УДК 504.12:622.88(470.21)

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ, НАРУШЕННЫХ ПРИ ОСВОЕНИИ ГЕОРЕСУРСОВ

С. П. МЕСЯЦ, *ведущий научный сотрудник, mesyats@goi.kolasc.net.ru*
М. Ю. НОВОЖИЛОВА, *научный сотрудник*
Н. С. РУМЯНЦЕВА, *ведущий технолог*
Е. Ю. ВОЛКОВА, *ведущий технолог*

Горный институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

Выполнено научное обоснование восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, в соответствии с принципом их самоорганизации для сохранения устойчивого состояния биосферы. Исследование в ходе мониторинга процессов восстановления нарушенных земель техногенных ландшафтов в соответствии с концепцией естественного почвообразования показало, что создание сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя приводит к образованию биологически активной среды, обеспечивающей быстрое накопление органического вещества, формирование биогенно-гумусо-аккумулятивного горизонта, значительно более быстрое, чем при самозарастании, формирование фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта, восстановление экологической емкости территории, увеличение биоразнообразия и в конечном счете – восстановление природных экосистем.

Ключевые слова: *нарушенные земли, восстановление природных экосистем, сеяный без нанесения плодородного слоя злаковый фитоценоз, биологически активная среда, биопродуктивность, формирование почвенной системы, сукцессия, фитоценоз окружающего ландшафта.*

DOI: *10.17580/gzh.2019.06.11*

Введение

В конце второго тысячелетия стало очевидно, что развитие цивилизации, базирующейся на освоении природных ресурсов, приводит к перманентному разрушению природной среды, тогда как экологическая безопасность существования человеческого общества обеспечивается только в условиях устойчивого состояния биосферы. Фундаментальный характер этого противоречия свидетельствует о невыполнении человеком генетически заложенной в ходе эволюции функции сохранения условий своего существования. Глобальная проблема сохранения биосферы, как необходимого условия выживания человечества, не может быть решена в рамках парадигмы развития земной цивилизации с приоритетом экономических интересов и требует формирования экологической парадигмы, ориентированной на приоритет интересов живой природы [1]. Современные экологические процессы на глобальном уровне необходимо рассматривать сквозь призму закономерностей развития (эволюции) биосферы [2].

Будучи междисциплинарной, проблема сохранения устойчивого состояния биосферы выводит на первое место необходимость сохранения и восстановления почвенной оболочки Земли, являющейся местом пересечения всех потоков энергомассообмена на планете и выполняющей важнейшие функции (обеспечение циклического характера воспроизводства жизни на Земле, сохранение биоразнообразия, сохранение современного климата Земли и режима функционирования остальных структур биосферы – атмосферы, гидросферы, литосферы). Концепция «биотической регуляции природной среды», проверенная эволюцией, заключается в том, что единственной возможностью выживания человечества является восстановление природных экосистем в масштабах, необходимых для выполнения биотой функции саморегуляции природной среды на глобальном уровне [3].

Концепция устойчивого развития биосферы широко декларируется в последнее время. На фоне обострения экологического кризиса очевидна необходимость постановки широкомасштабных программ по восстановлению природных экосистем, опираясь на изучение законов развития биосферы и общества [2, 4, 5].

Сохранение и восстановление природных экосистем относится к числу самых актуальных и трудноосуществимых задач, стоящих перед цивилизацией, поскольку почвенно-растительный покров, являясь средой жизнеобеспечения человека, одновременно является базисом природопользования. Объемы добычи и переработки георесурсов, определяющих развитие цивилизации, перманентно возрастают. Освоение месторождений бедных руд увеличивает объемы извлекаемой горной массы и отходов, площади отчуждаемых земельных ресурсов, что приводит к еще большему разрушению природных экосистем [6]. Воздействие горнодобывающей отрасли на природную среду заключается в извлечении и перемещении огромных масс горной породы, следствием чего является трансформация природных форм рельефа, возникновение новых техногенных форм, преобразование исходного минерального вещества, складирование новообразованного, оказывая влияние на литосферу, гидросферу, атмосферу и педосферу. В результате добычи полезных ископаемых, строительства зданий, транспортных магистралей, дамб и плотин объем ежегодно перемещаемых горных пород в два раза больше, чем при всех экзогенных процессах на Земле в совокупности [7].

В рамках разработанной в Горном институте КНЦ РАН экологической стратегии развития горного дела, заключающейся в снижении техногенной нагрузки на природную среду при повышении эффективности добычи и переработки минерального сырья, восстановление нарушенных земель, рассматривается как неотъемлемая часть освоения георесурсов от проектирования до вывода месторождения из эксплуатации [8].

Действия горнопромышленных предприятий в России при отчуждении площадей природных ландшафтов в пользование на срок отработки месторождения регламентируются основными положениями «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы». В других странах акты регулирования представлены best practice

и рекомендациями guidelines. При этом преимущественной целью рекультивации нарушенных земель в третьем тысячелетии позиционируется ecological restoration – восстановление первоначального ландшафта. В США и Западной Европе критерием качества восстановления считается не учет в проекте формальных нормативов, а степень соответствия восстановленного ландшафта исходному природному [9–11].

Многообразие существующих типов почв есть исторический результат реализации единой программы почвообразования, заложенной и проверенной в ходе эволюции, где главными агентами являются горная порода и биота (совокупность растений и живых организмов), результатом взаимодействия которых в конкретных климатических условиях с учетом рельефа поверхности с течением времени является почвенная система [12].

Анализ практики восстановления нарушенных земель показывает, что наиболее перспективный путь состоит в содействии регенерационным возможностям природной среды на основе изучения потенциала самовосстановления конкретной природной системы, выявления закономерностей сукцессии при самовосстановлении нарушенных земель для прогнозирования экологического состояния техногенных ландшафтов [4, 13, 14].

На предыдущем этапе исследований авторами статьи разработан алгоритм оптимизации продукционного процесса при восстановлении нарушенных земель техногенных ландшафтов, цель которого – достижение стабильно высокой биопродуктивности восстанавливаемых земель за счет подавления эрозионных процессов, улучшения гидротермического режима, уменьшения техногенной нагрузки, повышения биохимической активности и т. п. Поскольку растения, усваивая солнечную энергию, определяющую жизнь биосферы, являются организатором формирующейся почвенной системы, прохождение фитомелиоративного этапа обязательно для ускорения восстановления нарушенных земель [15].

На основании изучения самоорганизуемой природы почв обоснована методология и разработана технология восстановления нарушенных земель горнопромышленной отрасли в соответствии с концепцией естественного почвообразования, согласно которой почва является продуктом взаимодействия горной породы, биоты, климата, рельефа и времени. Восстановление нарушенных земель в рамках концепции рассматривается как эволюция системы «горная порода – растение» в конкретных климатических условиях созданием сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя, обеспечивающего формирование биологически активной среды [15].

Разработанная методология восстановления нарушенных земель подтверждена результатами многолетнего мониторинга на различных объектах в разных климатических зонах. Сеяный фитоценоз создает условия для значительно более быстрого, чем при самовосстановлении, формирования фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта. Анализ данных мониторинга показал, что в первое десятилетие видовой состав представлен преимущественно сеяными видами семейства злаковых, с течением времени наблюдается массовое подселение местных видов. Появление вертикальной структуры, увеличение видового разнообразия и встречаемости древесных видов характеризует формирование фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта.

Научная новизна исследований заключается в современном подходе к восстановлению нарушенных земель в рамках программы ecological restoration, получении новых знаний о самоорганизации природных систем, междисциплинарном подходе к исследованию процессов восстановления нарушенных земель в соответствии с концепцией естественного почвообразования на основе интегрированного анализа биологической организации горной породы.

Характеристика объекта изучения

Тестовым объектом исследования процессов биологической организации горной породы при восстановлении нарушенных земель в соответствии с концепцией естественного почвообразования определены складированные отходы (хвосты) рудообогащения в центральной части Кольского полуострова, характеризуемые максимальным проявлением факторов, лимитирующих процессы самозарастания (мелкодисперсность и бесструктурность отходов, низкая влагоемкость, полное отсутствие органического вещества, интенсивное проявление ветровой и водной эрозии).

Исследование процессов самозарастания отвалов отходов рудообогащения в условиях Заполярья показало, что за 10 лет наблюдений выявлено подселение единичных особей местных видов, формирующих разреженные группировки [16].

Валовой химический состав складированных отходов обогащения апатит-нефелиновых и бадделеит-апатит-магнетитовых руд приведен ниже.

Химический состав отходов обогащения апатит-нефелиновых руд

Компоненты	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	TiO_2	CaO	Fe_2O	MgO	MnO	Cr_2O_5	P_2O_5
Содержание	39,69	19,08	7,20	6,98	4,57	2,20	0,98	0,13	0,01	2,16

Химический состав отходов обогащения бадделеит-апатит-магнетитовых руд

Компоненты	MgO	CaO	SiO_2	CO_2	P_2O_5	$Fe_{общ}$	K_2O	ZrO_2	S
Содержание	23,76	18,73	23,71	12,91	4,71	4,36	1,11	0,17	0,23

Мониторинговый полигон площадью ~6 га был заложен при разработке технологии восстановления нарушенных земель, основанной на концепции естественного почвообразования. Сущность технологии заключается в создании сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя на фоне стартовых минеральных удобрений, вносимых по среднезональной норме [15].

Методика и результаты исследования

Исследование процессов восстановления нарушенных земель техногенных ландшафтов в соответствии с концепцией естественного почвообразования проводится в течение 38 лет на тестовом

Рис. 1. Восстановление природных экосистем в соответствии с принципом их самоорганизации

объекте (откосы ограждающей дамбы действующего хвостохранилища) в соответствии с разработанной системой мониторинга [15], предусматривающей комплексное и одновременное изучение генетических параметров и функциональных показателей формирующегося почвенно-растительного покрова методами, принятыми в минералогии, геохимии, грунтоведении, почвоведении, экологии, лесоведении, геоботанике [17].

Восстановление нарушенных земель в соответствии с концепцией естественного почвообразования рассматривается как эволюция системы «растение – горная порода» в конкретных климатических условиях, где организатором почвенной системы являются растительные сообщества. С уровнем биологической продуктивности коррелирует количество поступающих в корнеобитаемые горизонты растительных остатков, корневых выделений, являющихся источников энергии для микроорганизмов – главного инструмента почвообразования. Чем больше в формирующейся почве представлен биокомпонент, тем энергичнее происходит разложение растительных остатков, интенсивнее идут процессы биологической организации горной породы, выше степень самоорганизации ландшафта.

Данные многолетнего мониторинга свидетельствуют об организующей роли растительного покрова в процессах восстановления нарушенных земель. Образование биологически активной среды в результате создания сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя приводит к быстрому накоплению органического вещества и формированию запасов гумуса при ежегодном поступлении большого количества растительных остатков [18] (**рис. 1**, *а*, *б*).

Наиболее перспективными видами для создания сеяных фитоценозов в Заполярье, по данным мониторинга, являются злаковые: кострец безостый, овсяница луговая и красная, мятлик луговой, тимофеевка луговая, которые характеризуются комплементарностью в травосмесях, хорошо развитой корневой системой, высокой биопродуктивностью, зимостойкостью и способностью давать семена для самовозобновления растительного покрова. Вносятся в среднезональной норме на фоне стартовых минеральных удобрений. Органические удобрения не используются.

Включение в состав злаковых травосмесей однолетней покровной культуры обеспечивает уже в первый год поступление большого количества растительных остатков, которые являются основным поставщиком органического вещества в горную породу, пополняя запасы минерального питания растений и определяя биохимическую активность образующейся почвенной системы, скорость накопления гумуса (см. рис. 1, *а*). Эволюционно закрепленное свойство растений – извлекать элементы-биогены и способность горной породы задерживать их при разложении растительных остатков – начальный и конечный пункты биогенной аккумуляции, приводящей к образованию гумусо-аккумулятивного горизонта, обеспечивающего самовоспроизводство биоты.

По современным представлениям система «растение – гумус» относится к саморегулирующимся системам с обратными связями, сложившимися в ходе эволюции. Каждый из партнеров этой

системы стимулирует развитие другого и через него – свое собственное: количество растительных остатков определяет скорость гумусонакопления, от содержания гумуса, в свою очередь, зависит продуктивность фитоценоза. Обратные связи являются основным механизмом, ответственным за самоорганизацию в природной среде (см. рис. 1, *а*, *б*).

Средняя многолетняя продуктивность злакового травостоя в первые 15 лет составляет ~12 т/га (см. рис. 1, *а*). Уже через 6 лет после создания сеяного фитоценоза на отвалах отходов рудообогащения без нанесения плодородного слоя содержание гумуса в корнеобитаемом слое составило около 23 т/га, а к середине второго десятилетия – около 86 т/га. Выполаживание кривой накопления гумуса свидетельствует о выходе формирующейся почвенной системы в состояние динамического равновесия (см. рис. 1, *б*). Биогенно-гумусо-аккумулятивный горизонт выполняет главные экосистемные функции – синтез и разложение органического вещества, депонирование элементов-биогенов, перевод их в доступную для растений форму и обеспечивает воспроизводство растительного сообщества**.** Устойчивость сеяного фитоценоза в течение длительного времени объясняется адаптацией сеяных злаков к климатическим условиям и стабильностью их межвидовых отношений при использовании жизненных ресурсов. С течением времени сформированные на засеянных отвалах биогеохимические потоки постепенно «срастаются» с биогеохимическими потоками окружающего природного ландшафта.

В ходе многолетнего мониторинга на основании геоботанических описаний выделены три стадии сукцессии сеяного злакового фитоценоза: луговая, переход от луговой стадии к лесной, лесная стадия (см. рис. 1).

Если в первое десятилетие видовой состав фитоценоза представлен преимущественно сеяными видами семейства злаковых, во втором (луговая стадия сукцессии) наблюдается массовое подселение местных видов – луговых опушечных растений, появляются кустарники и представители древесных пород. В третьем десятилетии (переход от луговой к лесной стадии сукцессии) наблюдается формирование вертикальной структуры, представленной мохово-лишайниковым, травяно-кустарничковым и древесно-кустарниковым ярусами. Активное подселение деревьев и кустарников свидетельствует о сингенетической смене, характеризующей формирование фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта. Формируется мелколиственный древостой с участием хвойных общей численностью (вместе с порослью) более 60000 ед/га (см. рис. 1).

Источниками семян растений, подселившихся в ходе сукцессии сеяного фитоценоза на откосы ограждающей дамбы складированных отходов рудообогащения, являются лесной массив предгорий Хибин, фитоценоз Хибинского горного массива и фитоценоз вдоль транспортных магистралей рядом с дамбой хвостохранилища (**рис. 2**).

Как показало геоботаническое исследование лесной стадии сукцессии сеяного фитоценоза, распределение растений по высоте откоса зависит от градиента влажности. Нижняя, более увлажненная, часть откоса заселена березой пушистой, ольхой, осиной, ивой филиколистной; их высокая сомкнутость обусловила затенение нижних ярусов, что способствует появлению здесь тенелюбивых кустарничков (черника, голубика), лесного разнотравья (ортилия, одноцветка, линнея) и некоторых видов зеленых мхов. Высота древесного яруса достигает 6 м, сомкнутость крон 0,8, общее проективное покрытие (ОПП) 100 %. Вверх по склону поднимаются более светолюбивые лесные и луговые виды, умеренно требовательные к увлажнению: береза бородавчатая, ива козья и копьевидная, ель, можжевельник, большинство травянистых видов (клевер луговой, тысячелистник, кошачья лапка, луговик извилистый, иван-чай), из кустарничков – брусника и вереск. Высота древесного яруса 2–5 м, сомкнутость крон 0,5, ОПП 100 %. В верхней части откоса подселяются виды открытых местообитаний: сосна, вороника, толокнянка, тундровый вид – астрагал северный и некоторые виды мхов. Высота деревьев не выше 2,5 м, сомкнутость крон 0,5, ОПП 90 %. Древостой на всех частях откоса находится в стадии интенсивного формирования, густота его на разных площадках колеблется в зависимости от размеров деревьев, их возраста и определяет степень сомкнутости крон.

По результатам геоботанических исследований лесной стадии сукцессии сеяного фитоценоза и фитоценоза окружающего природного ландшафта установлено, что на откосе хвостохранилища формируется фитоценоз, соответствующий окружающему природному ландшафту (см. **таблицу**).

В целом лесная стадия сукцессии сеяного злакового фитоценоза характеризуется как прогрессивная с увеличением видового разнообразия, формированием вертикальной структуры, количеством древесно-кустарниковых единиц, увеличением мощности растительного покрова, влиянием прилегающего природного ландшафта. Геоботаническое описание лесной стадии сукцессии выявило 89 видов из 38 семейств (см. рис. 1, *в*).

Критерием устойчивости формирующейся при восстановлении нарушенных земель экосистемы является биопродуктивность фитоценоза, определяющая на основе обратных связей запасы гумуса при биологической организации горной породы.

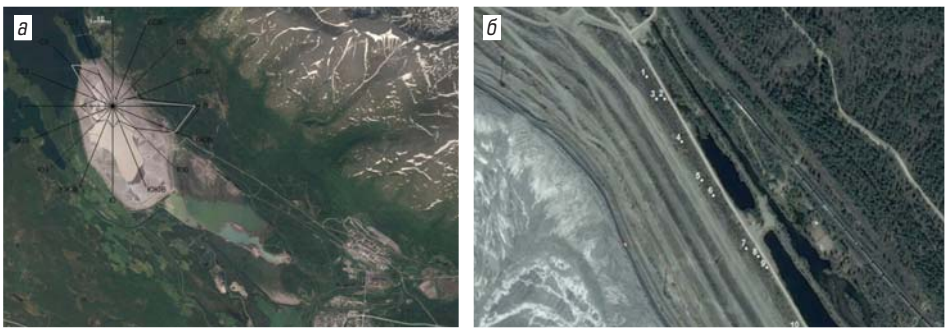

Рис. 2. Складированные отходы рудообогащения (*а*) и расположение учетных площадок на ограждающей дамбе хвостохранилища (*б*)

Сравнительная характеристика видов лесной стадии сукцессии сеяного фитоценоза, лесного массива предгорий Хибин и фитоценоза, прилегающего к транспортным магистралям

Показатель	Стадии сукцессии сеяного злакового фитоценоза				Лесной массив предгорий Хибин	Фитоценоз вдоль транспортных магистралей
	Сеяный фитоценоз	Луговая	Переход от луговой стадии к лесной	Лесная		
Мощность покрова, см	70	70	150	700	2500	1200
Число ярусов	1	1	3	4	4	4
Число видов	6	24	75	89	48	64
В том числе:						
деревья и кустарники	–	–	8	12	9	10
кустарнички	–	–	5	7	6	6
разнотравье	6	24	47	34	18	41
мохообразные	–	–	5	9	8	2
лишайники	–	–	8	23	6	2
Другие (грибы, водоросли)	–	–	2	4	–	3
Доминанты	Луговые (сеяные) виды	Луговые (сеяные) виды	Луговые (сеяные) виды Разнотравье Мохообразные	Деревья Кустарники Кустарнички Мохообразные	Деревья Кустарники Кустарнички Мохообразные	Деревья Кустарники Кустарнички Разнотравье
Содоминанты	–	Луговое разнотравье	Деревья Кустарники	Луговые (сеяные) виды Разнотравье	Разнотравье	Мохообразные
Плотность деревьев, ед/га	–	–	~6000	~60000	2000–3000	До 50000

Увеличение видового разнообразия растительного покрова в ходе сукцессии приводит к возрастанию биологической продуктивности фитоценоза. Исследование биопродуктивности лесной стадии сукцессии проводили по общепринятым методикам полевых исследований лесных насаждений [19, 20]. Лесная стадия характеризуется значительной величиной суммарной биомассы древесного, травянисто-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов и составляет 62,99 т/га (наземная часть) и 88,96 т/га (подземная часть).

Видовое разнообразие растительного сообщества является интегральным показателем состояния экосистемы. Его качественно-количественное изменение, вызванное любым внешним воздействием, обусловливает соответствующее изменение емкости биологического круговорота органического вещества и изменение характеристик почвы [21]. Так, изменение видового состава и характера опада в ходе сукцессии сеяного фитоценоза оказывают влияние на гумусовое состояние почв, характеризуемое его качественным составом. При переходе от лугового к лесному сообществу количество гуминовых кислот (ГК) уменьшается, исчезает фракция ГК2, количество фульвокислот (ФК) возрастает, соотношение их фракций приобретает черты зональных лесных почв (появляется фракция ФК2, наибольший вклад в сумму ФК вносит фракция ФК3). Формирующаяся под лесным сообществом почва характеризуется фульватным типом гумуса ($C_{ГК}:C_{ФК} = 0,5$), как и почвы окружающего природного ландшафта.

Для условий Кольского полуострова свойственна выраженная дифференциация профилеобразующих элементов, приводящая к формированию элювиально-иллювиального профиля с морфологическими и химическими различиями горизонтов, характеризующая Al-Fe-гумусовый тип почвообразования [22]. По сравнению со зрелыми подзолистыми почвами, где профильная дифференциация Al, Fe и Si прослеживается для валовых количеств этих элементов, для почвы лесной стадии сукцессии сеяного фитоценоза более информативным является распределение оксалаторастворимых (аморфных) форм их миграции и аккумуляции. Распределение профилеобразующих элементов в почве, формирующейся на отвалах отходов рудообогащения, позволяет отнести ее к альфегумусовому типу. Специфика минералогического состава горной породы обусловливает бóльшую подвижность Al по сравнению с Fe [23].

Исследование в ходе мониторинга процессов биологической организации горной породы при восстановлении нарушенных земель техногенных ландшафтов в соответствии с эволюционно сложившейся программой образования почв показало: генетическая характеристика формирующейся почвы близка лесным почвам Кольского полуострова.

Видовой состав и биопродуктивность лесной стадии сукцессии сеяного фитоценоза, а также генетическая характеристика формирующейся почвы свидетельствуют о формировании фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта, восстановлении экологической емкости территории, увеличении биоразнообразия и в конечном счете – восстановлении природных экосистем.

Заключение

В результате проведенных исследований выполнено научное обоснование восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов, в соответствии с принципом их самоорганизации для сохранения устойчивого состояния биосферы. Исследование в ходе мониторинга процессов восстановления

нарушенных земель техногенных ландшафтов в соответствии с концепцией естественного почвообразования показало, что создание сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя приводит к образованию биологически активной среды, обеспечивающей быстрое накопление органического вещества, формирование биогенно-гумусо-аккумулятивного горизонта, значительно более быстрое, чем при самозарастании, формирование фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта, восстановление экологической емкости территории, увеличение биоразнообразия и в конечном счете – восстановление природных экосистем.

Выявлены интегральные и управляемые показатели восстановления биопродукционного потенциала нарушенных земель техногенных ландшафтов при реализации программы образования почвенной системы, заложенной в ходе эволюции. Обобщение знаний о закономерностях влияния факторов среды на скорость восстановления нарушенных земель техногенных ландшафтов подтвердило, что создание сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя приводит к образованию биологически активной среды, обеспечивающей значительно более быстрое, чем при самозарастании, восстановление природных экосистем.

Оценка динамики восстановления нарушенных земель по спутниковым данным в продолжение исследований других авторов [24, 25] показала: при значении вегетационного индекса окружающего природного ландшафта, характеризующего его фотосинтезирующую активность, 0,8, сеяный фитоценоз уже на третий-четвертый год выходит на величину ~0,7, что свидетельствует о полноте проективного покрытия формирующегося фитоценоза [26].

Опыт реализации разработанной в Горном институте КНЦ РАН технологии восстановления нарушенных земель созданием сеяного злакового фитоценоза без нанесения плодородного слоя для формирования биологически активной среды, результаты многолетнего мониторинга восстанавливаемых земель на различных объектах горной отрасли в различных климатических зонах подтвердили правильность разработанной методологии, обеспечивающей возможность восстановления природных экосистем при восстановлении нарушенных земель горнопромышленной отрасли в соответствии с концепцией естественного почвообразования.

Технология имеет опыт реализации на любом рельефе, в условиях загрязнения тяжелыми металлами, радионуклидами, нефтепродуктами. Исключает трудоемкие дорогостоящие работы по нанесению плодородного слоя.

Успешность реализации технологии на сложных объектах, таких как отвалы вскрышных пород, хвостохранилища мелкодисперсных отходов рудообогащения, откосы инженерных сооружений или транспортных магистралей с повышенным уровнем загрязнения, обеспечивается созданием полимерного покрытия (мелкокапельное нанесение водных полимерных эмульсий после посева злаковых травосмесей). Полимерное покрытие характеризуется долговременным действием, устойчивостью к атмосферным осадкам, экологической чистотой, воздухо- и водопроницаемостью, способностью к биоразложению со временем. Обеспечивает подавление ветровой и водной эрозии, повышение влагосодержания, стабилизацию гидротермического режима, снижение уровня загрязнений, активизацию биохимических процессов [15].

Технологический регламент на проведение работ разрабатывается с учетом особенностей каждого объекта на договорных условиях и содержит полные исходные данные: требования к техническому этапу рекультивации, состав травосмесей, норму их внесения, норму расхода минеральных удобрений для разового стартового внесения при посеве, в случае необходимости – технологические режимы создания полимерного покрытия, характеристику товарного реагента, реквизиты его изготовителя, требования к транспортированию и хранению, реквизиты заводов-изготовителей специальной техники и ее характеристику.

Авторы выражают благодарность сотруднику Полярно-альпийского ботанического сада-института КНЦ РАН канд. биол. наук Н. Е. Королевой за помощь в проведении геоботанических исследований.

Библиографический список

1. *Вернадский В. И.* Научная мысль как планетарное явление. – М. : Наука, 1991. – 271 с.
2. *Снакин В. В.* Эволюция биосферы и «устойчивое развитие» // Российский журнал прикладной экологии. 2015. № 1. С. 3–9.
3. *Добровольский Г. В., Никитин Е. Д.* Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы: функционально-экологический подход. – М. : Наука/Интерпериодика, 2000. – 185 с.
4. *Арчегова И. Б., Кузнецова Е. Г., Лиханова И. А., Панюков А. Н., Хабибуллина Ф. М., Виноградова Ю. А.* Формирование лесных экосистем на посттехногенных территориях в таежной зоне. – Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2015. – 140 с.
5. *Арчегова И. Б., Панюков А. Н.* Природопользование и устойчивость биосферы // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 3(201). С. 2–6.
6. *Cooke J. A., Johnson M. S.* Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice // Environmental Reviews. 2002. Vol. 10. No. 1. P. 41–71.
7. *Пучков Л. А., Воробьев А. Е.* Человек и биосфера: вхождение в техносферу : учебник. – М. : МГГУ, 2000. – 342 с.
8. *Мельников Н. Н.* Информационные технологии в реализации экологической стратегии развития горнодобывающей отрасли // ГИАБ. 2017. Спец. выпуск 23. Информационные технологии в реализации экологической стратегии развития горнодобывающей отрасли. С. 7–18.
9. *van Andel J., Aronson J.* Restoration Ecology: The New Frontier. 2nd ed. – Chichester : Wiley-Blackwell, 2012. – 403 p.
10. *Андроханов В. А.* Практическое решение проблемы рекультивации нарушенных земель на основе инновационного процесса // ГИАБ. 2008. Отдельный выпуск 7. Кузбасс. С. 258–264.
11. *Martin D. M.* Ecological restoration should be redefined for the twenty-first century // Restoration Ecology. 2017. Vol. 25. No. 5. P. 668–673.
12. *Докучаев В. В.* Сочинения. Т. 8. Работы и выступления: переписка. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1961. – 556 с.
13. *Huang Lei, Zhang Peng, Hu Yigang, Zhao Yang*. Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coal mines // Ecological Engineering. 2016. Vol. 94. P. 638–646.
14. *Гусев А. П., Шпилевская Н. С., Веселкин Д. В.* Особенности сукцессии растительности на склонах карьера строительных песков (месторождение песков «Осовцы», Гомель) // Веснік Віцебскага дзяржаўнага універсітэта. 2014. № 6. С. 21–26.
15. *Месяц С. П., Мельников Н. Н.* Концепция и технологические решения восстановления нарушенных земель горнопромышленного комплекса // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе : сб. тр. – Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2005. С. 357–364.

16. *Иванова Л. А., Костина В. А., Кременецкая М. В., Иноземцева Е. С.* Ускоренное формирование противоэрозионных травостоев на техногенно-нарушенных территориях: Заполярье // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2010. Т. 13. № 4-2. С. 977–983.
17. *Пансю М., Готеру Ж.* Анализ почвы. Минералогические, органические и неорганические методы анализа : справочник : пер. с англ. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2014. – 800 с.
18. *Mel'nikov N. N., Mesyats S. P., Volkova E. Yu.* Methodological approach to restoration of ecosystem functions in the industrial lands // Journal of Mining Science. 2016. Vol. 52, Iss. 2. pp. 410-416.
19. *Савченкова В. А.* Особенности естественного возобновления основных лесообразующих пород в условиях Приангарья. – М. : Академия естествознания, 2011. – 191 с.
20. *Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Гульбе Т. А., Гульбе Я. И.* Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России // Лесоведение. 1996. № 6. С. 36–46.
21. *Арчегова И. Б., Панюков А. Н., Лиханова И. А., Кузнецова Е. Г.* Экосистемный подход к пониманию почвы и ее природного разнообразия // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана : матер. докл. Всероссийской конф. – Сыктывкар : Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2013. С. 7–9.
22. *Переверзев В. Н.* Почвообразование на рыхлых и кристаллических породах в Северной Фенноскандии. – Апатиты : КНЦ РАН, 2013. – 158 с.
23. *Mesyats S., Novozhilova M., Rumyantseva N.* Genetic Characteristic of Soil at the Forest-Generation Stage During Disturbed Lands Restoration in Accordance with the Concept of Natural Soil-Formation // International Multidisciplinary Scientific GeoConference. – Albena, 2017. Vol. 17. Iss. 52. P. 403–410.
24. *Pause M., Schweitzer C., Rosenthal M., Keuck V., Bumberger J.* et al. In Situ/Remote Sensing Integration to Assess Forest Health – A Review // Remote Sensing. 2016. Vol. 8. Iss. 6.
25. *Aguiar D. A., Mello M. P., Nogueira S. F., Gonçalves F. G., Adami M., Rudorff B. F. T.* MODIS Time Series to Detect Anthropogenic Interventions and Degradation Processes in Tropical Pasture // Remote Sensing. 2017. Vol. 9. Iss. 1.
26. *Месяц С. П., Остапенко С. П.* Методический подход к мониторингу восстановления нарушенных земель горнопромышленной отрасли по данным спутниковых наблюдений // Горная промышленность. 2018. № 6. С. 72. ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 6, pp. 77–83
DOI: 10.17580/gzh.2019.06.11

Scientific substantiation of the natural ecosystems restoration disturbed during the development of georesources

Information about authors
S. P. Mesyats [1], Leading Researcher, mesyats@goi.kolasc.net.ru
M. Yu. Novozhilova [1], Researcher
N. S. Rumyantseva [1], Leading Technologist
E. Yu. Volkova [1], Leading Technologist
[1] Mining Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Abstract
The increase of disturbed lands of mining landscapes decreases their ability to self-restoration. Therefore, reclamation of disturbed lands is focusing on "ecological restoration" – restoration of the ecological integrity of natural landscapes to maintain a stable state of the biosphere.
The scientific substantiation of the natural ecosystems restoration in accordance with the principle of their self-organization has been carried out. It is shown that the formation of a biologically active environment as a result of creating sown gramineous phytocenosis without applying a topsoil layer during restoration of disturbed lands, in accordance with a concept of natural soil formation, provides for the rapid accumulation of organic substances and the formation of a detected biogenic-humus-accumulative layer.
The material-energy potential accumulated by the ecosystem determines the duration of the succession stages. The increase in species diversity during the succession of the sown phytocenosis results in a significant increase in its bioproductivity due to the large implantation of local species. The revealed succession change and orientation of soil-forming processes reflect the tendency of the sown phytocenosis to balance with the surrounding natural landscape.
The genetic characteristic of the forming soils, along with the geobotanical description of the phytocenosis of the forest stage of succession, indicates the formation of a phytocenosis with the structure of the surrounding natural landscape, ensuring the restoration of the ecological capacity of the landscape, increase in biodiversity and, ultimately, the restoration of natural ecosystems.
The authors thank PhD in Biology Natalia Koroleva (N.A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute) for the assistance in carrying out geobotanical studies.
Keywords: mining landscapes, self-organization of natural systems, sown gramineous phytocenosis without applying topsoil layer, biologically active environment, bioproductivity, forest succession stage, genetic characteristics of soils, phytocenosis of surrounding natural landscape.

References
1. Vernadsky V. I. Scientific thought as a planetary phenomenon. Moscow : Nauka, 1991. 271 p.
2. Snakin V. V. Biosphere evolution and «sustainable development». *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*. 2015. No. 1. pp. 3–9.
3. Dobrovolsky G. V., Nikitin E. D. Preservation of soil as an indispensible component of the biosphere : Functional-and-ecological approach. Moscow : Nauka/Interperiodica, 2000. 185 p.
4. Archegova I. B., Kuznetsova E. G., Likhanova I. A., Panyukov A. N., Khabibullina F. M., Vinogradova Yu. A. Formation of forest ecosystems in the post-mining areas in the taiga zone. Syktyvkar : Komi NTs UrO RAN, 2015. 140 p.
5. Archegova I. B., Panyukov A. N. Nature management and biosphere stability. *Vestnik Insituta biologii Komi NTs UrO RAN*. 2017. No. 3(201). pp. 2–6.
6. Cooke J. A., Johnson M. S. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice. *Environmental Reviews*. 2002. Vol. 10, No. 1. pp. 41–71.
7. Puchkov L. A., Vorobiev A. E. The man and the biosphere : Entering the technosphere. Textbook. Moscow : MGGU, 2000, 342 p.
8. Melnikov N. N. Information technologies in the implementation of ecological strategy of the mining industry. *GIAB*. 2017. Special Issue 23. Information technologies in the implementation of ecological strategy of the mining industry. pp. 7–18.
9. van Andel J., Aronson J. Restoration Ecology: The New Frontier. 2nd ed. Chichester : Wiley-Blackwell, 2012. 403 p.
10. Androkhanov V. A. Innovation-based implementation of disturbed land reclamation. *GIAB*. 2008. Special Issue 7. Kuzbass. pp. 258–264.
11. Martin D. M. Ecological restoration should be redefined for the twenty-first century. *Restoration Ecology*. 2017. Vol. 25, No. 5. pp. 668–673.
12. Dokuchaev V. V. Oeuvre. Vol. 8. Transactions and lectures : Letters. Moscow : Izdatelstvo Akademii nauk SSSR, 1961. 556 p.
13. Huang Lei, Zhang Peng, Hu Yigang, Zhao Yang. Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coal mines. *Ecological Engineering*. 2016. Vol. 94. pp. 638–646.
14. Gusev A. P., Shpilevskaya N. S., Veselkin D. V. Features of succession of plants on the walls of a mortar sand quarry (Osovtsy sand deposit, Gomel). *Vesnik Vitsebskaga dzyarzhavnaga universiteta.* 2014. No. 6. pp. 21–26.
15. Mesyats S. P., Melnikov N. N. The concept and the process solutions for disturbed land rehabilitation in the mining industry sector. *Shaping a framework for the modern nature management strategy in the European Arctic : Collected papers*. Apatity : KNTs RAN, 2005. pp. 357–364.
16. Ivanova L. A., Kostina V. A., Kremenetskaya E. O., Inozemtseva E. S. Accelerated formation of erosion-preventive herbage on man-caused disturbed territories: The Far North. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010. Vol. 13, No. 4–2. pp. 977–983.
17. Pansu M., Gautheyrou J. Handbook of soil analysis. Mineralogical, organic and inorganic methods. Translated from English. Saint-Petersburg : TsOP "Professiya", 2014. 800 p.
18. Mel'nikov N. N., Mesyats S. P., Volkova E. Yu. Methodological approach to restoration of ecosystem functions in the industrial lands. *Journal of Mining Science*. 2016. Vol. 52, Iss. 2. pp. 410-416.
19. Savchenkova V. A. Features of natural regeneration of major forest-forming rocks in the Angara area. Moscow : Akademiya Estestvoznaniya, 2011. 191 p.
20. Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Gulbe T. A., Gulbe Ya. I. Allometric equations for the phytomass by the pine, fir, birch and aspen data in the European Russia. *Lesovedenie.* 1996. No. 6. pp. 36–46.
21. Archegova I. B., Panyukov A. N., Likhanova I. A., Kuznetsova E. G. Ecosystem approach to understanding soil and its natural diversity. *Biodiversity of the Far North ecosystems: inventory, monitoring, protection* : *Proceedings of All-Russian Conference.* Syktyvkar : Institut biologii Komi NTs UrO RAN, 2013. pp. 7–9.
22. Pereverzev V. N. Soil formation on loss and crystalline rocks in Northern Fennoscandia. Apatity : KNTs RAN, 2013. 158 p.
23. Mesyats S., Novozhilova M., Rumyantseva N. Genetic Characteristic of Soil at the Forest-Generation Stage During Disturbed Lands Restoration in Accordance with the Concept of Natural Soil-Formation. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference*. Albena, 2017. Vol. 17, Iss. 52. pp. 403–410.
24. Pause M., Schweitzer C., Rosenthal M., Keuck V., Bumberger J. et al. In Situ/Remote Sensing Integration to Assess Forest Health – A Review. *Remote Sensing*. 2016. Vol. 8, Iss. 6.
25. Aguiar D. A., Mello M. P., Nogueira S. F., Gonçalves F. G., Adami M., Rudorff B. F. T. MODIS Time Series to Detect Anthropogenic Interventions and Degradation Processes in Tropical Pasture. *Remote Sensing*. 2017. Vol. 9, Iss. 1.
26. Mesyats S. P., Ostapenko S. P. Methodological approach to the monitoring of the restoration of lands disturbed by the mining sector based on satellite data. *Gornaya promyshlennost*. 2018. No. 6. p. 72.
27. Trubetskoy K. N., Galchenko Yu. P., Eremenko V. A. Fundamentals of converging mining technologies in integrated development of mineral resources of lithosphere. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2017. Vol. 4, No. 3. pp. 160–169.