

Экологические аспекты воспроизводства почвенно-растительного покрова в нарушенных горнодобывающей промышленностью ландшафтах

**Лисецкий Ф.Н. (liset@bsu.edu.ru), Голеусов П.В.,
Кухарук Н.С., Чепелев О.А.**

Белгородский государственный университет, г. Белгород

Введение

Обширные площади нерекультивированных земель, появившиеся за последнее десятилетие в районе Курской магнитной аномалии (КМА), определили особую актуальность изучения темпов и механизмов самозарастания техногенных отвалов горных пород. До сих пор закономерности становления почв и экосистем в экстремальных условиях техногенных ландшафтов, возможности регенерационных геосистем в предотвращении экологических воздействий на смежные земли остаются сравнительно малоизученными научными проблемами не только в России, но и в мире.

В мировой практике реабилитации техногенных геосистем наметился новый подход, связанный с максимальным использованием регенерационных возможностей природных экосистем для воспроизводства ресурсных и экологических функций нарушенных ландшафтов – их экологическая реставрация. Использование средообразующего потенциала адаптированных растительных группировок позволяет значительно снизить интенсивность процессов денудации техногенных субстратов, инициировать в них почвообразовательные процессы. Таким образом, развитие концепции *ренатурирования* техногенных геосистем является не только экологически обоснованным, но и экономически оправданным. Под *ренатурированием* мы понимаем контролируемое человеком возвращение природного режима функционирования антропогенно нарушенным геосистемам посредством преимущественного использования природных механизмов воспроизводства их ресурсного потенциала в пределах экономически приемлемого горизонта планирования (Голеусов, 2002).

Теоретическое обоснование использования ренатурационного подхода к экологической реабилитации техногенных геосистем составляют многочисленные исследования естественного восстановления растительного покрова и сопровождающего этот процесс рецентного (нового) почвообразования в этих геосистемах (О

рекультивации..., 1971; Етеревская, Угарова, 1979; Горячкин, 1981; Масюк, 1981; Бурыкин, 1982; Засорина, Пигорев, 1982; Ужегова, Махонина, 1984; Почвообразование..., 1985; Экологические основы рекультивации..., 1985; Гумусообразование..., 1986; Титлянова и др., 1988; Михаленко, 1990; Стифеев, 1993; Johnson, Skousen, 1994, 1995 и др.). За редким исключением, эти исследования носят эмпирический характер, что характерно для этапа активного первичного накопления информации по данной проблеме. Вместе с тем, закономерности развития регенерационных геосистем и возможности управления этим развитием имеют недостаточный уровень фундаментального обобщения. Новообразованные компоненты молодых геосистем рассматриваются чаще как уникальные, недоразвитые, примитивные, их эколого-биосферные функции явно недооцениваются.

Объекты и методы исследования

Исследования 2003-2004 гг. в среднерусском сегменте лесостепной зоны (Белгородская область) включали проведение работ на карьерно-отвальных комплексах Лебединского ГОКа (Губкинский р-н) и ЗАО «Белгородский цемент» (Белгородский р-н). Кроме того, для выявления зональных особенностей протекания регенерационных процессов, были проведены экспедиционные работы в районах, отличающихся от лесостепной зоны по биоклиматическим условиям. В частности, в 2004 г. были исследованы процессы воспроизводства компонентов техногенных геосистем горнодобывающих предприятий в Сланцевском р-не Ленинградской обл. (зона смешанных лесов).

Модельные объекты исследования воспроизводства почвенно-растительного покрова в техногенных ландшафтах Лебединского ГОКа расположены на самозарастающих склонах северо-восточной части отвала окисленных железистых кварцитов, дамбах обвалования гидроотвала «Березовый Лог». Возраст отвалов колеблется от 10 до 47 лет. Кроме того, исследованы молодые (15-40 лет) геосистемы, сформировавшиеся на отвалах различного типа карьерно-отвального комплекса «Полигон» ЗАО «Белгородский цемент», расположенного на западной окраине г. Белгород. Таким образом, модельные объекты отражают специфику распространенных в Белгородской области техногенных ландшафтов, сформированных предприятиями железорудной и строительной индустрии.

Объекты исследования в зоне смешанных лесов находятся на северо-западной окраине г. Сланцы, левом берегу р. Плюсса. Абсолютная высота – 58 м. Отвалы шахты

им. Кирова (АО «Ленинградсланец») высотой до 30 м сформированы из вмещающих пород сланцевой толщи (преимущественно девонские известняки). К внешней границе промышленной площадки и территории разновременных отвалов примыкает лес (вторичный смешанного состава – елово-березово-сосновый). Таким образом, с 1999 г. самозарастание отвалов проходит при минимальном антропогенном воздействии.

В работе реализован эколого-генетический подход к изучению развития геосистем, основанный на исследовании временных закономерностей процессов ресурсовоспроизводства с учетом экологических условий их протекания (Голеусов, Лисецкий, 2005). В результате использования этого подхода возможно создание многофакторных процессно-динамических моделей воспроизводства компонентов геосистем, позволяющих организовать системы мониторинга и управления регенерационными процессами в техногенных ландшафтах.

Новым в экодиагностике является использованный в работе метод оценки регенерационного потенциала геосистем по эффективности регенерационных процессов. Эта эффективность оценивалась по степени развития ресурсных характеристик новообразованных компонентов геосистем (запас фитомассы, мощность гумусового горизонта почв).

Метод анализа хронорядов развития компонентов геосистем использован в комплексе с методом математического моделирования, что позволило получить количественные оценки динамики ресурсовоспроизводства с определением «ключевых этапов» и характерного времени этих процессов.

Основным подходом к исследованию структуры и динамики техногенных ландшафтов было описание экологических профилей: «техногенные геосистемы – фоновые сельскохозяйственные ландшафты» и «техногенные геосистемы – заповедные территории». При этом были использованы как непрерывные трансекты, так и разобщенные пробные площадки в характерных экотопах. В ходе комплексных описаний определялись следующие параметры структуры и функционирования экосистем: общий запас надземной фитомассы и ее структура; флористический состав с оценкой обилия и проективного покрытия; доминирующие ассоциации, пространственная структура ассоциаций; степень морфологического развития профиля почв, особенности развития почвенного покрова и его мозаика; выраженность экзогенных денудационных процессов. Были отобраны пробы для последующего определения физико-химических свойств новообразованных почв и техногенных субстратов. Для исследования ландшафтно-геохимической структуры отвалов проведено описание катенарных сопряжений почв и фитоценозов.

Результаты и их обсуждение

1. Регенерационные сукцессии растительности в техногенных ландшафтах

«Нуль-момент» почвообразования в техногенных ландшафтах, как правило, совпадает со стартом восстановительных сукцессий биоты. Новоявленные первичные экотопы начинают испытывать со стороны окружающих коренных экосистем сильнейшее «давление жизни», которое тем сильнее, чем меньше площадь нарушений. Сукцессии, протекающие в местах с уничтоженным почвенным покровом, принято называть первичными (Уиттекер, 1980). К ним обычно относят и антропогенно спровоцированные сингенетические сукцессии (по терминологии В.Н. Сукачева, 1950) техногенных геосистем. Первичные сукцессии характеризуются медленной (по сравнению с вторичными) сменой растительных ассоциаций, сдерживаемой необходимостью формирования почвы – залога устойчивости фитоценозов. Однако такое понимание первичных сукцессий, на наш взгляд, соответствует лишь их классическому примеру – заселению плотных субстратов или фитотоксичных горных пород. В реальной ситуации рыхлые техногенные субстраты по своим свойствам бывают вполне пригодны для поселения видов сосудистых растений, даже формирующих зональные квазиклиматических группировки. Примером могут служить обнаруженные нами куртины ковыля-волосатика (*Stipa capillata*) на 5-летних отвалах лессовидных суглинков карьера «Полигон» АО «Белцемент». Некоторые горные породы можно рассматривать как предпочвы, обладающие первичным плодородием (Адерихин и др., 1977; Масюк, 1989). В геологическом прошлом они уже могли играть роль почвообразующих пород, о чем свидетельствует наличие в них органогенного углерода.

Выявлены основные индикаторные растительные ассоциации для оценки «степени зрелости» фитоценозов. Для условий отвалов Лебединского ГОКа молодые сообщества в экотопах с нестабильной средой включают мать-и-мачеховые (*Tussilago farfara*), донниковые (*Melilotus officinalis*) ассоциации. Промежуточные серийные сообщества формируются с участием вейника наземного (*Calamagrostis epigeios*), костра безостого (*Bromus inermis*), видов группы разнотравья. Наиболее устойчивые сообщества обычно представлены злаково-разнотравными ассоциациями, причем преобладают рыхлокустовые (мятлик луговой *Poa pratensis*) и дерновинные злаки (типчак *Festuca valesiaca*, овсяница красная *Festuca rubra*). Установлено, что сукцессионное развитие фитоценозов на постпромышленных отвалах может тормозиться на стадиях

«промежуточных» климаксов, представленных обычно ассоциациями видов с сильным аллелопатическим воздействием (в основном, вейниковые ассоциации). Этому может способствовать периодическое и нерегулярное антропогенное воздействие, например, выжигание растительности.

На ранних стадиях становления регенерационных экосистем (0-5 лет) направленность важнейших ресурсоформирующих процессов определяется исходными субстратно-топологическими условиями новообразованных экотопов. Свойства субстрата (материнской породы) являются определяющим фактором, от которого во многом зависят исходный состав пионерных сообществ, особенности начального этапа почвообразования. Рельеф новообразованных поверхностей способствует пространственному перераспределению регенерационных процессов: их концентрации в наиболее благоприятных положениях (понижения) и относительному отставанию в менее благоприятных (склоны).

На более продвинутых стадиях сукцессии (до 15 лет) происходит формирование сомкнутых сообществ со значительным участием рудеральных видов. Однако в структуре биоценозов намечаются тенденции формирования более устойчивого состава: появляются виды-представители квазиклимаксных группировок. В зооценозах преобладают виды-доминанты фоновых экосистем. На данном этапе происходит реализация первичного плодородия субстрата: происходит быстрый рост биомассы сообществ, усиление поступления органического вещества в почву, что способствует ускорению ее формирования.

Следующий этап (15-35 лет) в развитии молодых экосистем связан с интенсивным развитием почвы: скорость формирования гумусового горизонта достигает 4-5 мм/год. В составе фитоценозов происходит замена рудеральных видов на более устойчивые, в частности, дерновинные злаки. Доля разнотравья в ходе сукцессий остается относительно постоянной, но видовой состав этой группы изменяется в сторону преобладания «климаксных» видов.

Относительной стабилизацией регенерационных процессов характеризуется этап от 35 до 70 лет. Биоценозы приобретают устойчивую структуру, их видовая структура (при некотором снижении биоразнообразия) представляет основные варианты зональных квазиклимаксных экосистем. Происходит стабилизация биомассы сообществ, замедление почвообразовательных процессов. Дальнейшее развитие новообразованных экосистем происходит в режиме медленного роста структурных показателей.

Для формирования фитоценозов наиболее значимы такие факторы, как свойства субстрата (степень выветрелости, первичное плодородие, наличие токсичных веществ,

водоудерживающая способность), степень увлажнения биотопа, положение в рельефе, которое определяет экспозицию склона, его прогреваемость, развитие эрозионных и других экзодинамических процессов (обвалов, оползней, осыпей, осов и т.п.)

Отдельную исследовательскую задачу представляли исследования пространственной организации фитоценозов в условиях склоновых ландшафтов, довольно распространенных в карьерно-отвальных комплексах. Для изучения разных типов комплексов растительности нами был применен метод профилей – трансектов. Достоинство этого метода при геоботанических исследованиях, в отличие от широко применяемого метода экологических рядов, при котором пробные площадки закладывают в каждой ассоциации, не образуя непрерывного ряда, заключается в том, что рассматривается непрерывный ряд ассоциаций. При методе профилей ведут непрерывное, с начала до конца трансекта описание, зарисовку и картографирование растительного покрова.

В отвальном комплексе Лебединского ГОКа были заложены два трансекта на склонах отвалов. Выделены площадки, размером 100 м^2 ($10 \text{ м} \times 10 \text{ м}$), примыкающие друг к другу. На первом трансекте (рис. 1, А) исследовались четыре площадки. Два участка располагались на склоне от 15 до 70 градусов. Третий участок на выполаживающейся части склона, и четвертый у подножия склона. На втором трансекте (рис. 1, Б) изучались семь отдельных площадок, заложенных на склоне с уклоном от 7 до 45 градусов.

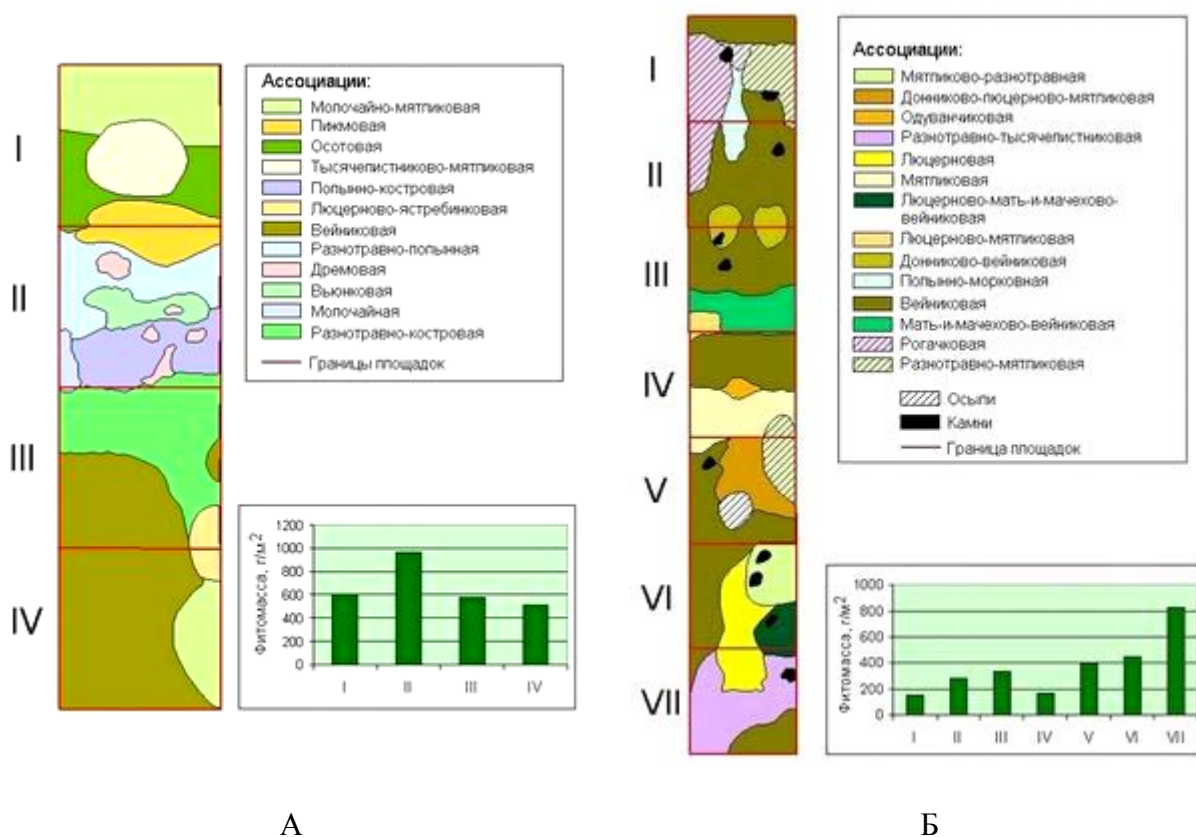


Рис. 1. Пространственное распределение и фитомасса растительных ассоциаций трансектов: А – на террасированном, частично рекультивированном (землевание) склоне отвала;

Б – на нетеррасированном и нерекультивированном склоне отвала

Каждый из участков был разбит на квадраты сеткой со стороной 1 м. На каждой из площадок проводилось описание флористического состава травостоя: видового состава растений с оценкой численности видов по системе баллов Ж. Браун-Бланке, объединяющей проективное покрытие и обилие растений; средняя высота отдельных растений и травостоя в целом; распределение растений по площадке (равномерное, групповое, случайное и т.д.). Кроме того, на схеме зарисовывались горизонтальные проекции надземной части растительных ассоциаций. Одновременно проводили укусы надземной фитомассы для оценки ее запасов в разных позициях рельефа (см. рис. 1, А и Б).

Известно, что ассоциации, относящиеся к сходным таксономическим категориям, редко граничат друг с другом и редко образуют значительные сплошные массивы. Такое распределение растительных сообществ определяется неодинаковыми условиями среды. Неоднородность и пестрота растительного покрова имеет разный масштаб и разную сложность. По причинам возникновения различают *эрозионную* комплексность, которая вызывается стоком поверхностных вод на склонах и *литогенную* комплексность, связанную с частыми сменами химического и физического состав почвообразующих и подстилающих пород (Воронов, 1973). Именно два вышеперечисленные вида комплексности, по-видимому, имеют место в наших исследованиях.

По взаимному расположению компонентов, исследованные участки можно отнести к *мозаично-поясным* комплексам. Мозаичные комплексы включают несколько типов растительных ассоциаций, причем ни одна из них не господствует. Поясные комплексы представляют собой полосы растительности, сменяющие друг друга в пространстве, в зависимости от изменения увлажнения, почв и обычно развиты на склонах. В данном же случае, можно говорить о комбинировании этих двух видов.

Для пространственного расположения растительных ассоциаций характерна вытянутость контуров вдоль линий трансектов. Это тем более заметно при увеличении крутизны склонов. При выполаживании склонов на более плодородном почвенном субстрате, доминируют вейниковые ассоциации. Для склонов характерны более мелкоконтурные участки и пестрота растительного покрова. Это можно объяснить развитием различных растительных ассоциаций на пестром по литологическому составу почвенном субстрате при наличии мелкозема.

Формирование фитомассы растительных ассоциаций находится в зависимости от субстратно-топологических условий, активности денудационных процессов, условий увлажнения и процессов сингенетического взаимодействия видов друг с другом. Максимальная фитомасса характерна для выположенных склоновых местоположений с относительно стабильным увлажнением и развитой почвой.

2. Воспроизводство почв в ходе самозаращения отвалов вскрышных пород

Формирование почвенного покрова в техногенных геосистемах имеет подчиненный характер по отношению к развитию фитоценозов. В структуре ландшафтных катен на склонах отвалов новообразованные почвы приурочены к хорошо задернованным выположенным участкам и основанию склонов. Степень развития почвенного покрова возрастает по мере снижения крутизны склона и роста биомассы фитоценозов. В верхней трети склонов (трансэлювиальные позиции) почвенный покров, как и растительные ассоциации, выражен фрагментарно и представляет собой «пятна» эмбриональных почв и гумусовых пленок. В классификационном отношении (согласно Классификации и диагностике почв России, 2004) техногенные поверхностные образования, в том числе и почвы в исследованных объектах, представлены группой эмбриоземов (молодые почвы), квазиземов (преимущественно реплантоземов – трансплантированные гумусовые горизонты) и натурфабрикатов (преимущественно литостраты – насыпные минеральные грунты).

Проведен анализ морфологических, физических, химических и физико-химических свойств почв, сформировавшихся на отвалах железорудной (Белгородская область) и сланцевой (Ленинградская область) промышленности.

Генетический профиль исследованных черноземовидных почв техногенных ландшафтов имеет упрощенное строение, однако даже в самых молодых из них можно выделить эмбриональные горизонты. Наибольшее развитие получают гумусовые – аккумулятивный (A_1) и переходный (A_1C или A_1B) горизонты. Морфологическая реализация процесса лессиважа проявляется лишь в 30-40-летнем возрасте почвы (появляются горизонты A_1B и BC) в случае почвообразования на суглинистых или супесчаных материнских породах. Общая схема строения профиля молодых почв имеет следующий вид: $A_0-A_d-A_1-A_1C(A_1B)-(BC)-C$ (в скобках обозначены факультативные горизонты).

Генетический профиль новообразованных (10-20 лет) дерново-подзолистых почв представлен следующей схемой $A_0-A_1A_2-A_2B-BC-C$. Элювиальная часть (A_2) профиля обособляется уже в первые годы почвообразования.

В качестве примера приведем фотоизображение и описание профиля 40-летней почвы (рис. 2), сформировавшейся на останце некондиционного мела карьерно-отвального комплекса «Полигон» ЗАО «Белгородский цемент». Особенность этого объекта – формирование фитоценоза ковылем-волосатиком – видом, который обычно характерен для климаксных травянистых фитоценозов.

Биолитокомбинация: марьяниково-люцерново-ковыльная ассоциация на меловом субстрате		
	A ₀ (0-8 мм)	Злаковый опад, частично уничтоженный выжиганием.
	A _d (0-25 мм)	Темно-серый, рыхлый дерновинный горизонт с большим количеством детрита, особенно в куртинах ковыля, и включениями угля.
	A ₁ (25-45 мм)	Серый, относительно однородный, рыхлый, мелкокомковато-пылеватый, с обильной дресвой мела.
	A ₁ C (45-85 мм)	Светло-серый, неоднородный, пылеватый, с щебнем мела, переход заметный, граница языковатая (провалы между кусками щебня мела).
	C (ниже 85 мм)	Мел-рухляк мягкий, средневыветрелый, с карбонатным мелкоземом.

Рис. 2. Профиль 40-летней почвы, образовавшейся на отвале мела в карьере «Полигон» ЗАО «Белгородский цемент»

Молодые почвы техногенных ландшафтов быстро восстанавливают запасы органического вещества в горизонте A₁ (4-6 % гумуса за 10-15 лет почвообразования). Однако в новообразованных дерново-подзолистых почвах гумус низкомолекулярный (отношение C:N составляет 12-69, в то время как в новообразованных черноземах 4-15). Они отличаются также более низкими значениями pH (6,3-4,2) по сравнению с

черноземными почвами (7,54-8,83). При наличии в материнских техногенных породах карбонатов происходит их выщелачивание, причем в зоне смешанных лесов более интенсивно.

Специфика почвообразования в техногенных ландшафтах связана с высоким содержанием карбонатов и повышенной щелочностью почв, что особенно характерно для техногенных ландшафтов строительного комплекса. Однако развитие процессов выщелачивания, сопровождающего почвообразование, способствует растворению карбонатов и снижению щелочности почв. Так, в почвах 40-летнего возраста, развивающихся на меловых породах, содержание карбонатов в горизонте А₁ ниже в 1,6 раза, чем в материнской породе.

В отвалах железорудных карьеров часто находятся породы с высоким содержанием аморфного железа, что также накладывает отпечаток на функционирование молодых педосистем. Почвообразовательный процесс сопровождается выносом железа из верхних горизонтов почв, в результате чего его содержание в горизонте А₁ становится более низким, чем в материнской породе, в 1,5-2 раза к 30-летнему возрасту почвы. В лесных условиях почвообразования процесс обезжелезивания горизонта А₁ почти в 2 раза более интенсивный, чем в почвах с травянистой растительностью. В целом прогрессивные изменения свойств молодых почв приводят к некоторому снижению дисбаланса физико-химических свойств техногенных субстратов.

Для определения закономерностей динамики почвообразовательных процессов нами были использованы методы математической статистики. С учетом существующего задела (Лисецкий, 2000), для описания направленности развития почвенных характеристик нами были опробованы нелинейные функции различного вида. В частности, получены уравнения модели воспроизводства мощности гумусового горизонта почв в техногенных геосистемах. За основу моделей взят класс нелинейных (S-образных) функций, описывающих ростовые процессы в экосистемах. Особенностью этих функций является наличие «точки перегиба», характеризующей максимальную интенсивность ростовых процессов в фазе морфофункциональной зрелости объекта. Наилучшие показатели аппроксимации характерны функции Гомпертца общего вида:

$$H(t) = Hnp \cdot \exp(-\exp(a - \lambda t)),$$

где H и Hnp – расчетная и предельная мощности гумусового горизонта;

a – показатель, отражающий благоприятность стартовых условий почвообразования;

λ – коэффициент, характеризующий интенсивность формирования гумусового горизонта почвы в данных биолитологических условиях.

Сопоставление почвенно-хронологических данных, полученных в техногенных ландшафтах с ранее полученными данными о воспроизводстве почв в экотопах с локальными нарушениями почвенно-растительного покрова (Голеусов, 2003), свидетельствует об ином характере воспроизводства почв в техногенных ландшафтах. На графике общей модели для начального этапа почвообразования (рис. 3) видно, что точки, характеризующие техногенные почвы, распределены преимущественно по нижней огибающей кривой. Таким образом, первичный характер сукцессий, связанный с масштабностью нарушений в техногенных ландшафтах, предопределяет менее интенсивное воспроизводство почв. Однако в ряде случаев, когда литологической основой техногенной геосистемы является благоприятный субстрат, воспроизводство фитоценозов и почв происходит также интенсивно, как и в ситуации локального нарушения почвенно-растительного покрова.

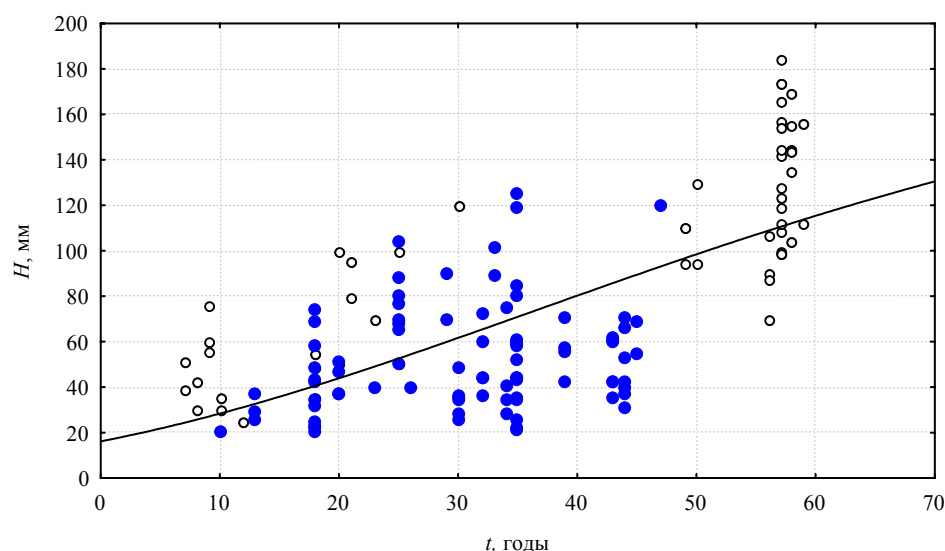


Рис. 3. График зависимости мощности гумусового горизонта от возраста почв (маркером помечены объекты техногенных ландшафтов)

В связи с сильной зависимостью почвообразовательного процесса от свойств материнской породы нами была произведена дифференциация моделей в зависимости от типов техногенных субстратов (рис. 4).

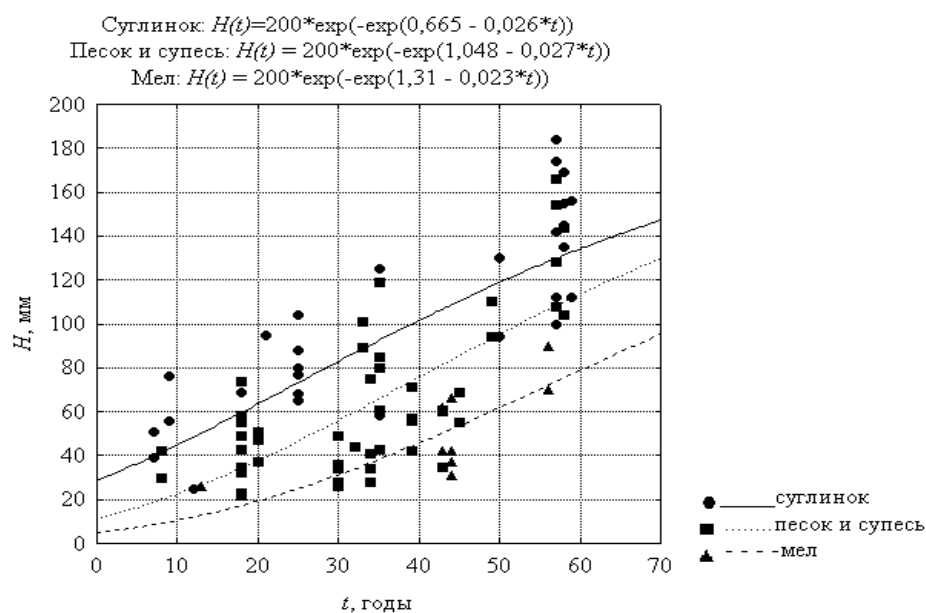


Рис. 4. Варьирование трендов формирования гумусового горизонта почв в различных субстратных условиях

На основе полученных уравнений модели рассчитаны скорости воспроизводства гумусового горизонта почв в различных субстратных условиях, которые могут стать нормативами воспроизводства почв в техногенных ландшафтах (рис. 5).

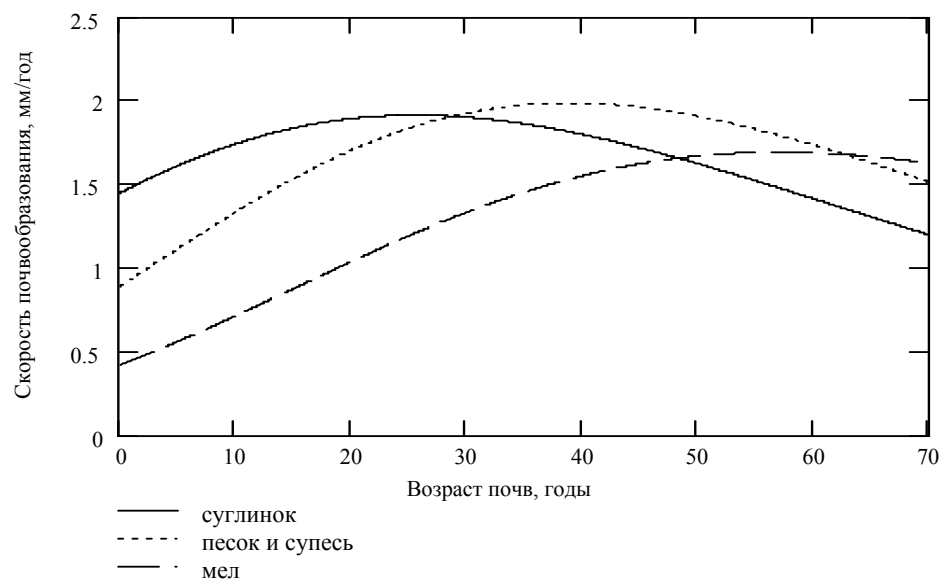


Рис. 5. Скорость формирования гумусового горизонта почв на разных типах материнских пород

Как видно на рис. 5, динамика процесса формирования гумусового горизонта почв зависит от типа материнской породы, поэтому в техногенных ландшафтах

одновозрастные поверхности могут характеризоваться гетерохронностью почвообразовательного процесса.

Обобщая результаты исследования воспроизводства почв в техногенных ландшафтах, можно сделать следующие выводы.

Воспроизводство почв в условиях самозарастания отвалов вскрышных пород в техногенных ландшафтах протекает в достаточно экстремальных условиях, однако в большинстве случаев к 30-40-летнему возрасту молодые почвы имеют морфологически хорошо выраженный профиль. Среди почвенных генетических горизонтов наибольшее развитие получают гумусовые горизонты.

Морфология профилей новообразованных почв техногенных геосистем сильно зависит от типа материнской породы. Лучше всего профиль почв формируется на суглинистых и супесчаных породах, менее развиты почвы на песках, глинах, меловых и плотных кристаллических породах.

Максимальная скорость формирования гумусового горизонта характерна для почв 20-50-летнего возраста, но для почв разного литологического типа максимумы скоростей не совпадают во времени.

Несмотря на высокие темпы почвообразования на начальном этапе, к 40-50-летнему возрасту почвы достигают немногим более 10 % морфологической зрелости фоновых почв, поэтому ожидать полного природного восстановления нарушенного почвенного покрова в техногенных ландшафтах в сколько-нибудь приемлемые сроки нет смысла. Однако уровень функционирования молодых почв позволяет создавать довольно значительную продукцию фитоценозов, интенсивно преобразовывать субстрат. Они в полной мере реализуют восстановительно-биосферную функцию (Добровольский, 2000). Почвы техногенных ландшафтов уже в 15-летнем возрасте устойчиво выполняют главные экосистемные функции: разложение органического вещества, депонирование элементов-биофилов и др. Кроме того, они, в сочетании с хорошим задернением, в значительной степени снижают интенсивность денудационных процессов и усиливают физико-химическое преобразование техногенных субстратов (литосферная функция). Поэтому управление природным воспроизводством почв обязательно должно быть составной частью мероприятий по экологической реабилитации постпромышленных ландшафтов.

Заключение

Выявлены общие тенденции изменения структуры и параметров функционирования экосистем в ходе регенерационных сукцессий. Оценки параметров

функционирования фитоценозов показали, что их сукцессионный статус может значительно различаться в зависимости от субстратно-топологических условий. Так, на участках с активно протекающими склоновыми процессами (массовые движения грунта, эрозия) при уклонах более 40 градусов длительно сохраняются «пионерные» группировки со случайным видовым составом и низкой продуктивностью. На более выположенных участках и у основания склона формируются более развитые сообщества. К 25-30-летнему возрасту фитоценозов надземная фитомасса может достигать 80-120 % климаксного уровня.

По итогам проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

воспроизводство растительного покрова и почв начинается с момента первичной стабилизации нарушенной поверхности; дальнейшее развитие этих компонентов происходит в режиме постоянной реадаптации к изменениям среды, обусловленным активным протеканием денудационных процессов и нестабильностью продольных профилей склонов техногенных геосистем;

с течением времени растительный покров и почвы становятся фактором стабилизации нарушенной поверхности, в их структуре снижается зависимость от мозаики эдафических условий;

при выходе на полувековой этап регенерационной сукцессии происходит перестройка механизмов воспроизводства компонентов геосистем: их развитие в большей степени определяется сингенетическими взаимодействиями и межкомпонентными связями, в первую очередь, в системе «фитоценоз-почва»;

в условиях склоновых ландшафтов наблюдается метахронность регенерационных процессов: воспроизводство компонентов геосистем замедляется от основания склона к его вершине. Это проявляется в повышении мозаичности ассоциаций и мелкоконтурности почвенного покрова, снижении биомассы и проективного покрытия, мощности почвенного профиля с ростом уклона.

Выявлены основные факторы, определяющие эффективность и направленность регенерационных процессов в молодых экосистемах:

- энергетический потенциал мезо- и микроклиматических условий;
- почвообразовательный потенциал материнских пород;
- «эксплерентность» видового состава фоновых биоценозов;
- сложность структуры биоценозов: воспроизводство простых по составу зональных сообществ происходит более быстрыми темпами, по сравнению со сложными полидоминантными сообществами;

- сложность первичной ландшафтной структуры нарушенных геосистем: задерживать регенерационные процессы может как однообразие, так и высокое разнообразие ландшафтных структур.

Фактор субстрата можно считать основным в формировании первичной структуры растительного покрова, а затем – почв. В контактной зоне нарушенных и относительно нетронутых экосистем граница ренатурационных процессов четко прослеживается по ареалу распространения относительно благоприятных материнских пород. В случае щебнистых субстратов, характерных для отвалов КМА, контуры зарастания определяются ареалами концентрации мелкозема. Каменистые осыпи зарастают преимущественно древесной растительностью.

Фоновые экосистемы определяют направленность ландшафтно-сукцессионных процессов: видовой состав молодых фитоценозов складывается как результат адаптации к местным эдафотопо-топологическим условиям диаспор растений, расселяющихся с окружающих экосистем. При этом серийные фоновые сообщества более эффективно способствуют заселению нарушенных экотопов, по сравнению с климаксными экосистемами.

Анализ функциональных признаков почв, сформировавшихся в одновозрастных техногенных геосистемах зон лесостепи и смешанных лесов, позволяет сделать следующие выводы:

в первые годы зарастания отвалов рыхлых горных пород происходят резкие изменения химических свойств субстрата, связанные с начальным этапом формирования почв (гумусонакопление, вынос карбонатов, полуторных оксидов, изменение кислотно-щелочных свойств), при этом элювиальные процессы сильнее выражены в молодых дерново-подзолистых почвах, чем в новообразованных черноземах;

в первые десятилетия (10-30 лет) почвообразования закладывается практически полный набор эмбриональных горизонтов, причем организация и обособление гумусово-аккумулятивного (A1) и элювиального (A2, для дерново-подзолистых почв) горизонтов происходит раньше, чем иллювиальной части профиля;

биоклиматический энергетический потенциал почвообразования изначально предопределяет формирование генетической «матрицы» (последовательности почвенно-генетических горизонтов) зональных почв, уже в первые десятилетия можно диагностировать развитие почв в рамках зональных почвенно-генетических рядов;

несмотря на определенное различие функциональных признаков новообразованных черноземовидных и дерново-подзолистых почв, наблюдается общность хронологических закономерностей их воспроизводства, т.е. процессы морфологической организации

(развертывания онтогенетической программы) подчиняются общим кинетическим закономерностям.

Эти выводы обосновывают необходимость разработки единых принципов управления процессами природного воспроизводства почв в техногенных геосистемах, учитывающих онтогенетические закономерности начальных стадий рецентного почвообразования.

Регенерационные изменения антропогенно нарушенных природных геосистем, включающие рецентное почвообразование, являются следствием спонтанно протекающего процесса экологической ренатурации – естественного воспроизводства компонентов и функционирования природной геосистемы, выведенной из состояния равновесия в результате антропогенного воздействия. Управление данным процессом (ренатурирование) должно строиться на учете онтогенетических и экологических закономерностей синхронно протекающих регенерационных процессов. При этом технологии ренатурирования обязательно подразумевают организацию мониторинговых и корректирующих мероприятий во времени.

Литература

1. Адерихин П. Г. Потенциальное плодородие вскрышных пород КМА [Текст] / П.Г. Адерихин и др. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1977. – 224 с.
2. Бурыкин А. М. Темпы эрозии и почвообразования в техногенных ландшафтах [Текст] / А. М. Бурыкин // Восстановление и повышение плодородия земель техногенных ландшафтов (на примере КМА). – Воронеж: Воронежский СХИ, 1982. – С. 5-36.
3. Воронов А.Г. Геоботаника [Текст] / А.Г. Воронов – М.: «Высш. школа», 1973. – 384 с.
4. Голеусов П.В. Воспроизводство почв в антропогенных ландшафтах [Текст] / П.В. Голеусов, Ф.Н. Лисецкий. – Белгород: Изд-во Белгор. гос. ун-та, 2005. – 232 с.
5. Голеусов П.В. Ренатурация техногенно нарушенных земель [Текст] / П.В. Голеусов // Экология ЦЧО РФ. – 2002. – №2 (9). – С. 121-124.

6. Голеусов П.В. Формирование почв в различных комбинациях субстратно-фитоценологических условий лесостепной зоны [Текст] / П.В. Голеусов // Почвоведение, – 2003. – №9. – С. 1050-1060.
7. Горячкин С.В. Процесс гумусонакопления в молодых почвах на промышленных отвалах (на примере КМА) [Текст] / С.В. Горячкин // Вестник Моск. ун-та. – Сер. 5, География. – 1981. – №4. – С. 72-75.
8. Гумусообразование в техногенных экосистемах [Текст] / С.С. Трофимов, Н.Н. Наплекова, Е.Р. Кандрашин и др. – Новосибирск: Наука, 1986. – 164 с.
9. Добровольский Г.В. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы: Функционально-экологический подход [Текст] / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, МАИК «Наука/Интерпериодика», 2000. – 185 с.
10. Етеревская Л. В. Процессы почвообразования в техногенных ландшафтах степи СССР [Текст] / Л. В. Етеревская, В. А. Угарова // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, 1979. – С. 140-156.
11. Засорина Э. В. Некоторые закономерности формирования биоценозов на отвалах Стойленского ГОКа [Текст] / Э. В. Засорина, И. Я. Пигорев // Восстановление и повышение плодородия земель техногенных ландшафтов (на примере КМА): Науч. тр. Т. 119. – Воронеж: Изд-во Воронеж. СХИ, 1982. – С. 55-78.
12. Классификация и диагностика почв России [Текст] / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
13. Лисецкий Ф. Н. Пространственно-временная организация агроландшафтов [Текст] / Ф. Н. Лисецкий. – Белгород: Изд-во Белгор. гос. ун-та, 2000. – 304 с.
14. Масюк Н. Т. Эколого-биологические основы сельскохозяйственной рекультивации в техногенных ландшафтах Украины (на примере Никопольского марганцеворудного бассейна) [Текст]: автореф. дис. ... докт. биол. наук / Н. Т. Масюк. – Днепропетровск, 1981. – 44 с.
15. Масюк Н. Т. Экология нарушенных горных пород: состав, свойства, ресурсы, классификация [Текст] / Н. Т. Масюк // Проблемы охраны, рационального использования и рекультивации черноземов. – М.: Наука, 1989. – С. 113-132.
16. Михаленко Е.А. Формирование молодых геосистем (на примере отвалов КМА) [Текст] : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / Е.А. Михаленко. – М., 1990. – 23 с.
17. О рекультивации земель в степи Украины [Текст] / Под ред. Н.Е. Бекаревича. – Днепропетровск: Промінь, 1971. – 218 с.

18. Почвообразование в техногенных ландшафтах на лессовых породах [Текст] / Л.В. Етеревская, Л.В. Лехциер, А.Д. Михновская, Е.И. Лапта // Техногенные экосистемы. Организация и функционирование. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 107-135.
19. Стифеев А.И. Рекультивация земель и почвообразование в техногенных ландшафтах КМА [Текст] : дис. ... д-ра с.-х. наук в форме науч. доклада / А.И. Стифеев. – Курск, 1993. – 56 с.
20. Сукачев В. Н. О некоторых основных вопросах фитоценологии [Текст] / В. Н. Сукачев // Проблемы ботаники. Т. I. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – С. 449-464.
21. Титлянова А.А. Круговорот углерода в травяных экосистемах при зарастании отвалов [Текст] / А.А. Титлянова, Н.П. Миронычева-Токарева, Н.Б. Наумова // Почвоведение. – 1988. №7. – С. 164-174.
22. Ужегова И.А. Начальные процессы почвообразования на отвалах Первоуральского месторождения железных руд [Текст] / И.А. Ужегова, Г.И. Махонина // Почвоведение. – 1984. – №11. – С. 14-21.
23. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы [Текст] / Уиттекер, Р.: пер. с англ. – М.: Прогресс, 1980. – 327 с.
24. Экологические основы рекультивации земель [Текст] / Под ред. Н. М. Черновой. – М.: наука, 1985. – 183 с.
25. Johnson C. Natural revegetation of 15 abandoned mine land sites in West Virginia [Text] / C. Johnson, J. Scousen // O. Environ. Qual. – 1994. – V. 23. № 6. – P. 1224-1230.
26. Johnson C. Mine soil properties of 15 abandoned mine soil sites in West Virginia [Text] / C. Johnson, J. Scousen // O. Environ. Qual. – 1995. – V. 24. № 4. – P. 635-643.