

УДК 622'17:504.062(470.21)

Обоснование способов сохранения техногенного минерального сырья, складированного в отвалы отходов рудообогатения

С.П. Месяц, Е.Ю. Волкова
Горный институт КНЦ РАН

Аннотация. По результатам лабораторных исследований и опыта внедрения на предприятиях Кольского горнопромышленного комплекса сделано обоснование способа сохранения техногенного минерального сырья, складированного в отвалы отходов рудообогатения, созданием дернины без нанесения плодородного слоя. Успешность образования устойчивой дернины без нанесения плодородного слоя в соответствии с эволюционно сложившейся программой образования почв на минеральных субстратах обеспечивается созданием полимерного покрытия, которое прекращает ветровую и водную эрозии, улучшает экологический фон корнеобитаемых горизонтов, тем самым обеспечивает стабильно высокую продуктивность травостоя и быстрое образование дернины. Создание полимерного покрытия без посева решает проблему прекращения ветровой и водной эрозии хвостохранилищ, находящихся в эксплуатации.

Abstract. Basing on the results of laboratory studies and the experience of application in the Kola mining industry sector there has been provided the substantiation of the conservation method of the man-made mineral raw materials, stockpiled in concentration waste dumps, by forming grass sod without applying a fertile layer. The success of stable grass sod formation on mineral substrata without applying the fertile layer according to the program of soils formation developed in the course of evolution is provided by the application of a polymeric covering, which stops wind and water erosion, improves ecological background of root layer horizons, thus providing steadily high efficiency of herbage and the fast formation of grass sod. The creation of polymeric covering without sowing of crops eliminates the challenge of wind and water erosion of tailing dumps in operation.

Ключевые слова: хвостохранилище, техногенное минеральное сырье, ветровая эрозия, полимерное покрытие, сохранение, сеяный фитоценоз, травостой, биопродуктивность, дернина

Key words: tailing dump, man-made mineral raw materials, wind erosion, polymeric covering, conservation, sown phytocenosis, herbage, bioefficiency, grass sod

1. Введение

Минерально-сырьевая база – важнейшая составляющая развития общества и одновременно источник экологических проблем, поскольку только малая часть добываемого сырья превращается в полезную продукцию, а остальная складывается в виде отходов.

Неиспользуемые отходы – это не только огромный ущерб, наносимый природной среде, но и безвозвратно теряемое в результате ветровой и водной эрозии минеральное сырье.

Горнопромышленный комплекс (ГПК) Мурманской области – один из наиболее развитых горнорудных районов России. Балансом запасов полезных ископаемых Кольского полуострова учтено более 200 месторождений сорока видов минерального сырья: горно-химического, медно-никелевого, железорудного, редкометалльного и алюминиевого. На 70 месторождениях добывается 29 видов минерального сырья.

Анализ современного состояния минерально-сырьевой базы Мурманской области свидетельствует, что интенсивная отработка высокоцентрабельной приповерхностной части большинства эксплуатируемых месторождений привела к истощению сырьевой базы горно-обогатительных предприятий. Объем добычи существенно превышает прирост запасов (*Доклад об охране окружающей среды, 2005*).

В сложившейся ситуации назрела необходимость поиска и оценки новых перспективных видов минерального сырья, а также вовлечение в переработку бедных руд и отходов ГПК, в связи с чем проблема сохранения техногенного минерального сырья является весьма актуальной.

Техногенное минеральное сырье Кольского ГПК, хотя и отличается по технологическим признакам, имеет одну характерную особенность: как правило, в руде каждого месторождения содержится несколько полезных минералов, в которых, в свою очередь, несколько полезных элементов. Анализ минерального и химического составов отходов крупных предприятий Кольского ГПК показывает, что они содержат значительное количество полезных компонентов, доступных для извлечения. В целом техногенное минеральное сырье имеет более низкое содержание полезных компонентов, чем в исходной руде, но в ряде случаев сопоставимое с бедными рудами.

Особое место среди техногенных месторождений занимают отвалы отходов обогащения, в которые складывается мелкодисперсный материал, что обуславливает их подверженность ветровой и водной эрозии и, как следствие, значительные потери сырья. Кроме того, отвалы отходов обогащения занимают большие площади, и в результате ветровой эрозии загрязнению подвержены территории, многократно превышающие площади земельного отвода предприятий, что оказывает существенное влияние на состояние природной среды.

Самозарастание отвалов отходов обогащения практически не происходит в результате ветровой и водной эрозии, обусловленной бесструктурностью и низкой водоудерживающей способностью субстрата.

Мировой опыт показывает, что наилучшим способом прекращения эрозионных процессов на отвалах отходов рудообогатения является создание дернины. Биологическая рекультивация, в ее традиционном понимании, предполагает нанесение на минеральный субстрат плодородного слоя (землевание) с последующим посевом многолетних трав. Однако, помимо того, что затраты на рекультивацию составляют до 15 % стоимости реализации минерального сырья (в мире – 4,5 % реализации минерального сырья), изъятие плодородного слоя с других территорий переводит их в категорию нарушенных (*Counting...*, 1994).

Так как хвостохранилища занимают большие площади, создание дернины без нанесения плодородного слоя на отвалах отходов обогащения является наиболее экологически целесообразным и экономически приемлемым решением для сохранения техногенных месторождений.

Изучение проблемы сохранения техногенных месторождений и опыт, накопленный Горным институтом по восстановлению техногенно нарушенных земель, определили дифференцированный подход к ее решению:

- создание полимерного покрытия для закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ, находящихся в эксплуатации;
- создание дернины без нанесения плодородного слоя под полимерным покрытием для прекращения ветровой и водной эрозии отработанных хвостохранилищ, а также откосов и берм ограждающих дамб действующих хвостохранилищ.

Для разработки технологии создания дернины без нанесения плодородного слоя под полимерным покрытием с целью сохранения техногенного минерального сырья на хвостохранилищах предприятий Кольского ГПК (ОАО "Апатит", ОАО "Олкон", ОАО "Ковдорский ГОК", ЗАО "Ловозерская ГОК") заложены опытные полигоны, площадью от 5 до 10 га.

Хвостохранилища предприятий ГПК Мурманской области различаются как минералогическим и химическим составами субстратов, так и географо-климатическими условиями. Так, хвостохранилище обогатительной фабрики 1 рудника "Карнасурт" ЗАО "Ловозерская ГОК" находится в более суровых климатических условиях, чем другие объекты Кольского ГПК. В силу того, что хвостохранилище находится на большей высоте над уровнем моря, здесь проявляется влияние высотной поясности тундровой зоны – значительно более поздний сход снегового покрова, еще более короткое холодное лето.

Однако все хвостохранилища имеют и общие черты (мелкодисперсность, бесструктурность, низкую водоудерживающую способность субстратов), которые являются основными причинами проявления эрозионных процессов.

2. Методы и результаты исследования

Технология создания дернины на техногенных субстратах посевом многолетних трав без нанесения плодородного слоя под полимерным покрытием основана на концепции естественного почвообразования, в соответствии с которой почва является продуктом взаимодействия материнской породы, биоты, климата, рельефа и времени.

Успешность создания дернины без нанесения плодородного слоя в соответствии с эволюционно сложившейся программой образования почв на минеральных субстратах обеспечивается созданием полимерного покрытия, которое решает комплекс задач по улучшению экологического состояния субстрата и обеспечению стабильно высокой продуктивности травостоя (*Месяц, Мельников, 2005*).

Полимерное покрытие является сложной полидисперсной системой, в состав которой входят минеральная, полимерная, водная и газовая подсистемы. Минеральная и полимерная подсистемы выполняют структурообразующую функцию, определяют основные эксплуатационные характеристики полимерного покрытия (воздухопроницаемость, водопроницаемость, защитные свойства к техногенной нагрузке, механическую прочность, водопрочность, противозэрозионную стойкость). Газовая и водная подсистемы определяют теплофизические характеристики покрытия. Водная подсистема, состоящая из капиллярной влаги и гигроскопической воды, образует единую транспортную систему в покрытии, связанную с водной системой субстрата. Газовая фаза характеризуется составом, переходным между составом атмосферного воздуха и газовой фазы субстрата.



Рис. 1. Создание полимерного покрытия прекращает ветровую эрозию (хвостохранилище ОАО "Ковдорский ГОК"; передний план, до осветительной мачты)

Полимерная подсистема представлена пленочными покрытиями минеральных частиц и межчастичными полимерными "мостиками" и связывает минеральные частицы между собой, обуславливая прочность покрытия к разрыву. Полимерная пленка обладает развитой системой мезопор в широком диапазоне радиусов (от 7 до 100 нм), при этом пористость достигает 10 %. Наличие свободного объема пористой структуры обуславливает высокие транспирационные свойства полимерного покрытия в отношении газов и воды. Установлено, что полимерная пленка обладает избирательной проницаемостью, то есть при одинаковых парциальных давлениях исследованных газов преимущественно происходит миграция паров воды и диоксида углерода, водород и кислород имеют среднюю проницаемость.

Высокие значения проницаемости паров воды могут быть связаны с особенностями заполнения порового пространства пленки. Установлено, что влагоемкость полимера составляет порядка 10 %, что с учетом близости плотности воды и полимера хорошо совпадает с определенным значением пористости. Таким образом, поровое пространство полимерной пленки заполнено капиллярной водой, и перенос газов происходит через водный раствор.

Лабораторные и полевые исследования показали, что полимерное покрытие характеризуется высокой противозрозионной стойкостью во времени, хорошей воздухо- и водонепроницаемостью, устойчивостью к атмосферным осадкам и температурным колебаниям, экологической чистотой, способностью с течением времени к биоразложению (Месяц, Мельников, 1997).

Полимерное покрытие, создаваемое нанесением водных полимерных эмульсий на поверхности субстрата после посева, сразу же прекращает ветровую и водную эрозии (рис. 1).

Оценка эксплуатационных свойств полимерного покрытия проводилась с точки зрения целесообразности его применения как для закрепления пылящих поверхностей, так и для создания дернины на техногенном минеральном субстрате без нанесения плодородного слоя в рамках предложенного концептуального подхода.

Так, полимерное покрытие, помимо того, что сразу же прекращает ветровую и водную эрозии, обеспечивает больший прогрев, уменьшает амплитуду суточных колебаний температуры, улучшает водообеспеченность субстрата, повышая его водоудерживающую способность. Уплотнение верхнего слоя субстрата за счет связывания минеральных частиц полимерной пленкой приводит к уменьшению пористости поверхности субстрата, и, следовательно, к снижению испарения с поверхностного слоя, в результате чего обеспечивается сохранение продуктивной влаги в корнеобитаемом слое. В сухой летний период не наблюдается пересыхания почвы под покрытием, в то же время в весенние и осенние заморозки покрытие обеспечивает повышение температуры на 3-6°C на глубине корнеобитаемого слоя.

Улучшение экологического фона за счет прекращения ветровой и водной эрозии, стабилизация температурного режима и повышение водоудерживающей способности субстрата создают благоприятные условия для роста и развития растений, своевременного прохождения всех фаз, включая репродуктивную фазу, способствуют образованию мощной корневой системы, тем самым оптимизация гидротермического режима под полимерным покрытием обеспечивает повышение биохимической активности субстрата и, как следствие, стабильно высокую биопродуктивность сеяного фитоценоза и его воспроизводство.

Биопродуктивность сеяного фитоценоза является определяющим фактором для создания дернины без нанесения плодородного слоя на отвалах отходов рудообогащения. Растительные остатки, обеспечивая поступление органического материала в субстрат, при разложении пополняют запасы минерального питания растений, определяют реакцию среды и биохимическую активность, ответственную за накопление органического вещества, а также интенсивность всех обменных процессов (Месяц, Едигарева, 2003).

Таким образом, чем больше в системе представлен биокomпонент, тем энергичнее происходят процессы разложения поступающих растительных остатков, многообразнее связи, определяющие интенсивность процессов биологической организации техногенного минерального субстрата.

Изучение состояния сеяных фитоценозов на отвалах отходов обогащения в рамках обозначенной концепции проводится по общепринятым методикам в соответствии с разработанной системой мониторинга, предусматривающей комплексное и одновременное изучение генетических параметров (химический, гранулометрический, минералогический составы, водно-физические свойства) и функциональных показателей (рН среды, окислительно-восстановительный потенциал, содержание подвижных форм химических элементов) субстрата при его биологической организации.

При достаточно представительном наборе контролируемых параметров мониторинг систематизирован в рамках:

- постоянного (ежегодно осуществляется морфологический анализ и фенологическое описание созданного травостоя, определяется биопродуктивность сеяного фитоценоза, контролируются водно-физические характеристики субстрата);
- систематического (начиная со 2-го года через 2 года контролируются обеспеченность питательными веществами и формирование запасов органического вещества);
- долгосрочного (1 раз в 5-6 лет контролируются более консервативные показатели трансформации гранулометрического и минералогического составов).

По результатам мониторинга установлено, что уже на начальном этапе существования сеяного фитоценоза наблюдается аккумуляция органического вещества в субстрате в результате поступления в первый год большого количества растительных остатков покровной культуры (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид откосов ограждающей дамбы хвостохранилища ОАО "Ковдорский ГОК":
а) до проведения работ по закреплению;
б) в первый год существования сеяного фитоценоза

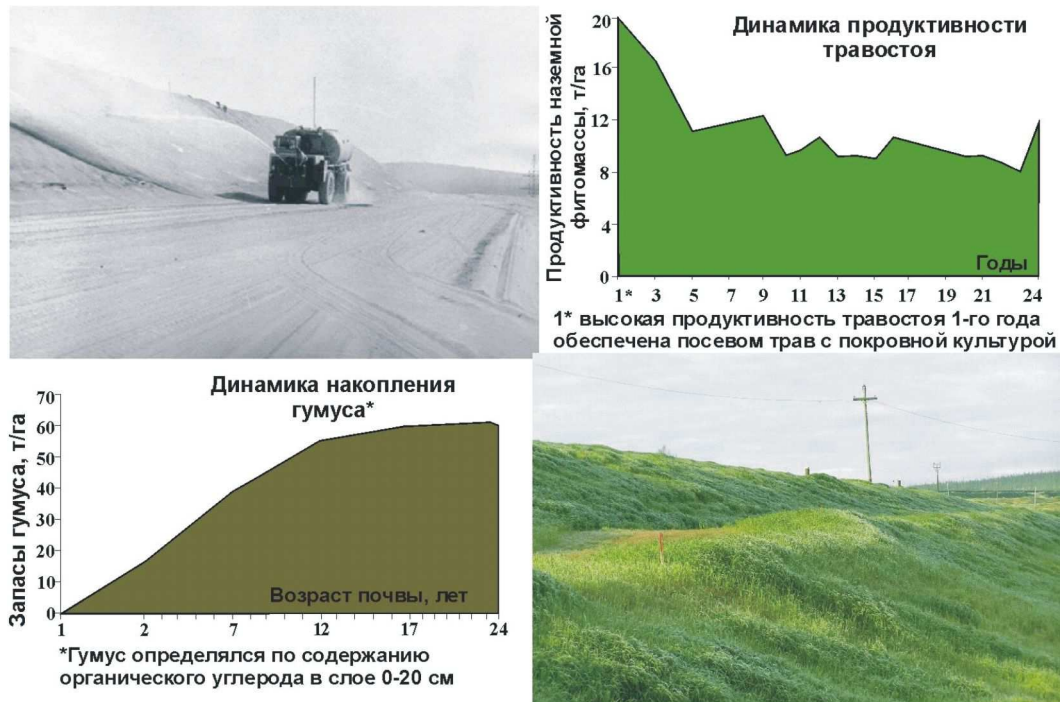


Рис. 3. Результаты многолетнего мониторинга биологической организации минерального субстрата в почву при создании почвенно-растительного покрова без нанесения плодородного слоя под полимерным покрытием на хвостохранилище ОАО "Апатит"

Таким образом, нарушенные земли уже с первого года вовлекаются в биогеохимический круговорот элементов.

Эволюционно закрепленное свойство растений, повторяемое каждым новым поколением – избирательно поглощать химические элементы в определенном количестве, а также способность минерального субстрата, на котором произрастает растительность, задерживать их при разложении растительных остатков – начальный и конечный пункты биогенной аккумуляции, приводящей в процессе биологической организации субстрата к образованию специфического органического вещества – гумуса, который депонирует основные элементы питания растений при разложении растительных остатков. При минерализации гумуса элементы питания из труднодоступных форм превращаются в легкодоступные и используются растениями. В результате осуществляется биогеохимический круговорот элементов, являющийся главным механизмом самоорганизации природных ландшафтов (Карпачевский, 1993).

Как показали результаты многолетнего мониторинга при создании дернины без нанесения плодородного слоя под полимерным покрытием на хвостохранилище ОАО "Апатит", выбранном в качестве тестового объекта, где систематические наблюдения ведутся более 25 лет, прекращение эрозионных процессов, улучшение гидротермического режима субстрата, стабильно высокая продуктивность травостоя, и, как следствие, высокая биохимическая активность субстрата обеспечивают быстрое для условий Севера накопление органического вещества в минеральном субстрате отвалов отходов обогащения (рис. 3).

Средняя многолетняя продуктивность травостоя составила ~12 т/га, включение в травосмесь однолетней покровной культуры уже в первый год обеспечивает поступление в субстрат большого количества растительных остатков (20 т/га).

Наиболее быстрое накопление органического вещества (гумуса) отмечается в первые 12 лет существования сеяного фитоценоза. Выпояживание кривой накопления гумуса в последующие годы свидетельствует о достижении некоторой стабильности образующейся на техногенном субстрате почвенной системы (рис. 3).

Длительное время существования сеяного фитоценоза при 100%-ной полноте проективного покрытия травостоя и его высокой продуктивности свидетельствует об обеспеченности растений элементами питания, а следствием своевременного прохождения всех фаз роста и развития растений, включая репродуктивную фазу, является воспроизводство растительных сообществ.

Образующиеся на техногенном минеральном субстрате почвы уже в первое десятилетие выполняют главные экосистемные функции: синтез и разложение органического вещества, депонирование элементов-биогенов в гумусе и т.д.

Функционирование сеяного фитоценоза в первые два десятилетия характеризуется высокой биопродуктивностью, биохимической активностью, быстрым накоплением гумуса и устойчивым видовым разнообразием.

Третье десятилетие существования сеяного фитоценоза характеризуется подселением местных видов, в том числе деревьев и кустарников. Сформированные на засеянных отвалах биогеохимические потоки постепенно "срастаются" с естественными биогеохимическими потоками, что приводит к формированию растительных сообществ с соответствующей окружающей природной среде структурой. Подселение древесных видов растений (> 3000 единиц на гектар) в сеяный фитоценоз – последовательный этап восстановительной сукцессии, конечной целью которой является формирование растительных сообществ со структурой, соответствующей окружающему природному ландшафту (рис. 4).

Таким образом, на первом этапе создается сеяный фитоценоз и адекватные ему почва и микрофлора. Территория, занимаемая промышленными отходами, уже с первого года вовлекается в биогеохимический круговорот элементов, который является главным механизмом самоорганизации природных ландшафтов. Наблюдается устойчивое воспроизводство образовавшейся экосистемы.

Второй этап характеризуется формированием фитоценоза со структурой, соответствующей окружающему природному ландшафту, который приходит на смену сеянному фитоценозу в результате подселения видов местной флоры.

Исследование состояния дернины, созданной на отвалах отходов обогащения различных предприятий Кольского ГПК, показало, что, несмотря на различия климатических условий, минералогического состава субстратов и уровня техногенной нагрузки, основные тенденции образования дернины без нанесения плодородного слоя посевом многолетних трав под полимерным покрытием идентичны.

В результате создания полимерного покрытия образуется травостой, характеризующийся быстрым ростом и стабильно высокой продуктивностью, своевременным прохождением всех фаз роста и развития растений, включая репродуктивную в условиях короткого вегетационного периода, ежегодным самовозобновлением растительного покрова при отсутствии ухода.

3. Выводы

На основании изучения основ самоорганизующейся природы почв, факторов, лимитирующих самозаращение отвалов отходов рудообогатительных предприятий, а также практического опыта по восстановлению нарушенных земель разработан концептуальный подход к решению проблемы сохранения техногенных месторождений, заключающийся в создании дернины без нанесения плодородного слоя в соответствии с эволюционно

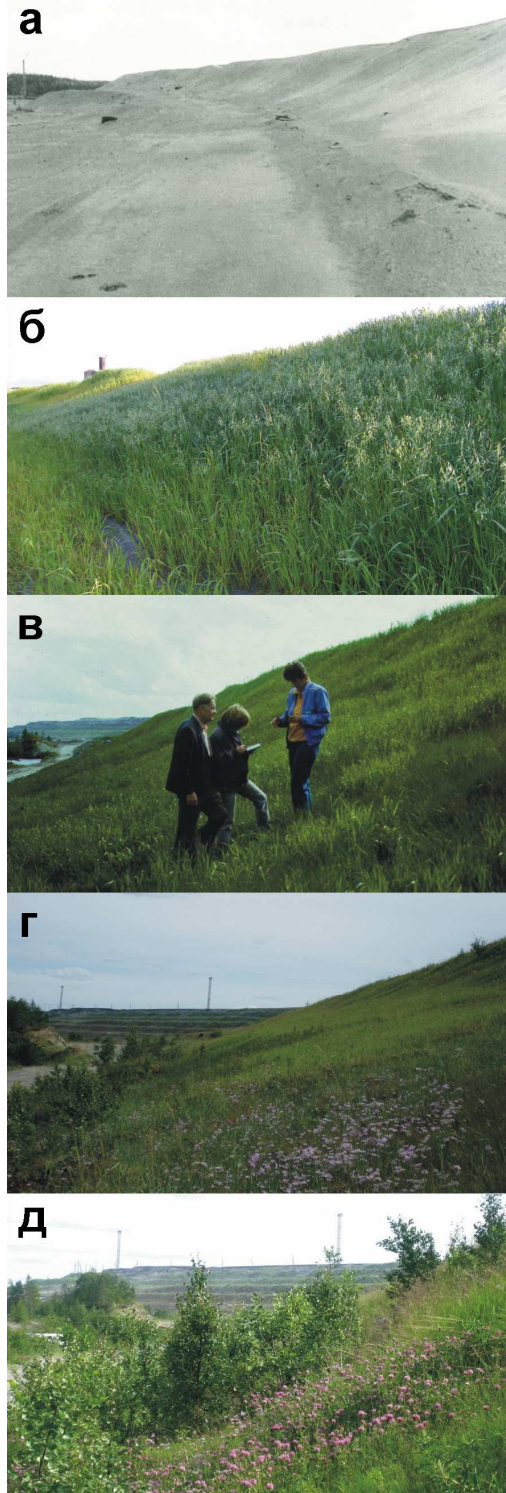


Рис. 4. Внешний вид откоса ограждающей дамбы хвостохранилища ОАО "Апатит":

- а – до создания сеяного фитоценоза;
- б – 1 год существования сеяного фитоценоза;
- в – 10 год существования сеяного фитоценоза;
- г – 20 год существования сеяного фитоценоза;
- д – третье десятилетие существования сеяного фитоценоза.

сложившейся программой образования почв на минеральных субстратах оптимизацией биопродукционного процесса.

Как показали исследования, успешность реализации такой программы в рамках разработанной концепции обеспечивается созданием полимерного покрытия, которое решает комплекс задач по улучшению экологического фона корнеобитаемых горизонтов, обеспечивает стабильно высокую продуктивность травостоя и образование устойчивой дернины на техногенном минеральном субстрате.

Предлагаемое решение сохранения техногенных месторождений созданием дернины без нанесения плодородного слоя под полимерным покрытием является:

1. **универсальным** (эффективно на различных субстратах, в разных климатических зонах, на любом рельефе без предварительного укрепления);

2. **технологичным** (обеспечивает быструю реализацию технологии с использованием серийно выпускаемой техники);

3. **высокопроизводительным** (обеспечивает закрепление больших площадей в короткие сроки);

4. **экономически выгодным** (исключает дорогостоящие и трудоемкие операции по нанесению плодородного слоя при создании растительного покрова на отработанных хвостохранилищах, а также откосах и бермах ограждающих дамб действующих хвостохранилищ, не требует ежегодной обработки ранее закрепленных площадей и ухода за сеянem фитоценозом);

5. **технически надежным** (необратимость достижений заданных характеристик на весь период эксплуатации);

6. **экологически целесообразным** (создание дернины на отвалах отходов рудообогатения не только сохраняет техногенное минеральное сырье, но и улучшает состояние окружающей природной среды, обеспечивает восстановление экологических функций территории).

Литература

Counting the cost of environmental management. *Mining Journal*, v.322, N 8272, p.287, 1994.

Доклад об охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2004 году. *Мурманск*, 99 с., 2005.

Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М., Изд-во МГУ, 184 с., 1993.

Месяц С.П., Едигарева Л.Н. Оптимизация продукционного процесса при восстановлении нарушенных земель в условиях Заполярья. *Город в Заполярье и окружающая среда. Труды III международной конференции, Воркута, 2-6 сентября 2003 г., Сыктывкар*, с.205-213, 2003.

Месяц С.П., Мельников Н.Н. Концепция и опыт восстановления нарушенных земель горного комплекса в условиях антропогенной нагрузки. *Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций. Мат. Международного симпозиума SMR-95, Пермь, 15-21 сентября 1995 г., Екатеринбург*, с.383-394, 1997.

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, КНЦ РАН*, с.357-364, 2005.