



А.П. Гусев

Экологическая сукцессия в техногенном ландшафте

В современный период на освоенных территориях большое распространение получили техногенные ландшафты. После прекращения использования в них развиваются процессы восстановления, в результате которых формируются регенерационные биогеоценозы (экосистемы) [1, 2]. При естественном восстановлении время и пути возобновления зависят от глубины исходных нарушений. Наиболее длительное время требуется для восстановления техногенных комплексов с полным разрушением природного экотопа, с сильным загрязнением компонентов ландшафта токсичными веществами [2, 3].

В ходе восстановления происходит смена регенерационных экосистем, представляющих собой стадии экологической сукцессии. Изучение этих процессов необходимо для планирования рекультивационных работ, прогнозирования развития негативных экологических процессов, оценки устойчивости природных ландшафтов к техногенному воздействию [4].

Объектом наших исследований являлся полигон твердых отходов (фосфогипс) Гомельского химического завода (ГХЗ), представляющий собой отвальный комплекс. Отвалы фосфогипса формировались в течение более 30 лет функционирования завода. В настоящее время накоплено 14 млн. т., которые занимают территорию свыше 70 га. В зоне размещения отвалов имеет место загрязнение почв, грунтов и грунтовых вод. Воды поверхностных водотоков вблизи отвалов имеют минерализацию 1,5-30 г/л и характеризуются крайне кислой средой (рН=2-3).

Цель исследований – изучение экологической сукцессии, развивающейся на территории отвального комплекса ГХЗ.

В ходе исследований решались следующие задачи: изучение растительного покрова регенерационных экосистем, представляющих собой различные стадии сукцессии; изучение процессов почвообразования на отвалах фосфогипса; выяснение факторов, определяющих скорость восстановительной сукцессии.

Для изучения сукцессионных процессов применялся метод ландшафтно-генетических рядов [5]. Построенный нами ландшафтно-генетический ряд представляет собой ряд регенерационных экосистем, сформировавшихся на отвалах различного возраста: 0-10 лет (1-я стадия); 10-20 лет (2-я стадия); более 20 лет (3-я стадия). Методика полевых работ включала: проведение геоботанической съемки на ключевых участках (5-10 участков на каждой стадии, 10x10 м); изучение почвенно-подстилочной мезофауны (взятие проб подстилочного горизонта, 50x50 см); изучение процессов почвообразования (шурфы до 1 м). Учитывая особенности рельефа отвального комплекса, исследования проводились на трех местоположениях: приотвальные участки; нижняя часть склона отвалов (до 1/3); верхняя часть отвалов (5-10 и более метров от поверхности земли).

Рассмотрим результаты исследований регенерационных экосистем на территории отвального комплекса (таблица).

Таблица

Изменение характеристик регенерационных экосистем в ходе сукцессии на территории отвального комплекса

Характеристика	1-я стадия	2-я стадия	3-я стадия
Проективное покрытие травяного яруса, %	15.3*	30.6	65.0
	6.1**	25.3	60.0
	0.0***	0.0	34.4
Разнообразие травяного яруса (индекс Симпсона)	0.5	0.66	0.84
	0.25	0.59	0.69
	-	-	0.68
Естественное возобновление, шт./га	1700	4700	4800
	300	1900	2400
	0.0	0.0	1400
Состав естественного возобновления	8Б1Ос1Ив 6Б3Ив1Ос	6Б3Ос2Ив 7Б2Ив1Ос	5Б4Ос1Ив 6Б2Ос2Ив 7Б2Ив1Ос
	-	-	-
	-	-	-
Подрост, высотой более 1 м, %	4.7	6.6	35.0
	0.0	8.5	28.9
	-	-	10.0
Разнообразие древесно-кустарникового яруса (индекс Симпсона)	0.21	0.30	0.55
	0.1	0.29	0.36
	-	-	0.26
Мощность подстилки, см	0.0	1.5	1.9
	0.0	0.2	2.1
	0.0	0.0	0.5

Примечание: * – приотвальные участки; ** – нижняя часть склона отвалов; *** – верхняя часть отвалов.

На лишенных растительности участках 1-й стадии активно протекают эрозионные процессы, связанные с деятельностью временных водотоков. Проявление водноэрозионных процессов фиксируется по наличию эрозионных форм микрорельефа: промоин, конусов выноса разрушенного материала и т.д. В наиболее увлажненных местах, обогащенных мелкоземом, поселяются виды растений, семена которых привносятся в отвальный комплекс из смежных экосистем. Для этой стадии характерны слабо развитый растительный покров, отсутствие подстилочного горизонта, низкое видовое разнообразие, слабое естественное возобновление древесно-кустарниковых видов. На приотвальных участках в растительном сообществе доминируют 2 вида: вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., доля в покрытии – 44,4%; встречаемость – 85%) и иван-чай (*Chamerion angustifolium* (L.) Scop., 50% и 90%, соответственно). Естественное возобновление древесных пород представлено березой (*Betula pendula* Roth.), осинкой (*Populus tremula* L.), ивами (виды рода *Salix* L.). Их плотность составляет от 200 до 3500 шт./га, из которых более 90% деревьев имеют высоту ниже 1 м. На склоне отвалов растительность отмечается только в самой нижней части (1/10) и характеризуется весьма низкой численностью возобновления и слабым развитием травяного покрова, который формируется вейником наземным и иван-чаем.

На 2-й стадии происходит увеличение проективного покрытия травяного яруса в 2 раза; численности естественного возобновления – в 2,7 раза; в локальных местах появляется маломощная подстилка. В сообществе приотвальных участков также доминируют иван-чай (34,0%/95%) и вейник назем-

ный (45,4%/50%), но появляются костер кровельный (*Bromus tectorum* L.), скерда кровельная (*Crepis tectorum* L.) и некоторые другие виды. Увеличивается видовое разнообразие древесно-кустарниковой растительности. На склоновых участках численность естественного возобновления изменяется в пределах от 100 до 5000 шт./га (91,5% – ниже 1 м). По сравнению с 1-й стадией в 2,9 раза возрастает видовое разнообразие растений. Травяной ярус имеет покрытие от 5% до 50% и формируется теми же видами: вейник наземный, иван-чай, костер кровельный.

На 3-й стадии формируется фрагментарно древесно-кустарниковый ярус. Подрост высотой 1-2 м составляет 26%, а подрост высотой более 2 м – 8,8% от общей численности. Травяной ярус приствольных участков характеризуется преобладанием вейника наземного (23,2%/70%), иван-чая (12,7%/85%), скерды кровельной (5,4%/25%), пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), костра кровельного. Присутствуют также горошек мышиный (*Vicia crassa* L.), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.). На склоновых участках численность подроста составляет от 100 до 5400 шт./га, причем 28,9% растений имеет высоту более 1 м. Разнообразие древесно-кустарниковой растительности по сравнению со 2-й стадией возрастает в 1,3 раза. Травяной ярус почти полностью задерживает проявление водной эрозии.

Из таблицы видно, что наиболее интенсивно процесс заселения полигона твердых отходов растениями идет у подножия склона, где формируются наиболее благоприятные условия (оптимальная глубина залегания грунтовых вод; небольшая мощность наносов фосфогипса – 5-50 см, под которым залегают погребенные почвы). На таких участках растительность появляется в первые же годы (склоны и верхние части отвалов начинают зарастать только через 15-20 лет). По сравнению со склоновыми участками здесь выше численность естественного возобновления (в 5,2 раза на 1-й стадии; в 2,5 раза на 2-й стадии; в 2,0 раза на 3-й стадии); больше проективное покрытие травяного яруса (в 2,5 раза на 1 стадии; в 1,2 раза на 2-й стадии; в 1,1 раза на 3-й стадии); выше видовое разнообразие и т.д.

Наиболее медленно сукцессионный процесс протекает на вершине отвалов. Растительный покров появляется здесь только на 3-й стадии и характеризуется наиболее низкими (по сравнению с другими местоположениями) значениями численности подроста, проективного покрытия травяного яруса, видового разнообразия, мощности подстилочного горизонта (таблица).

Также видно, что скорости сукцессии на склонах и у их подножия различны, но по мере развития сукцессии различия между подножием и склонами несколько сглаживаются.

Важную роль в восстановительных процессах играют беспозвоночные – обитатели почвенного и подстилочного горизонтов, которые являются активными почвообразователями. Изучение населения беспозвоночных в подстилочном горизонте показало, что в ходе сукцессии наблюдается появление и постепенное увеличение численности и биомассы беспозвоночных. Уже на 2-й стадии в подстилке появляются паукообразные, муравьи, низшие бескрылые жуки. Биомасса мезофауны изменяется в пределах 0-180 мг/м² (в среднем – 85,6 мг/м²); численность – 0-88 экз./м² (в среднем – 34,0 экз./м²). Основную часть биомассы составляют муравьи (50,5%), личинки насекомых (35,1%) и паукообразные (8,4%). Для экологической структуры характерно преобладание хищников (59,0% биомассы) и сапрофагов (35,0%).

Довольно заметные изменения происходят в населении беспозвоночных в ходе сукцессии. На 3-й стадии общая их численность возрастает в 2,6, а число видов в 2,5 раза по сравнению с 2-й стадией. Биомасса изменяется в пре-

делах 104-332 мг/м², составляя в среднем 272,0 мг/м² (личинки насекомых – 49,5%; муравьи – 25,9%; жуки – 5,3%). В экологической структуре доминирование переходит к группе сапрофагов (55,0% биомассы).

Все учетные представители беспозвоночных обитают в подстилочном горизонте; в слое фосфогипса (глубина обследования 5 см) они в настоящее время отсутствуют даже на 3-й стадии. Это указывает на то, что процесс почвообразования находится только на начальном этапе и фиксируется только по специфической коре выветривания, сформировавшейся на фосфогипсовом субстрате. Слой сильновыветренного фосфогипса на 3-й стадии имеет мощность около 1 см, а слой фосфогипса, подверженного изменениям (которые диагностируются по изменению его окраски и другим визуальным признакам) – 5-10 см (в местах произрастания растительности).

Корреляционный анализ показателей растительного покрова, формирующегося на отвалах фосфогипса, позволил более точно выяснить характер наблюдаемых изменений. Основными факторами, контролирующими развитие растительности на отвалах, имеющих одинаковый возраст, являются: мощность коры фосфогипса и глубина залегания грунтовых вод. Установлена тесная связь между мощностью коры фосфогипса и такими показателями, как численность естественного возобновления (коэффициент корреляции составляет -0,78, $p < 0,01$), проективное покрытие травяного яруса (-0,775, $p < 0,01$), мощность подстилки (-0,684, $p < 0,01$), число видов в фитоценозе (-0,665, $p < 0,01$). Не менее важную роль играет глубина залегания уровня грунтовых вод, с которой достоверную корреляцию имеют: численность естественного возобновления (-0,693, $p < 0,01$), численность подроста березы (-0,524, $p < 0,01$), численность подроста ив (-0,544, $p < 0,01$), проективное покрытие травяного яруса (-0,563, $p < 0,01$), число видов в фитоценозе (-0,463, $p < 0,05$).

Исходя из полученных данных видно, что наиболее интенсивно растительный покров и регенерационные экосистемы в целом развиваются при небольшой мощности коры фосфогипса и оптимальной глубине залегания уровня грунтовых вод (1-2 м). Причем, развитие растительности не останавливают неблагоприятные химические условия поверхностных и грунтовых вод. Кислая реакция грунтов и вод обуславливают значительное участие в растительном покрове ацидофилов, доля которых составляет 27,8% от общего числа видов.

Доминирующие в растительности отвалов вейник наземный, иван-чай и береза представляют собой виды, наиболее адаптированные к экологическим условиям данного местообитания (значительная освещенность, высокая минерализация и низкий показатель рН вод).

Таким образом, на основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

На территории отвального комплекса происходит формирование регенерационных экосистем, адаптированных к условиям агрессивной техногенной среды.

За 20-30 лет на отвалах образуется экосистема, имеющая древесно-кустарниковый (фрагментарно) и травяной (сплошного распространения) ярусы, подстилочный горизонт и животное население (комплекс беспозвоночных).

Наиболее быстро сукцессионный процесс протекает на приотвальных участках, характеризующихся сравнительно благоприятными условиями (небольшая мощность коры фосфогипса, оптимальное залегание уровня грунтовых вод).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Почвообразование в техногенных ландшафтах*. Новосибирск, 1979. – 294 с.
2. *Исаков Ю.А., Казанская Н.С., Панфилов Д.В.* Классификация, география и антропогенная трансформация экосистем. М., 1980. – 226 с.

3. *Гусев А.П.* Сукцессии ландшафтов, нарушенных деятельностью человека // Экологические проблемы Полесья и сопредельных территорий: Материалы II международной научно-практической конференции. Гомель, 2000. С. 30-38.
4. *Гусев А.П.* Лесные экосистемы в условиях антропогенного воздействия (ландшафтно-экологические исследования). Гомель, 2001. – 64 с.
5. *Экосистемы в критических состояниях.* М., 1989. – 155 с.

S U M M A R Y

In the article shows result of studying ecological succession on zone of wastes of Gomel chemical plant. For studying succession was used method of landscape-genetics rows. Connection between characteristics of regenerations ecosystems and ecological conditions of technogenic complex is established. Considered changes of specific and ecological structure of vegetation, changes of biodiversity, changes of litter layers in course of succession.

Поступила в редакцию 20.02.2002

УДК 911.2:631.61

Г.И. Пиловец

Методические подходы к исследованию природно-антропогенных геосистем мелиорированных территорий

Мелиорация представляет собой комплекс мероприятий по улучшению земель, а также неблагоприятных природных условий для наиболее эффективного использования природных ресурсов. Цель мелиорации – видоизменение природного комплекса для достижения оптимального с точки зрения хозяйственного использования соотношения природных и антропогенных компонентов и желаемого направления протекающих в нем процессов. Мелиорация является мощной природообразующей деятельностью человека, направленной на повышение биологической продуктивности, хозяйственной производительности и эстетической привлекательности природных комплексов. Однако отсутствие детального комплексного природоведческого обоснования мелиоративных проектов, ошибки, допущенные на стадии изыскания, проектирования, строительства и эксплуатации мелиоративных систем, являются причинами негативных явлений [1].

Сегодня назрела необходимость изучения экологической системы типа «человек – продукт деятельности – природа», рассматривая деятельность человека в общей многозвенной причинно-следственной цепи развития той или иной геосистемы, решения сложнейших комплексных проблем в рамках конкретных природно-технических или природно-антропогенных геосистем, разработки основ организации устойчивого их функционирования.

Объектом наших исследований являются природно-антропогенные геосистемы мелиорированных территорий, представляющие собой совокупность взаимодействующих природных и технических систем. Все мелиоративные системы по уровню организации являются объектами элементарного или локального уровня организации ландшафтов. Осушительной мелиорации на