

ДИАГНОСТИКА ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ ФИТОИНДИКАЦИИ

А. П. Гусев

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Беларусь

Поступила в редакцию 21 января 2016 г.

Аннотация: В работе рассматривается оценка ландшафтно-экологической ситуации на основе фитоиндикационных признаков. Критерий оценки – пространственное соотношение процессов дегградации (дигрессивные сукцессии и нарушения) и восстановления (восстановительные сукцессии) растительного покрова. Разработанная методика апробирована на 3 тестовых участках.

Ключевые слова: ландшафт, ландшафтно-экологическая ситуация, фитоиндикация, сукцессии растительности.

Abstract: This paper considers the assessment of landscape-ecological situation on the basis of phytoindication features. The assessment criterion is the spatial relationship of degradation processes (digressive succession and disturbance) and recovery (regenerative succession) of vegetation. This developed method was tested on 3 test sites.

Key words: landscape, landscape-ecological situation, phytoindication, succession of vegetation.

Под ландшафтно-экологической ситуацией понимается пространственное сочетание природных и антропогенных условий и факторов, определяющих экологическое состояние ландшафта в конкретный промежуток времени. Степень остроты (напряженности) ландшафтно-экологической ситуации выступает интегральным показателем экологического состояния ландшафта. На сегодняшний день при оценке ландшафтно-экологических ситуаций мало учитывают динамический характер природных систем. Оценка в подавляющем большинстве случаев направлена на фиксацию существующего состояния ландшафта и не разработана в динамическом аспекте. Критерии оценки не учитывают тот факт, что для природных геосистем представляет угрозу не столько антропогенное уничтожение какой-либо части биоты, а сколько разрушение механизма ее самовосстановления и саморегулирования [8, 11, 12].

Процессы дегградации и восстановления геосистем проявляются в динамике растительности: в сукцессиях (направленных сменах сообществ в пределах однородного ареала) и хорологических сменах мозаик растительных сообществ. По сук-

цессиям, идущим в настоящее время, можно судить о потенциальной растительности и о потенциально возможных экосистемах [4, 11]. Исходя из этого, соотношение площадей с дегградационной (дигрессивной) и восстановительной динамикой растительности может быть использовано как индикатор экологического состояния ландшафта.

Исследования проводились на 3 тестовых участках, расположенных на юго-востоке Белоруссии.

Участок О (9,07 × 6,78 км, площадь 61,49 км²) расположен на северо-востоке города Гомеля, захватывая северный промышленный узел и прилегающую сельскохозяйственную территорию. Природная подсистема представлена моренно-зандровым ландшафтом. Рельеф – волнисто-увалистый. Литогенная основа – моренные отложения, сложенные переслаиванием моренных супесей и суглинков.

Участок N (5,88 × 12,53 км, площадь 73,7 км²) находится на северо-западе города Гомеля. Природная подсистема состоит из двух родов ландшафтов: моренно-зандровым (холмисто-увалистый рельеф, поверхностные отложения – супеси и лессовидные суглинки) и аллювиальным террасированным (плоско-волнистый рельеф, поверхностные отложения – пески).

Участок S (6,49×8,97 км, площадь 58,22 км²) занимает крайнюю южную часть городской застройки Гомеля и прилегающие лесные массивы. Природная подсистема представлена аллювиальным террасированным ландшафтом. Рельеф плосковолнистый. Литогенная основа – древнеаллювиальные отложения позднеплейстоценового возраста, локально водноледниковый субстрат среднеплейстоценового возраста (пески, супеси).

Полевые работы по изучению растительности в пределах тестовых участков проводились в 2002–2015 годы по общепринятой методике геоботанической съемки (метод пробных площадок [9]). Размер пробных площадок от 25 (начальные стадии) до 400 (лесные стадии) м². Получены характеристики растительности различного сукцессионного статуса на 1350 пробных площадках. В районе каждой пробной площадки определялись показатели антропогенного воздействия и выяснялись природно-ландшафтные условия (тип почв, состав почвообразующих пород, глубина залегания грунтовых вод, проявления современных геолого-геоморфологических процессов).

Для изучения растительного покрова дополнительно использовались данные космического сканирования (Landsat 5, Landsat 7, 8) и материалы Google Earth. Привязка и оцифровка растров выполнялись в Quantum GIS 2.6.0.

Для лесных стадий проводилась оценка состояния древостоя и онтогенетических спектров доминирующих древесных пород. Оценка состояния древостоя на ключевом участке выполнялась путем расчета индекса состояния 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). Оценка возрастных состояний деревьев и сукцессионного статуса лесных сообществ проведена по методике О. В. Смирновой [10].

Коэффициент экологической стабильности ландшафта (K_c) определялся по формуле

$$K_c = \sum s_i \cdot k_i \cdot g,$$

где s_i – удельная площадь вида землепользования; k_i – экологическая значимость этого вида землепользования (частный коэффициент стабильности); g – коэффициент геолого-геоморфологической устойчивости рельефа [1].

Фитоиндикационная оценка ландшафтно-экологической ситуации базируется на: 1) представ-

лении о связи между антропогенной нарушенностью ландшафта и степенью завершенности рядов восстановительных сукцессий растительности (чем больше нарушенность, тем на более ранних стадиях останавливается сукцессия); 2) представлении о способности растительности отражать прямое и косвенное антропогенное воздействие в виде пространственно-временных рядов сообществ [4, 7].

Дигрессивная динамика вызывается различными природно-антропогенными процессами, которые в большинстве случаев отражаются в состоянии растительного покрова и могут быть представлены в виде рядов аллогенной (экзогенной) сукцессии или нарушений рядов восстановительной сукцессии. В растительном покрове отражаются: а) современные геологические процессы (подтопление, водная и ветровая эрозия); б) дигрессии лесных экосистем, вызванные рекреацией, загрязнением атмосферы, пожарами, рубками; в) деградация растительности, вызванная высоким уровнем загрязнения почв и вод [2, 3, 7].

Каждый указанный процесс отражается в системе фитоиндикаторов. Так, подтопление и заболачивание фиксируется по видовому составу растительности, а контуры ареала подтопления определяются в ходе полевых работ или по космоснимкам. Химическое загрязнение почвогрунтов и вод (в том числе рост содержания растворимых солей) также диагностируется по видовому составу растительности, видовому богатству флоры, проективному покрытию, наличию сухостоя деревьев и кустарников. Эрозия диагностируется по видовому составу растительности и космоснимкам. Некоторые диагностические признаки приведены в публикации [3].

Так, например, рост влажности почв, обусловленный подъемом уровня грунтовых вод к земной поверхности, вызывает закономерные сукцессионные смены лесных экосистем: мелколистственный осоковый лес → травяное болото (без древесной растительности); мелколистственный и широколистственный папоротниковые леса → мелколистственный осоковый лес → травяное болото; мелколистственный, смешанный, широколистственный снытевые леса → мелколистственный осоковый лес → травяное болото.

Дигрессивная динамика лесной растительности отражается в деградации древесного яруса, которая оценивается с помощью показателя состояния древостоя (L_n). Дигрессивная динамика диагностируется значениями $L_n < 50$ (категории состо-

Таблица 1

Диагностические признаки дигрессивной динамики лесов

Показатель-индикатор	Характеристика
Индекс состояния древостоя	$L_n < 50$ (категории состояния «сильно поврежденный» и «разрушенный» древостой)
Онтогенетические спектры РСВ и ПСВ	Регрессивные
Общее проективное покрытие, %	Менее 50%
Синантропизация, %	Более 50%
Адвентизация, %	Более 20%

Таблица 2

Диагностические признаки нарушения восстановительных процессов

Нарушение	Признаки	Причины
Задержка на пионерной стадии	Длительный абигенный этап (2-10 и более лет)	Токсичность субстрата, экстремальная сухость субстрата, высокая каменистость субстрата
	Длительная пионерная стадия (3-10 и более лет)	
	Низкое проективное покрытие травянистой растительности	
Задержка на луговой стадии	Длительное время доминирования травянистых растений (более 10 лет)	Ингибирующее влияние рудеральной растительности на самосев деревьев; отсутствие источников семян деревьев, ингибирование сукцессии чужеродными видами-виолентами
	Высокая синантропизация и адвентизация растительности луговых сообществ	
	Отсутствие или низкая численность естественного возобновления деревьев	
Задержка на стадии раннесукцессионного леса	Отсутствие или низкая численность естественного возобновления позднесукцессионных деревьев	Отсутствие источников семян позднесукцессионных видов или угнетение их популяций; отсутствие источников семян позднесукцессионных лесных видов
	Высокая синантропизация и адвентизация растительности лесных сообществ	
	Низкая представленность позднесукцессионных лесных трав	

яния «сильно поврежденный» и «разрушенный» древостой). При значениях $L_n > 50$ проводится анализ онтогенетических спектров раннесукцессионных (РСВ) и позднесукцессионных (ПСВ) видов деревьев. В случае регрессивных спектров как раннесукцессионных, так и позднесукцессионных видов деревьев диагностируется дигрессия. При других сочетаниях онтогенетических спектров в качестве дополнительных критериев рассматриваются синантропизация и адвентизация лесной растительности (таблица 1).

Нарушение восстановительных процессов диагностируется по задержкам сукцессий на тех

или иных стадиях [5]. Задержка восстановительной сукцессии оценивается относительно региональной нормы – скорости восстановления зональной растительности в ненарушенных или слабонарушенных ландшафтах. Фоновые показатели восстановительных сукцессий (продолжительность стадий, их характеристики) устанавливаются на основе геоботанических наблюдений на постоянных пробных площадках. Диагностические признаки нарушения восстановительных процессов систематизированы в таблице 2.

По особенностям потенциально возможного протекания дигрессивных и восстановительных

Таблица 3

Признаки задержки сукцессии на нелесных стадиях

Показатель-индикатор	Норма	Задержка
Продолжительность нелесных стадий, лет	до 10 лет	более 10
Время появления первых деревьев, лет	1-5	более 5
Численность подроста деревьев, штук/га	более 1000	менее 1000
Степень синантропизации, %	до 30,0	более 30,0
Степень адвентизации, %	до 10,0	более 10,0
Проективное покрытие чужеродных виды-трансформеров, %	до 1,0	более 25,0

Таблица 4

Критерии оценки ландшафтно-экологической ситуации

Показатель	Напряженность ландшафтно-экологической ситуации			
	Нормальная	Удовлетворительная	Критическая	Кризисная
	1 балл	2 балла	3 балл	4 балла
K_c	>0,50	0,33-0,50	0,0-0,33	<0,0
Площадь территорий с дигрессивной динамикой, %	<5	5-25	25-50	>50
Площадь территорий, на которых сукцессия задерживается на пионерной стадии, %	<1	1-5	5-25	>25
Площадь территорий, на которых сукцессия задерживается на нелесных стадиях, %	<5	5-25	25-50	>50
Площадь территорий, на которых восстановительные сукцессии протекают в нормальном режиме, %	>50	50-25	25-5	<5

сукцессий в пределах ландшафта выделяются: 1) территории с дигрессивной динамикой; 2) территории, на которых восстановительная сукцессия задерживается на пионерных стадиях; 3) территории, на которых восстановительная сукцессия задерживается на бурьянных и луговых стадиях; 4) территории, на которых восстановительная сукцессия задерживается на стадии раннесукцессионного леса (мелколиственные и сосновые леса); 5) территории, на которых восстановительная сукцессия протекает в нормальном режиме, без существенных задержек на тех или иных стадиях.

Значительная продолжительность и низкое покрытие растительности пионерной стадии благоприятствуют активному протеканию процессов водной и ветровой эрозии и связанному с ними выносу элементов минерального питания, органического вещества, разрушению гумусового горизонта. По мере увеличения способности противодействовать этим негативным процессам растительные сообщества образуют ряд: сообщества

однолетников; сообщества многолетних трав; сообщества многолетних злаков (луговые); лесные сообщества с доминированием деревьев. Чем быстрее сукцессия проходит начальные (нелесные) стадии и приводит к формированию сомкнутого древесного насаждения, тем меньше риск деградации экотопа и больше вероятность его восстановления. Кроме того, пионерная, бурьянная и луговая стадии – это «инвазионное окно», через которое в ландшафт проникают чужеродные виды. Инвазии чужеродных видов придают сукцессии непредсказуемый характер, ингибируют дальнейший ход сукцессии. Чем больше продолжительность этих стадий, тем больше риск инвазий чужеродных видов. Если условия субстрата неэкстремальны (т.е. пригодны для поселения большинства видов растений, участвующих в сукцессии), то длительность пионерной стадии, представленной сообществами терофитов, составляет 1-2 года. В климатических условиях юга Белоруссии нелесные стадии восстановительных сукцес-

сий, как правило, имеют продолжительность до 10 лет (таблица 3).

Оценка ландшафтно-экологической ситуации основывается на анализе соотношения указанных категорий и уровня антропогенного преобразования современного растительного покрова. Уровень антропогенного преобразования растительного покрова определяется на основе коэффициента экологической стабильности ландшафта – K_c . Критерии оценки приводятся в таблице 4.

Индекс напряженности ландшафтно-экологической ситуации рассчитывается по формуле:

$$H_{лэс} = \sum H_i / n,$$

где H_i – напряженность по i -му показателю, балл; n – число используемых показателей. Значения $H_{лэс}$ изменяются от 1 до 4 баллов. Предлагаются следующие градации ландшафтно-экологической ситуации: нормальная – менее 1,50; удовлетворительная – 1,51-2,50; критическая – 2,51-3,50; кризисная – более 3,51. Очевидно, что при сильной антропогенной трансформация ландшафта ($K_c < 0$) ландшафтно-экологическая ситуация может быть удовлетворительной, если для значительной площади характерен высокий потенциал самовосстановления растительности (т.е. отсутствуют дигрессии и задержки сукцессии).

Рассмотрим применение вышеуказанной методики оценки ландшафтно-экологической ситуации по динамике растительности на 3 тестовых участках в природно-антропогенных ландшафтах на юго-востоке Белоруссии (таблица 5).

Оценка по коэффициенту экологической стабильности показывает, что участок О обладает очень низкой стабильностью, более того сам выступает источником дестабилизации окружающего ландшафта (отрицательное значение K_c). Наиболее высокая экологическая стабильность характерна для участка S.

На участке О дигрессии лесных экосистем составляют 31,1 га (0,5 % от всей площади или 19,6 % от площади лесов). Основным фактором дигрессии лесов является рекреация. Подтопление и заболачивание территории распространено на площади 219,4 га (3,6 % площади участка). Водной эрозии подвержены 188,3 га (3,1 % площади участка). Всего такими процессами охвачено 438,8 га или 7,2 % всей площади участка.

На участке N дигрессии лесных экосистем зафиксированы на 48,3 га (0,6 % всей площади или 2,6 % от площади лесов). Подтоплено 228,7 га (3,0 % площади участка). Наиболее крупные зоны

техногенного подтопления наблюдаются вблизи полигона фосфогипса Гомельского химического завода (более 110 га) и полигона твердых бытовых отходов (более 25 га). Водная эрозия распространена на 106,6 га (1,4 % всей площади). Отмечается засоление почвогрунтов (207,8 га или 2,8 % площади участка). Этот процесс наблюдается в зоне влияния отвалов фосфогипса Гомельского химического завода. В почвогрунтах отмечается увеличение минерализации (в 9,6 раз по сравнению с фоном), содержания сульфат-иона (в 9,1 раза), содержания фосфора фосфатного (в 50 раз), содержания азота аммонийного (в 4,8 раза), содержание иона алюминия (в 5 раз). Всего дигрессивным процессам подвержено 589,4 га (7,8 % площади участка).

На участке S дигрессия лесных экосистем (преимущественно вызвана рекреацией и пожарами) распространена на площади 93,7 % (1,6 % от общей площади участка или 3,1 % от площади лесов). Заболачивание охватывает 310,8 га (5,4 % площади участка). Всего дигрессивная динамика растительности обнаруживается на 404,5 га (7,0 % от общей площади участка).

Большую часть площади участка О занимают территории, где наблюдается задержка сукцессии на нелесных стадиях (таблица 5). К территориям, где сукцессия задерживается на пионерной стадии, были отнесены застроенные земли (в том числе полигоны отходов) – пионерная стадия здесь может длиться десятки лет. К территориям, на которых сукцессия задерживается на нелесных стадиях, относятся сельскохозяйственные земли. По наблюдениям на постоянных пробных площадках на заброшенной пашне в моренно-зандровом ландшафте юго-востока Белоруссии нелесные стадии имеют продолжительность более 15-20 лет (норма – до 10 лет). Здесь зафиксированы случаи ингибирования восстановительной сукцессии чужеродными видами растений [6]. Территории, на которых восстановительные сукцессии протекают в нормальном режиме в пределах участка О полностью отсутствуют.

В пределах участка N также значительную часть площади занимают территории, где наблюдаются задержки восстановительных сукцессий (более 60 % площади участка). Но здесь же имеются территории, восстановительные процессы на которых протекают в нормальном режиме (27,2 % от всей площади участка). Они выполняют важные средо- и ресурсовоспроизводящие функции. На участке S на большей части территории (более

Результаты оценки ландшафтно-экологической ситуации на тестовых участках

Показатель	Тестовые участки		
	О	N	S
K_c	-0,03	0,20	0,48
Площадь территорий с дигрессивной динамикой, %	7,2	7,8	7,0
Площадь территорий, на которых сукцессия задерживается на абиотической и пионерной стадиях, %	25,1	18,7	23,8
Площадь территорий, где сукцессия задерживается на нелесных стадиях, %	63,7	47,0	1,7
Площадь территорий, на которых сукцессия протекает в нормальном режиме, %	0	27,2	63,1
Напряженность ландшафтно-экологической ситуации ($H_{лэс}$)	3,6 (кризисная)	2,6 (критическая)	1,6 (удовлетворительная)

60%) сукцессионные процессы идут в нормальном режиме.

Согласно фитоиндикационной оценке в пределах участка О имеет место кризисная ландшафтно-экологическая ситуация. Это обусловлено сильной антропогенной трансформацией растительного покрова (преобладают обрабатываемые и застроенные земли) и существенным нарушением восстановительных процессов (по всей территории имеют место задержки восстановительных сукцессий на той или иной стадии).

Данная территория в течение последних 250 лет (как минимум) представляла собой сельскохозяйственный ландшафт. В настоящее время здесь находятся промышленные и сельскохозяйственные предприятия (завод «Гомелькабель», завод «Гидроавтоматика», завод «Коралл», коммунальные предприятия, агрофермы и другие). Лесистость составляет всего лишь 2,7% (в основном древесные насаждения вдоль транспортных коммуникаций).

Для участка S характерна удовлетворительная ситуация. На большей части экспериментальной площади восстановительные процессы протекают в нормальном режиме, а дигрессии занимают только 7,0% площади. Данная территория стала интенсивно преобразовываться только в XX веке. Современная структура землепользования окружающего ландшафта характеризуется доминированием лесных земель (более 50%). На территории участка находится несколько небольших предприятий (завод «Кристалл», завод химических изделий).

Промежуточное положение занимает участок N, где относительно высокая доля застройки (18,9%) и обрабатываемых земель (42,0%) частично компенсируются лесными массивами (25,2%). Потенциал самовосстановления растительного покрова здесь частично сохранен.

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. Индикаторы деградации лесных ландшафтов Белорусского Полесья в зоне влияния химического производства / А. П. Гусев // География и природные ресурсы. – 2005. – № 4. – С. 145-147.
3. Гусев А. П. Фитоиндикаторы инженерно-геологических процессов на территории города / А. П. Гусев // Природные ресурсы. – 2006. – № 3. – С. 33-40.
4. 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.
5. 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.
6. Гусев А. П. Воздействие инвазии золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) на восстановительную сукцессию на залежах (юго-восток Беларуси) / А. П. Гусев // Российский журнал биологических инвазий. – 2015. – № 1. – С. 10-16.

7. Гусев А. П. Информационно-аналитическая система для оценки нарушенности лесных ландшафтов / А. П. Гусев, А. С. Соколов // Вестник Томского государственного университета. – 2008. – № 309. – С. 176-180.
8. Зональные типы биомов России: Антропогенные нарушения и естественные процессы восстановления экологического потенциала ландшафтов / под ред. К. М. Петрова. – Санкт-Петербург : СПбГУ, 2003. – 246 с.
9. Миркин Б. М. Современная наука о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, А. И. Соломещ. – Москва : Логос, 2002. – 264 с.
10. Смирнова О. В. Методологические подходы и методы оценки климаксового и сукцессионного состояния лесных экосистем (на примере восточноевропейских лесов) / О. В. Смирнова // Лесоведение. – 2004. – № 3. – С. 15-27.
11. Turner M. Landscape ecology: The Effect of Pattern on process / M. Turner // Annual Review of Ecology and Systematic. – 1989. – V. 20. – P. 171-197.
12. Wu J. Ecological Dynamics in Fragmented Landscapes / J. Wu // Princeton Guide to Ecology. – Princeton University Press, 2009. – P. 438-444.
1. Agroekologiya / pod red. V. A. Chernikova, A. I. Chekeresa. – Moskva : Kolos, 2000. – 536 s.
2. Gusev A. P. Indikatory degradatsii lesnykh landshaftov Belorusskogo Poles'ya v zone vliyaniya khimicheskogo proizvodstva / A. P. Gusev // Geografiya i prirodnye resursy. – 2005. – № 4. – S. 145-147.
3. Gusev A. P. Fitoindikatory inzhenerno-geologicheskikh protsessov na territorii goroda / A. P. Gusev // Prirodnye resursy. – 2006. – № 3. – S. 33-40.
4. Gusev A. P. Suktsessionnaya sistema kak osnova fitoindikatsii dinamiki landshaftov (na primere Poleskoy landshaftnoy provintsii) / A. P. Gusev // Prirodnye resursy. – 2008. – № 2. – S. 51-62.
5. Gusev A. P. Osobennosti suksessiy rastitel'nosti v landshaftakh, narushennykh deyatel'nost'yu cheloveka (na primere yugo-vostoka Belorussii) / A. P. Gusev // Sibirskiy ekologicheskii zhurnal. – 2012. – № 2. – S. 231-236.
6. Gusev A. P. Vozdeystvie invazii zolotarnika kanadskogo (*Solidago canadensis* L.) na vosstanovitel'nyuyu suksessiyyu na zalezakh (yugo-vostok Belarusi) / A. P. Gusev // Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy. – 2015. – № 1. – S. 10-16.
7. Gusev A. P. Informatsionno-analiticheskaya sistema dlya otsenki narushennosti lesnykh landshaftov / A. P. Gusev, A. S. Sokolov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2008. – № 309. – S. 176-180.
8. Zonal'nye tipy biomov Rossii: Antropogennyye narusheniya i estestvennye protsessy vosstanovleniya ekologicheskogo potentsiala landshaftov / pod red. K. M. Petrova. – Sankt-Peterburg : SPbGU, 2003. – 246 s.
9. Mirkin B. M. Sovremennaya nauka o rastitel'nosti / B. M. Mirkin, L. G. Naumova, A. I. Solomeshch. – Moskva : Logos, 2002. – 264 s.
10. Smirnova O. V. Metodologicheskie podkhody i metody otsenki klimaksovogo i suksessionnogo sostoyaniya lesnykh ekosistem (na primere vostochnoevropeyskikh lesov) / O. V. Smirnova // Lesovedenie. – 2004. – № 3. – S. 15-27.
11. Turner M. Landscape ecology: The Effect of Pattern on process / M. Turner // Annual Review of Ecology and Systematic. – 1989. – V. 20. – P. 171-197.
12. Wu J. Ecological Dynamics in Fragmented Landscapes / J. Wu // Princeton Guide to Ecology. – Princeton University Press, 2009. – P. 438-444.

REFERENCES

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

Gusev Andrey Petrovitch
PhD in Geological-mineralogical sciences, Associate Professor of the Chair of Ecology, Dean of Geology and Geography Department of Gomel State University, named after F. Skoryna, Gomel, tel. (0232) 57-00-33, E-mail: andi_gusev@mail.ru