

БИОПОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОПОГИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

© А. П. ГУСЕВ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины (Республика Беларусь)
gusev@gsu.by

УДК 911.2+504.54

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ И СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF LANDSCAPES AND PLANT SUCCESSIONS

В статье приводятся результаты исследований, направленных на выявление связи между сукцессиями растительности и антропогенной трансформацией окружающего ландшафта. Решаемые задачи: изучение антропогенных изменений ландшафтов в XVIII-XXI вв.; количественная оценка ландшафтной структуры и ее антропогенной трансформации; выяснение влияния антропогенных нарушений в окружающем ландшафте на ход сукцессионных процессов; выявление отличий сукцессий в ландшафтах, имеющих различную степень антропогенной трансформации. Исследования проводились на двух тестовых участках, расположенных на юго-востоке Беларуси (территории, прилегающие к г. Гомелю). Тестовые участки различались антропогенной трансформацией и историей хозяйственного освоения. Установлено, что восстановительные сукцессии в сильно трансформированном ландшафте протекают медленнее. Для сукцессий растительности в сильно трансформированном ландшафте характерна большая продолжительность времени доминирования терофитов и синантропных видов. В сильно трансформированном ландшафте позже на градиенте сукцессии появляются деревья, лесные виды, виды климаксовых экосистем. Лесные стадии сукцессии в сильно трансформированном ландшафте отличаются повышенной синантропизацией (в 5,5 раза) и адвентизацией (в 9,4 раза). Таким образом, ландшафтное окружение является важным фактором, обуславливающим как общую траекторию сукцессии, так и отдельные ее характеристики.

In article results of the researches directed on revealing of communication between plant successions and anthropogenic transformation of the surrounding landscape are resulted. Researches problems: studying of anthropogenic changes of landscapes in XVIII-XXI centuries; quantitative assessment of landscape structure and anthropogenic transformation; finding-out of impact of anthropogenic disturbances in a surrounding

landscape on a course succession processes; revealing of differences of successions in the landscapes having various degree of anthropogenic transformation. Researches were spent on two test areas located in the southeast of Belarus (the territories adjoining to the city of Gomel). Test areas differed with anthropogenic transformation and history of development. It is established that regenerative successions in strongly transformed landscape proceed more slowly. For succession in strongly transformed landscape it is characteristic the big duration of time of domination of terophyta and time of domination of synanthropic species. In strongly transformed landscape later on a gradient of succession there are trees, wood species, species of climax ecosystems. Wood stages of succession in strongly transformed landscape differ raised synanthropization (in 5,5 times) and adventization (in 9,4 times). Thus, the landscape environment is the important factor which stipulates the common direction (trajectory) of the succession and its separate characteristics.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Ландшафт, сукцессия, антропогенная трансформация, тестовый участок.

KEY WORDS. Landscape, succession, invasion, anthropogenic transformation, test area.

Сукцессии растительности играют важную роль в преобразующей и стабилизирующей динамике геосистем [1], в процессах самовосстановления геосистем; отражают долговременные состояния ландшафта, могут служить индикатором экологического равновесия в ландшафте и т. д. В подавляющем числе работ в экологии сукцессия рассматривается как локальный процесс, вне ландшафтного контекста. Малоисследованным вопросом является оценка влияния антропогенного преобразования ландшафтов на протекающие в них сукцессии растительности [2; 3].

Влияние антропогенных преобразований ландшафтов на сукцессии растительности имеет несколько аспектов: ландшафтная фрагментация (потеря местообитаний, сокращение их размера и увеличение изоляции пятен местообитаний); эффект наследия (legacy effect), т. е. влияние на современную растительность прошлых нарушений [4].

Целью наших исследований являлось выявление связи между сукцессиями растительности и антропогенной трансформацией ландшафта, в котором эти сукцессии протекают. Решаемые задачи: изучение антропогенных изменений ландшафтов юго-востока Беларуси в XVIII-XXI вв.; количественная оценка ландшафтной структуры и ее антропогенной трансформации; выяснение влияния антропогенных нарушений в окружающем ландшафте на ход сукцессионных процессов; выявление отличий сукцессий в ландшафтах, имеющих различную степень антропогенной трансформации.

Методика исследований. Исследования проводились на двух тестовых участках, расположенных на юго-востоке Беларуси (территории, прилегающие к г. Гомелю). Участок АТЛ (аллювиальный террасированный ландшафт) представляет собой прямоугольник 6,49×8,97 км (площадь 58,2 км²). Участок МЗЛ (моренно-зандровый ландшафт) — прямоугольник 9,0×6,8 км (площадь 61,2 км²).

Климатические особенности района исследований: средняя температура самого холодного месяца (январь) — -7 °С; средняя температура самого теплого месяца (июль) — +18,5 °С; годовая сумма температур выше 10 °С — 2400-2500 °С;

годовое количество осадков — около 630 мм; коэффициент увлажнения — 1,3. По гидротермическим показателям территория относится к суббореальным гумидным (широколиственно-лесным) ландшафтам.

Для составления карт землепользования на трех временных срезах (конец XVIII в., начало XX в., начало XXI в.) использовались топографические карты и материалы Google Earth. Привязка и оцифровка растров выполнялись в Quantum GIS 1.9.0.

Для вычисления ландшафтных метрик использовался программный продукт FRAGSTATS 4.0 [5]. Для оценки изменения структуры ландшафтов тестовых участков были использованы метрики ландшафтного уровня и уровня класса (лесные экосистемы): LPI (Largest Patch Index) — удельная площадь самого большого ареала какого-либо типа землепользования (в %); ED (Edge Density) — отношение суммы длин границ ареалов землепользования в ландшафте к его общей площади (м/га); LSI (Landscape Shape Index) — стандартизированное отношение суммы длин границ ареалов к квадратному корню из общей площади ландшафта (метрика формы); SPLIT (Splitting Index) — отношение площади ландшафта к сумме квадратов площадей всех ареалов (SPLIT=1, если ландшафт представлен одним ареалом); MESH (Effective Mesh Size) — отношение суммы квадратов площадей всех ареалов к общей площади ландшафта (имеет максимальное значение, когда ландшафт представлен одним ареалом). Кроме того, использованы метрики разнообразия: Shannon's Diversity Index (SHDI) и Simpson's Diversity Index (SIDI). Подробное описание и ландшафтно-экологическая интерпретация данных метрик приводится в [5; 6].

Для оценки антропогенной трансформации ландшафтов использованы коэффициент экологической стабильности (K_c) и индекс хемеробности (M).

Коэффициент экологической стабильности определялся по формуле $K_c = \sum s_i * k_i * g$, где s_i — удельная площадь вида землепользования; k_i — экологическая значимость этого вида землепользования; g — коэффициент геолого-геоморфологической устойчивости рельефа. Стабильность ландшафта оценивают по следующей шкале: K_c менее 0,33 — очень низкая; $K_c = 0,34 - 50$ — низкая; $K_c = 0,51 - 0,66$ — средняя; $K_c = 0,67 - 1$ — высокая [7].

Индекс хемеробности рассчитывался по формуле: $M = 100 * \sum (S_{h_i}/m) * h$, где S_{h_i} — удельная площадь ареала со степенью хемеробности h ; m — число степеней хемеробности; h — степень хемеробности [8].

Статистическая обработка выполнялась с помощью STATISTICA 6.0.

Полевые работы по изучению растительности проводились по общепринятой методике геоботанической съемки (метод пробных площадок [9]). Получены характеристики растительности на 230 ключевых участках (нелесные стадии сукцессий — 86; лесные стадии — 144 ключевых участка). Каждый ключевой участок характеризовался описаниями на 2-5 пробных площадках (размер 100-200 м²). Для изучения сукцессионных процессов использовались 20 постоянных пробных площадок (ППП). В период 2001-2014 гг. на ППП ежегодно выполнялась геоботаническая съемка. При обработке материалов съемок применялся эколого-флористический метод Браун-Бланке [9; 10].

Результаты исследований и их обсуждение. Ландшафтно-исторический анализ динамики землепользования в XVIII-XXI вв. показал, что а) антропогенное воздействие и обусловленные им нарушения структуры ландшафтов в течение времени постоянно возрастали (табл. 1); б) уже в XVIII в. ландшафты

на участке МЗЛ были преобразованы деятельностью человека (лесистость — 20-30%, распаханность — 50-60%).

Таблица 1

Изменение антропогенной трансформации ландшафтов тестовых участков в XVIII-XXI вв.

Показатель	МЗЛ			АТЛ		
	Конец XVIII в.	Начало XX в.	Начало XXI в.	Конец XVIII в.	Начало XX в.	Начало XXI в.
Показатели нарушенности ландшафтов						
Кс	0,46	0,20	-0,07	0,88	0,66	0,42
М	51,3	64,1	70,4	18,0	35,9	42,1
Ландшафтные метрики						
LPI	55,5	57,0	38,4	74,4	21,7	24,9
ED	10,1	20,2	42,2	10,8	36,6	46,9
LSI	3,2	4,9	9,1	3,3	7,8	9,8
MESH	2646	2043	1093	4004	503	737
SPLIT	2,9	2,9	5,4	1,8	11,0	7,6
SHDI	1,08	1,15	1,26	0,75	1,41	1,44
SIDI	0,58	0,57	0,63	0,34	0,66	0,68

Метрики ED, LSI, SPLIT и MESH оценивают фрагментацию ландшафта. Видно, что на тестовых участках величина ED увеличилась в 4,2-4,3 раза, величина LSI — в 2,8-3 раза, величина SPLIT — в 1,9-4,2 раза; величина MESH уменьшилась в 2,4-5,4 раза (т. е. существенно возросла фрагментация ландшафта). Антропогенное преобразование вызвало также рост разнообразия геосистем, что выразилось в увеличении значений метрик SHDI и SIDI.

Видно, что основное различие между тестовыми участками в том, что геосистемы на территории МЗЛ имеют существенно больший уровень антропогенной трансформации (более высокое значение М и более низкое значение Кс) и длительную историю хозяйственного освоения.

Для оценки экологического эффекта изменения ландшафтной структуры необходимо установить взаимосвязь между ее количественными параметрами и характеристиками сукцессионных процессов. На основе обобщения результатов наблюдений на ППП за ходом восстановительных сукцессий установлены основные закономерности, характерные почти для всех ППП, которые выражаются в следующем: постепенное увеличение видового богатства, относительно быстрая смена терофитов многолетними видами, уменьшение доли синантропных видов, появление и развитие древесных видов, снижение степени адвентизации и т. д. В то же время, скорость этих процессов различается в зависимости от ППП [2; 3; 11].

В табл. 2 приведены результаты оценки скорости восстановительных сукцессий на ППП, размещенных на двух тестовых участках. Оценка скорости восстановительных сукцессий проводилась по ряду критериев: продолжительность

доминирования в сообществе терофитов, продолжительность доминирования в сообществе синантропных видов, время появления естественного возобновления древесных видов, время появления в сообществе лесных видов, время появления в сообществе видов класса *Quercus-Fagetea*. Чем быстрее протекает сукцессия, тем меньше продолжительность доминирования терофитов и синантропных видов, раньше появляются деревья, лесные виды и виды класса *Quercus-Fagetea* [11].

Таблица 2

Оценка скорости сукцессии на ППП

<i>Показатель скорости сукцессии</i>	<i>МЗЛ (n=4)</i>	<i>АТЛ (n=16)</i>
Продолжительность доминирования в сообществе терофитов (лет от начала сукцессии)	1,8	1,1
Продолжительность доминирования в сообществе синантропных видов (лет от начала сукцессии)	12,8	4,1
Время появления естественного возобновления древесных видов (лет от начала сукцессии)	8,2	3,9
Время появления в сообществе лесных видов (лет от начала сукцессии)	11,5	4,8
Время появления в сообществе видов класса <i>Quercus-Fagetea</i> (широколиственные леса — климаксовые экосистемы) (лет от начала сукцессии)	12,5	7,0

Видно, что восстановительные сукцессии на тестовом участке МЗЛ протекают медленнее. Здесь больше время доминирования терофитов (в 1,6 раза), больше время доминирования синантропных видов (в 3,1 раза), позже на градиенте сукцессии появляются деревья (в 2,1 раза), лесные виды (в 32,4 раза), виды климаксовых широколиственных лесов (в 1,8 раза).

По результатам геоботанической съемки на 230 ключевых участках были получены характеристики нелесных и лесных стадий сукцессии (табл. 3). Для сравнения нами взяты такие показатели, как видовое богатство, доля терофитов в спектре жизненных форм, доля фанерофитов в спектре жизненных форм, представленность синантропных и лесных видов, адвентизация. В условиях менее нарушенных геосистем АТЛ достоверно выше видовое богатство на лесной стадии, меньше доля терофитов на лесной стадии и, наоборот, выше доля фанерофитов на нелесной и лесной стадиях. Доля лесных видов достоверно отличается только для лесной стадии. Доля синантропных видов здесь достоверно меньше и для лесной, и для нелесной стадий. Растительность АТЛ отличается меньшей адвентизацией, т. е. удельной долей чужеродных (адвентивных) видов.

Менее контрастны различия между тестовыми участками МЗЛ и АТЛ для нелесных стадий сукцессии. На лесных стадиях контрастность возрастает. Так, например, в лесных сообществах АТЛ доля лесных видов в 2,8 раза выше, чем в лесных сообществах МЗЛ. Значительная контрастность на лесных стадиях характерна для синантропизации и адвентизации. В лесных сообществах МЗЛ синантропизация (доля синантропных видов) выше в 5,5 раза, адвентизация (доля адвентивных видов) — выше в 9,4 раза.

В сильно трансформированных геосистемах участка МЗЛ часто встречаются сообщества с доминированием чужеродных видов, например, заросли американских деревьев *Acer negundo* L. и *Robinia pseudoacacia* L., с участием лиан — *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch и *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray, травянистых растений — *Impatiens parviflora* DC, *Solidago canadensis* L., *Lupinus polyphyllus* Lindl.

Таблица 3

**Сравнение характеристик растительности нелесных
и лесных стадий сукцессии**

Показатель	МЗЛ		АТЛ	
	НС (n=34)	ЛС (n=18)	НС (n=52)	ЛС (n=126)
Видовое богатство (число видов на 100 м ²)	12,8±0,4	12,0±0,3	12,7±0,5	14,9±0,3
Доля терофитов в спектре жизненных форм (% от всех видов)	25,7±4,3	14,6±1,5	26,6±3,5	3,3±0,5
Доля фанерофитов в спектре жизненных форм (% от всех видов)	4,1±0,9	31,1±3,0	8,1±1,4	42,5±1,0
Доля лесных видов (% от всех видов)	1,3±0,4	22,2±2,5	3,9±0,8	61,8±2,3
Доля синантропных видов (% от всех видов)	63,9±3,3	27,5±3,5	47,9±3,4	5,0±0,9
Доля адвентивных видов (% от всех видов)	22,1±1,5	13,2±2,4	16,2±1,7	1,4±0,3

Примечание: НС — нелесные стадии; ЛС — лесные стадии.

Таким образом, имеет место задержка сукцессионных процессов в сильно трансформированном ландшафте (тестовый участок МЗЛ). Для сукцессий растительности в сильно трансформированном ландшафте характерна большая продолжительность времени доминирования терофитов (в 1,6 раза), времени доминирования синантропных видов (в 3,1 раза). Здесь позже на градиенте сукцессии появляются деревья (в 2,1 раза), лесные виды (в 32,4 раза), виды климаксовых экосистем широколиственных лесов (в 1,8 раза). Лесные стадии сукцессии в сильно трансформированном ландшафте отличаются повышенной синантропизацией (в 5,5 раза) и адвентизацией (в 9,4 раза). Ландшафтное окружение является важным фактором, обуславливающим как общую траекторию сукцессии, так и отдельные ее характеристики.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 318 с.
2. Гусев А. П. Особенности сукцессий растительности в ландшафтах, нарушенных деятельностью человека (на примере юго-востока Белоруссии) // Сибирский экологический журнал. 2012. № 2. С. 231-236.
3. Гусев А. П. Особенности начальных стадий восстановительной сукцессии в антропогенном ландшафте (на примере юго-востока Белоруссии) // Экология. 2009. № 3. С. 174-179.
4. Gusev A. P. Land-Use History as a Factor of the Contemporary State of a Plant Cover: An Example from Southeastern Belarus // Contemporary Problem of Ecology. 2014. Vol. 7. № 2. Pp. 182-186.
5. McGarigal K., Cushman S. A., Neel M. C., Ene E. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, project homepage [Electronic resource] / University of Massachusetts. Amherst, 2002. Mode of access: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>. Date of access: 12.09.2012.
6. Cushman S. A., McGarigal K., Neel M. C. Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency // Ecological Indicators, 2008. Vol. 8. Pp. 691-703.
7. Агроэкология / под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. М.: Колос, 2000. 536 с.
8. Steinhard U. Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation / U. Steinhard, F. Herzog, A. Lausch, E. Muller, S. Lehmann // Environmental Induces — System Analysis Approach. Oxford: EOLSS Publ., 1999. Pp. 237-254.
9. Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности: учебник. М.: Логос, 2002. 264 с.
10. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Wien-New York: Springer-Verlag, 1964. 865 p.
11. Гусев А. П. Сукцессии растительности и ландшафтная структура (на примере юго-востока Беларуси) // Вестник Витебского государственного университета. 2013. № 4. С. 21-25.

REFERENCES

1. Sochava, V. B. Vvedenie v uchenie o geosistemah (Introduction to the Study of Ecosystems). Novosibirsk: Nauka, 1978. 318 p. (in Russian).
2. Gusev, A. P. Features of plant succession in landscapes disturbed by anthropogenic activity (by example of Southeastern Belarus) // Sibirskii ekologicheskii zhurnal — Siberian Journal of Ecology, 2012. № 2. Pp. 231-236 (in Russian).
3. Gusev, A. P. Specific features of early stages of progressive succession in an anthropogenic landscape: an example from Southeastern Belarus // Ekologiya — Ecology, 2009. № 3. Pp. 174-179 (in Russian).
4. Gusev, A. P. Land-use history as a factor of the contemporary state of a plant cover: an example from Southeastern Belarus // Contemporary Problems of Ecology. 2014. Vol. 7. № 2. Pp. 182-186.
5. McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., Ene, E. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, project's homepage [Electronic resource] / University of Massachusetts. Amherst, 2002. Mode of access: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>. Last accessed date: 12 September 2012.
6. Cushman, S. A., McGarigal K., Neel M. C. Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency // Ecological Indicators, 2008. Vol. 8. Pp. 691-703.
7. Agroecologiya (Agroecology) / Ed. V. A. Chernikov, A. I. Chekeres. Moscow: Kolos, 2000. 536 p. (in Russian).

8. Steinhard, U., Herzog, F., Lausch, A., Muller, E., Lehmann, S. Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation // Environmental Induces — System Analysis Approach. Oxford: EOLSS Publ., 1999. Pp. 237-254.

9. Mirkin, B. M., Naumova, L. G., Solomeshch, A. I. Sovremennaya nauka o rastitel'nosti (Modern Science of Vegetation). Moscow: Logos, 2002. 264 p. (in Russian).

10. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie. Wien-New York: Springer-Verlag, 1964. 865 p.

11. Gusev, A. P. Plant succession and landscape pattern (on an example of the south-east of Belarus) // Vestnik Vitebskogo gosudarstven-nogo universiteta — Vitebsk State University Herald, 2013. № 4. Pp. 21-25 (in Russian).

Автор публикации

Андрей Петрович Гусев — доцент Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины (Республика Беларусь), кандидат геолого-минералогических наук

Author of the publication

Andrei P. Gusev — Cand. Sci. (geolog.-mineralog.), Associate Professor, Francysk Skaryna Homiel State University (Belarus)