

СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ К САМОВОССТАНОВЛЕНИЮ

Results of studying vegetation succession in man-disturbed landscapes of Polesie province are considered. The system of an estimation of potential of self-restoration of the geosystems, based on parameters of initial stages of spontaneous vegetation succession is offered. Dependence of speed of self-restoration on toxicity and humidity of a substratum is shown.

Понятие устойчивости геосистем тесно связано с процессами их восстановления. Динамика геосистемы является выражением ее устойчивости, поскольку свидетельствует о ее способности возвращаться к исходному состоянию после нарушений. Соответственно более устойчивыми будут те геосистемы, которые после нарушений наиболее быстро восстанавливают исходное состояние. Существенную роль в устойчивости геосистем играет растительность – важнейший стабилизирующий фактор. Высокая интенсивность биологического круговорота и соответственно биологическая продуктивность служат одним из наиболее важных условий и показателей устойчивости геосистем [1]. Механизмы устойчивости и характер их реакции на внешнее воздействие проявляются в способности растительности (и биоты в целом) поддерживать инвариантные свойства геосистем в ходе сукцессионных смен. Согласно А.А. Тишкову [2], инвариантные свойства геосистемы могут быть представлены как совокупность трех форм «памяти»: суммы генотипов компонентов биоты («память биоты»); консервативных элементов преобразованной растительностью и животными среды, почвообразующей породы («память трансформированного биотой экотопа»); собственно «потенциала инвариантности геосистемы», который является своего рода фоном для развития биоты («память исходного экотопа»).

Для прогнозирования восстановления геосистем после нарушения может использоваться модель сукцессионной системы растительности, которая рассматривается как совокупность всех производных и климаксовых сообществ территории, характеризующейся относительной однородностью макроклимата. Возникающие восстановительные сукцессии представляют собой реакции сукцессионной системы на нарушения и позволяют ей поддерживать собственную относительную стабильность в условиях разнообразных внешних воздействий [3].

Скорость (длительность) восстановительной сукцессии зависит от продуктивности сообществ, соответственно факторы, лимитирующие продуктивность, одновременно ограничивают и скорость сукцессий, определяющую роль при этом играет наиболее дефицитный ресурс [4]. Лимитирующим фактором регионального уровня является климат, точнее, соотношение тепла и влаги. Наиболее интенсивно сукцессии протекают в условиях высокой тепло- и влагообеспеченности. На топологическом уровне скорости сукцессий различаются в зависимости от литологии, рельефа, гидрологических и других условий. Замедление автогенной сукцессии, вплоть до полной ее остановки, в условиях крутых склонов, на неблагоприятных субстратах и т. д. хорошо известно, доказано многочисленными исследованиями и лежит в основе представлений о поликлимаксе [5].

Изучение сукцессионных процессов в техногенно-нарушенных геосистемах выполнялось нами в 1998–2007 гг. в пределах Полесской ландшафтной провинции [6]. Полевые работы по изучению растительности проводились по стандартным методикам (метод пробных площадок и метод экологического профилирования). Размер пробных площадок от 25 (начальные стадии) до 400 м² (лесные стадии). При обработке материалов использовался эколого-флористический метод Браун-Бланке [7]. Для изучения начальных стадий сукцессии использовались повторные геоботанические описания на постоянных пробных площадях; для изучения сукцессии на луговых и лесных стадиях – метод эколого-генетических рядов. Экологические условия субстратов оценивались с помощью фитоиндикационных шкал Элленберга [8].

Критерием для определения степени устойчивости геосистемы к антропогенной нагрузке может служить продолжительность периода возвращения ее в состояние, близкое к исходному [9]. Оценить потенциал самовосстановления можно по длительности, во-первых, сукцессии (время от ее начала до климаксовой стадии), во-вторых, нелесных стадий (время от

начала сукцессии до формирования леса). Время восстановления как критерий оценки устойчивости (экологического риска) имеет существенный недостаток: восстановительные процессы характеризуются значительной длительностью (порядка сотен лет), что не позволяет проверить правильность полученных экспертных оценок непосредственными наблюдениями [10]. Часто определить общую продолжительность сукцессии весьма сложно, но оценка потенциала самовосстановления возможна и на основе анализа начальных стадий процесса.

Основными показателями начальных стадий являются: длительность абиогенного этапа (время от момента формирования субстрата до появления пионерных группировок); длительность начальных стадий (особенно длительность пионерной стадии); общее проективное покрытие растительности на начальных стадиях; эколого-фитоценотическая структура (набор ассоциаций) растительности начальных стадий; общее проективное покрытие на луговой стадии; время появления, состав и численность первых древесных видов (раннесукцессионных); время появления, состав, численность климаксовых (позднесукцессионных) древесных видов и др.

От длительности абиогенного этапа зависят вероятность развития эрозионных процессов и потери запасов элементов минерального питания с водными и воздушными потоками. Общее проективное покрытие пионерной стадии определяет способность растительности предотвратить потерю элементов минерального питания, аккумулируя их в фитомассе (чем большее покрытие и соответственно фитомасса, тем больше элементов будет закреплено в растительном покрове). Значительная продолжительность и низкое покрытие растительности пионерной стадии благоприятствуют активному протеканию процессов водной и ветровой эрозии и связанного с ними выноса элементов минерального питания, органического вещества, разрушению гумусового горизонта. По мере увеличения способности противодействовать этим негативным процессам растительные сообщества образуют ряд сообществ: однолетних, многолетних трав, многолетних злаков (луговые), лесных с доминированием деревьев [11]. Чем быстрее сукцессия проходит начальные (нелесные) стадии и приводит к формированию сомкнутого древесного насаждения, тем меньше риск деградации экотопа и больше вероятность его восстановления. Деревья, являясь эдификаторами (ключевыми видами), оказывают наиболее сильное воздействие на среду, поэтому время их появления и численность естественного возобновления на начальных стадиях определяют скорость восстановления нарушенного экотопа.

Изучение корреляционной зависимости активности эрозионных процессов на начальных стадиях восстановительной сукцессии в нарушенных ландшафтах (полигон отходов фосфогипса, карьеры по добычи песков, строительные пустыри) от ряда факторов показало достоверную связь пораженности территории водноэрозионными процессами (отношение площади водноэрозионных форм рельефа к общей площади территории) с уклоном поверхности (коэффициент корреляции Спирмена – 0,692 при $p < 0,001$; коэффициент корреляции Кенделла – 0,531 при $p < 0,001$) и общим проективным покрытием растительности (соответственно –0,523 при $p < 0,01$ и –0,395 при $p < 0,01$). Сомкнутый растительный покров с покрытием 80÷100 % практически полностью исключает проявление водной эрозии уже на пионерной стадии сукцессии даже при значительных уклонах рельефа (5÷20°).

Названные показатели также позволяют оценить степень экстремальности субстрата. Крайне неблагоприятные условия (обусловленные низким или высоким pH, каменистостью, высоким содержанием солей, нефтепродуктов и т. д.) диагностируются значительной продолжительностью абиогенного этапа (многие годы и даже десятилетия), разреженным растительным покровом начальных стадий, крайне низкой численностью естественного возобновления даже при близком расположении источников семян деревьев. Заселение таких субстратов идет чрезвычайно медленно. Разреженные пионерные группировки не способны оказывать заметного влияния на снижение негативных свойств субстрата. Формирование более или менее сомкнутого покрова происходит по мере выщелачивания и выноса токсичных соединений осадками и стоком. Пионерная растительность не способна преобразовывать субстрат, но способна существовать на нем.

Длительность пионерной стадии определяется: а) наличием банка семян в почвах или расстоянием от источников семян, б) экстремальностью субстрата. 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 Беларуси нелесные стадии восстановительных сукцессий, как правило, имеют продолжительность до 10 лет.

На экстремальных субстратах, например на отвалах фосфогипса (лимитирующие сукцессию факторы – высокая кислотность субстрата и особенности техногенного рельефа), нелесные стадии длятся несколько десятков лет (табл. 1). Несмотря на присутствие источников семян позднесукцессионных видов деревьев вблизи отвалов (на расстоянии до 100 м), даже через 40 лет после начала сукцессии их появление не наблюдается. На пустырях, которые находятся в зоне влияния отвалов (лимитирующий фактор – высокая кислотность субстрата, обусловленная выносом загрязняющих веществ с отвалов), сукцессия развивается быстрее, но здесь формирование фрагментарных древесных насаждений наблюдается только через 20–30 лет после отсыпки отвалов.

Таблица 1

Характеристики нелесных стадий сукцессии на токсичном субстрате

Показатель	Пустыри		Отвалы фосфогипса
	вне зоны влияния отвалов	в зоне влияния отвалов	
Кислотность субстрата по шкале Элленберга на пионерной стадии	6,33±0,17	4,00±0,15	4,00±0,08
Влажность субстрата по шкале Элленберга на пионерной стадии	4,96±0,12	5,25±0,11	5,12±0,18
Длительность абиогенного этапа, лет	<1	5÷10	<10
Длительность пионерной стадии, лет	<2	5÷10	10÷30
Покрываемость растительности, %	70÷95* 90÷100**	>5 30÷90	>1 20÷40
Общая длительность нелесных стадий, лет	10÷12	20÷40	>40

Примечание. * На пионерной стадии, ** на луговой стадии.

В лесном ландшафте, нарушенном строительными работами (прокладка трубопроводов), развитие восстановительной сукцессии протекает относительно быстро и зависит от механического состава, наличия питательных веществ и влажности субстрата. В условиях аллювиальных террасированных ландшафтов, для которых характерен сравнительно однородный песчаный состав поверхностных отложений, фактором, определяющим скорость восстановительной сукцессии, является глубина залегания уровня грунтовых вод. На основе повторных наблюдений на постоянных пробных площадках нами были выявлены особенности протекания восстановительной сукцессии в основных урочищах аллювиального террасированного ландшафта: дюнах, надпойменных террасах, склонах ложбины стока, ложбинах стока. Пробные площадки размещались в однотипных условиях по форме и степени нарушений, связанных со строительными работами: почвенный покров полностью разрушен; субстрат – песчано-супесчаные грунты с включениями перемешанных почвенных горизонтов. В радиусе 100 м отмечалось присутствие источников семян основных древесных видов – сосны, березы повислой, осины, дуба, граба, клена, ольхи черной. Из табл. 2 видно, что наиболее интенсивно восстановительная сукцессия протекает в ложбине стока, где уже к 6–8 году формируются сомкнутые заросли ольхи черной. В целом для всех изученных урочищ, за исключением дюны, уже на начальной стадии характерно образование сомкнутого травяного покрова, сдерживающего проявление эрозионных процессов. Нарушенные экосистемы дюн обладают низким потенциалом самовосстановления, что проявляется в слабом развитии травяного покрова и неудовлетворительном естественном возобновлении древесных видов в течение первого десятилетия сукцессии, что увеличивает риск эрозионных процессов.

**Характеристики нелесных стадий сукцессии
в типичных урочищах аллювиального террасированного ландшафта**

Показатель	Дюна	Надпойменная терраса	Склон ложбины стока	Ложбина стока
Влажность по шкале Элленберга на пионерной стадии	3,87±0,09	5,00±0,10	6,03±0,23	7,05±0,16
Кислотность по шкале Элленберга на пионерной стадии	5,30±0,23	6,33±0,20	6,48±0,23	5,85±0,37
Длительность абиогенного этапа, лет	1÷2	<1	<1	<1
Время появления первых деревьев, лет	5	4	1	1
Среднее проективное покрытие растительности, %	0* 55**	86 100	98 100	95 100
Естественное возобновление деревьев, шт./га	0 100	0 1600	100 2200	550 5050
Предполагаемая длительность нелесных стадий, лет	20÷30	8÷10	8÷10	6÷8

Примечание. * 1-й год после нарушения, ** 5-й год после нарушения.

На основе исследований, выполненных в нарушенных ландшафтах на территории Полеской провинции, разработана система оценки (табл. 3), позволяющая выделять четыре класса (ранга) способности природных геосистем к самовосстановлению: крайне низкая (для восстановления необходимо проведение технической и биологической рекультивации); низкая (для восстановления требуется в основном биологическая рекультивация); удовлетворительная (восстановление возможно путем активизации спонтанной сукцессии на начальной стадии); высокая (восстановление возможно за счет спонтанной сукцессии). В случае удовлетворительной и высокой способности к самовосстановлению активное вмешательство и затраты на рекультивацию не нужны.

Таблица 3

Оценка способности геосистем к самовосстановлению по показателям сукцессии растительности

Показатель	Способность к самовосстановлению			
	крайне низкая	низкая	удовлетворительная	высокая
Длительность абиогенного этапа, лет	>5	2÷5	1÷2	<1
Длительность пионерной стадии, лет	>10	5÷10	2÷5	<2
Численность естественного возобновления деревьев на пионерной стадии, шт./га	0	<0,5	0,5÷2	>2
Проективное покрытие растительности пионерной стадии, %	<10	10÷50	50÷70	>70
Численность естественного возобновления деревьев на луговой стадии, шт./га	<0,5	0,5÷2	2÷5	>5
Проективное покрытие растительности луговой стадии, %	<50	50÷80	80÷100	100
Время появления деревьев, лет	10÷20	5÷10	2÷5	1
Длительность нелесных стадий, лет	>30	20÷30	10÷20	<10

Использование спонтанных сукцессий растительности для восстановления нарушенных ландшафтов можно назвать сукцессионным методом рекультивации. Сукцессионный подход является перспективным для восстановления лесных ландшафтов, поскольку позволяет создавать растительный покров, способный существовать и развиваться в спонтанном режиме без постоянных затрат на его поддержание. Главная задача при проведении восстановительных работ состоит в обеспечении источниками семян поздне-сукцессионных видов широколиственных деревьев.

Выявленные закономерности сукцессионных процессов могут служить научной основой для прогнозирования динамики восстановления растительности (видового состава, биоразнообразия, продуктивности) и ландшафта в целом, оценки «саморекультивационного потенциала» нарушенных ландшафтов, прогнозирования характера и интенсивности процессов

самовосстановления нарушенных ландшафтов, а также для оценки устойчивости геосистем к антропогенным воздействиям.

1. Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М., 1991.
2. Тишков А. А. // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М., 1989. С. 93.
3. Разумовский С. М. Закономерности динамики биоценозов. М., 1981.
4. Жерихин В. В. Избранные труды по палеоэкологии и филоценогенетике. М., 2003.
5. Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности. М., 2002.
6. Марцинкевич Г. И., Клицунова Н. Н., Хараничева Г. Т. и др. Ландшафты Белоруссии. Мн., 1989.
7. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Wien; New York, 1964.
8. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. Gottingen, 1974.
9. Нефедова В. Б. // Вестн. МГУ. География. 1977. № 4. С. 72.
10. Васильев С. В. Воздействие нефтегазодобывающей промышленности на лесные и болотные экосистемы Среднего Приобья. Новосибирск, 1998.
11. Заславский М. Н. Эрозия почв. М., 1979.

Поступила в редакцию 17.01.08.

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