

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛОРУССИИ

А. П. Гусев

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Белоруссия

Поступила в редакцию 5 февраля 2015 г.

Аннотация: В статье рассматриваются изменения землепользования на юго-востоке Белоруссии в XVIII–XXI веках. Выполнена оценка антропогенной трансформации ландшафтной структуры. Изучено влияние предшествующего землепользования (эффект наследия) на современное состояние лесных экосистем. Установлена связь между характеристиками восстановительных сукцессий и окружающим ландшафтом.

Ключевые слова: ландшафт, землепользование, ландшафтные метрики, сукцессии растительности.

Abstract: The article considers changes in land-use of the south-east territory of Belorussia in XVIII–XXI centuries. Evaluation of anthropogenous transformation in landscape structure is given. Influence of previous land-use (legacy effect) on the contemporary condition of forest ecosystems is also presented in the article. Connection between characteristics of recovering successions and surrounding landscape is revealed.

Key words: landscape, land-use, landscape metrics, succession of plants.

Изменения землепользования и их геоэкологические последствия проявляются как на глобальном, так и на региональном уровнях. Как вариант антропогенная трансформация может отражать смену лесных экосистем пахотными землями, а они городской застройкой. Долговременные (от нескольких десятков до первых сотен лет) изменения, выраженные в увеличении антропогенной трансформации ландшафтов, изучались на территории Венгрии [10], Германии [15], Швейцарии [8], Португалии [13], различных регионов Китая [11, 12].

Восстановительные сукцессии отражены, например, в смене: пахотные земли – луга и кустарники – лесные экосистемы. Эти процессы связаны с выведением сельскохозяйственных земель из оборота по тем или иным причинам. Исследования восстановительной динамики проводились в Европе [9] и Северной Америке [6].

Индикатором динамики ландшафтов могут выступать пространственно-временные изменения сукцессионных рядов растительных сообществ в границах ландшафтной провинции. В сукцессионную систему входят ряды растительных сообществ, формирующихся в ходе восстановительных

сукцессий, как самопроизвольных (спонтанных), так и направленных человеком [2].

Воздействие землепользования на сукцессионную систему растительности имеет несколько аспектов [4]. Ведущие ландшафтно-экологические последствия землепользования выглядят следующим образом: 1) фрагментация, которая рассматривается как процесс, включающий потерю местообитаний, сокращение их размера и увеличение изоляции пятен местообитаний [14, 16]; 2) эффект наследия (legacy effect), под которым понимается влияние на современную структуру и функционирование экосистем прошлых нарушений, т.е. современный экологический ответ на прошлое воздействие [4, 14, 16].

Исследования проводились на тестовом участке N, расположенном на юго-востоке Белоруссии (территории, прилегающие к городу Гомелю) и представляющим собой прямоугольник 5,88 × 12,53 км (площадь 73,68 км²). Климатические особенности района исследований: средняя температура самого холодного месяца (январь) – -7°C; средняя температура самого теплого месяца (июль) – +18,5°C; сумма активных температур выше 10° – 2400–2500 градусов; годовое количество осадков – около 630 мм. По гидротермичес-

Динамика структуры землепользования в XVIII-XXI веках

Временной срез	Типы землепользования					
	Болота	Леса	Луга	Пашня	Полигоны отходов	Застройка
Конец XVIII века	10,5*	64,8	2,5	22,0	0	0,2
Начало XX века	2,1	27,9	14,7	53,0	0	2,3
Конец XX века	1,5	30,8	12,8	44,4	0,8	9,7
Начало XXI века	3,3	25,1	10,6	42,1	1,8	17,1

* – в % от общей площади

ким показателям территория относится к суббореальному гумидному (широколиственно-лесному) типу ландшафтов. В пределах тестового участка представлены два рода ландшафтов, типичных для юга-востока Белоруссии: моренно-зандровый (холмисто-увалистый рельеф, поверхностные отложения – супеси и лессовидные суглинки) и аллювиальный террасированный (плоско-волнистый рельеф, поверхностные отложения – пески).

Для составления карт землепользования на четырех временных срезах (конец XVIII века, начало XX века, конец XX века, начало XXI века) использовались топографические карты, аэро- и космоснимки, а также материалы Google Earth. Привязка и оцифровка растров выполнялись в Quantum GIS 2.6.0. Для вычисления ландшафтных метрик использовался программный продукт FRAGSTATS 4.0 [7].

Полевые работы по изучению растительности проводились в 2002-2014 годах по общепринятой методике геоботанической съемки (метод пробных площадок [5]). Получены характеристики растительности на 399 ключевых участках (нелесные стадии сукцессий – 169; лесные стадии – 230).

Для характеристики антропогенной нарушенности ландшафта, в котором протекает сукцессия, был использован коэффициент экологической стабильности (K_c), определяемый в скользящем квадрате размером 1×1 км (центр квадрата – ключевой участок) по формуле $K_c = \sum s_i * k_i * g$, где s_i – удельная площадь вида землепользования; k_i – экологическая значимость этого вида землепользования (частный коэффициент стабильности); g – коэффициент геолого-геоморфологической устойчивости рельефа [1].

В период с конца XVIII по начало XXI века ландшафты тестового участка претерпели существенные изменения, обусловленные антропогенными факторами. Главный фактор – смена доминирующих типов землепользования (таблица 1).

На изучаемой территории имели место следующие изменения структуры землепользования. 1. В конце XVIII века резко преобладали лесные экосистемы (около 65 % всей площади). Антропогенные преобразования ландшафта были связаны с земледелием (распаханность составляла 22 %). 2. В первой половине XX века доминирует сельскохозяйственное использование: распаханность более 50 %. Значительно сократилась площадь лесных экосистем (в 2,3 раза) и болот (в 5,1 раза). 3. К концу XX века структура землепользования стабилизировалась: лесистость – около 30 %, распаханность – менее 50 %. 4. В начале XXI века существенно увеличивается площадь застройки (до 17 %). Площадь пахотных земель несколько снижается. В связи с развитием процессов техногенного подтопления увеличивается удельная площадь болот – почти в 2 раза по сравнению с концом XX века.

Для количественной оценки изменений ландшафтной структуры использовались ландшафтные метрики: Edge Density (ED), Landscape Shape Index (LSI), Interspersion & Juxtaposition Index (IJI), Shape Index Distribution (SHAPE), Splitting Index (SPLIT), Effective Mesh Size (MESH), Shannon's Diversity Index (SHDI). Подробное описание и ландшафтно-экологическая интерпретация указанных метрик приводятся в [2, 4].

Метрики ED, LSI, AREA, SPLIT и MESH оценивают фрагментацию, метрики IJI и SHAPE – конфигурацию, метрика SHDI – разнообразие ландшафта.

Оценка изменений ландшафтной структуры

Временной срез	Ландшафтные метрики						
	ED	LSI	PI	SHAPE	MESH	SPLIT	SHDI
Конец XVIII века	11,9	3,4	67,9	1,98	2350	2,6	1,02
Начало XX века	30,8	7,1	74,5	2,09	784	7,8	1,25
Конец XX века	50,3	10,8	56,4	1,91	421	14,2	1,52
Начало XXI века	58,8	12,5	64,2	1,95	350	17,3	1,63

Таблица 3

Эффект наследия в лесных экосистемах (по t-критерию Стьюдента для всех показателей отличия достоверны)

Показатель	Тип динамики	
	A→Л (n=32)*	Л→Л (n=196)
Видовое богатство, число видов на 100 м ²	12,9±0,6	14,9±0,2
Доля лесных видов, %	19,6±2,5	58,2±1,8
Доля синантропных видов, %	20,2±2,1	6,8±0,8
Доля терофитов в спектре жизненных форм, %	11,0±1,2	4,3±0,4
Доля фанерофитов в спектре жизненных форм, %	29,5±2,0	40,5±0,8
Представленность неморальных видов, %	6,8±1,5	31,1±1,6
Представленность бореальных видов, %	8,3±1,1	15,1±0,9
Доля чужеродных видов, %	4,8±1,0	2,4±0,3
Доля чужеродных видов деревьев, % от общего числа древесных видов	14,8±3,0	5,6±1,0

* – число ключевых участков.

MESH и SPLIT являются метриками, которые оценивают раздробленность ландшафтного покрова (SPLIT = 1, а значения MESH максимальны, когда на территории ландшафта представлен только один тип землепользования). При росте фрагментации значения SPLIT увеличиваются, а MESH уменьшаются.

Из таблицы 2 видно, что в течение рассматриваемого времени фрагментация ландшафта возросла. С конца XVIII в. значения ED увеличились в 4,9 раза, LSI – в 3,7 раза, MESH – в 6,7 раза. Ландшафтное разнообразие (метрика SHDI) за счет появления в пределах тестового участка новых форм землепользования также увеличилось. Для метрик конфигурации (PI и SHAPE) закономерных изменений не прослеживается.

Для изучения влияния предшествующего землепользования на современное состояние лесного покрова было выделено два типа динамики землепользования: сельскохозяйственные земли (пашня, сенокосы, пастбища) → лесные экосистемы

(A → Л); лесные экосистемы → лесные экосистемы (Л → Л). Все ключевые участки сгруппированы по этим двум типам. Для каждого типа получены сводные показатели, позволяющие оценить состояние лесной растительности (таблица 3). Сравнительный анализ показывает, что в лесных экосистемах, сформировавшихся на месте сельскохозяйственных земель, снижается видовое богатство, доля лесных видов, доля фанерофитов в спектре жизненных форм. Падает представленность неморальных (в 4,6 раза) и бореальных (в 1,8 раза) видов. И наоборот, увеличивается доля синантропных видов (в 3 раза) и терофитов (в 2,6 раза). В таких лесах повышается уровень адвентизации: доля чужеродных видов выше в 2 раза, а по деревьям – в 2,6 раза.

Для изучения влияния на сукцессию растительности окружающего ландшафта, ключевые участки были сгруппированы по степени антропогенной нарушенности окружающего ландшафта (оценивалась по коэффициенту K_c). К сильнонарушен-

Влияние антропогенной трансформации окружающего ландшафта на восстановительные сукцессии

Показатель	Сильнонарушенный ландшафт ($K_c < 0,3$)		Слабонарушенный ландшафт ($K_c > 0,6$)	
	НЛ (n=50)*	Л (n=16)	НЛ (n=10)	Л (n=51)
Доля лесных видов, %	0,1±0,1	18,1±1,5	2,0±0,5	54,7±2,3
Доля синантропных видов, %	64,4±2,5	26,2±3,0	49,1±3,4	8,0±1,0
Доля терофитов в спектре жизненных форм, %	30,9±2,3	15,5±2,1	13,5±3,6	5,1±0,5
Доля фанерофитов в спектре жизненных форм, %	6,1±1,0	26,2±3,6	12,4±1,9	37,9±1,3
Доля чужеродных видов, %	19,2±1,2	5,6±2,0	15,1±1,0	2,2±0,7

НЛ – нелесные стадии; Л – лесные стадии; * – число ключевых участков.

ному ландшафту отнесены территории с $K_c < 0,3$; к слабонарушенному – территории с $K_c > 0,6$. Отдельно рассматривались нелесные стадии (залежи, пустыри, луга) и лесные стадии сукцессии растительности.

Установлено, что в сильнонарушенном ландшафте нелесные стадии отличаются высоким участием синантропных (64,4 %) и чужеродных (19,2 %) видов растений (таблица 4). В слабонарушенном ландшафте эти показатели соответственно в 1,3 и в 1,2 раза ниже. Для спектра жизненных форм в сильнонарушенном ландшафте характерна повышенная доля терофитов и пониженная доля фанерофитов. В слабонарушенном ландшафте эти показатели соответственно в 2,3 и в 2 раза ниже.

На лесных стадиях отличие еще более контрастно. Так, в сильнонарушенном ландшафте доля лесных видов меньше в 3 раза, а синантропных видов больше в 3,3 раза. В спектре жизненных форм повышается доля терофитов (в 3 раза) и понижается доля фанерофитов (в 1,4 раза). Таким образом, на территории рассматриваемого тестового участка прослеживается закономерная связь показателей стадий восстановительных сукцессий с нарушенностью окружающего ландшафта, что подтверждает результаты более ранних исследований [3].

Влияние антропогенной нарушенности окружающего ландшафта на сукцессии может объясняться комплексом причин: уменьшение площади местообитаний, пригодных для нормального протекания сукцессий; увеличение расстояния между местообитаниями (снижается вероятность привнесения семян лесных видов); агрессивное воздействие ландшафтного окружения на процессы миграции видов и т.д.

Таким образом, предшествующая динамика землепользования (т.е. история антропогенного преобразования ландшафта) является важным фактором современного состояния растительного покрова, который представляет собой мозаику сообществ разного сукцессионного статуса. Анализ растительного компонента лесных экосистем, различающихся предшествующей историей, показал, что в лесах, которые образовались на месте сельскохозяйственных земель, наблюдается меньшее видовое богатство, высокая представленность синантропных видов, низкая представленность лесных (особенно неморальных) видов, повышенная представленность чужеродных видов. Восстановительные сукцессии растительности зависят не только от условий непосредственного местообитания, но и от окружающего ландшафта, от его антропогенной нарушенности. В сильнонарушенном ландшафте сообщества разного сукцессионного статуса отличаются высокой синантропизацией и адвентизацией.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта №Б14Р-205.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкология / под ред. В. А. Черникова, А. И. Черкеса. – Москва : Колос, 2000. – 536 с.
2. Гусев А. П. Сукцессионная система как основа фитоиндикации динамики ландшафтов (на примере Полесской ландшафтной провинции) / А. П. Гусев // Природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 51-62.
3. Гусев А. П. Особенности сукцессий растительности в ландшафтах, нарушенных деятельностью человека (на примере юго-востока Белоруссии) / А. П. Гусев // Сибирский экологический журнал. – 2012. – № 2. – С. 231-236.

4. Гусев А. П. История землепользования как фактор современного состояния растительного покрова (на примере юго-востока Белоруссии) / А. П. Гусев // Сибирский экологический журнал. – 2014. – № 2. – С. 225-230.
5. Миркин Б. М. Современная наука о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, А. И. Соломещ. – Москва : Логос, 2002. – 264 с.
6. Foster D. R. Land-use history as long-term broad-scale disturbance: regional forest dynamics in Central New England / D. R. Foster, G. Motzkin, B. Slater // *Ecosystems*. – 1998. – Vol. 1, № 1. – P. 96-119.
7. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, project homepage [Electronic resource] / K. McGarigal [et al.]; University of Massachusetts. – Amherst, 2002. – Mode of access: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>. – Date of access: 10.12.2014.
8. Gimmi U. Reconstructing the collapse of wetland networks in the Swiss lowlands 1850-2000 / U. Gimmi, T. Lachat, M. Burgi // *Landscape Ecology*. – 2011. – Vol. 26. – P. 1071-1083.
9. Kana S. Change in agriculturally used land and related habitat loss: A case study in eastern Estonia over 50 years / S. Kana, T. Kull, M. Otsus // *Estonian Journal of Ecology*. – 2008. – Vol. 57. – P. 119-132.
10. Sallay A. Landscape changes and function lost landscape values / A. Sallay, S. Jombach, Kovacs K. Filepne // *Applied Ecology and Environmental Research*. – 2012. – Vol. 10. – P. 157-172.
11. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization / J. S. Deng [et al.] // *Landscape and Urban Planning*. – 2009. – Vol. 92. – P. 187-198.
12. Spatiotemporal pattern of urbanization in Shanghai, China between 1989 and 2005 / J. Li [et al.] // *Landscape Ecology*. – 2013. – Vol. 28. – P. 1545-1565.
13. Tavares A. O. Spatial and temporal land use change and occupation over the last half century in a peri-urban area / A. O. Tavares, R. L. Pato, M. C. Magalhaes // *Applied Geography*. – 2012. – Vol. 34. – P. 432-444.
14. Turner M. Landscape ecology: The Effect of Pattern on process / M. Turner // *Annual Review of Ecology and Systematic*. – 1989. – Vol. 20. – P. 171-197.
15. Walz U. Monitoring of landscape change and functions in Saxony (Eastern Germany) – Methods and indicators / U. Walz // *Ecological indicators*. – 2008. – Vol. 8. – P. 807-817.
16. Wu J. *Ecological Dynamics in Fragmented Landscapes* / J. Wu // Princeton Guide to Ecology. – Princeton, New Jersey : Princeton University Press, 2009. – P. 438-444.

Гусев Андрей Петрович
кандидат геолого-минералогических наук, доцент геолого-географического факультета Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины, г. Гомель, т. (0232)57-00-33, 37529-5307467, E-mail: andi_gusev@mail.ru

Gusev Andrey Petrovitch
Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, associate professor of geological and geographical department, Gomel State University named after F. Skorina, Gomel, Belarus, tel. (0232) 57-00-33, E-mail: andi_gusev@mail.ru