

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА САМОВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ)

В статье изучена связь показателей пионерной растительности с факторами субстрата (влажность, pH, азотное и солевое богатство), антропогенной нарушенностью и фрагментацией окружающего ландшафта. Разработана система оценки потенциала самовосстановления растительности в техногенных ландшафтах.

*Ключевые слова:* растительность; сукцессия; пионерная стадия; техногенный ландшафт.

### Введение

Изучение сукцессионных процессов важно для рекультивации нарушенных экосистем. Рекультивация, по существу, является манипулированием сукцессий, с целью получения нужного результата. Восстановительные работы в разных случаях включают инициирование сукцессии, ее ускорение или замедление, то или иное подражание сукцессии. С другой стороны, практика рекультивации, ее успехи или поражения, позволяют корректировать сукцессионные модели, тестировать теорию сукцессии. Теория сукцессии должна обеспечить выбор наиболее эффективных методов, места и времени рекультивации. По большому счету, восстановительная сукцессия и рекультивация – процессы, направленные к формированию более или менее устойчивой экосистемы (Walker, del Moral, 2008; Prach, Walker, 2011).

Использование спонтанных сукцессий растительности для восстановления нарушенных ландшафтов получило название сукцессионного метода 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 (Řehounkova, Prach, 2006; Гусев, 2008).

### Материалы и методы

Изучение сукцессионных процессов в техногенных ландшафтах выполнялось нами в 1998–2015 гг. на юго-востоке Беларуси. Объектами исследований являлись карьерно-отвалы, комплексы месторождений строительных, формовочных, стекольных песков, глинистых пород; массивы намывных песков; отвальные комплексы полигонов промышленных и бытовых отходов;

поля фильтрации; буровые площадки; земли, нарушенные строительными работами.

Цель исследований – разработка показателей оценки потенциала самовосстановления растительности в техногенных ландшафтах. В задачи исследований входило: изучение растительности начальных стадий сукцессий, развивающихся в техногенных ландшафтах; выяснение связи между характеристиками пионерной растительности и ландшафтно-экологическими факторами; разработка системы оценки способности техногенных ландшафтов к самовосстановлению растительного покрова.

Полевые исследования выполнялись геоботаническими и ландшафтно-экологическими методами (пробных площадок и профилирования), проводилось изучение почв, условий залегания грунтовых вод, геохимическое опробование. Для изучения сукцессий растительности использовались повторные геоботанические описания на постоянных пробных площадках и метод экологический рядов. Размер пробных площадок – 25–100 м<sup>2</sup>. Общее число пробных площадок для изучения пионерной стадии – 124.

Для характеристики антропогенной нарушенности окружающего ландшафта были использованы коэффициент экологической стабильности (Kc); индекс хемеробности (M); метрика фрагментации ландшафта (ED). Эти показатели определялись в скользящем квадрате размером 1×1 км (центр квадрата – пробная площадка).

Коэффициент экологической стабильности рассчитывался по формуле  $Kc = \sum s_i * k_i * g$ , где  $s_i$  – удельная площадь вида землепользования;  $k_i$  – экологическая значимость этого вида землепользования (частный коэффициент стабильности);  $g$  – коэффициент геолого-геоморфологической устойчивости рельефа (Агроэкология, 2000).

Индекс хемеробности определялся как  $M=100*\Sigma(Sh/m)*h$ , где  $Sh$  – удельная площадь ареала со степенью хемеробности  $h$ ;  $m$  – число степеней хемеробности;  $h$  – степень хемеробности (Steinhard, 1999).

Для определения продолжительности антропогенных преобразований ландшафта использовались топографические карты и планы (1783, 1846-1863, 1923-1931, 1985-1988 гг.).

Для изучения экологических условий использовались экологические (фитоиндикационные) шкалы Х. Элленберга (Ellenberg, 1974) и Д.Н. Цыганова (Цыганов, 1983). Статистическая обработка выполнялась с помощью программного пакета STATISTICA 5.0.

### Результаты и их обсуждение

Важными показателями, характеризующими восстановительные сукцессии, являются:

- длительность абиогенного этапа (время от момента формирования субстрата до появления пионерных группировок);
- длительность начальных стадий (общая длительность нелесных стадий, длительность пионерной стадии);
- общее проективное покрытие растительности на пионерной стадии;
- видовое богатство сообществ пионерной стадии;
- время появления, состав и численность естественного возобновления древесных видов.

Длительность абиогенного этапа определяет риск развития эрозионных процессов и потери запасов элементов минерального питания. Общее проективное покрытие на пионерной стадии отражает способность растительности предотвратить потерю элементов минерального питания, аккумулируя их в фитомассе (чем больше проективное покрытие, а следовательно и фитомасса, тем больше элементов будет закреплено в растительном покрове). Низкое проективное покрытие растительности на начальных стадиях благоприятствуют активному протеканию процессов водной и ветровой эрозии и связанному с ними выносу элементов минерального питания,

органического вещества, разрушению гумусового горизонта. Чем быстрее в ходе восстановительной сукцессии протекают абиогенный этап и пионерная стадия, чем быстрее происходит формирование сомкнутого растительного покрова, тем меньше риск деградации экотопа и больше вероятность его восстановления (Гусев, 2008, 2009, 2012).

Как показывают исследования, скорость восстановления растительного покрова в разных техногенных ландшафтах может сильно различаться. Рассмотрим на примере 3 объектов: карьеры по добыче песков (песчаный субстрат), карьеры по добыче глин (субстрат – глины, суглинки, супеси), отвалы токсичных отходов химического производства (фосфогипс) (табл. 1). Так, на отвалах карьеров по добыче глин растительность появляется в первые месяцы после их отсыпки. В песчаных карьерах пионерные группировки появляются через год. На токсичных субстратах (например, фосфогипсе) первые растения наблюдаются только через несколько лет (Гусев, 2006). На песчаном и суглинистом субстратах пионерная стадия длится недолго. Виды-пионеры быстро сменяются видами следующей стадии сукцессии (Гусев, 2008, 2009). Исключением являются сухие и рыхлые пески, на которых пионерная стадия может длиться несколько лет. На токсичных субстратах ее продолжительность возрастает до нескольких десятилетий.

Различаются также проективное покрытие, видовое богатство и состав пионерных сообществ (табл. 2). На глинах и суглинках покрытие растительности относительно высокое уже в первые годы сукцессии. На отвалах токсичных отходов оно незначительно в течение длительного времени. Существенно отличаются показатели видового богатства: на токсичном субстрате этот показатель крайне низок.

В указанных примерах влияние субстрата очевидно. Но если взять более обширный набор объектов (карьеры по добыче строительных материалов, отвалы химического производства, отвалы твердых бытовых отходов, поля филь-

Таблица 1. Показатели интенсивности восстановительной сукцессии в различных типах техногенных экотопов

Показатель	Карьеры по добыче песка	Карьеры по добыче глины	Отвалы токсичных отходов (фосфогипс)
Длительность абиогенного этапа, лет	1	<1	5-10
Длительность пионерной стадии, лет	1-2	1-2	10-20
Время появления деревьев, лет	8	7-12	5-20
Длительность нелесных стадий, лет	10-20	10-20	30-50

Таблица 2. Характеристики пионерных группировок в различных типах техногенных экотопов

Показатель	Карьеры по добыче песка	Карьеры по добыче глины	Отвалы токсичных отходов (фосфогипс)
Общее проективное покрытие, %	5-40	60-95	1-10
Видовое богатство, видов на 100 м <sup>2</sup>	5-17	9-16	1-5
Наиболее характерные виды растений	<i>Plantago arenaria</i> Waldst. & Kit., <i>Corispermum marschallii</i> Steven, <i>Chenopodium album</i> L.	<i>Chenopodium album</i> L., <i>Setaria pumila</i> (Poir.) Schult., <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronqist	<i>Chamerion angustifolium</i> (L.) Holub, <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth

трации, строительные площадки), размещенных в различном ландшафтном окружении, то необходимо рассматривать целый комплекс ландшафтно-экологических факторов. Рассмотрим результаты изучения влияния ландшафтно-экологических факторов, представленных 3 группами: 1) предшествующее землепользование – эффект наследия (Гусев, 2014); 2) ландшафтное окружение (антропогенная нарушенность и фрагментация окружающего ландшафта); 3) эдафические условия (азотное и солевое богатство, влажность, pH субстрата).

В качестве показателей пионерной растительности рассматривались: общее проективное покрытие, видовое богатство, адвентизация (доля чужеродных видов), численность подроста деревьев (табл. 3). Чем выше проективное покрытие,

видовое богатство и численность подроста деревьев на пионерной стадии, тем больше потенциал самовосстановления растительного покрова. Чужеродные виды учитываются потому, что могут негативно влиять на дальнейший ход сукцессии (Гусев, 2012).

Выполненный корреляционный анализ показал, что проективное покрытие имеет достоверную связь с показателями антропогенной нарушенности окружающего ландшафта (табл. 3). Проективное покрытие также коррелирует с влажностью субстрата (по шкале Х. Элленберга), азотным богатством (по шкале Д.Н. Цыганова), с кислотнo-щелочными условиями (по шкале Д.Н. Цыганова), с соевым богатством (по двум шкалам). Проективное покрытие возрастает при увеличении влажности, pH, азотного и солевого богатства.

Таблица 3. Корреляция между показателями пионерной растительности и ландшафтно-экологическими факторами (коэффициент ранговой корреляции Спирмена)

Фактор	Показатель пионерной растительности			
	ОПП	ВБ	АД	ЕВ
Продолжительность антропогенного преобразования, лет	нд*	нд	0.36	-0.26
Коэффициент экологической стабильности	0.50	0.64	нд	нд
Хемеробность	-0.46	-0.57	нд	нд
Фрагментация (ЕД)	0.20	0.38	0.27	-0.44
Влажность экотопа (по шкале Д.Н. Цыганова)	нд	нд	-0.39	0.54
Влажность экотопа (по шкале Х. Элленберга)	0.25	нд	-0.18	0.36
Азотное богатство (по шкале Д.Н. Цыганова)	0.31	нд	нд	нд
Азотное богатство (по шкале Х. Элленберга)	нд	нд	нд	0.27
Кислотно-щелочные условия (по шкале Д.Н. Цыганова)	0.25	0.45	0.32	-0.35
Кислотно-щелочные условия (по шкале Х. Элленберга)	нд	0.21	0.29	-0.39
Солевое богатство (по шкале Д.Н. Цыганова)	0.21	0.34	0.23	-0.43
Солевое богатство (по шкале Х. Элленберга)	0.36	0.42	0.29	-0.42

ОПП – общее проективное покрытие, %; ВБ – видовое богатство, видов на 100 м<sup>2</sup>;  
АД – адвентизация, % от общего числа видов; ЕВ – численность подроста деревьев, шт./га.  
нд – значение коэффициента корреляции не достоверно (p>0.05).

Видовое богатство достоверно коррелирует с показателями антропогенной нарушенности и фрагментации окружающего ландшафта: чем выше нарушенность и фрагментация, тем ниже видовое богатство. Для факторов экотопа достоверная корреляция имеется с рН и солевым богатством.

Адвентизация пионерных сообществ и численность подроста деревьев коррелирует с продолжительностью антропогенного преобразования: чем длительнее используется человеком ландшафт, тем больше чужеродных видов входит в состав пионерной растительности и меньше численность подроста древесных видов (табл. 3).

Аналогичную связь эти показатели имеют с фрагментацией окружающего ландшафта. Доля чужеродных видов повышается по мере снижения влажности субстрата и увеличения его рН и солевого богатства. Численность подроста деревьев достоверно коррелирует с факторами субстрата. Она увеличивается по мере роста влажности и снижении рН, уменьшается – при росте солевого богатства.

На основе исследований, выполненных в техногенных ландшафтах юго-востока Беларуси, можно предложить региональную систему оценки, позволяющую выделять четыре класса потенциала самовосстановления растительности (табл. 4):

- 1) крайне низкий (для восстановления необходимо проведение технической и биологической рекультивации);
- 2) низкий (восстановление требует проведения в основном биологической рекультивации);
- 3) удовлетворительный (восстановление воз-

можно путем активизации сукцессии на начальной стадии);

4) высокий (восстановление возможно за счет восстановительной сукцессии).

В случае удовлетворительного и высокого потенциала самовосстановления, сукцессионный метод может эффективно использоваться для их рекультивации и реабилитации ландшафтов.

#### Выводы

Анализ основных показателей растительности начальной стадии сукцессии позволяет оценить потенциал самовосстановления нарушенных ландшафтов и на этой основе разработать рекомендации по определению техногенных экотопов для приемки под самозарастание. На основе такой системы оценки можно выявить участки, на которых сукцессия растительности является эффективной альтернативой техническим мероприятиям по восстановлению.

В качестве критериев оценки предлагаются: длительность абиогенного этапа и пионерной стадии, общее проективное покрытие растительности на пионерной стадии, время появления первых деревьев, численность подроста деревьев. В качестве дополнительных критериев могут быть использованы такие показатели, как видовое богатство и доля чужеродных видов в составе пионерных сообществ. Показатели пионерной растительности коррелируют как с факторами субстрата (влажность, рН, азотное и солевое богатство), так и с антропогенной нарушенностью и фрагментацией окружающего ландшафта.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № Б14Р-205.

Таблица 4. Шкала оценки потенциала самовосстановления растительности в техногенных ландшафтах

Показатель	Потенциал самовосстановления			
	Крайне низкий	Низкий	Удовлетворительный	Высокий
Длительность абиогенного этапа, лет	>5	2-5	1-2	<1
Длительность пионерной стадии, лет	>10	5-10	2-5	<2
Численность подроста деревьев на пионерной стадии, тыс. шт./га	0	<0.5	0.5-2	>2
Проективное покрытие растительности пионерной стадии, %	<10	10-50	50-70	>70
Время появления деревьев, лет	10-20	5-10	2-5	1
Длительность нелесных стадий, лет	>30	20-30	10-20	<10

### Список литературы

1. Агрэкологія / под ред. В.А. Чернікова, А.І. Чекерса. М.: Колос, 2000. 536 с.
2. Гусев А.П. Первичная сукцессия на отвалах фосфогипса (Гомельский химический завод, Белоруссия) // Экология. 2006. №3. С. 232-235.
3. Гусев А.П. Сукцессии растительности и оценка способности техногенно-нарушенных геосистем к самовосстановлению // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. 2008. №2. С. 82-86.
4. Гусев А.П. Особенности начальных стадий восстановительной сукцессии в антропогенном ландшафте (на примере юго-востока Белоруссии) // Экология. 2009. №3. С. 174-179.
5. Гусев А.П. Особенности сукцессий растительности в ландшафтах, нарушенных деятельностью человека (на примере юго-востока Белоруссии) // Сибирский экологический журнал. 2012. №2. С. 231-236.
6. Гусев А.П. История землепользования как фактор современного состояния растительного покрова (на примере юго-востока Белоруссии) // Сибирский экологический журнал. 2014. №2. С. 225-230.
7. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности. Уфа: Гилем, 1998. 412 с.
8. Цыганов, Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука/1983. 196 с.
9. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. Göttingen: Goltze, 1974. 97 s.
10. Prach K., Walker L.R. Four opportunities for studies of ecological succession // Trends in Ecology and Evolution. 2011. Vol. 26. №3. P.119-123.
11. Řehounkova K., Prach K. Spontaneous vegetation succession in disused gravel-sand pits: Role of local site and landscape factors // Journal of Vegetation Science. 2006. Vol. 17. P. 583–590.
12. Steinhard U., Herzog F., Lausch A., Müller E., Lehmann S. Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation // Environmental Induces – System Analysis Approach. Oxford: EOLSS Publ., 1999. P. 237–254.
13. Walker L.R., del Moral R. Lessons from primary succession for restoration of severely damaged habitats // Applied Vegetation Science. 2008. Vol. 12. P. 55–67.

---

### A.P. Gusev. Assessment of vegetation self-restoration potential in technogenic landscapes (on the example of the southeast of the Republic of Belarus)

The article examines association of initial vegetation indicators with substratum factors (humidity, pH, nitric and salt riches), anthropogenic disturbance and fragmentation of surrounding landscape is studied. The system of vegetation self-restoration potential assessment in technogenic landscapes is developed.

*Keywords:* vegetation; succession; initial vegetation indicators; technogenic landscape.