

## **Динамика структуры ландшафтного покрова и современное состояние лесных экосистем**

Гомельский государственный университета им. Ф. Скорины, г. Гомель  
e-mail: gusev@jgsu.by, t\_asha@mail.ru

**Аннотация.** Изучены изменения землепользования в 1930-2013 гг. на двух тестовых участках (юго-восток Беларуси). Проведена оценка фрагментации ландшафтного покрова с помощью ландшафтных метрик. Выполнен сравнительный анализ состояния лесных экосистем, различающихся предшествующей историей землепользования. Выявлены особенности растительности лесных экосистем, сформировавшихся на месте бывших сельскохозяйственных земель.

**Ключевые слова:** ландшафт, землепользование, растительность, ландшафтные метрики.

### **Введение**

Ландшафтная структура имеет важное экологическое значение, поскольку влияет на хозяйственное освоение территории, имеет существенное значение для поддержания биоразнообразия и экосистемных услуг, связана с устойчивостью экосистем [1,2]. Значительную роль в формировании структуры современных ландшафтов приобретает антропогенный фактор, который обуславливает в лесных природных зонах сокращение и фрагментацию лесного покрова.

Фрагментацию обычно рассматривают как процесс, который включает потерю местообитаний, сокращение их размера и/или увеличение изоляции пятен местообитаний. Установлены различные, но тесно связанные, отрицательные эффекты фрагментации: изменение абиотических условий (трансформация микроклимата, увеличение уровня шума, рост загрязнения поверхностных вод и т.д.); прямое воздействие на фауну (рост смертности, модификация поведения, инвазии); нарушение функционирования экосистем за счет разрушения системы биотических связей [2,3,4].

Вторым аспектом экологического значения ландшафтной структуры является эффект наследия (legasy effect), под которым понимается влияние на современную структуру и функционирование экосистем прошлых нарушений (т.е. современный экологический ответ на прошлое воздействие). Предшествующие условия (история землепользования, пожары, инвазии и т.д.) накладывают отпечаток на современный растительный покров и являются важным фактором динамики ландшафтов, изучение истории землепользования позволяет объяснять особенности современного состава и динамики лесных сообществ.

Целью исследований являлось выяснение экологических эффектов, обусловленных особенностями динамики землепользования. В качестве объекта выступали лесные экосистемы природно-антропогенных ландшафтов юго-востока Беларуси. Решаемые задачи: изучение переходов между типами землепользования в 1930-2013 гг.; количественная оценка с помощью ландшафтных метрик изменений структуры ландшафтного покрова во времени; оценка фрагментации лесного покрова; изучение влияния предшествующего землепользования на современное состояние лесных экосистем.

### **Материалы и методы**

Исследования проводились на двух тестовых участках, расположенных на юго-востоке Беларуси (территории, прилегающие к городу Гомелю). Участок S представляет собой прямоугольник 6,49x8,97 км (площадь 58,22 км<sup>2</sup>) с географическими координатами северо-западного угла 52°22'45" и 30°57'03". Участок N – прямоугольник 5,88x12,53 км (площадь 73,68 км<sup>2</sup>) с координатами северо-западного угла 52°29'58" и 30°49'41". Климатические особенности района исследований: средняя температура самого холодного месяца (январь) – -7°C; средняя температура самого теплого месяца (июль) – +18.5°C; годовая сумма температур выше 10° – 2400-2500 градусов; годовое количество осадков – около 630 мм; коэффициент увлажнения – 1.3. По гидротермическим показателям территория относится к суббореальным гумидным (широколиственно-лесным) ландшафтам. На территории тестовых участков преобладают сосновые, широколиственно-сосновые и мелколиственные леса. Преобладающие типы леса – мшистый, орляковый, кисличный, черничный. Средний возраст древостоев составляет 60-70 лет. Позднесукцессионные (климаксовые) сообщества представлены полидоминантными широколиственными лесами (*Quercus robur* L., *Carpinus betulus* L., *Acer platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L., *Tilia cordata* Mill.).

Для составления карт землепользования на двух временных срезах (1930 и 2013 гг.) использовались топографические карты масштаба 1:100000, космоснимки Landsat и материалы

Google Earth. Привязка и оцифровка растров выполнялись в Quantum GIS 1.8.0. Для вычисления ландшафтных метрик использовался программный продукт FRAGSTATS 4.0 [5]. Статистическая обработка выполнялась с помощью STATISTICA 6.0.

Полевые работы по изучению растительности проводились по общепринятой методике геоботанической съемки (метод пробных площадок). Получены характеристики растительности на 228 ключевых участках (каждый ключевой участок характеризуется описаниями на 2-5 пробных площадках).

Оценка состояния древостоя (насаждения) на ключевом участке выполнялась путем расчета индекса состояния древостоя по формуле:  $L_n = (100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4) / N$ , 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). Древостои с индексом состояния 90-100 % относятся к категории «здоровые», 80-89 % – «здоровые с признаками ослабления», 70-79 % – «ослабленные», 50-69 % – «поврежденные», 20-49 % – «сильно поврежденные», менее 20 % – «разрушенные».

### Результаты и их обсуждение

Для оценки изменения структуры ландшафтов тестовых участков были использованы метрики ландшафтного уровня и уровня класса (лесные экосистемы) [5]: LPI – удельная площадь самого большого ареала какого-либо типа землепользования (в %); ED – отношение суммы длин границ ареалов землепользования в ландшафте к его общей площади (м/га); LSI – стандартизированное отношение суммы длин границ ареалов к квадратному корню из общей площади ландшафта (метрика формы); AREA – средняя площадь ареала какого-либо типа землепользования в ландшафте (га); ENN – среднее значение расстояния до ближайшего ареала того же типа (м); SPLIT – отношение площади ландшафта к сумме квадратов площадей всех ареалов; MESH – отношение суммы квадратов площадей всех ареалов к общей площади ландшафта (имеет максимальное значение когда ландшафт представлен одним ареалом). Кроме того, использованы метрики разнообразия: SHDI и SIDI.

Метрики ландшафтного уровня отражают изменение структуры ландшафтного покрова в целом. За рассматриваемый период на участке N значение LPI уменьшилось в 2,8 раза, а на участке S осталась на прежнем уровне (табл. 1). ED на участке N увеличилась в 2,1 раза, а на участке S только в 1,3 раза и т.д. Это указывает на более значительное преобразование структуры ландшафтного покрова на участке N. Общие тенденции изменений на обоих участках: а) увеличение фрагментации ландшафтного покрова (рост значений ED, LSI, MESH, SPLIT); б) увеличение разнообразия ландшафтного покрова (рост значений SHDI, SIDI).

Таблица 1.

#### Изменение ландшафтной структуры 1930-2013 гг.

Ландшафтная метрика	Участок S		Участок N	
	1930	2013	1930	2013
Ландшафтный уровень				
LPI	21,7	24,9	47,7	17,2
ED	36,6	46,9	23,4	49,8
LSI	7,8	9,8	6,1	11,7
MESH	503	737	2092	555
SPLIT	11	7,6	3,5	13,1
SHDI	1,41	1,44	1,22	1,617
SIDI	0,664	0,680	0,62	0,734
Уровень класса (лесные экосистемы)				
LPI	21,7	24,9	23,6	15,5
ED	16,2	23,1	6,3	14,2
LSI	4,9	6,8	2,9	6,5
AREA	328	133	339	69,6
ENN	59	65	163	216

Метрики уровня класса отражают изменения одного из типов землепользования, в частности лесных экосистем. В течение рассматриваемого временного отрезка для лесных экосистем характерны следующие изменения. Для участка S значения AREA (т.е. средняя площадь лесных массивов) сократились в 2,5 раза, а для участка N – в 4,8 раза; значения LSI (показатель сложности формы ареалов лесных экосистем) – соответственно в 1,4 и в 2,2 раза. На участке S значения LPI (максимальная площадь ареала леса) увеличились, а на участке N – уменьшились. ENN (расстояние между лесными массивами) на участке N выросло в 1,3 раза, а на участке S осталось на прежнем уровне. Значения ED на обоих участках возросли: S – в 1,4 раза, N – в 2,3 раза. Исходя из этих

результатов, фрагментация и изоляция ареалов лесных экосистем на участке N за указанный период значительно увеличилась. На участке S общее разнообразие и фрагментация ландшафтного покрова также выросли, но крупные лесные массивы сохранились.

Сравнительный анализ ландшафтного покрова на двух временных срезах дает возможность выяснить предшествующее состояние лесных земель в различных ландшафтах. В табл. 2 показаны матрицы переходов (в % площади) между типами землепользования за период 1930-2013 гг.

Таблица 2.

Матрица переходов между формами землепользования 1930-2013 гг.

Землепользование	Леса	Болота	Луга	Пашня	Застройка	Водоемы	Площадь в 1930 г., %
Леса	73,5*	7,4	6,7	2,6	9,8	0,0	27,9
	81,2**	1,0	5,4	1,0	11,2	0,2	46,6
Болота	0,0	7,5	65,2	12,8	9,7	4,8	2,2
	25,4	38,3	4,9	1,7	29,7	0,0	7,1
Луга	7,2	2,0	32,3	43,8	13,2	1,4	14,6
	19,6	5,8	49,3	3,5	21,2	0,5	19,1
Пашня	6,4	0,8	5,2	65,5	22,1	0,0	53,0
	2,4	0,6	2,9	78,2	18,9	0,0	
Застройка	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	2,3
	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	3,1
Водоемы	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,0	8,2	12,5	0,0	0,0	79,2	2,9
Площадь в 2013, %	24,9	3,0	10,8	42,0	19,0	0,3	100,0
	43,9	4,7	13,3	17,9	17,8	2,5	100,0

\* - участок N; \*\* - участок S

На участке S из существующих в 1930-х гг. лесов 168 га перешло в луга, 31 га – в болота, 31 га – в пашню, 7 га – в водные объекты, 351 га – застроено. Таким образом, от существовавших в 1930-х гг. лесов к 2013 г. сохранилось около 80%. В течение рассматриваемого периода времени шел также и обратный процесс: залесение пустошей и бывших сельскохозяйственных земель. На месте лугов образовалось 251 га, на месте пашни – 34 га, на месте осушенных болот – 121 га современных лесов (т.е. 14% лесов участка S в 2013 г.). На участке N из существующих в 1930-х гг. лесов 154 га заболочено, 141 га перешло в луга, 54 га распаханно, 206 га занято застройкой и полигонами отходов (в сумме 26,5% всех лесов). Процесс лесовозобновления привел к образованию лесов на лугах (78 га или 4,2% современных лесов) и пашне (255 га или 13,6% современных лесов). Причем, динамика лесов в моренно-зандровом и аллювиальном террасированном ландшафтах этого участка сильно различаются. В моренно-зандровом ландшафте (занимает 63% территории тестового участка) от лесов, существовавших в 1930-е гг., осталось 3,5 га (менее 3%). Практически все современные леса здесь образованы на бывшей пашне (90%) или лугах (7%). Основными тенденциями изменения землепользования на тестовых участках являлась расширение площади застройки, которое было вызвано ростом жилых и промышленных районов города Гомеля. За рассматриваемый период времени на площадь застройки увеличилась на участке N – в 7,5 раза, на участке S – в 5,7 раза.

Для изучения влияния истории землепользования на современное состояние лесного покрова было выделено два типа динамики: 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.

Леса на бывших сельскохозяйственных угодьях характеризуются повышенной степенью поврежденности древостоя вредителями (осины – трутовиком, сосны – раком-серянкой и корневой губкой, березы – корневой губкой). Высокая степень поврежденности обуславливает рост сухостоя, что, в свою очередь, увеличивает риск пожаров. Анализ распространения пожаров показал, что на территории тестового участка N в лесах, созданных на месте сельскохозяйственных земель, следы пожаров отмечались на 53% пробных площадок, в длительно существующих лесах – на 39%. На территории тестового участка S в лесах, созданных на месте сельскохозяйственных земель, следы пожаров отмечены на 50% пробных площадок, в длительно существующих лесах – на 27,5%. Так, лесопосадки на территории Макеевского лесничества (находиться в пределах участка N), созданные на месте сельскохозяйственных земель и пустошей в 1940-е гг., подвержены частым низовым пожарам (до 30% площади за 10 лет).

Оценка жизненного состояния древостоя в лесных экосистемах, различающихся предшествующей историей, показала, что степень повреждения существенно выше в лесах, сформировавшихся на сельскохозяйственных землях (табл. 3). Так, на большей части ключевых участков в лесах на месте бывших сельскохозяйственных земель отмечаются поврежденные (45%) и сильно поврежденные

(35%) древостои, полностью отсутствуют здоровые древостои. Разрушенные древостои ( $L_n < 20$ ) отмечаются здесь на 5% ключевых участков.

На ключевых участках в длительно существующих лесах преобладают здоровые (25%) и здоровые с признаками ослабления древостои (30,6%). Разрушенный древостой отмечен только на одном ключевом участке (0,9%). Соответственно среднее значения индекса состояния ( $L_n$ ) для таких лесов существенно выше, чем в лесах на месте бывших сельскохозяйственных земель (табл. 3).

**Таблица 3.**

**Жизненное состояние древостоя в лесных экосистемах с различной предшествующей историей**

Категория состояния древостоя	A→Л (n=20)	Л→Л (n=108)
Разрушенные	5,0*	0,9
Сильно поврежденные	30,0	10,2
Поврежденные	45,0	20,4
Ослабленные	10,0	14,8
Здоровые с признаками ослабления	10,0	30,6
Здоровые	0	23,1
Индекс состояния ( $L_n$ )	54,4±3,0	74,9±1,7

\* - в % от общего числа ключевых участков.

Сравнительный анализ характеристик растительности лесных экосистем, различающихся предшествующей историей, показал, что леса, сформировавшиеся на месте сельскохозяйственных земель, по многим показателям достоверно отличаются от длительно существующих лесов (табл. 4). Леса на месте сельскохозяйственных угодий имеют меньшее видовое богатство. Значительная доля в составе их флоры приходится на синантропные виды (в 3 раза больше, чем в длительно существующих лесах). Доля лесных видов, напротив, понижена. Наибольшие отличия – в доле неморальных видов (видов класса *Quercus-Fagetea* Br.-Bl. et Vlieger in Vlieger 1937 - мезофитные и мезоксерофитные широколиственные листопадные леса). В лесах на месте бывших сельскохозяйственных земель доля неморальных видов в 4,6 раза меньше, чем в длительно существующих лесах. В таких сообществах отсутствуют полностью или встречаются единично типичные виды широколиственных лесов, как *Fraxinus excelsior* L., *Tilia cordata* Mill., *Carpinus betulus* L., *Corylus avellana* L., *Euonymus verrucosa* Scop., *Euonymus europaea* L., а также многие травянистые растения (*Stellaria holostea* L., *Aegopodium podagraria* L., *Asarum europaeum* L., *Polygonatum multiflorum* (L.) All. и другие).

**Таблица 4.**

**Характеристики лесных экосистем**

Показатель	A→Л (n=32)	Л→Л (n=196)
Видовое богатство, видов на 100 м <sup>2</sup>	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
Естественное возобновление, шт./га	1500±300*	2800±150
Представленность видов класса <i>Quercus-Fagetea</i> , %	6,8±1,5**	31,1±1,7
Представленность видов класса <i>Vaccinio-Piceetea</i> , %	8,3±1,1*	15,1±0,9
Доля адвентивных видов, %	4,8±1,1*	2,4±0,3
Доля адвентивных видов деревьев, % от общего числа древесных видов	14,8±4,4*	5,7±1,0

Уровень значимости отличий по критерию Стьюдента: \*  $p < 0,01$ ; \*\*  $p < 0,001$ .

Различаются спектры жизненных форм: в лесах на месте бывших сельскохозяйственных земель выше доля терофитов (в 2,6 раза) и ниже доля фанерофитов (в 1,4 раза). Достоверно отличается такой показатель, как численность естественного возобновления древесных видов (табл. 5). Причем, в составе естественного возобновления в лесах на месте бывших сельскохозяйственных земель значительную долю (более 50%) составляют *Betula pendula* Roth, *Populus tremula* L., *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L.. В длительно существующих лесах 95% от общей численности естественного возобновления составляют позднесукцессионные виды – *Quercus robur* L., *Carpinus betulus* L., *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill.

В лесах на месте бывших сельскохозяйственных угодий наблюдается повышенная доля адвентивных видов, в том числе адвентивных видов деревьев. Так, в травяном покрове присутствуют *Galinsoga parviflora* Cav., *Impatiens parviflora* DC., *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray, *Conyza canadensis* (L.) Cronqist. В подросте – *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.

В лесах на месте сельскохозяйственных угодий имеет место дефицит поздне-сукцессионных видов, как деревьев, так кустарников и трав. В результате, экологические ниши заполнены видами, которые нехарактерны для лесных экосистем. Ослабленность и поврежденность древостоя также способствует проникновению в леса синантропных и адвентивных видов, поскольку вызывает увеличение освещенности нижних ярусов.

Таким образом, общими тенденциями изменений ландшафтной структуры тестовых участков в 1930-2013 гг. являлось увеличение фрагментации и разнообразия ландшафтного покрова, снижение средней площади ареалов лесных экосистем и рост их изоляции. Анализ матриц переходов между типами землепользования показал, что часть современных лесов (около 14%) образовано на месте бывших сельскохозяйственных земель; причем в моренно-зандровом ландшафте на бывших сельскохозяйственных угодьях образовано 97% всех лесов.

Леса на бывших сельскохозяйственных угодьях по сравнению с длительно существующими лесами характеризуются повышенной степенью поврежденности древостоя вредителями, что, вероятно, обуславливает повышенную частоту низовых пожаров (в 1,4-1,8 раза). Оценка жизненного состояния древостоя в лесных экосистемах, различающихся предшествующей историей, показала, что степень повреждения существенно выше в лесах, сформировавшихся на сельскохозяйственных землях. На большей части ключевых участков в лесах на месте бывших сельскохозяйственных земель отмечаются поврежденные (45%) и сильно поврежденные (35%) древостои, полностью отсутствуют здоровые древостои.

Сравнительный анализ характеристик растительности лесных экосистем, различающихся предшествующей историей, показал, что леса, сформировавшиеся на месте сельскохозяйственных земель, имеют меньшее видовое богатство, повышенную представленность синантропных видов (в 3 раза больше, чем в длительно существующих лесах), пониженную представленность лесных видов (особенно неморальных видов), повышенную долю адвентивных видов.

### **Література**

1. Turner M. Landscape ecology: The Effect of Pattern on process / M. Turner // Annual Review of Ecology and Systematic. – 1989. – V.20. – P.171-197.
2. Wu J. Ecological Dynamics in Fragmented Landscapes / J. Wu // Princeton Guide to Ecology. Princeton University Press. – 2009. – P.438-444.
3. Llausas A. Indicators of landscape fragmentation: The case for combining ecological indices and the perceptive approach / A. Llausas, J. Nogue // Ecological Indicators. – 2012. – V. 15. – P. 85–91.
4. Boutin S. Landscape ecology and forest management: developing an effective partnership / S. Boutin, D. Hebert // Ecological Applications. – 2002. – V. 12 (2). – P. 390–397.
5. McGarigal K. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, project homepage [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.

**Анотація.** А. П. Гусев, Н. С. Шпилевська *Динаміка структури ландшафтно́ї покрива і сучасний стан лісових екосистем.* Вивчено зміни землекористування в 1930-2013 рр. на двох тестових ділянках (південний схід Білорусі). Проведена оцінка фрагментації ландшафтного покриву за допомогою ландшафтних метрик. Виконано порівняльний аналіз стану лісових екосистем, що розрізняються попередньою історією землекористування. Виявлено особливості рослинності лісових екосистем, що сформувалися на місці колишніх сільськогосподарських земель.

**Ключевые слова:** ландшафт, землекористування, рослинність, ландшафтні метрики.

**Abstract.** A. P. Gusev, N. S. Shpileuskaya *Dynamics of structure of a landscape cover and contemporary state of wood ecosystems.* Land use changes in 1930-2013 on two test areas (the southeast of Belarus) are studied. Landscape metrics estimate a fragmentation of a landscape cover. The comparative analysis of a condition of the wood ecosystems differing with previous history of land use is made. Features of vegetation of wood ecosystems on the former arable lands are revealed.

**Keywords:** landscape, land use, vegetation, landscape metrics.

*Поступила в редакцію 17.01.2014 г.*