

## Экологический анализ и оценка лесных ландшафтов юго-востока Беларуси

**А.П. Гусев, Н.С. Шпилевская**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
университет им. Ф. Скорины»*

*Рассмотрены результаты оценки антропогенной трансформации и фрагментации геосистем модельных районов юго-востока Беларуси и выявлены ареалы распространения негативных природно-антропогенных процессов, в том числе деградации лесных экосистем. Установлено, что состояние конкретной лесной экосистемы зависит как от локальной нагрузки, так и от состояния окружающего ландшафта. На основе фитоиндикационных критериев выполнена оценка современной экологической ситуации территории.*

*Ключевые слова: геосистема, фитоиндикационные критерии, антропогенная трансформация.*

## Environmental analysis and estimation of forest landscapes of south-east of Belarus

**A.P. Gusev, N.S. Shpilevskaya**

*Educational establishment «Francisk Skorina Gomel State University»*

*Summary. A new methodical approach to estimation of intensity of ecological situation, based on studying of degradation processes and restoration of geosystems is offered. Features of degradation processes within the wood ecosystems, reflected in phytoindicator parameters are considered. The estimation of contemporary ecological situation of the territory is executed.*

**Л**есные ландшафты и составляющие их экосистемы выполняют важные ресурсо-содержащие, ресурсовоспроизводящие, средообразующие функции, поддерживающие необходимые для человека условия жизни и выступающие как среда для отдыха и восстановления его здоровья. Состояние лесных геосистем определяет состояние всей территории. Снижение потенциала самовосстановления лесного ландшафта увеличивает риск нарушения экологического равновесия на региональном уровне. Актуальной проблемой является разработка системы индикаторов, позволяющих диагностировать риск нарушения экологического равновесия.

Цель предлагаемой работы – совершенствование системы экологической оценки лесных ландшафтов.

**Материал и методы.** Исследования проводились на территории двух модельных районов, расположенных на юго-востоке Беларуси. Первый модельный район («РУМ») представляет собой территорию, обособленную долинами малых рек: Рандовка (с севера); Уза (с запада); Мильчанская канава (с востока и юго-востока). Общая площадь модельного района составляет 72,3 км<sup>2</sup>. Структура землепользования характе-

ризуется преобладанием лесных экосистем – 43,9%. Луга, пастбища, сенокосы составляют 19,9%. Пахотные земли – 19,5%. На долю нарушенных и застроенных земель приходится 16,1% территории. Промышленно-техногенная нагрузка на геосистемы района связана с Гомельским химическим заводом, Гомельским радиозаводом, городской свалкой твердых бытовых отходов, полями фильтрации и рядом других техногенных объектов. Второй модельный район («ЧУК») находится южнее города Гомеля в пределах надпойменных террас реки Сож. С севера и юга район ограничивается малыми реками; с запада – поймой реки Сож, с востока – волнистым водноледниковым ландшафтом Тереховского ландшафтного района. Общая площадь модельного района составляет 75,58 км<sup>2</sup>. Структура землепользования: лесные экосистемы – 68,1%; пахотные земли – 11,2%; нарушенные и застроенные земли – 11,7% территории. Природно-ландшафтная основа модельных районов представлена аллювиальным террасированным, моренно-зандровым и пойменным ландшафтами (согласно классификации природных ландшафтов Беларуси [4]) – табл. 1.

## Общая ландшафтно-экологическая характеристика модельных районов

Показатель	РУМ	ЧУК
Природно-ландшафтная основа (% от общей площади)		
Моренно-зандровый ландшафт	42,0	0
Аллювиальный террасированный ландшафт	53,7	98,7
Пойменный плоско-гивистый ландшафт	4,3	1,3
Антропогенная трансформация и фрагментация		
$K_c$	0,463	0,539
Нем (индекс хемеробности)	42,6	37,6
ED (плотность краев), м/га	32,8	15,29
S (средняя площадь пятна), га	33,14	60,46
SI (средняя площадь лесного массива), га	49,38	145,35
SIDI (индекс разнообразия Симпсона)	0,729	0,489
Природно-антропогенные процессы (% от общей площади)		
Заболачивание, подтопление	3,0	2,4
Водная эрозия	2,3	0
Дигрессия лесных экосистем	3,5	2,3
Дигрессия лесных экосистем (% от площади лесных экосистем)	7,9	3,4

В пределах модельных районов были выделены геоэкологические (ландшафтно-экологические) участки, отличающиеся природными условиями, величиной антропогенной нагрузки и спецификой хозяйственного освоения: 7 участков в первом районе и 6 участков во втором.

Полевые работы выполнялись на ключевых участках и включали: геоботаническую съемку по общепринятой методике [5] (2–5 пробных площадок размером 100–200 м<sup>2</sup> на ключевом участке); определение характеристик модельных деревьев (не менее 20 штук на ключевом участке); определение показателей антропогенного воздействия; выяснение природно-ландшафтных условий (тип почв, состав почвообразующих пород, глубина залегания грунтовых вод, проявления современных геологических процессов). Общее количество ключевых участков – 366 (в лесных экосистемах – 200).

В качестве критериев оценки состояния растительного покрова рассматривались: ВБ – видовое богатство (число видов на 100 м<sup>2</sup>); ЕВ – численность естественного возобновления древесных видов (шт./га); ТФ – доля терофитов в спектре жизненных форм (% от всех видов); ФФ – доля фанерофитов в спектре жизненных форм (% от всех видов); QF – представленность видов класса *Quercus-Fagetea* (неморальные широколиственные леса) эколого-флористической классификации Браун–Бланке [6] (% от общего числа видов); VP – представленность видов класса *Vaccinio-Piceetea* (бореальные хвойные леса)

эколого-флористической классификации Браун–Бланке (% от общего числа видов); ЛЕС – представленность лесных видов (виды всех лесных классов растительности, % от общего числа видов); СИН – синантропизация (доля видов синантропных классов эколого-флористической классификации Браун–Бланке, % от общего числа видов). Оценка адвентизации растительности выполнялась по критериям: АД<sub>1</sub> – доля адвентивных видов от общего числа видов флоры (% от числа всех видов), характеризует степень адвентизации флоры; АД<sub>2</sub> – доля адвентивных видов в покрытии (% от общего проективного покрытия), характеризует эколого-ценотическое значение адвентивных видов в растительном покрове; АД<sub>3</sub> – доля адвентивных видов деревьев от общего числа древесных видов; АД<sub>4</sub> – доля адвентивных видов деревьев от общей численности естественного возобновления, характеризует эколого-ценотическое значение адвентивных деревьев, их способность к самовоспроизводству. Оценка состояния древостоя (насаждения) на ключевом участке выполнялась путем расчета индекса состояния древостоя по формуле:  $L_n = (100 \cdot n_1 + 70 \cdot n_2 + 40 \cdot n_3 + 5 \cdot n_4) / N$ , где  $n_1$  – количество здоровых деревьев;  $n_2$  – количество ослабленных деревьев;  $n_3$  – количество сильно ослабленных деревьев;  $n_4$  – количество усыхающих деревьев;  $N$  – общее количество деревьев (включая сухостой) [7].

Для оценки напряженности экологической (ландшафтно-экологической) ситуации использо-

вались: коэффициент пораженности территории современными геологическими процессами –  $ПТ_{стп}=(S_{стп}/S)*100\%$ , где  $S_{стп}$  – площадь распространения современных геологических процессов;  $S$  – общая площадь; коэффициент пораженности территории дигрессиями растительности –  $ПТ_{др}=(S_{др}/S)*100\%$ , где  $S_{др}$  – площадь территории, на которой отмечаются дигрессивная динамика растительности (антропогенных модификаций лесных геосистем, связанных с рекреацией, загрязнением атмосферы, пожарами, подтоплением);  $S$  – общая площадь;  $ПТ_{кз}$  – удельная площадь территории с катастрофическим уровнем загрязнения почв и вод (уровень загрязнения, при котором существование высшей растительности невозможно); коэффициент экологической стабильности:  $K_c=\sum s_i*k_i*g$ , где  $s_i$  – удельная площадь вида землепользования;  $k_i$  – экологическая значимость этого вида землепользования;  $g$  – коэффициент устойчивости рельефа;  $S_{ПСВ=0}$  – удельная площадь участков с «нулевым» потенциалом самовосстановления (здания, асфальтовые покрытия, токсичные грунты). Для уточнения генезиса дигрессивных изменений растительности и последующей оценки экологической ситуации использовались данные по загрязнению компонентов геосистем, взятые из опубликованных и фондовых источников. Градации указанных показателей и методика напряженности экологической ситуации по [1]. Для оценки антропогенной трансформации и фрагментации ландшафта использовались индекс хемеробности (Нem) и ландшафтные метрики (плотность краев – ED, средняя площадь пятна – S, средняя площадь лесного массива –  $S_l$ , индекс разнообразия Симпсона – SIDI) [8].

Основной картографический материал, отражающий результаты ФГА, представлялся в виде набора карт, выполненных с помощью программного пакета ArcView 3.2a: природно-ландшафтной основы, структуры землепользования; размещения ключевых участков; негативных природно-антропогенных процессов, современных сукцессионных статусов геосистем, средообразующей способности растительного покрова, современных динамических тенденций, оценки напряженности экологических ситуаций. Расчет площадных показателей осуществлялся на основе модуля Spatial Analyst 2.0a. Статистическая обработка выполнялась с помощью программного пакета STATISTICA 6.0.

**Результаты и их обсуждение.** Ландшафтно-экологическая ситуация зависит от соотношения процессов деградации и восстановления геосистем. Напряженность ландшафтно-

экологической ситуации возрастает при увеличении глубины и пространственного охвата деградиционных процессов, снижении способности геосистем выполнять средо- и ресурсовоспроизводящие функции, сохранять экологическое равновесие, поддерживать биопродуктивность и биоразнообразие.

Изучаемые геосистемы характеризуются значительными различиями по степени антропогенной трансформации и фрагментации (табл. 1). На территории модельного района «РУМ» значения  $K_c$  изменяется от -0,11 до 0,88; индекса хемеробности – от 25,6 до 58,9; ED – от 13,2 до 70,8 м/га. Для участков модельного района «ЧУК»  $K_c$  находится в пределах от -0,26 до 0,78; индекс хемеробности – 27,3–64,9; ED – 8,4–59,3 м/га. Наблюдается также существенная дифференциация по пораженности современными геологическими процессами, среди которых доминирует подтопление и заболачивание. Так, значения  $ПТ_{стп}$  изменяются в пределах от 0 до 18,4%.

Дигрессия лесной растительности – один из наиболее распространенных негативных процессов на изучаемой территории (на различных участках подвержено от 0,5 до 16,4% всей территории и от 0,9 до 99,4% от площади лесных экосистем), оказывающий значительное влияние на ее средообразующий потенциал. Дигрессивная динамика обусловлена различными видами антропогенного воздействия: рекреация; воздействие выбросов транспорта и стационарных источников (промышленных предприятий); пирогенное воздействие, подтопление. Наиболее широко распространенным фактором деградации лесных экосистем на территории района исследований являются пожары, возникновение которых тесно связано с деятельностью человека. Максимальная степень деградации (вплоть до разрушения древостоя) имеет место при комбинированном воздействии нескольких антропогенных факторов: химическое загрязнение и пожары, рекреация и пожары. Нарушение древесного яруса обуславливает трансформацию видового состава растительности нижних ярусов.

Дигрессивная смена отражается в деградации древесного яруса, поэтому главным критерием был выбран показатель (индекс) состояния древостоя ( $L_n$ ). Дигрессивная динамика диагностируется значениями  $L_n < 50$  (категории состояния «сильно поврежденный» и «разрушенный» древостой). При значениях  $L_n > 50$  проводился анализ онтогенетических спектров раннесукцессионных (РСВ) и позднесукцессионных (ПСВ) видов деревьев. В случае регрессивных спектров как раннесукцессионных, так и позднесукцесси-

онных видов диагностировалась дигрессивная динамика. При других сочетаниях онтогенетических спектров в качестве дополнительных критериев рассматривались синантропизация, терофитизация и адвентизация растительности. Задержка сукцессии на стадии раннесукцессионного леса фиксировалась по высоким уровням синантропизации (более 20%), терофитизации (более 10%), адвентизации (более 5%) и следующих комбинациях онтогенетических спектров: а) нормальные спектры РСВ, регрессивные и инвазионные спектры ПСВ или их отсутствие; б) регрессивные спектры РСВ и инвазионные спектры ПСВ. Во всех остальных случаях ход лесной сукцессии может считаться фоновым.

При разрушении или повреждении древостоя нижние ярусы «открываются» и нагрузка на них усиливается. Так, в экосистемах с сильно поврежденным и поврежденным древостоем доля лесных видов составляет от 6,3 до 62,5% от общего числа видов (среднее значение – 27,1%); доля синантропных видов от 4,8 до 57,1% (23,9%). В спектре жизненных форм возрастает доля терофитов (с 0,5% в фоновых лесах до 11,4%) и уменьшается доля фанерофитов (50,5% в фоновых лесах до 26,6%). В нарушенные экосистемы

вторгаются адвентивные виды, которые практически отсутствуют в фоновых лесах. Доля адвентивных видов может составлять до 30% от общего числа видов и 40% от общего проективного покрытия.

Как показал корреляционный анализ, состояние конкретной лесной экосистемы зависит как от локальной нагрузки, так и от состояния окружающих геосистем (табл. 2). Так, состояние древесного яруса (индекс  $L_n$ ) улучшается по мере роста коэффициента экологической стабильности окружающей геосистемы, величины лесного массива и расстояния до ближайших климаксовых экосистем. И, наоборот, чем выше фрагментация ландшафта и величина пирогенного воздействия, тем хуже состояние древесного яруса. Синантропизация лесной растительности также обусловлена совместным влиянием факторов окружения и локальным воздействием. Из табл. 2 видно, что важным локальным фактором, влияющим на состояние лесной экосистемы, является пирогенное воздействие: наблюдается положительная корреляция высоты нагара с синантропизацией, терофитизацией и адвентизацией растительности.

Таблица 2

**Взаимосвязь показателей состояния лесных экосистем (n=200) с ландшафтно-экологическими факторами (коэффициент корреляции R Спирмена,  $p < 0,05$ )**

Показатель	$R_k$	$K_c$	ED	$S_1$	ПВ
ВБ	-0,324	0,328	-0,300	0,267	н.д.
ЛЕС	-0,727	0,575	-0,619	0,612	-0,470
СИН	0,734	-0,612	0,676	-0,655	0,518
ТФ	0,653	-0,559	0,653	-0,665	0,408
ФФ	-0,549	0,468	-0,487	0,532	-0,398
ЕВ	-0,61	0,482	-0,557	0,475	-0,341
QF	-0,718	0,515	-0,532	0,505	-0,422
VP	Н.д.	0,304	-0,199	0,212	Н.д.
АД1	0,588	-0,475	0,546	-0,484	0,358
АД2	0,526	-0,388	0,477	-0,429	0,300
АД3	0,467	-0,407	0,460	-0,376	0,261
АД4	0,467	-0,399	0,462	-0,370	0,250
$L_n$	-0,433	0,484	-0,413	0,520	-0,520

Примечание. \* – н.д. – значение коэффициентов корреляции недостоверны ( $p > 0,05$ ).  $R_k$  – расстояние до ближайших климаксовых (субклимаксовых) экосистем (км);  $K_c$  – коэффициент экологической стабильности геосистемы (в скользящем квадрате 1x1 км); ED – показатель фрагментации (плотность краев, м/га);  $S_1$  – площадь лесного массива, в пределах которого размещен ключевой участок (га); ПВ – пирогенное воздействие (средняя высота нагара на модельных деревьях, м).

По системе разработанных критериев была выполнена оценка экологической ситуации в пределах модельных районов (табл. 3). Модельный район «ЧУК» характеризуется относительно

благоприятным состоянием: на большей части территории экологическая ситуация оценивается как нормальная и удовлетворительная. Территория модельного района «РУМ» характеризуется

менее благоприятным состоянием – свыше 50% площади имеют критическую и кризисную ситуацию. Кризисная ситуация на территории одного из участков модельного района «РУМ» обусловлена преобладанием здесь геосистем с низким средообразующим потенциалом (застройка,

нарушенные земли), значительной степенью пораженности современными геологическими процессами и дигрессиями растительности, высоким уровнем химического загрязнения (в зоне влияния полигона твердых отходов Гомельского химического завода).

Таблица 3

**Оценка напряженности экологической ситуации**

Показатель напряженности	РУМ	ЧУК
ПТ <sub>спп</sub> , %	5,3	2,4
ПТ <sub>кз</sub> , %	0,2	0
ПТ <sub>др</sub> , %	3,5	2,3
S <sub>псв=0</sub> , %	10,2	11,7
K <sub>c</sub>	0,463	0,539
Структура экологической ситуации района (% от площади)		
Нормальная (очень низкая напряженность)	43,0	40,3
Удовлетворительная (низкая напряженность)	4,6	48,1
Критическая (средняя напряженность)	41,7	11,6
Кризисная (сильная напряженность)	10,7	0

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенных исследований дана оценка антропогенной трансформации и фрагментации геосистем модельных районов юго-востока Беларуси и выявлены ареалы распространения негативных природно-антропогенных процессов, в том числе деградации лесных экосистем. Установлено, что состояние конкретной лесной экосистемы зависит как от локальной нагрузки, так и от состояния окружающего ландшафта. Так, состояние древесного яруса (является системообразующим звеном лесного ландшафта) ухудшается при увеличении фрагментации ландшафта и величины пирогенного воздействия. На основе фитоиндикационных критериев выполнена оценка современной экологической ситуации территории. Рост напряженности экологической ситуации на отдельных участках обусловлен значительной площадью геосистем с низким средообразующим потенциалом (застройка, нарушенные земли), значительной степенью пораженности современными геологическими процессами и дигрессиями растительности.

*ЛИТЕРАТУРА*

1. Гусев, А.П. Фитоиндикационно-геоэкологический анализ динамики геосистем (на примере модельного района «РУМ») / А.П. Гусев // Известия БГПУ им. М. Танка. Серия 3, 2009. – № 4(62). – С. 55–58.
2. Гусев, А.П. Фитоиндикационно-геоэкологический анализ геосистем – новое направление геоэкологических исследований / А.П. Гусев // Юбилейная научно-практическая конференция, Гомель, 11 июня 2009 г.: [материалы]. в 4 ч. Ч. 4 / редкол.: О.М. Демиденко (отв. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – С. 244–246.
3. Гусев, А.П. Фитоиндикационно-геоэкологический анализ динамики геосистем (на примере юго-востока Беларуси) / А.П. Гусев // Экологическая безопасность региона: материалы международной научно-практической конференции (Россия, Брянск, 29–30 октября 2009 г.) / редкол.: В.Б. Любимов (отв. ред.) [и др.]. Брянск: Изд-во «Курсив», 2009. – С. 114–116.
4. Марцинкевич, Г.И. Ландшафтоведение: учебник / Г.И. Марцинкевич. – Минск: БГУ, 2007. – 206 с.
5. Миркин, Б.М. Современная наука о растительности: учебник / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумов, А.И. Соломещ. – М.: Логос, 2002. – 264 с.
6. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie / J. Braun-Blanquet. – Wien–New York: Springer-Verlag, 1964. – 865 s.
7. Пугачевский, А.В. Методические подходы к оценке и картографированию состояния и устойчивости к антропогенным нагрузкам насаждений городов / А.В. Пугачевский, Л.А. Кравчук, А.В. Судник, А.А. Моложавский // Природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 33–44.
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. – P. 237–254.

Поступила в редакцию 5.05.2010

Адрес для корреспонденции: 246019, г. Гомель, ул. Советская, д. 104, УО «ГГУ им. Ф. Скорины», геолого-географический факультет, e-mail: gusev@rgsu.by – Гусев А.П.