

УДК 622.271.45:622.882 (470.21)

С.П. Месяц, Е.Ю. Волкова

**СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА РЕКУЛЬТИВАЦИЮ
ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ
ОТРАСЛИ**

В силу глобального разрушения почвенной оболочки Земли, проблема рекультивации нарушенных земель вышла за рамки возвращения их в народно-хозяйственное пользование и трактуется, в первую очередь, как восстановление экосистемных функций территории для сохранения устойчивого состояния биосферы. Современный взгляд на рекультивацию породных отвалов горнодобывающей отрасли заключается в разработке решений по использованию регенерационных возможностей природной среды. Разработана методология восстановления нарушенных земель техногенных ландшафтов с целью восстановления экосистемных функций территории, заключающаяся в повышении их биопродуктивного уровня за счет активизации процессов самовосстановления, и восстановления нарушенных земель в соответствии с концепцией естественного почвообразования в случае полного уничтожения почвенно-растительного покрова. Разработанная в рамках методологии технология восстановления нарушенных земель техногенных ландшафтов в соответствии с концепцией естественного почвообразования заключается в формировании биологически активной среды в результате создания сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя.

Ключевые слова: породные отвалы, нарушенные земли, самозарастание, биопродуктивность, сеяный фитоценоз, биологически активная среда, сукцессия, биоразнообразие, восстановление, экосистемные функции.

К началу нового тысячелетия стало очевидным, что потребление природных ресурсов планеты, являясь основой существования и развития цивилизации, — причина глобального экологического кризиса, преодоление которого требует выработки нового мировоззрения в определении масштабов природопользования.

Осознание глобального характера экологических проблем, вызванных масштабами потребления минеральных ресурсов, определяет стратегию развития горнодобывающей отрасли, заключающуюся в снижении техногенной нагрузки на природную среду при повышении эффективности добычи и переработки минерального сырья (рис. 1).

Опыт реализации экологической стратегии на предприятиях Кольского горнопромышленного комплекса (ГПК) подтвердил



Рис. 1. Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли

обоснованность и эффективность предлагаемых решений расширением сырьевой базы предприятий, получением дополнительных объемов и видов продукции, повышением промышленной и экологической безопасности при производстве работ и показал, что будущее горнодобывающей отрасли определяется критериями снижения воздействия отрасли на природную среду при повышении эффективности добычи и переработки минерального сырья, как при утверждении планов развития предприятий, так и на стадии проектирования новых [1].

Обоснование современного взгляда на рекультивацию породных отвалов отвечает задаче «восстановление природных экосистем» в экологической стратегии развития горнодобывающей отрасли.

Главное воздействие горнодобывающей отрасли на природную среду заключается в извлечении и перемещении огромных масс горной породы, что приводит к трансформации природных форм рельефа, преобразованию исходного минерального вещества, складированию новообразованного, возникновению новых техногенных форм рельефа.

Следствием геомеханических нарушений является активизация оползневых, сейсмических, селевых и геокриогенных процессов. Изменение ландшафта в результате трансформации природных форм рельефа приводит к изменению динамических характеристик воздушных потоков и формированию новых микроклиматических условий территорий, изменению характера гидросети и разрушению его главного компонента — почвенно-растительного

покрова, следствием уничтожения которого является развитие эрозионных процессов и загрязнение территорий, значительно превышающих горные отвалы предприятий.

В результате интенсивного потребления природных ресурсов деградация почвенной оболочки Земли приобрела глобальный характер, следствием которого является нарушение естественной сбалансированности биосферных процессов. Так, почвенная оболочка Земли, образовавшаяся в ходе эволюции, составляет 13.4 млрд га [2]. В настоящее время почвенный покров естественных ландшафтов, выполняющий экосистемные и биосферные функции, сохранился на площади <7 млрд га. Более 2-х млрд га занимают техногенные ландшафты, влияние которых на сопряженные территории значительно превышает обозначенную площадь. Земли сельскохозяйственного освоения, по данным FAO, составляют ~ 4 млрд га. Эти площади также относятся к нарушенным землям, подвержены эрозии, характеризуются измененным характером биогеохимического круговорота элементов. Другими словами, практически половина почвенной оболочки Земли не выполняет экосистемные и биосферные функции [3].

Размеры земельных отвалов крупнейших горнодобывающих предприятий измеряются десятками тысяч гектаров. На территории России в отвалах различных типов накоплено свыше 85 млрд т твердых отходов, в том числе 80 млрд т – горнопромышленных, количество которых ежегодно увеличивается почти на 2 млрд т. Складированными отходами занято свыше 300 тыс. га земель [4]. Согласно отчетности горнодобывающих предприятий Мурманской области в 2014 году отходы составили 194.9 млн т (отходы рудообогащения, вскрышные и проходческие породы и т.п.) — 99.8 % всех отходов производства в области. По сравнению с 2010 г. их количество увеличилось на 20 % [5].

В силу глобального характера разрушения почвенной оболочки Земли, проблема рекультивации нарушенных земель вышла за рамки возвращения их в народно-хозяйственное пользование. Восстановление нарушенных земель, в свете современного знания роли почвенной оболочки, трактуется, в первую очередь, как восстановление экосистемных функций территории для сохранения устойчивого состояния биосферы.

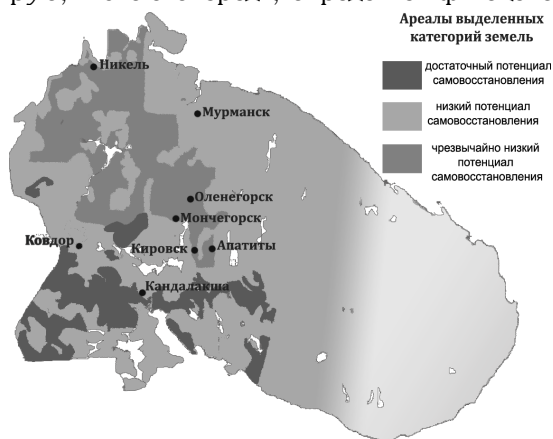
По мере увеличения площадей с нарушенным почвенно-растительным покровом, способность таких территорий к самовосстановлению уменьшается, в отдельных случаях сводится практически к нулю, поскольку резко снижается биологическая продуктивность — основное свойство почвенной оболочки Земли.

Изучение и анализ практики восстановления почвенно-растительного покрова нарушенных земель, сложившейся к концу прошлого века, позволяет сделать вывод, что наиболее перспективный путь состоит в разработке решений по содействию регенерационным возможностям природной среды на основе изучения потенциала самовосстановления каждой конкретной природной системы.

Для оценки состояния нарушенных земель Кольского ГПК с целью определения приоритетных решений по их восстановлению было выполнено районирование территории по потенциалу самовосстановления [6]. Учитывались уровень техногенной нагрузки (в виде суммарного содержания тяжелых металлов в почвах и превышения критических нагрузок серы) и показатели экологического состояния (биоклиматический потенциал, ландшафтно-геохимический потенциал самоочищения геосистем, биогенность почв), определяющие процессы самовосстановления почвенно-растительного покрова нарушенных земель (рис. 2).

Наиболее освоенные в промышленном отношении центральная и северо-западная части полуострова характеризуются чрезвычайно низким потенциалом самовосстановления техногенных ландшафтов. Земли этой категории расположены в непосредственной близости от горнодобывающих и металлургических предприятий, где наблюдается практически полная деградация почвенно-растительного покрова [6].

Поскольку устойчивость природных систем к техногенному воздействию определяется экологической емкостью территории, которую, в свою очередь, определяет фитоценоз, формирующий тип экосистем данной территории, разработана методология восстановления экосистемных функций территории, заключающаяся в повышении биопродуктивного уровня нарушенных земель техногенных ландшафтов за счет:



• активизации процессов самовосстановления нарушенных земель;

Рис. 2. Оценка потенциала самовосстановления нарушенных земель Кольского ГПК

- восстановления нарушенных земель, в случае полного уничтожения почвенно-растительного покрова, в соответствии с концепцией естественного почвообразования, согласно которой почва является продуктом взаимодействия материнской (горной) породы, биоты, климата, рельефа и времени.

На основании изучения самоорганизующейся природы почв в рамках методологии разработана технология восстановления нарушенных земель техногенных ландшафтов в соответствии с концепцией естественного почвообразования формированием биологически активной среды в результате создания сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя [7].

Тестовым объектом для изучения биологической организации горной породы при восстановлении нарушенных земель в соответствии с концепцией естественного почвообразования определены отвалы отходов рудообогатления, занимающие большие площади, характеризующиеся максимальным проявлением факторов, лимитирующих процессы самозарастания: бесструктурность субстрата, низкая водоудерживающая способность, ветровая и водная эрозии, отсутствие органического вещества (рис. 3).

Формирование биологически активной среды созданием сеяного фитоценоза интенсифицирует начальные стадии восстановления биогеохимического круговорота, являющегося главным механизмом самоорганизации природных ландшафтов.

Эволюционно закрепленное свойство растений избирательно поглощать химические элементы, необходимые для их роста и развития, и способность материнской породы задерживать их при разложении растительных остатков обеспечивают, на фоне ежегодного поступления растительных остатков, формирование биогенно-гумусо-аккумулятивного горизонта. Образующиеся органоминеральные комплексы трансформируются в специфическое органическое соединение – гумус, депонирующее элементы – биогены, что обеспечивает устойчивое воспроизводство сеяного фитоценоза.

Данные многолетнего мониторинга на различных объектах в разных климатических зонах свидетельствуют, что высокая продуктивность сеяного



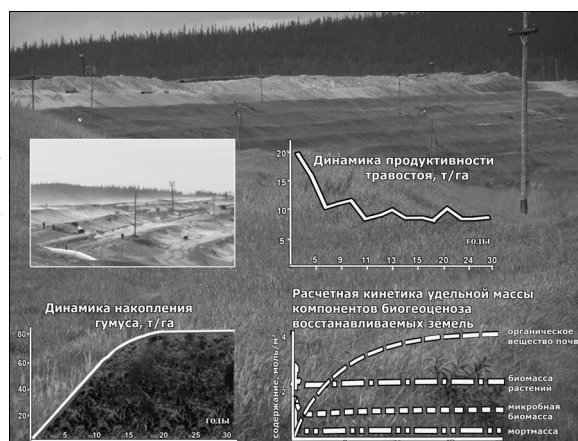
Рис. 3. Отвалы отходов рудообогатления

фитоценоза и, как следствие, высокая биохимическая активность корнеобитаемых горизонтов обеспечивают быстрое накопление органического веществ и формирование запасов гумуса: к середине второго десятилетия содержание гумуса на тестовом объекте составило ~86 т/га, что соответствует фитоценозам окружающего природного ландшафта. Выпояживание кривой накопления гумуса с середины второго десятилетия свидетельствует о достижении формирующейся почвенной системой определенной стабильности, имеющей динамический характер, как и в природных почвенных системах [8] (рис. 4).

Прогнозируемое увеличение содержания органического вещества в формирующемся биогенно-гумусо-аккумулятивном горизонте, полученное методом компьютерного моделирования биогеохимического круговорота элементов, хорошо коррелируется с данными мониторинга при восстановлении нарушенных земель в соответствии с концепцией естественного почвообразования [9] (рис. 4).

Образование биологически активной среды при восстановлении нарушенных земель в соответствии с концепцией естественного почвообразования созданием сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя обеспечивает быстрые темпы накопления органического вещества и значительно более быстрое, чем при самозарастании, формирование фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта в результате подселения в сеяный фитоценоз видов местной флоры, следствием чего является увеличение экологической емкости и восстановление экосистемных функций территории.

Рис. 4. Динамика продуктивности травостоя и накопления органического вещества при создании сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя на отвалах отходов рудообогатления, полученные экспериментальными и расчетными методами



Геоботаническое исследование сеяного фитоценоза, проведенное на тестовом объекте в 2015 г., показало, что флористический состав растительного покрова представлен сосудистыми растениями, мхами, лишайниками и грибами. Так, травянистый ярус представлен 30 видами из 11 семейств; самыми многовидовыми являются семейства *Poaceae* (Злаковые), *Asteraceae* (Сложноцветные). Кустарничковый ярус представлен 6 многолетними видами семейства *Ericaceae* (Вересковые). В древесно-кустарниковом ярусе выделено 11 видов из 5 семейств. Количество единиц древесно-кустарниковых видов на гектар составило >16000. В присутствующем мохово-лишайниковом ярусе также отмечено увеличение видового разнообразия: мхи представлены 8 видами из 7 семейств, а лишайники – 19 видами из 8. Среди грибов выделено 3 вида из 3 семейств *Thelephoraceae* (Телефоровые), *Boletaceae* (Болетовые), *Russulaceae* (Сыроежковые).

Таким образом, в результате подселения в сеяный фитоценоз видов местной флоры растительное сообщество, по данным последнего морфологического описания, представлено 76 видами из 54 родов и 35 семейств, что свидетельствует о формировании фитоценоза со структурой окружающего природного ландшафта.

Отвалы вскрышных пород занимают особое место в решении проблемы восстановления нарушенных земель горнодобывающей отрасли. Процессы самозарастания отвалов вскрышных пород лимитируются крупнокусковым складированным материалом, отсутствием рыхлого слоя, неблагоприятными водно-физическими свойствами и полным отсутствием органического вещества (рис. 5).

Для оценки степени самозарастания отвалов вскрышных пород сделано геоботаническое описание, которое выявило наличие единичных представителей травянистых и древесных видов, отмечено незначительное количество мохообразных. Подсевшие сосудистые растения нетребовательны к почвенному плодородию, обладают высокой адаптационной способностью и устойчивостью к неблагоприятным экологическим условиям. Для них характерен ряд особенностей: разветвленная корневая система, усиление



Рис. 5. Отвалы вскрышных пород рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК»

ксероморфных черт, связанное с недостатком влаги, сильное развитие механических тканей, формирующихся под воздействием ветра, снижение интенсивности роста растений в высоту. В таких условиях у растений формируется поверхностная корневая система, приспособленная к «перехвату» атмосферных осадков.

Активизация процессов самозарастания в рамках современного подхода к решению проблемы рекультивации отвалов вскрышных пород заключается в:

- создании рыхлого слоя последовательным нанесением щебня и более мелкодисперсного материала (дробленая вскрыша, отходы рудообогащения т.д.);
- создании на откосах и бермах разной экспозиции сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя на локальных участках для образования биологически активной среды и формирования семенного фонда, что будет способствовать самозарастанию отвалов вскрыши.

С целью активизации процессов самозарастания отвалов вскрышных пород на третьем отвале рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК» на абсолютной отметке 405 м создан опытный полигон, общей площадью ~ 1 га, представленный откосом, угол которого составляет 35°, и бермой (рис. 6).

Общий объем отсыпки составил ~ 9000 т (5000 т на откосе и 4000 т на берме). Отсыпка щебнем для заполнения пустот на откосе, сформированном крупнокусовой скальной породой, и мелкодисперсным материалом для создания рыхлого слоя была осуществлена летом 2014 г.

На следующий год весной 2015 г., после усадки рыхлого слоя, были проведены работы по созданию сеяного фитоценоза посевом многолетних трав совместно с однолетней покровной культурой без нанесения плодородного слоя на фоне внесения



Рис. 6. Опытный полигон на отвале вскрышных пород

стартовых элементов-биогенов (N, P, K) в виде минеральных удобрений. В отличие от откоса посев на берме проводился весной 2015 г. сразу после отсыпки (рис. 7).

Создание сеяного фитоценоза на локальных участках отвалов вскрышных пород разной экспозиции обеспечивает акти-

визацию процессов самозарастания отвалов вскрыши в результате образования биологически активной среды и формирования семенного фонда за счет выхода сеяных видов в репродуктивную фазу.

Таким образом, в основе предлагаемого решения по рекультивации породных отвалов лежит принцип самоорганизации природных систем, в соответствии с

которым создание сеяного фитоценоза инициирует начальные стадии биогеохимического круговорота элементов, являющегося главным механизмом самоорганизации природных ландшафтов.

На основании анализа данных многолетнего мониторинга на различных объектах в разных климатических зонах разработана методология восстановления нарушенных земель техногенных ландшафтов с целью восстановления экосистемных функций территории, заключающаяся в повышении биопродуктивного уровня нарушенных земель за счет:

- активизации процессов самовосстановления нарушенных земель;
- восстановления нарушенных земель, в случае полного уничтожения почвенно-растительного покрова, в соответствии с концепцией естественного почвообразования, согласно которой почва является продуктом взаимодействия материнской (горной) породы, биоты, климата, рельефа и времени.

Разработанная на основе изучения самоорганизующейся природы почв технология восстановления нарушенных земель техногенных ландшафтов в соответствии с концепцией естественного почвообразования заключается в образовании биологически активной среды в результате создания сеяного фитоценоза без нанесения плодородного слоя. Формирование биогенно-гумусо-аккумулятивного горизонта в процессе жизни сеяного фитоценоза создает условия для массово-

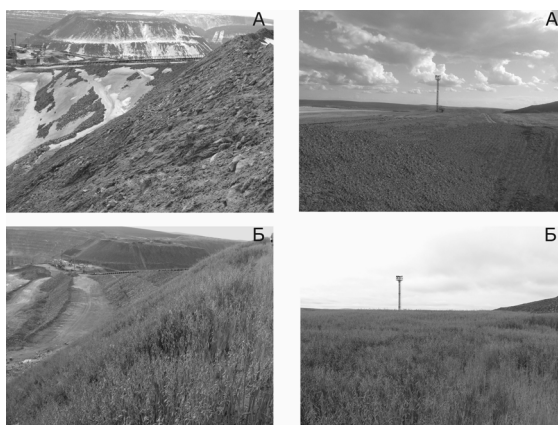


Рис. 7. Внешний вид опытного полигона на отвалах вскрышных пород: А — откос и берма до создания сеяного фитоценоза; Б — после создания сеяного фитоценоза (конец первого вегетационного периода)

го подселения местных видов, характерных для окружающего природного ландшафта. Увеличение биоразнообразия повышает компенсаторные возможности созданной экосистемы по отношению к внешней среде, обеспечивает увеличение экологической емкости и восстановление экосистемных функций территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников Н.Н. Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли // Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли – формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов: сб. докл. Всеросс. науч. – техн. конф. с участием иностранных специалистов, 13–15 окт. 2014 г.: В 2 т./ Российская академия наук, Горный ин-т Кольского научного центра РАН. — Т.1 – Апатиты; СПб.: «Реноме», 2014. — С.9-26
2. Розов Н.Н., Мельников Л.А. и др. Оценка мировых земельных ресурсов и возможностей расширения земледелия в связи с разработкой моделей и стратегий глобального развития // Природные ресурсы и окружающая среда. Достижения и перспективы. Вып.2. — М., 1978.
3. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. М: Наука – 2000, 184 с.
4. Гальперин А.М., Кириченко Ю.В., Кутепов Ю.И. Комплексный подход к экологически безопасному освоению техногенных массивов // Горная Промышленность, 2011, №5, С.22-23.
5. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2014 году.
6. Месяц С.П., Остапенко С.П. Оценка ресурсных возможностей территории Кольского горнопромышленного комплекса для восстановления почвенно-экологических функций нарушенных земель // Экология антропогена и современности: природа и человек: Сборник научных докладов, представленных на международную конференцию, — Волгоград-Астрахань, 24-27 сентября 2004 г. – СПб.: «Гуманистика», 2004. – С.409-417.
7. Месяц С.П. Восстановление почвенно-экологических функций территории – концептуальная модель адаптивных технологий восстановления нарушенных земель // Экология антропогена и современности: природа и человек: Сборник научных докладов, представленных на международную конференцию, — Волгоград-Астрахань, 24-27 сентября 2004 г. – СПб.: «Гуманистика», 2004. – С.398-408
8. Месяц С.П., Волкова Е.Ю. Базовые положения стратегии возвращения нарушенных земель техногенных ландшафтов биосферному фонду. Экология ресурсопользования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).– 2014. Спец. выпуск. – С.3-11.
9. Месяц С.П., Остапенко С.П. Методический подход к изучению биогеохимического круговорота элементов при восстановлении нарушенных земель // Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли – формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов: сб. докл. Всеросс. науч. – техн. конф. с участием иностранных специалистов, 13-15 окт. 2014г.: В 2 т. — Т.1 – Апатиты; СПб.: «Реноме», 2014. — С.340-344. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Месяц Светлана Петровна — заведующая лабораторией, mesyats@goi.kolasc.net.ru,
Волкова Елена Юрьевна – ведущий технолог,
Горный институт Кольского научного центра Российской академии наук.



UDC 622.271.45:622.882 (470.21)

MODERN REMEDIATION CONCEPT FOR MINING-INDUSTRIAL ROCK DUMPS

Mesyats S.P., Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Head of Laboratory of geocotechnologies, Russia, mesyats@goi.kolasc.net.ru,
Volkova E.Y., Leading technologist, Mining Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Russia.

Because of global destruction of the Earth's soil cover a problem of damaged lands remediation has exceeded a scope of returning lands to economic use, and is now interpreted as rehabilitation of ecosystemic territorial functions in order to save stable state of biosphere. A modern concept of remediating mining-industrial rock dumps concludes in developing solutions how to use regeneration possibilities of natural environment. A methodical approach has been developed for rehabilitating ecosystemic functions of mining-induced landscapes which consists in increasing bioproductive level due to activating processes of self-remediating and remediating mining-induced landscapes in accordance with a concept of natural soil-formation in a case of total destruction of a soil-vegetation layer. A developed technology for mining-induced landscapes remediation in accordance with the concept above consists in creating a biologically active environment as a result of forming seeded phytocenosis without applying a fertile layer. The data of long-term monitoring on rock mining-induced dumps in various climatic zones indicate that creation of seeded phytocenosis provides for rapid speed of accumulating organic substances and considerable more rapid formation of phytocenosis with a structure of surrounding landscape compared to self-growing. This is a result of settling local flora kinds during succession. Consequently, ecological capacity increases, and ecosystemic territorial functions are remediated.

Key words: rock dumps, damaged lands, self-growing, bioproductivity, seeded phytocenosis, biologically active environment, succession, biological diversity, remediation, ecosystemic functions

REFERENCES

1. Mel'nikov N.N. Jekologicheskaja strategija razvitija gornodobyvajushhej otrasli (Environmental strategy for mining sector development) // Jekologicheskaja strategija razvitija gornodobyvajushhej otrasli, formirovanie novogo mirovozzrenija v osvoenii prirodnyh resursov: sb. dokl. Vseross. nauch.-tehn. konf. s uchastiem inostrannyh specialistov, 13-15 okt. 2014: V 2 v. V.1, Apatity; SPb.: «Renome», 2014. pp. 9–26
2. Rozov N.N., Mel'nikov L.A. i dr. Ocenka mirovyh zemel'nyh resursov i vozmozhnostej rasshirenija zemledelija v svjazi s razrabotkoj modelej i strategij global'nogo razvitija (Assessment of global land resources and possibilities for expansion of agriculture in connection with the elaboration of models and strategies of global development) // Prirodnye resursy i okruzhajushhaja sreda. Dostizhenija i perspektivy. Vyp.2. Moscow, 1978.
3. Dobrovol'skij G.V., Nikitin E.D. Sohranenie pochv kak nezamenimogo komponenta biosfery (Preservation of soils as irreplaceable component of biosphere). Moscow: Nauka, 2000, 184 p.

4. Galperin A.M., Kirichenko Yu.V., Kutepov Yu.I. *Kompleksnyi podhod k jekologicheski bezopasnomu osvoeniju tehnogennyh massivov* (Integrated approach to the environmentally safe development of technogenic massifs) // *Gornaja Promyshlennost'* No 5 (99) 2011, pp. 22–23.

5. *Doklad o sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Murmanskoy oblasti v 2014* (Report on the state of the environment of the Murmansk region in 2014).

6. Mesyats S.P., Ostapenko S.P. *Ocenka resursnyh vozmozhnostej territorii Kol'skogo gornopromyshlennogo kompleksa dlja vosstanovlenija pochvenno-jekologicheskikh funkcij narushennyh zemel'* (Evaluation of the resource capacity of the territory of the Kola mining complex for the restoration of soil ecological functions disturbed lands) // *Jekologija antropogena i sovremennosti: priroda i chelovek: Sbornik nauchnyh dokladov, predstavlenykh na mezhdunarodnuju konferenciju, Volgograd-Astrahan', 24–27 sentjabrja 2004*. SPb.: «Gumanistika», 2004. pp. 409–417.

7. Mesyats S.P. *Vosstanovlenie pochvenno-jekologicheskikh funkcij territorii – konceptual'naja model' adaptivnyh tehnologij vosstanovlenija narushennyh zemel'* (Restoration of soil ecological functions of the site – conceptual model of adaptive technologies to restore disturbed lands) // *Jekologija antropogena i sovremennosti: priroda i chelovek: Sbornik nauchnyh dokladov, predstavlenykh na mezhdunarodnuju konferenciju, Volgograd-Astrahan', 24–27 sentjabrja 2004*. SPb.: «Gumanistika», 2004. pp. 398–408.

8. Mesyats S.P., Volkova E.Ju. *Bazovye polozenija strategii vozvrashhenija narushennyh zemel' tehnogennyh landshaftov biosfernomu fondu. Jekologija resursopol'zovanija* (Basic provisions of the strategy of returning disturbed land of technogenic landscapes of the biosphere Foundation. Ecology use of resources) // *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*, 2014. Spec. vypusk. pp. 3–11.

9. Mesyats S.P., Ostapenko S.P. *Metodicheskij podhod k izucheniju biogehimicheskogo krugovorota jelementov pri vosstanovlenii narushennyh zemel'* (Methodological approach to the study of the biogeochemical cycle of elements in the restoration of disturbed land). *Jekologicheskaja strategija razvittija gornodobyvajushhej otrasli, formirovanie novogo mirovozzrenija v osvoenii prirodnyh resursov: sb. dokl. Vseross. nauch.-tehn. konf. s uchastiem inostrannyh specialistov, 13–15 okt. 2014: V 2 t. V.1*, Apatity; SPb.: «Renome», 2014. pp. 340–344.