видов землепользования на коэффициенты их экологической значимости [6]; индикатор фрагментации лесного покрова – средняя площадь лесного массива, км²; индикатор истории землепользования – доля пахотных земель в середине XIX в., %; индикатор дигрессивной динамики – удельная площадь развития вероятных неблагопри-

ятных экологических процессов, %; индикатор тренда деградации лесного покрова (DDF) – отношение площади вырубленных, застроенных, сгоревших и т. д. лесов за предыдущие 10 лет к площади лесов в год оценки, в % [5, 7]; индикатор тренда биопродуктивности ландшафта – dNDVI, определяемый как разность усредненных значений NDVI на временных срезах 2006–2010 и 2015–2020 гг. [7].

Использована бальная оценка, по которой определяется категория напряженности тенденций: «нормальная», «удовлетворительная», «критическая» и «кризисная». Интегральный показатель Нлэт определялся как средняя бальная оценка по группе индикаторов [4, 5]. Операционная территориальная единица – выдел рода природного ландшафта.

В работе использованы материалы космических съемок спутников семейства Landsat, сенсора MODIS (спутник Terra), материалы сервисов Google Earth, OpenStreetMap, военно-топографическая карта Российской Империи (1846–1863 гг., 3 версты в 1 дюйме), ландшафтная карта Республики Беларусь (2013 г., 1:500000), карта растительности Белорусской ССР (1977 г., 1:600000), карта четвертичных отложений Белорусской ССР (1983 г., 1:500000); почвенная карта Республики Беларусь (2015 г., 1:500000), почвенно-эрозионная карта Республики Беларусь (2015 г., 1:500000).

Рассмотрим результаты оценки современных ландшафтно-экологических тенденций для классов природно-антропогенных ландшафтов (ПАЛ) региона. Сельскохозяйственные ПАЛ отличаются наибольшей антропогенной трансформацией (низкая экологическая стабильность, высокая фрагментация лесного покрова, длительное хозяйственное освоение). Лесные ПАЛ, наоборот, отличаются наименьшей антропогенной трансформацией. Сельскохозяйственно-лесные ПАЛ занимают промежуточную позицию. Уровень антропогенной трансформации влияет на современные ландшафтно-экологические тенденции, но в разных природных условиях степень этого влияния может различаться (таблица 1).

Тип почвы	Глубина слоя, см		
	137Cs	90Sr	241Am
Гидроморфные	8,50 – 11,49	13,74 – 18,67	6,79 – 7,02
Полугидроморфные	7,86	9,72	6,57
Автоморфные	6,30 – 6,99	8,00 – 8,50	6,26 – 6,33

Таблица 1 – Оценка современных ландшафтно-экологических тенденций классов ПАЛ

Индикатор	Класс ПАЛ		
	Сельскохозяйственные	Сельскохозяйственно-лесные	Лесные
Кс	0,133	0,575	0,789
Средняя площадь лесного массива, км ²	1,64	6,39	23,7

История землепользования (доля пахотных земель в XIX в.)	53,6	12,4	4,0
Удельная площадь развития вероятных неблагоприятных экологических процессы, %	16,6	29,0	38,8
DD _F , %	5,3	4,3	4,4
dNDVI ₂₀₀₆₋₂₀₂₀	-0,018	-0,003	0,001

Траектории ландшафтно-экологических тенденций ограничиваются предыдущим развитием геосистем («памятью геосистем», эффектом наследия), которые определяются по индикаторам состояния. Индикаторы трендов оценивают направленность и интенсивность смены экологического состояния в течение 10 ближайших лет.

Для сельскохозяйственных ПАЛ по индикатору тренда деградации лесного покрова характерны удовлетворительная (70 %) и критическая (30 %) тенденции. По индикатору тренда биопродуктивности – критическая (53,3 %) и удовлетворительная (46,7 %). В сельскохозяйственно-лесных ПАЛ по индикатору деградации лесного покрова территориально доминируют удовлетворительная тенденция, а по индикатору тренда биопродуктивности – нормальная и удовлетворительная. В лесных ПАЛ по индикатору деградации лесного покрова преобладает удовлетворительная, а по индикатору тренда биопродуктивности – нормальная.

Пространственная структура напряженности современных ландшафтно-экологических тенденций по НЛЭТ приведена в таблице 2. Сельскохозяйственные ландшафты характеризуются критической ландшафтно-экологической тенденцией (100 % их общей площади). В сельскохозяйственно-лесных ПАЛ преобладает удовлетворительная тенденция (75 % их площади). В лесных ПАЛ доминируют выделы с нормальной тенденцией (69,3 %).

Таблица 2 – Структура современных ландшафтно-экологических тенденций для классов ПАЛ

Класс ПАЛ	Напряженность ландшафтно-экологической ситуации		
	Нормальная	Удовлетворительная	Критическая
Сельскохозяйственные	0*	0	100,0
	0**	0	100,0
Сельскохозяйственнолесные	25,0	75,0	0,0
	17,8	78,3	3,9
Лесные	69,3	30,7	0,0
	75,8	24,2	0,0
Регион в целом	23,1	67,9	9,0
	23,8	64,5	11,7

* – по состоянию на 2020 г.; ** – прогноз на 2030 г.

Была проведена оценка влияния изменений климата на биопродуктивность ПАЛ. Для решения этой задачи проведен анализ трендов значений NDVI для выделов родов ландшафтов и региона в целом (2000-2020 гг. по данным MODIS), динамика NDVI сопоставлены с изменениями урожайности сельскохозяйственных земель, площади лесопокрытых земель, площади очагов болезней и вредителей, площади, пройденной лесными пожарами, площади погибших лесных насаждений, площади лесовосстановления и лесоразведения, выполнен регрессионный анализ влияния средней температуры лета и летнего количества осадков на NDVI.

Динамика NDVI различается в зависимости от класса ПАЛ. Для сельскохозяйственных ПАЛ характерно отсутствие статистически достоверных трендов, при этом на 76,3% площади этого класса ПАЛ тренд NDVI отрицательный. В сельскохозяйственно-лесных ПАЛ статистически достоверный положительный тренд наблюдается на 48,5% площади данного класса.

В лесных ПАЛ достоверный положительный тренд характерен для 93,1% их площади.

Выяснено, что в разных классах ПАЛ влияние изменений климата на NDVI не одинаково.

Для значительной части лесных ландшафтов потепление климата (т. е. рост температур) сопровождается увеличением NDVI. Для сельскохозяйственных ПАЛ установлено, что статистически достоверным членом уравнений регрессии является количество осадков. Доля дисперсии NDVI, объясняемая изменчивостью осадков, составляет 41–52 %. Почти половина (46,9 %) сельскохозяйственно-лесных ПАЛ статистически достоверных уравнений регрессии не имеет. Для значительной части (44,2 %) достоверным членом уравнения регрессии также оказалось количество осадков, а для небольшой части территории – температура. В лесных ландшафтах более половины территории (51,7 %) характеризуется уравнением регрессии, в котором статистически достоверным членом оказывается температура; влияние количества осадков на NDVI статически достоверно для 28,0 %

Сельскохозяйственные ПАЛ являются наиболее уязвимыми к климатическим изменениям, которые выражаются в увеличении температуры при незначительном росте осадков и, соответственно, в снижении коэффициент увлажнения, тесно связанного с биопродуктивностью. Принимая во внимание чувствительность биопродуктивности сельскохозяйственных ПАЛ к увлажнению, тренды значений NDVI в 2000–2020 гг., а также величину индикатора $dNDVI_{2006-2020}$ был получен прогноз изменений ландшафтно-экологических тенденций к 2030 г. При этом принималось, что изменения структуры землепользования и соответственно коэффициента экологической стабильности и фрагментации будут незначительны, а индикатор тренда деградации лесного покрова также предположительно не изменится.

Получено, что смена категории в сторону роста напряженности до критической произойдет в выделах холмисто-моренно-эрозионного ландшафта (район Мозырской возвышенности) и одном выделе озерно-болотного ландшафта. В некоторых выделах, наоборот, напряженность уменьшится с удовлетворительной до нормальной. На 100 % площади сельскохозяйственных ПАЛ сохранится критическая ландшафтно-экологическая тенденция и произойдет увеличение среднего значения $N_{лэт}$ (с 2,87 до 2,97). В целом в регионе территории с критической тенденцией будут занимать 11,7 % площади. Площадь территорий с нормальной напряженностью изменится слабо. Сократится площадь ландшафтов с удовлетворительной напряженностью с 67,9 до 64,5 %.

Список литературы

- 1 Арманд, А. Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем / А. Д. Арманд. – М. : Наука, 1988. – 264 с.
- 2 Виноградов, Б. В. Основы ландшафтной экологии / Б. В. Виноградов. – М. : ГЕОС, 1998. – 418 с.
- 3 Гродзинский, М. Д. Основы ландшафтной экологии / М. Д. Гродзинский. – Киев : Віща школа, 1993. – 222 с.
- 4 Гусев, А. П. Индикаторы ландшафтно-экологических тенденций (на примере Восточной части Белорусского Полесья) / А. П. Гусев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2018. – №. 2. – С. 28–33.
- 5 Гусев, А. П. Дистанционные индикаторы ландшафтно-экологических тенденций (на примере юго-востока Беларуси) / А. П. Гусев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2019. – Том 5 (71). – №. 3. – С. 127–135.
- 6 Агроекология / под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. – М. : Колос, 2000. – 536 с.
- 7 Гусев, А. П. Изменения NDVI как индикатор динамики экологического состояния ландшафтов (на примере восточной части Полесской провинции) / А. П. Гусев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2020. – №. 1. – С. 101–107.

A. P. Gusev

INDICATORS OF CONTEMPORARY LANDSCAPE-ECOLOGICAL TENDENCY (ON THE EXAMPLE OF THE EASTERN PART OF BELARUSIAN POLESIE)

*Francisk Skorina Gomel State University,
Gomel, Republic of Belarus,
gusev@gsu.by*

Abstract. The paper presents the results of diagnosing landscape-ecological trends in geosystems at the regional level based on a system of remote indicators. The landscape-ecological trends as of 2020 are assessed. A forecast of landscape-ecological trends for 2030 is given, taking into account climate changes.

Keywords: indicator, landscape-ecological tendency, natural-anthropogenic landscapes, trends.