

ГОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

УДК 502.521: 622.88 (470.21)

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКОСИСТЕМНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

Н. Н. Мельников, С. П. Месяц, Е. Ю. Волкова

*Горный институт Кольского научного центра РАН,
E-mail: mesyats@goi.kolasc.net.ru,
ул. Ферсмана, 24, 184209, г. Апатиты, Россия*

Обоснован и данными многолетнего мониторинга на различных объектах подтвержден методологический подход к решению проблемы восстановления нарушенных земель горнопромышленного комплекса в соответствии с эволюционно сложившейся программой образования почв на минеральных субстратах формированием биологически активной среды.

Нарушенные земли, сеяный фитоценоз, биопродуктивность, биогенно-гумусо-аккумулятивный горизонт, восстановление экосистемных функций территорий

Воздействие горного производства на природную среду заключается в задалживании значительных площадей под горные отвалы, в извлечении и перемещении огромных масс горной породы, что приводит к трансформации природных форм рельефа, возникновению новых техногенных форм, преобразованию исходного минерального вещества, складированию новообразованного, а главное — к уничтожению почвенно-растительного покрова. Все это оказывает негативное влияние на элементы биосферы: атмосферу, гидросферу, литосферу и педосферу.

В результате интенсивного потребления природных ресурсов деградация почвенной оболочки Земли приобрела глобальный характер, при этом темпы разрушительного процесса возрастают. Актуальность проблемы определяет необходимость исследований в данной области, так как почвенно-растительный покров является незаменимым функциональным звеном биосферы, сохранение и восстановление которого — единственное условие существования жизни на Земле. Техногенные ландшафты представляют исключительный интерес для науки и практики, поскольку являются зонами современной регенерации почвенного покрова — главного компонента биосферы. Вновь образующиеся почвы — это почвы с точно фиксированным возрастом и стадией развития.

По мере увеличения площадей, занимаемых техногенными ландшафтами, способность таких территорий к самовосстановлению сводится практически к нулю, так как с утратой почвенно-растительного покрова развивается водная и ветровая эрозия, ухудшаются водно-физические

свойства корнеобитаемых горизонтов, разрушается гумус почв и т. д. Но самое главное, разрушается управляющая система, ответственная за состояние биогеоценоза, — живой комплекс микроборастительных сообществ, который определяет основное свойство почвенной системы — биопродуктивность, в то время как биологическая продуктивность почвенного покрова, его биоэнергетические и биохимические процессы являются ведущим механизмом функционирования биосферы, обеспечивающим биологическое разнообразие и саму жизнь на Земле [1].

Осознание фундаментальных основ конфликта между человеком и природной средой (рост добычи и потребления ресурсов разрушает базис природопользования) приводит к пониманию того, что экологический подход к рациональному природопользованию заключается в первую очередь в сохранении и восстановлении почвенной оболочки — главного ресурса Земли.

С точки зрения современного знания о роли почвенной оболочки Земли в поддержании устойчивого состояния биосферы восстановление нарушенных земель рассматривается прежде всего как восстановление экосистемных функций территории и является одной из основных задач природопользования. Изучение основ самоорганизующейся природы почв позволило определить методологический подход к восстановлению экосистемных функций территории и разработать концептуальную модель адаптивных технологий восстановления нарушенных земель в соответствии с эволюционно сложившейся программой образования почв на минеральных субстратах формированием биологически активной среды.

Максимально большой круг задач по оптимизации биопродукционного процесса при восстановлении нарушенных земель в соответствии с концепцией естественного почвообразования решается разработанной в Горном институте КНЦ РАН технологией создания сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя. Создание сеяного фитоценоза инициирует начальные стадии биологической организации горной (материнской) породы в почву. Успешность реализации технологии достигается созданием после посева полимерного покрытия, обеспечивающего высокую продуктивность травостоя за счет подавления эрозионных процессов, улучшения экологического фона корнеобитаемых горизонтов (повышение влагообеспеченности, уменьшение амплитуды температурных колебаний, защита от техногенных загрязнений) [2].

Восстановление нарушенных земель рассматривается как эволюция системы “растение — материнская порода” в конкретных климатических условиях. Определяющим фактором является продуктивность сеяного фитоценоза. С уровнем биологической продуктивности коррелирует количество поступающих в корнеобитаемые горизонты растительных остатков, корневых выделений, являющихся источником энергии для микроорганизмов, которые, в свою очередь, являются главным инструментом при восстановлении нарушенных земель. Чем больше в ландшафте представлен биокomпонент, тем интенсивнее идут процессы биологической организации горной породы в почву. Другими словами, восстановление нарушенных земель в соответствии с концепцией естественного почвообразования — это восстановление биогеохимического круговорота, который служит механизмом самоорганизации природных ландшафтов и биосферы в целом.

Тестовым объектом были выбраны отвалы отходов обогащения апатит-нефелиновых руд, характеризующиеся наибольшим проявлением факторов, лимитирующих самозаращение (мелкодисперсность и бесструктурность субстрата, полное отсутствие органического вещества и элементов питания растений, низкая водоудерживающая способность, подверженность ветровой и водной эрозии).

Изучение динамики биологической организации горной породы в почву проводится в соответствии с разработанной системой мониторинга, предполагающей комплексное и одновременное изучение генетических параметров и функциональных показателей образующихся почв [3].

Гранулометрический состав в значительной степени наследуется от материнской породы (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Гранулометрический состав минерального субстрата складированных отходов обогащения апатит-нефелиновых руд (материнская порода) и формирующихся на них молодых почв (слой 0–25 см), %

Фракция, мм	Материнская порода	15-летние почвы	25-летние почвы	30-летние почвы
< 0.001	0.01	0.1	0.9	1.1
0.001–0.005	0.14	0.6	1.2	5.1
0.01–0.005	0.40	0.9	2.1	4.2
0.05–0.01	0.41	5.1	6.5	19.5
> 0.05	99.04	92.5	89.1	69.0

В ходе многолетнего мониторинга состояния минерального субстрата отвалов отходов обогащения апатит-нефелиновых руд под влиянием сеяного фитоценоза отмечается накопление тонкодисперсных фракций. Так, содержание физической глины (< 0.01 мм) в 30-летних почвах составляет 10.4 %, что в 2.5 раза больше, чем в 25-летних почвах (рис. 1). Увеличение содержания физической глины происходит за счет выветривания фракций крупного и среднего песка, что позволяет отнести образующиеся почвы к категории “связанопесчаных” почв [4].

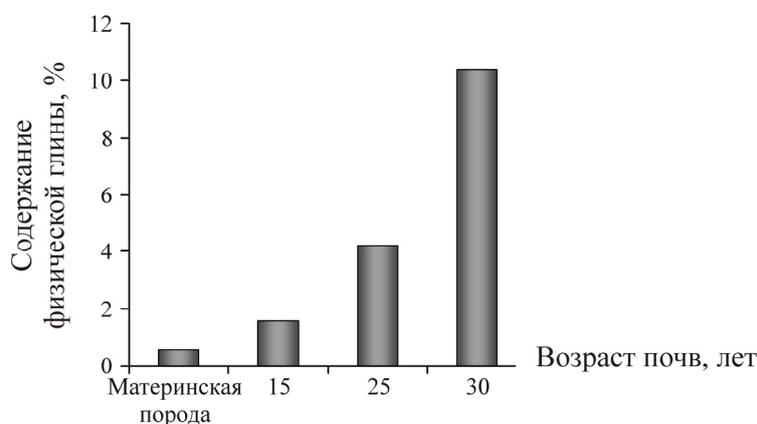


Рис. 1. Динамика накопления тонкодисперсных фракций (< 0.01 мм) в молодых почвах, формирующихся на отвалах отходов обогащения апатит-нефелиновых руд

Одной из важнейших функций гранулометрического состава является участие в формировании почвенной структуры. Согласно агрегатному анализу корнеобитаемого слоя, в 15-летних почвах преобладают агрегаты размером 0.25–0.05 мм, образованные пылеватыми фракциями, в 25-летних в большей степени формируются агрегаты ≥ 1.0 мм. Общее количество агрегатов в корнеобитаемом слое за это время увеличилось на 40 % в результате накопления структурообразователей, которыми являются корневые выделения растений, продукты метаболизма почвенной биоты, гумусовые вещества, образующиеся при разложении растительных остатков. Потенциальная способность молодых почв к оструктурированию с возрастом увеличивается: в 15-летних почвах коэффициент структурности составляет 12, в 30-летних почвах — 38, в то время как в материнской породе — 5.

С возрастом в корнеобитаемом слое молодых почв отмечается увеличение степени агрегатности с 2 до 20, что указывает на повышение водоустойчивости формирующейся почвенной структуры. Образование водопрочных агрегатов обеспечивается наличием таких агентов коагуляции, как катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , а также гидрофобных компонентов почвенного гумуса — гуминовых кислот. Эти компоненты формируют гидрофобные поверхности элементарных почвенных частиц. Гидрофобные органоминеральные соединения вступают друг с другом в термодинамически выгодные взаимодействия, которые определяют устойчивость образующихся почвенных агрегатов [5].

Накопление тонкодисперсных фракций и увеличение количества почвенных агрегатов свидетельствуют о постепенном преобразовании горной (материнской) породы в почву в ходе биологической организации. Количество и степень дисперсности элементарных почвенных частиц, соотношение их фракций и степень оструктуренности почвы, содержание гумуса обуславливают такие физические свойства почвы, как удельная поверхность, плотность, порозность.

Поверхность почвы служит той “мембраной”, в которой происходит множество процессов десорбции, сорбции, обменного и необменного поглощения, диффузии разных веществ. Удельная поверхность, наряду с гранулометрическим составом, позволяет судить о степени дисперсности почвы, т. е. накопление тонкодисперсных фракций влечет за собой увеличение удельной поверхности. Так, удельная поверхность минерального субстрата отвалов отходов обогащения апатит-нефелиновых руд (материнская порода) составляла 1.24 м²/г, в 25-летних почвах — 3.0 м²/г (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Динамика изменения физических свойств корнеобитаемого слоя молодых почв, формирующихся на отвалах отходов рудообогачения апатит-нефелиновых руд (материнская порода) в результате создания сеяного фитоценоза

Объект	Плотность, г/см ³		Порозность, %		Удельная поверхность, м ² /г
	почвы	твердой фазы	общая	аэрации	
Материнская порода	1.52	2.92	45.52	37.45	1.24
15-летние почвы	1.32	2.85	53.78	41.16	2.63
25-летние почвы	0.99	2.56	64.84	43.33	3.0

Твердая фаза почвы состоит из различных компонентов, следовательно плотность почвы представляет собой интегрированное значение плотностей обломочных, глинистых и новообразованных минералов и органических соединений. Плотность твердой фазы почвы зависит от химического и минералогического составов почвы, определяет скорость накопления гумуса, варьирует в узких пределах и наименее подвержена изменению во времени. Плотность твердой фазы материнской породы составляет 2.92 г/см³, со временем в формирующихся почвах плотность уменьшается до 2.56 г/см³, что объясняется присутствием хорошо развитых корневых систем многолетних трав и накоплением органического вещества.

Минералогический состав — важная диагностическая характеристика биологической организации минерального субстрата; с минералогическим составом связаны такие функциональные показатели, как pH среды, содержание подвижных форм химических элементов, доступных растениям, степень насыщенности основаниями, окислительно-восстановительный потенциал и т. д. Складированные отходы обогащения апатит-нефелиновых руд содержат нефелин (51.5 %), пироксены (17 %), полевые шпаты (9.2 %), сфен (6.1 %), титаномагнетит (3.2 %), слюды (2.1 %), амфиболы (1.8 %) и др.

Носителями информации о почвообразовательных процессах являются фракции размерностью меньше 1, 1–5 и 5–10 мкм. В верхней части корнеобитаемого слоя отмечены существенные изменения минералогического состава выделенных фракций — минералы почти не диагностируются, накапливаются продукты выветривания, что свидетельствует о значительной интенсивности процессов почвообразования. Наибольшая степень выветривания, сопровождающегося разрушением кристаллической решетки, наблюдается у биотита. В результате выветривания биотита образуются гидробиотит, смешанослойные слюда-сметиты, вермикулит, что приводит к пополнению калийного фонда питания растений.

В илистом материале 25-летних почв, как и в 15-летних, диагностируются биотит, гидробиотит, вермикулит, нефелин, апатит и небольшое количество тонкодисперсного кварца и плагиоклазов. Вместе с тем в 25-летних почвах отмечено доминирование рентгеноаморфных компонентов (органическое вещество, оксиды и гидроксиды Fe, Al и Si) [6].

Химический состав почв в значительной степени наследуется от минералогического состава материнской породы и подвергается изменению в процессе почвообразования. Эволюционно закрепленное свойство растений избирательно поглощать химические элементы, необходимые для роста и развития, и способность материнской породы задерживать их при разложении растительных остатков обеспечивают формирование биогенно-гумусо-аккумулятивного горизонта, обладающего высокой депонирующей способностью по отношению к элементам биогенам. Свойство гумуса депонировать элементы-биогены определено тем, что содержание этих элементов в горных породах находится в обратном отношении к метаболически оправданной насыщенности ими растений [7].

Приоритет углерода, кислорода, азота перед другими элементами обусловлен их способностью образовывать прочные ковалентные связи и давать ординарные и двойные связи, вследствие чего эти элементы могут реагировать друг с другом и создавать разнообразные соединения. Благодаря возможности наибольшего накопления энергии в ковалентных эфирных связях фосфорных групп по сравнению с другими атомными группировками, фосфор — малоподвижный в земной коре элемент — “выбран” первичными организмами для создания специфических соединений, обеспечивающих запас и перенос энергии. Калий, в результате большой подвижности, “использован” для создания градиента концентрации в клетках, контролирующего состояние мембран и активацию осмотического давления [8].

Динамика накопления органического вещества является одной из основных характеристик формирования биогенно-гумусо-аккумулятивного горизонта (рис. 2). Создание сеяного фитоценоза обеспечивает ежегодное поступление значительного количества растительных остатков, в результате чего происходит интенсивное для условий Севера формирование запасов органического вещества. Выпояживание кривой накопления гумуса с середины второго десятилетия свидетельствует о достижении формирующейся почвенной системой определенной стабильности, к концу второго десятилетия запасы гумуса (~ 86 т/га) соответствуют зональному уровню. Быстрые темпы накопления органического вещества можно объяснить стабильно высокой продуктивностью травостоя при создании сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя под полимерным покрытием, обеспечивающим прекращение ветровой и водной эрозии, улучшение экологического фона и повышение биохимической активности корнеобитаемых горизонтов. Увеличение биохимической активности сеяного фитоценоза с возрастом также свидетельствует об аккумуляции органического вещества в минеральном субстрате (рис. 3).

Чем больше в системе представлен биокomпонент, тем интенсивнее происходит разложение растительных остатков, многообразнее связи, определяющие скорость процессов биологической организации материнской породы в почву. Таким образом, биопродуктивность сеяного

фитоценоза имеет определяющее значение при восстановлении нарушенных земель без нанесения плодородного слоя в соответствии с эволюционно сложившейся программой образования почв: количество растительных остатков влияет на гумусонакопление, в свою очередь, от содержания гумуса зависит продуктивность фитоценоза (см. рис. 2).



Рис. 2. Динамика накопления гумуса при создании сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя на отвалах отходов обогащения. Складируемые отходы обогащения бадделейт-апатит-магнетитовых руд

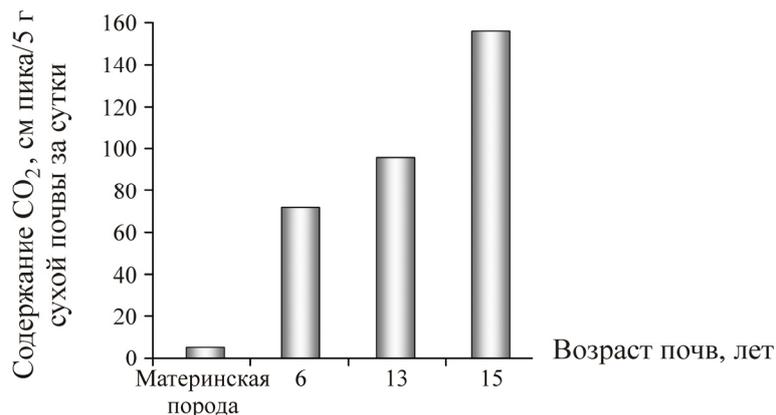


Рис. 3. Динамика биохимической активности молодых почв, формирующихся на отвалах отходов обогащения апатит-нефелиновых руд в результате создания сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя

Растительный покров выступает как системообразующая структура, способная использовать энергию Солнца и создающая в процессе фотосинтеза сложные органо-минеральные комплексы. Растения производят ту первичную продукцию, которая служит началом трофических цепей, непосредственным источником энергии для формирования биогенно-гумусо-аккумулятивного горизонта и обуславливают миграцию химических элементов в биогеохимическом круговороте.

Гумус является единственным природным образованием, способным депонировать и постепенно освобождать наиболее дефицитный элемент-биоген — азот — основной компонент гуминовых и фульвокислот гумуса. Результаты проведенных исследований отражают динамику накопления азота. Интенсивная аккумуляция азота происходит, в основном, благодаря азотфиксирующей деятельности микроорганизмов. Валовой запас азота в корнеобитаемом слое молодой почвы уже спустя 12 лет составляет 2.8 т/га, что соответствует показателю в зональных дерново-подзолистых почвах. Увеличение содержания нитратной (с 0.01 мг/100 г в контроле до 0.56 мг/100 г в 25-летних

почвах) и аммонийной (с 0.16 до 0.95 мг/100 г) форм азота в процессе биологической организации горной породы коррелирует с увеличением содержания гумуса и общего азота, что свидетельствует о развивающихся процессах минерализации органического вещества (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Функциональные показатели динамики биологической организации горной породы в почву

Возраст почв, лет	pH		мг/100 г почвы				мг-экв/100 г почвы			%		
			Кислотная вытяжка		Водная вытяжка		Гидролитическая кислотность	Сумма обменных K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}	Емкость обмена	$N_{\text{общ}}$	C	Гумус
	H_2O	KCl	P_2O_5	K_2O	NO_3^-	NH_4^+						
Материнская порода	7.1	6.9	39.2	2.1	0.01	0.16	0.20	4.01	4.21	н/о	0.15	н/о
3	7.0	6.6	72.2	2.3	0.10	0.22	0.40	6.35	6.75	0.02	0.31	0.53
7	6.7	6.1	81.0	2.7	0.16	0.37	0.74	7.15	7.89	0.06	0.75	1.29
12	6.1	5.2	80.0	3.0	0.35	0.66	1.12	7.83	8.95	0.09	1.04	1.79
17	6.8	6.2	82.6	5.2	0.37	0.41	1.14	6.84	7.98	0.09	1.13	1.94
22	6.8	6.1	87.5	6.1	0.39	0.92	1.12	6.79	7.91	0.11	1.20	2.06
25	7.0	6.2	90.9	6.9	0.56	0.95	1.10	7.91	9.01	0.14	1.27	2.20

Наряду с азотом важными элементами для растений являются фосфор и калий. Отходы обогащения содержат значительное количество фосфора благодаря апатиту, не полностью извлеченному из руды, правда, представленному высокоосновными, труднодоступными для растений фосфатами. Превращение труднодоступных форм фосфора в легкодоступные происходит под действием свободных кислот, образующихся при биохимической трансформации почвенных углеводов. Проведенные исследования отражают тенденцию накопления доступного растениям фосфора — его количество увеличилось до 90 мг/100 г.

В отличие от азота и фосфора калий не входит в состав органических соединений, а находится в растительной клетке в ионной форме, в виде растворимых солей клеточного сока. Физиологическая функция калия состоит в регуляции осмотического давления в клетках, а также в участии в процессе фотосинтеза. За 25 лет существования фитоценозов содержание доступного для растений калия увеличилось: извлекаемого 0.2 N HCl — с 2.1 до 6.9 мг/100 г, обменного — с 1.01 до 1.88 мг-экв/100 г в результате разложения нефелина $((Na,K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2)$ под действием почвенного раствора.

Характеристикой формирования почв является также сумма обменных катионов, определяющая способность почвы к ионному обмену, которая зависит от состояния почвенно-поглощающего комплекса (ППК) и наличия илистой фракции. С накоплением органического вещества увеличивается способность молодой почвы к катионному обмену. Увеличение суммы обменных катионов (до 7.91 мг-экв/100 г через 25 лет) происходит благодаря увеличению содержания катионов кальция, натрия, калия, магния, освобождающихся в процессе трансформации минералов под действием органических кислот, корневых выделений растений, имеющих кислотную природу, и жизнедеятельности микроорганизмов. Увеличение емкости катионного обмена свидетельствует об увеличении органического вещества, степени дисперсности и буферности формирующейся почвы.

От состава ППК зависит гидролитическая кислотность. Вследствие обедненности материнской породы илистой фракцией, основу ППК составляют органические кислоты гумуса. Количество гумуса и гидролитическая кислотность взаимосвязаны между собой: с увеличением возраста почв и накоплением органического вещества возрастает и гидролитическая кислотность от 0.2

до 1.1 мг-экв/100 г почвы (см. табл. 3). Оценивая реакцию почвенной среды, можно заметить, что по мере развития сеяного фитоценоза происходит изменение рН в сторону подкисления, а затем реакция среды вновь становится нейтральной: материнская порода имеет нейтральную или слабощелочную ($pH_{\text{водн}} 7.1$) реакцию среды, через 12 лет после посева трав $pH_{\text{водн}} 6.1$, через 25 лет $pH_{\text{водн}} 7.0$. Изменение реакции почвенной среды происходит под действием активно продуцирующих растений, имеющих кислые корневые выделения; с возрастом в молодых почвах формируются буферные свойства, препятствующие дальнейшему закислению.

Таким образом, почва возникает и начинает функционировать с момента, когда экспонированная на дневной поверхности горная (материнская) порода начинает взаимодействовать с внешней средой. При этом протекают взаимодействия между газами, растворами, твердой фазой и биотой, которые и определяют функционирование почвы как открытой многофазной системы. В результате циклического функционирования такой системы образуются биомасса и ряд продуктов, представленных газами, растворами органических, минеральных и органо-минеральных соединений и твердофазными продуктами в виде новообразованных веществ (гумус, соли, карбонаты, гидроксиды Fe и Al, глинистые силикаты, структурные агрегаты, конкреции и т. д.). Общий процесс образования, отбора, накопления и дифференциации по глубине твердофазных продуктов является процессом биологической организации материнской породы в почву.

Анализ данных мониторинга состояния фитоценоза показал, что в течение первых 20 лет его видовой состав представлен преимущественно сеянными видами трав. Устойчивость сеяного фитоценоза в течение длительного времени объясняется не только адаптацией сеяных злаков к климатическим условиям, но и стабильностью их межвидовых отношений. Сеяный фитоценоз, как и любая экосистема, с течением времени претерпевает изменения. На основании геоботанических исследований сеяного фитоценоза на отвалах отходов рудообогатения выделены следующие стадии сукцессии растительного покрова: луговое и лесное сообщество (рис. 4).



Рис. 4. Этапы сукцессии сеяного фитоценоза на отвалах отходов рудообогатения: *а* — первое десятилетие (луговое сообщество); *б* — третье десятилетие (лесное сообщество)

Обогащение видowego состава, отмеченное во втором десятилетии существования сеяного фитоценоза, идет за счет типичных луговых растений, однако доминирующее положение в травостое по-прежнему занимают сеяные злаки.

В ходе сукцессии постепенно нарастает видовое разнообразие, что ведет к усложнению связей внутри фитоценоза. Постепенно в развивающемся сообществе появляются и закрепляются более крупные формы с длительными и сложными циклами развития. Третье десятилетие существования сеяного фитоценоза характеризуется заметным обогащением видowego состава, формированием ярусной структуры за счет активного внедрения местных видов, в том числе деревьев и кустарников.

ВЫВОДЫ

При восстановлении нарушенных земель в соответствии с эволюционно сложившейся программой образования почв на первом этапе создается сеяный фитоценоз и адекватные ему почва и микрофлора, восстанавливается биогеохимический круговорот элементов. По мере развития сеяного фитоценоза активизируются процессы энергомассообмена, увеличивается корневая масса, возрастает количество растительных остатков, увеличивается численность микрофлоры, усиливается биохимическая активность, образуется биогенно-аккумулятивный слой с последующим формированием биогенно-гумусо-аккумулятивного горизонта, являющегося специфическим образованием в материнской породе, генетически связанным с растительным покровом, выполняющего главные экосистемные функции — синтез и разложение органического вещества, депонирование элементов-биогенов.

Устойчивость сеяного фитоценоза в течение длительного времени свидетельствует о стабильности межвидовых отношений, адаптации к изменениям внешней среды и оптимальном использовании ими жизненных ресурсов. Сеяный фитоценоз, выступая как системообразующая структура, создает условия для перехода к фитоценозу со структурой окружающего природного ландшафта. Увеличение биоразнообразия повышает компенсаторные возможности созданной экосистемы по отношению к внешней среде и обеспечивает увеличение экологической емкости территории.

Результаты, полученные на различных объектах в разных климатических зонах, подтверждают эффективность предлагаемого методологического подхода к решению проблемы восстановления нарушенных земель горнопромышленного комплекса без нанесения плодородного слоя в соответствии с эволюционно сложившейся программой образования почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ковда В. А.** Роль и функции почвенного покрова в биосфере Земли. — Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1985.
2. **Месяц С. П.** Восстановление почвенно-экологических функций территории — концептуальная модель адаптивных технологий восстановления нарушенных земель // Экология антропогена и современности: природа и человек: сб. науч. докл., представленных на междунар. конф. — Волгоград; Астрахань, 24–27 сентября 2004 г. — СПб.: Гуманистика, 2004.
3. **Месяц С. П., Мельников Н. Н.** Концепция и технологические решения восстановления нарушенных земель горнопромышленного комплекса // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. — Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005.
4. **Качинский Н. А.** Физика почвы. — М.: Высш. шк., 1965.
5. **Милановский Е. Ю., Шейн Е. В.** Функциональная роль амфифильных компонентов гумусовых веществ в процессах гумусо-структурообразования и в генезисе почв // Почвоведение. — 2002. — № 10.
6. **Месяц С. П., Румянцева Н. С., Волкова Е. Ю., Чижикова Н. П.** Исследование структуры и минералогической составляющей молодых почв, формирующихся на отвалах отходов рудообогатения в результате создания сеяного фитоценоза // Сб. докл. VIII Всерос. конф. “Освоение Севера и проблемы природовосстановления”, 24–26 мая 2011. — Сыктывкар, 2011.
7. **Методологические и методические аспекты почвоведения** / В. К. Бахнов, Г. П. Гамзиков, В. Б. Ильин и др. — Новосибирск: Наука, 1988.
8. **Ленинджер А.** Биохимия: пер. с англ. — М.: Мир, 1976.

Поступила в редакцию 1/XI 2014