

ПОТЕНЦИАЛ САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЕОСИСТЕМ И ЕГО ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ ФИТОИНДИКАЦИИ

In work results of studying regenerative successions of vegetation in the geosystems having a various level of anthropogenous transformation are considered. Diagnostic attributes of degradation of potential of self-restoration are revealed.

Потенциал самовосстановления геосистем – способность геосистем восстанавливать свою структуру, средообразующие и ресурсовоспроизводящие функции после внешнего воздействия. Высокий потенциал самовосстановления обеспечивает возможность длительного ведения хозяйственной деятельности и благоприятные условия проживания населения. Понятие потенциала самовосстановления тесно связано с понятием экологического равновесия, сохранение которого является основой для определенного уровня хозяйства, возможностей его развития и сохранения природной среды [1].

Риск нарушения экологического равновесия может оцениваться по степени деградации потенциала самовосстановления геосистем. Снижение потенциала самовосстановления локальных геосистем увеличивает риск нарушения экологического равновесия в геосистемах более высокого ранга. В процессах самовосстановления геосистем важную роль играют сукцессии растительности [2], обуславливающие возобновление почвенного покрова, микроклимата, водного режима, других компонентов геосистемы, что позволяет оценить потенциал самовосстановления геосистем по признакам растительного покрова.

Целью наших исследований являлось изучение сукцессионных процессов как индикаторов потенциала самовосстановления геосистем на примере юго-востока Беларуси. Решались следующие задачи: изучение закономерностей восстановительных сукцессий растительности в природных и природно-антропогенных геосистемах данного региона; исследование факторов, влияющих на ход восстановительной сукцессии; выявление отличий сукцессий в сильнонарушенных и малонарушенных геосистемах; определение диагностических признаков деградации потенциала самовосстановления.

Полевые работы по изучению растительности проводились по стандартным методикам – методами пробных площадей, экологического профилирования и маршрутным. Размер пробных площадок от 25 (начальные стадии) до 400 м² (лесные стадии). Геоботаническое описание различных стадий сукцессий выполнялось в природных и природно-антропогенных геосистемах юго-востока Беларуси (широколиственные, широколиственно-сосновые, сосновые, мелколиственные леса, вырубki, строительные площадки, пустыри, залежи, отвально-карьерные комплексы месторождений полезных ископаемых, полигоны твердых промышленных и бытовых отходов). Получены характеристики растительности на 182 ключевых участках, имеющих различный сукцессионный статус (%): пионерная стадия – 17; бурьянная стадия – 22,5; луговая стадия – 15,4; стадия раннесукцессионного леса – 21,9; стадия позднесукцессионного леса – 23,2. Временной интервал сукцессий – от первых лет до первых сотен лет.

Для изучения сукцессионных процессов применялся комплекс фитоиндикационных методов, включающий эколого-флористический и ценопопуляционный методы индикации. Эколого-флористический метод индикации представляет собой комбинированное использование: а) эколого-флористической классификации растительности Браун-Бланке [3]; б) экологических (фитоиндикационных) шкал [4, 5]; в) методик изучения растительного континуума [6]. В его основе лежит исследование видового состава растительности (пробных площадок, синтаксонов, ценоклинов и т. д.), который рассматривается как наиболее надежный и репрезентативный признак, отображающий экологические условия и сукцессионный статус растительности. Ценопопуляционный метод индикации заключается в изучении онтогенетических (возрастных) спектров популяций деревьев [7].

Для характеристики антропогенной нарушенности геосистемы, в которой протекает сукцессия, был использован коэффициент экологической стабильности (K_c), определяемый в скользящем квадрате размером 1×1 км (центр квадрата – пробная площадка или группа близкорасположенных пробных площадок). Данный коэффициент рассчитывался по формуле $K_c = \sum s_i k_i g$, где s_i – удельная площадь категории землепользования; k_i – экологическая значимость этого вида землепользования (частный коэффициент стабильности); g – коэффициент геолого-геоморфологической устойчивости рельефа [8]. Этот показатель имеет ряд преимуществ: может использоваться в различных природных условиях, при любой степени антропогенной трансформации геосистем, различных масштабах оценки, учитывает соотношения площадей и значимость типов землепользования, геолого-геоморфологические факторы, достаточно хорошо апробирован при решении широкого круга задач [9].

В качестве критериев оценки потенциала самовосстановления рассматривались показатели автогенных сукцессий растительности: длительность абиогенного этапа (время от момента формирования

субстрата до появления пионерных группировок), пионерной стадии, общий период нелесных стадий; время появления деревьев (год с начала сукцессии) – показатель, характеризующий скорость формирования лесной экосистемы; общее проективное покрытие растительности (%); видовое богатство (число видов на 100 м²); численность естественного возобновления древесных видов (шт./га); доля терофитов в спектре жизненных форм (% от всех видов), доля фанерофитов в спектре жизненных форм (% от всех видов); представленность видов класса *Quercus-Fagetea* (неморальные широколиственные леса) эколого-флористической классификации Браун-Бланке (% от общего числа видов); представленность лесных видов (виды всех лесных классов растительности, % от общего числа видов); синантропизация (доля видов синантропных классов *Stellarietea media*, *Artemisietea vulgaris*, *Agropyretea gerentis* и других эколого-флористической классификации Браун-Бланке, % от общего числа видов); запас фитомассы (т/га).

Кроме того, использовались показатели адвентизации растительности (характеризуют степень открытости экосистемы для вторжения чужеродных видов; минимальная открытость и соответственно максимальная замкнутость наблюдаются в климаксовых геосистемах): AD_1 – доля адвентивных видов от общего числа видов флоры (% от числа всех видов) характеризует степень адвентизации флоры; AD_2 – доля адвентивных видов в покрытии (% от общего проективного покрытия) характеризует эколого-ценотическое значение адвентивных видов в растительном покрове; AD_3 – доля адвентивных видов деревьев от общего числа древесных видов; AD_4 – доля адвентивных видов деревьев от общей численности естественного возобновления характеризует эколого-ценотическое значение адвентивных деревьев, их способность к самовоспроизводству.

Все описания стадий сукцессий (растительные сообщества) на ключевых участках были сгруппированы в зависимости от нарушенности окружающих геосистем, которая оценивалась по K_c : малонарушенные – $K_c > 0,66$; средненарушенные – $K_c = 0,33 \pm 0,66$; сильнонарушенные – $K_c < 0,33$ (градации, рекомендованные рядом авторов [8, 9]). K_c имеет достоверную корреляцию с лесистостью (коэффициент корреляции Спирмена составил 0,95), распаханностью (–0,38), удельной площадью нарушенных земель (–0,81), средним расстоянием до ближайших климаксовых (квазиклимаксовых) экосистем (–0,86) и т. д., поэтому может рассматриваться как показатель, отражающий степень антропогенной трансформации территории.

В малонарушенных геосистемах наблюдается закономерное изменение по градиенту сукцессии следующих показателей: рост видового богатства, численности естественного возобновления, доли фанерофитов, представленности видов класса *Quercus-Fagetea* и лесных видов, запаса фитомассы; снижение доли терофитов, степени синантропизации, значений всех показателей адвентизации.

Таблица 1

Показатели сукцессии растительности в геосистемах, имеющих различную степень антропогенной нарушенности

Показатель	Малонарушенные геосистемы		Сильнонарушенные геосистемы	
	Нелесные стадии (n=21)	Лесные стадии (n=28)	Нелесные стадии (n=27)	Лесные стадии (n=23)
Время появления деревьев, лет	2,6±0,2		5,4±0,5*	
Средняя продолжительность пионерной стадии, лет	1,1±0,12		2,7±0,48*	
Средняя продолжительность абиогенного этапа, лет	0,0±0,0		1,0±0,28*	
Средняя продолжительность нелесных стадий, лет	7,35±0,53		15,2±0,91*	
Представленность видов класса <i>Quercus-Fagetea</i> , %	1,1±0,3	48,7±4,2	0,4±0,3	11,7±3,1*
Представленность лесных видов, %	3,2±0,7	72,8±2,2	0,4±0,3	15,5±3,2*
Синантропизация, %	47,7±3,9	0,7±0,4	70,5±4,8*	34,0±3,5*
Численность естественного возобновления древесных видов, шт./га	2330±370	4661±359	248±65*	1900±428*
Доля терофитов в спектре жизненных форм, %	20,2±4,7	1,1±0,4	38,9±4,9	10,9±1,5*
Доля фанерофитов в спектре жизненных форм, %	10,2±1,2	45,5±1,4	2,8±1,4	24,7±2,0*
AD_1	7,4±1,2	0,2±0,1	24,4±2,1*	13,1±2,0*
AD_2	7,9±1,4	0,03±0,02	27,8±4,0*	7,5±2,3*
AD_3	0,0±0,0	0,6±0,6	58,4±6,8*	31,4±6,0*
AD_4	0,0±0,0	0,1±0,1	69,2±9,1*	35,2±8,5*

Примечание. * Достоверное отличие от малонарушенных геосистем ($p < 0,05$).

Сравнительный анализ малонарушенных и сильнонарушенных геосистем (табл. 1) выявил существенные отличия протекающих в них сукцессий как на нелесных, так и на лесных стадиях. В сильнонарушенных геосистемах время появления деревьев на градиенте сукцессии увеличивается в 2,1 раза; представленность лесных видов достоверно отличается уже на нелесных стадиях, где она ниже в 8 раз; уровень синантропизации достоверно выше в 1,5 раза, численность естественного возобновления древесных видов существенно ниже – в 9,4 раза, доля терофитов – в 1,9 раза, фанерофитов – в 3,6 раза. Достоверно выше все показатели адвентизации нелесных стадий: неофиты составляют более 20 % от всех видов и до 30 % от общего проективного покрытия; среди естественного возобновления неофитов более 50 % от всех видов и около 70 % от общей численности. В малонарушенных геосистемах адвентизация травяного покрова не превышает 10 %, а подрост адвентивных деревьев отсутствует полностью; представители климаксовой растительности могут появляться уже на начальных стадиях сукцессии. В то же время по ряду показателей нелесные стадии в малонарушенных и сильнонарушенных геосистемах достоверно не отличаются (по видовому богатству, общему проективному покрытию, представленности лесных видов).

Согласно статистическому анализу лесных стадий сукцессии сильнонарушенные геосистемы достоверно отличаются от малонарушенных по всем показателям, кроме общего проективного покрытия. В сильнонарушенных геосистемах представленность видов класса *Quercus-Fagetea* в 4,2 раза и лесных видов в 4,7 раза ниже, чем в малонарушенных геосистемах. Синантропизация лесной растительности в сильнонарушенных геосистемах составляет 10–70 %, тогда как в малонарушенных не превышает 9 %. Среднее значение синантропизации в сильнонарушенных геосистемах выше в 48,6 раза. Существенно отличаются спектры жизненных форм: в сильнонарушенных геосистемах доля терофитов возрастает в 10 раз, а доля фанерофитов уменьшается в 1,8 раза. Для сильнонарушенных геосистем характерна низкая численность естественного возобновления древесных видов – менее 1900 шт./га, что в 2,5 раза ниже средних значений этого показателя в малонарушенных геосистемах.

Указанные различия сукцессий в геосистемах с различным уровнем нарушенности подтверждаются наблюдениями на постоянных пробных площадках за нелесными стадиями (табл. 2).

Таблица 2

Показатели сукцессии растительности на постоянных пробных площадках

Показатель	Год от начала сукцессии			
	1	3	5	7
Представленность лесных видов, %	0*	0	0	3,1
	0**	4,2	5,0	15,8
Синантропизация, %	93,3	60,0	42,8	43,8
	73,7	25,0	25,0	21,1
Видовое богатство, видов на 100 м ²	9,8	10,5	13,4	14,4
	14,0	17,5	15,9	16,5
Численность естественного возобновления древесных видов, шт./га	0	0	20	260
	0	1530	4750	8550
Доля терофитов в спектре жизненных форм, %	80,0	13,3	7,7	18,7
	57,9	0	0	0
Доля фанерофитов в спектре жизненных форм, %	0	0	7,7	12,5
	0	20,8	25,0	26,3
АД ₁	20,0	20,0	19,2	25,0
	10,5	4,2	5,0	5,3
АД ₂	29,3	5,4	7,6	10,1
	16,9	0,6	4,0	3,6
АД ₃	0	0	100	100
	0	0	0	0
АД ₄	0	0	100	100
	0	0	0	0

Примечание. *Сильнонарушенная геосистема, **малонарушенная геосистема.

Особенностью лесных сообществ в сильнонарушенных геосистемах является высокий уровень адвентизации: доля адвентивных видов флоры составляет 13 %, в общем проективном покрытии – 7,5 %, местами может достигать 40 %. Еще выше адвентизация естественного возобновления – около трети общей численности приходится на чужеземные виды деревьев. Анализ онтогенетических спектров древесных видов в сообществах сильнонарушенных геосистем показывает, что практически

во всех возрастных группах адвентивные виды занимают лидирующие позиции. Так, в ювенильной группе преобладают *Acer negundo* L. (35 %), *Acer platanoides* L. (32 %), *Robinia pseudoacacia* L. (5 %); в виргильной и имматурной группах – *Acer negundo* L. (37 %), *Robinia pseudoacacia* L. (17 %), *Acer platanoides* L. (13 %); в молодой генеративной группе – *Acer negundo* L. (24 %), *Populus tremula* L. (17 %), *Robinia pseudoacacia* L. (16 %).

В лесных сообществах сильнонарушенных геосистем в большинстве случаев нормальные спектры характерны для адвентивных *Acer negundo* L. и *Robinia pseudoacacia* L. Аборигенные эдификаторы (*Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill. и т. д.) встречаются фрагментарно или вообще отсутствуют.

Деградация популяций позднесукцессионных видов-эдификаторов вследствие уничтожения лесных массивов на обширных площадях является основной причиной высокой степени адвентизации лесных экосистем в сильнонарушенных геосистемах.

Признаками нарушения восстановительных процессов (снижения потенциала самовосстановления вплоть до его потери) на локальном уровне выступают задержка сукцессии на тех или иных стадиях и рост инвазий адвентивных видов. На основе анализа приведенных результатов изучения сукцессий в геосистемах различной степени нарушенности и с учетом имеющихся в научной литературе данных нами составлена таблица, в которую сведены все основные диагностические признаки (индикаторы) деградации потенциала самовосстановления растительности, указаны их вероятные причины и последствия (табл. 3).

Таблица 3

Диагностические признаки деградации потенциала самовосстановления геосистем (локальный уровень)

Признаки деградации		Причины	Возможные последствия
Задержка сукцессии на нелесных стадиях	Длительный абигенный этап (2–10 лет и более)	Токсичность субстрата	Высокий риск развития эрозийных процессов; высокий риск инвазий адвентивных видов; низкая биологическая продуктивность и биомасса; преобладание выноса биогенных веществ; торможение гумусоаккумуляции и почвообразования
	Длительная пионерная стадия (3–10 лет и более)	Токсичность, экстремальная сухость, высокая каменистость субстрата	
	Отсутствие или низкая численность естественного возобновления раннесукцессионных деревьев	Ингибирующее влияние рудеральной растительности на самосев деревьев; отсутствие источников семян	
	Низкое проективное покрытие травянистой растительности	Токсичность, экстремальная сухость, высокая каменистость субстрата	
Задержка сукцессии на стадиях раннесукцессионного леса	Отсутствие или низкая численность естественного возобновления позднесукцессионных деревьев	Отсутствие источников семян позднесукцессионных видов или угнетение их популяций	Пониженный запас фитомассы и, как следствие, пониженные средообразующие и средозащитные функции (в том числе гидрологическая, почвообразовательная); несбалансированность процессов функционирования; высокая вероятность массового отмирания древостоя; пониженная устойчивость древостоя к вредителям и болезням
	Высокая синантропизация травяной, кустарниковой и древесной растительности	Высокая степень «открытости» экосистемы из-за отсутствия ключевых видов; несформированность лесной фитосреды	
	Низкая представленность видов класса <i>Quercus-Fagetea</i>	Отсутствие источников семян; отсутствие фитосреды, создаваемой позднесукцессионными деревьями-эдификаторами	
Адвентизация растительности	Высокая степень адвентизации естественного возобновления деревьев и кустарников на нелесных стадиях	Обилие источников семян адвентивных видов	Непредсказуемый характер сукцессии; нарушение нормального протекания сукцессионных смен; формирование субклимаксовых травяных, кустарниковых и лесных сообществ, ингибирующих дальнейший ход сукцессии
	Высокая степень адвентизации травяной, кустарниковой и древесной растительности на лесных стадиях	Высокая «открытость» экосистемы из-за отсутствия ключевых видов; наличие экотопов, благоприятных для инвазий	
	Наличие естественного возобновления адвентивных деревьев	Отсутствие или угнетенное состояние популяций позднесукцессионных деревьев	

Таким образом, оценка потенциала самовосстановления геосистем показывает, что малонарушенные геосистемы имеют высокий потенциал самовосстановления (близкий к норме): в ходе сукцессии

нарушенные экосистемы восстанавливаются до климаксовых (квазиклимаксовых), сильнонарушенные геосистемы имеют низкий потенциал самовосстановления – в них восстановительные процессы протекают с существенной задержкой и сукцессия заканчивается на субклимаксовых экосистемах с высокой степенью адвентизации и синантропизации. По соотношению площадей, занятых геосистемами с низким и высоким (нормальным) потенциалом самовосстановления, можно сделать вывод о степени риска нарушения экологического равновесия территории.

1. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М., 1994.
2. Зональные типы биомов России: Антропогенные нарушения и естественные процессы восстановления экологического потенциала ландшафтов / Под ред. К.М. Петрова. СПб., 2003.
3. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Wien; New York, 1964.
4. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. Göttingen, 1974.
5. Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М., 1983.
6. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа, 1998.
7. Смирнова О. В. // Лесоведение. 2004. № 3. С. 15.
8. Волков С.Н. Землеустройство в условиях земельной реформы (экономика, экология, право). М., 1998.
9. Агрэкология / Под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. М., 2000.

Поступила в редакцию 28.05 09

Андрей Петрович Гусев – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, декан геолого-географического факультета ГГУ им. Франциска Скорины.