

**УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ
В ПРОЦЕССЕ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ****В. Г. Михайлов¹, А. Г. Коряков², Г. С. Михайлов¹**¹*Кузбасский государственный технический университет им Т. Ф. Горбачева,**Е-mail: mvg.lef@rambler.ru, ул. Весенняя, 28, 650000, г. Кемерово, Россия*²*Московский государственный университет тонких химических технологий
им. М. В. Ломоносова, просп. Вернадского, 86, 119571, г. Москва, Россия*

Приведены результаты исследования теоретико-прикладных аспектов процесса управления экологическими рисками применительно к угледобывающим и углеперерабатывающим предприятиям, выделены и решены задачи, предусматривающие идентификацию экологических рисков, оценку вероятности наступления неблагоприятных событий, определение структуры возможного ущерба, собственно оценку риска, а также оценку эффективности технологических и организационных методов и мер воздействия на экологический риск, направленных на его снижение или ликвидацию, принятие решения о внедрении в практику управления риском конкретных мер с последующим контролем данного процесса. Рассмотрены группы технологических и организационных мероприятий, направленных на минимизацию или нейтрализацию рисков. Основным результатом исследования — формирование комплекса мер по снижению экологических рисков, в частности технологий сверхглубокой очистки дизэлектрических жидкостей; внедрение оборудования по переработке отработанных шин большегрузного карьерного транспорта; формирование и последующая актуализация системы менеджмента качества; повышение эффективности рекультивации нарушенных земель, а также переработка отходов гидродобычи и углепереработки.

Угледобывающие предприятия, экологические риски, загрязнение окружающей среды, экологический риск-менеджмент

Угледобывающая отрасль является системообразующей для Кузбасса. Угольные предприятия Кемеровской области представляют собой комплексный источник негативного воздействия на окружающую среду. Они загрязняют атмосферный воздух, водные источники. Значительные земельные участки отводятся для размещения промышленных отходов и отвалов горных пород. Специфика влияния конкретного угольного предприятия на окружающую среду обусловлена геолого-геохимическими особенностями месторождения, применяемой техникой и технологией его разработки [1].

Основные нарушения земной поверхности при открытой добыче угля связаны со строительством разрезов и размещением отвалов вскрышных пород. Согласно статистическим данным, представленным Управлением Росприроднадзора по Кемеровской области, площадь нарушенных земель по состоянию на 31.12.2013 г. составила 60.37 тыс. га, из них при разработке месторождений полезных ископаемых — 56.10 тыс. га [2].

При загрязнении атмосферного воздуха основной вклад в суммарные выбросы вредных веществ от стационарных источников вносили предприятия по добыче полезных ископаемых — 62.4% (около 850 тыс. т).

Для нужд угледобывающих предприятий в 2013 г. из водных источников области изъято более 348 млн м³ воды. Сброс сточных вод осуществляется преимущественно в поверхностные водные объекты. В 2013 г. сброшено 304 млн м³ сточных вод, из них в поверхностные водные объекты более 267 млн м³.

Основной объем отходов горного производства приходится на горнодобывающие предприятия. Их вклад в 2013 г. составил 2644 млн т или 99.35% от суммарного количества отходов в Кемеровской области. Наибольшее количество отходов, ввиду интенсивного функционирования угледобывающих предприятий, приходится на отходы 5 класса опасности для окружающей среды — 2658 млн т, что составляет 99.79% образовавшихся отходов.

В таких условиях важной научно-практической задачей является адекватное управление экологическими рисками с целью снижения негативного воздействия предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых на окружающую среду и повышения эффективности их функционирования [3, 4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экологический риск — интегральный показатель, характеризующий ущерб предприятию, населению и окружающей среде вследствие экологических аварий с учетом вероятности их возникновения и имеющий следующие особенности:

- экологические риски связаны с ущербом не только для самого хозяйствующего субъекта, но и для других предприятий, населения, экономики и биосферы в целом;
- воздействие на окружающую среду от экологически неблагоприятных событий может иметь негативный характер, что отражается в текущем и стратегическом планировании деятельности предприятия, города и других макроэкономических субъектов;
- ужесточение требований к источникам экологической опасности, формирующим экологический риск жизни и здоровью населения и в большей степени его трудоспособной части;
- источниками экологического риска могут быть техногенные, природные объекты, а также их совокупность;
- оценка и управление экологическими рисками включает использование специфических областей знаний и результатов исследований смежных наук.

Классификация экологических рисков включает разные направления, среди которых особое значение имеет их следующая дифференциация:

- признаки локализации неблагоприятных событий;
- источники возникновения неблагоприятных событий;
- характеристики и экспозиция загрязнения;
- формы компенсации негативного воздействия на окружающую среду;
- соответствие количественным нормативам.

Наибольшую актуальность для промышленно развитых регионов имеет последний интегральный классификационный признак, определяющий характер распространения загрязнения, в соответствии с которым существуют следующие виды экологического риска:

- сверхлимитное загрязнение в целом по совокупности точечных источников;
- сверхнормативное краткосрочное загрязнение по локальному источнику загрязнения;
- аварийное или залповое загрязнение.

Управление экологическими рисками на угледобывающем предприятии приобретает особое значение в связи с повышением требований экологического законодательства, а также с вероятностью значительных текущих и перспективных экономических потерь, которые могут резко снизить эффективность производства. Процесс управления экологическими рисками включает разработку и реализацию мероприятий по их снижению или ликвидации. Цель управления данным видом риска — уменьшение возможных негативных экологических последствий нежелательного развития событий до приемлемого уровня в ходе реализации принятых решений. На рисунке представлен укрупненный алгоритм управления экологическими рисками [5].



Схема управления эколого-экономическими рисками

Теоретические исследования показывают, что для каждого из объектов вероятность ущерба от экологического нарушения можно связать с величиной отклонения текущего состояния окружающей среды от нормативного [6]. В этом случае оценку экологического риска с учетом множества рассматриваемых объектов, можно представить в виде

$$R = \sum_k \sum_i \sum_j P_j(\Delta S_j) P_{kj}(i, z_{kj}, \Delta S_j) X_i,$$

где $P_{kj}(i, z_{kj}, \Delta S_j)$ — условная вероятность k -го объекта получить ущерб X_i , выраженный в стоимостной форме, в результате отклонения состояния окружающей среды от нормативного состояния на величину ΔS_j и проведения защитных мероприятий от этого воздействия объемом z_{kj} ; j — индекс, характеризующий нарушения состояния окружающей среды; $P_j(\Delta S_j)$ — вероятность нарушения окружающей среды объемом ΔS_j .

Оценка экологического риска — это процесс количественной оценки вероятности воздействия поллютанта на здоровье человека или состояние экосистемы. Она особенно необходима, когда невозможно дать однозначный ответ о возможных экологических последствиях того или иного антропогенного воздействия на окружающую среду вследствие ряда вероятностных причин [7, 8]. Эти причины могут быть связаны с различными видами неопределенности, в том числе:

- входной информации;
- используемого алгоритма расчета антропогенного воздействия из-за отсутствия знаний о рассматриваемых параметрах, недостаточного знания или предлагаемого упрощения этих процессов;
- зоны воздействия поллютантов;
- самих компьютерных моделей и, как следствие, всех предшествующих шагов при принятии тех или иных решений, например по сокращению эмиссии поллютантов на основании расчета их критических нагрузок.

Оценка экологического риска может быть проведена также с помощью коэффициента риска, области значений которого дифференцируются как зоны пренебрежимого, приемлемого, критического и недопустимого.

Идентификация вредного воздействия — первый шаг при оценке экологического риска — проводится, как правило, на качественной основе путем сравнения с аналогичными данными для других географических условий, других исследований или оценок риска [9–11]. В отдельных случаях уже этот шаг позволяет оценить уровень воздействия и перейти сразу к стадии управления риском [12].

Для изучения экологических рисков широко применяются методы экспертных оценок, позволяющие устанавливать наиболее значимые факторы, инициирующие ухудшение экологической ситуации на локальном, региональном и глобальном уровнях. Кроме того, возможно использование статистических методов с целью определения величины и частоты выбросов вредных веществ, а также анализа однородности выборки данных [13, 14].

Управление экологическими рисками зависит от вероятности опасности и ее интенсивности, определяемой особенностями территории [15]. В частности, уязвимость последней характеризуется величиной потерь, вызванных в течение фиксированного времени воздействием опасного процесса определенной интенсивности на территорию или объект. Этот параметр является наиболее существенным компонентом риска, оказывающим влияние на его снижение, а управление в основном ограничивается инженерной защитой объектов и не распространяется на управление самими опасными процессами. Таким образом, проблемы управления риском сводятся к управлению уязвимостью территорий или объектов при воздействии экологически опасных процессов. Уязвимость реципиентов или объектов может оцениваться по их типам: население, сельское хозяйство, лесное хозяйство, коммунально-бытовое хозяйство. Оценка степени опасности процессов и экологической уязвимости территорий и объектов осуществляется на основе экспериментальных и теоретических исследований с учетом данных за предыдущий период. Для определения экономического ущерба от случайных процессов необходима оценка двух вероятностных характеристик: степени опасности или интенсивности и уязвимости объекта экологической опасности. Последовательная оценка опасности, зависящая от природных и техногенных условий, и уязвимости объекта опасности позволяет оценить риск от негативных процессов и применять разработанный и используемый в различных сферах экономики аппарат управления рисковыми ситуациями с целью снижения ущерба от экологических нарушений.

Заключительным этапом управления экологическими рисками является разработка и реализация мероприятий по их снижению и ликвидации:

- *Информационно-просветительские*: подготовка и экологическое просвещение кадров (тренинги, семинары, курсы повышения квалификации и пр.); прогнозирование экологических рисков; использование услуг экологического консалтинга.

- *Нормирующие*: разработка и проведение открытой экологической политики; разработка и совершенствование регламентной базы; разработка и конкретизация должностных инструкций; внедрение систем экологических стандартов.

- *Проверяющие* экологический аудит; совершенствование систем измерения и анализа (компьютерные системы, измерительные приборы и другие технические средства).

- *Контрольные*: автоматизированные системы управления безопасностью технологического процесса; создание экологической службы предприятия; отладка и проверка опасного оборудования; предъявление требований к наличию лицензий и экологических сертификатов партнеров; организационные меры по очистке территории.

- *Стимулирующие*: системы мотивации персонала.

- *Взыскательно-возмещающие*: рекультивация земель; добровольное оперативное устранение последствий загрязнения; создание резервов на возмещение возможного ущерба [16].

- *Технологические*. установка, реконструкция и совершенствование систем очистки выбросов и сбросов; альтернативные, более экологически чистые технологии; обустройство и озеленение территории; принятие мер, локализирующих вредное воздействие (размещение опасных объектов, строительство специальных сооружений); экономия ресурсов за счет использования отходов [17–21].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предложенный алгоритм управления экологическими рисками может быть реализован на угледобывающих или углеперерабатывающих предприятиях. Среди наиболее эффективных мер можно выделить следующие.

Технология сверхглубокой очистки дизлектрических жидкостей (“Микронинтер”) для очистки масел, используемых на большегрузных самосвалах. По сравнению с существующими механическими фильтрами, установка для очистки ДТ и отработанного моторного масла имеет следующие преимущества: высокую степень очистки, улавливание микрочастиц вне зависимости от их физико-химической природы (песок, металл, пластмасса и т.д.), малое гидравлическое сопротивление, отсутствие в конструкции дефицитных деталей и материалов, простота технического обслуживания.

Предварительные расчеты показали, что при переработке 87.71 т масла Teboil Super HPD SAE 15W-40 экономический эффект может составить более 0.3 млн руб. в год. При этом более чем на 5 % снижается расход топлива двигателей за счет повышенного качества модифицированного топлива, имеющего более высокую теплотворную способность благодаря наличию в нем масла.

Внедрение оборудования по переработке отработанных автомобильных шин. Один из видов переработки автопокрышек — механическое измельчение шин при нормальных температурах. Переработка целых шин при положительных температурах осуществляется на оборудовании с высокоизносостойкими режущими элементами и многостадийной очисткой резиновой крошки от металла и текстильного корда. Расчеты и опыт эксплуатации различных типов оборудования показывают, что измельчение при положительных температурах является менее энергоемким процессом по сравнению с альтернативными методами.

Технология переработки автопокрышек включает следующие процессы:

— предварительное дробление (разрезание) шин на фрагменты, которому иногда предшествует вырезание бортовых колец. В некоторых случаях шину разрезают вместе с кольцами (используют шредеры, ножевые или фрезерные дробилки);

— отслоение корда от резины и сепарация смеси по материалам (используют молотковые или валковые дробилки, а также сепараторы);

— тонкое измельчение резины (используют мельницы тонкого помола).

В состав технологической линии, работающей по такой классической схеме, входит следующее основное оборудование: ножевая валковая дробилка, двухвалковая ножевая дробилка, ударно-роторный дезинтегратор, сепаратор магнитный, вибросито, вальцы дробильные и машина получения регенерата.

По этой технологии можно получать резиновый регенерат заданной крупности. Данная комплектация получила наибольшее распространение в силу отработанности технологического процесса, простоты решения и ремонтпригодности оборудования.

Номенклатура оборудования данной технологии позволяет комплектовать линии различной производительности. Основным продуктом переработки автопокрышек — резиновая крошка фракций 2–5 мм. При получении фракций более тонкого помола резко увеличивается удельное энергопотребление на тонну конечной продукции. Расчетный экономический эффект от реализации данного мероприятия составляет более 9 млн руб.

Одним из эффективных и проверенных экономических инструментов в охране окружающей среды является залоговая система, или *система “зalog–возврат”*. Данный механизм позволяет снизить поступления отходов в окружающую среду, в том числе и токсичных, сберечь значительные средства и ресурсы за счет утилизации отходов, сократить экологические платежи, например на ООО “Разрез Киселевский” 16 % отходов 4 класса опасности составляет макулатура. Также данное мероприятие предусматривает сдачу в приемные пункты отходов 3 и 5 класса опасности: лом меди и лом черных металлов. Ожидаемый эффект составляет около 0.2 млн руб./год.

Актуальным представляется *внедрение системы менеджмента качества*, связывающей процессы, направленные на его улучшение, желаемая степень которого определяется самой организацией в зависимости от экономических и других факторов. В стандарте ISO 14001 приведены основные термины и определения, изложены рекомендации в области экологической политики, планирования, целей и задач, программы и системы экологического менеджмента. Основным принципом, заложенным в системе экологического менеджмента, — постоянное последовательное улучшение.

Организация должна установить процедуру идентификации экологических аспектов и выполнять ее в отношении всех видов деятельности, которые она может контролировать и на которые может оказывать влияние. Указанные процедуры необходимы для определения наиболее значимых экологических аспектов деятельности, продукции или услуг, которые могут оказывать значительное воздействие на окружающую среду.

Стандарт ИСО 14001, при его внедрении на ООО “Разрез Киселевский”, позволит получить целый ряд преимуществ: повысить качество продукции и, как следствие, конкурентоспособность разреза, снизить объемы отходов и затраты на их утилизацию.

Повышение эффективности рекультивации, включая ускоренную биологическую рекультивацию техногенно нарушенных земель, предполагает использование различных вариантов рекультивации (ОАО ОУК “Южкузбассуголь” филиал шахта “Алардинская:

1. Разравнивание нарушенных площадей с удалением крупных кусков и глыб, что приводит к естественному зарастанию поверхности, чему способствуют климатические особенности Кемеровской области.

2. Нанесение на выровненную поверхность отвала плодородного слоя: навоз, торф, суглинки, глина. Дорожные откосы в некоторых случаях зарастают в течение одного лета и особенно при травосеянии.

3. Организация дробильного хозяйства вместо разравнивания поверхности в случае крепкой каменистой массы породы, на которой нормальный рост трав и кустарника невозможен.

4. Углекислотное воздействие. Предлагается создание почвенного субстрата на основе золы уноса ТЭС и бурого угля. Внесение в почву гуматов натрия нецелесообразно ввиду огромного расхода NaOH или Na_2CO_3 . Кроме того, гуматы натрия как соединения хорошо растворимые в воде вымываются дождевыми потоками, не успевая задерживаться в почве, тем более на дренажно-каменистой. Возможно в качестве источника гуминовых кислот использовать непосредственно бурый уголь северо-восточной части Кемеровской области, где располагается западное крыло Канско-Ачинского бассейна. Этот уголь легко окисляется; именно эта природная особенность оказывается в условиях почвенного субстрата удобным источником гуминовых кислот. Сейчас на золоотвалах электростанций скопились миллионы тонн золы уноса, один из способов ее квалифицированного использования — создание почвенного субстрата.

Авторами разработан способ ускоренной биологической рекультивации нарушенных земель. Активное почвообразование в техногенном субстрате возможно при использовании комплекса биологических препаратов на основе отселектированных штаммов почвенных микроорганизмов. Способ предусматривает применение биопрепаратов собственной разработки, подбор растительности и создание благоприятных условий для роста и развития растений. Использование комплекса микробиологических препаратов позволяет вести рекультивацию без нанесения плодородного слоя на обрабатываемую площадь и имеет следующие преимущества:

- активация почвенной микрофлоры;
- улучшение азотного, фосфорного и калийного питания растений;
- обеспечение быстрого роста и развития растений, создание благоприятных условий для образования прочной дернины (корневая система развита до глубины 18–20 см) и для формирования гумуса в техногенном субстрате;
- существенное влияние на формирование биомассы растений, рост листьев и мезоструктуру листа, а также на синтез хлорофилла и интенсивность фотосинтеза.

Композиция биопрепаратов активизирует почвенную микрофлору, улучшает азотное, фосфорное и калийное питание растений, обеспечивая быстрый рост и развитие растений, создавая благоприятные условия для ускоренного образования гумуса в техногенном субстрате, оказывает существенное влияние на формирование биомассы растений. Преимуществами данного мероприятия являются малые нормы расхода на один гектар (от 0,2 до 2 л), низкая удельная стоимость, отказ от нанесения плодородного слоя почвы, завезенной извне, формирование нормального почвенного слоя.

Особого внимания заслуживают также направления снижения экологических рисков, основанные на переработке отходов гидродобычи [22–24] и углеродной переработки [25–30], имеющие высокую научно-технологическую проработку и перспективу эффективной коммерциализации в современных условиях.

ВЫВОДЫ

Применительно к угледобывающим и углеперерабатывающим предприятиям исследованы вопросы управления экологическими рисками. Разработан алгоритм управления экологическими рисками, который включает стадии оценки риска и собственно управления риском. Предложенные меры по снижению и ликвидации экологических рисков на стадии проектирования показали экологическую и экономическую эффективность и могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях по добыче и переработке угля, особенно в Кузбассе, где угольная отрасль является инфраструктурной и системообразующей основой регионального экономического развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев В. А., Потапов В. П., Счастливцев Е. Л. Мониторинг состояния природной среды угледобывающих районов Кузбасса. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013.
2. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2013 году. Дата обращения 11.02.2015 г. www.ecokem.ru.
3. Галанина Т. В., Овсянникова С. В. Экологическая обстановка в угледобывающей отрасли Кузбасса: проблемы и пути решения // ГИАБ. — 2012. — № 3.
4. Гендлер С. Г., Домпальм Е. И., Киселев В. А., Кузнецов В. С. Принципы оценки негативного воздействия горнодобывающих предприятий на окружающую среду на основе экологического риска // Безопасность труда в пром-сти. — 2004. — № 11.
5. Киселева Т. В., Михайлов В. Г. Методы оценки и управление эколого-экономическими рисками как механизм обеспечения устойчивого развития эколого-экономической системы // Системы управления и информационные технологии. — 2012. — № 2 (48).
6. Сластунов С. В., Фейт Г. Н. Оценка риска опасных техноприродных процессов при защите окружающей среды в зоне ведения горных работ // ГИАБ. — 2007. — № 1.
7. Пашкевич М. А., Анциферова Т. А. Оценка риска техногенного воздействия предприятий топливно-энергетического комплекса // Зап. Горного института. — 2013. — Т. 203.
8. Кузнецова Е. В., Мясков А. В. Экологическая безопасность: концептуальные аспекты функционирования горных предприятий // Науч. вестн. МГГУ. — 2011. — № 5.
9. Александрова Т. Н., Липина Л. Н., Грехнев Н. И. Геоэкологическая оценка состояния компонентов природной среды с использованием геоинформационных технологий в зоне влияния горноперерабатывающего предприятия // ФТПРПИ. — 2013. — № 1.
10. Опарин В. Н., Потапов В. П., Гиниятуллина О. Л. О комплексной оценке состояния окружающей среды по данным дистанционного зондирования Земли в регионах с высокой техногенной нагрузкой // ФТПРПИ. — 2014. — № 6.
11. Логов А. Б., Опарин В. Н., Потапов В. П., Счастливцев Е. Л., Юкина Н. И. Энтропийный метод анализа состава техногенных вод горнодобывающего региона // ФТПРПИ. — 2015. — № 1.
12. Березнев С. В., Лангольф Э. Л., Михайлов В. Г. Идентификация эколого-экономических рисков в процессе мониторинга угледобывающих предприятий // ГИАБ. — 2009. — Т. 7. — № 12.
13. Ефимов В. И., Сидоров Р. В., Корчагина Т. В. Прогнозная оценка воздействия горного производства на окружающую среду Кузбасса // Уголь. — 2014. — № 12.
14. Ubugunov L. L., Kulikov A. I. and Kulikov M. A. On the application of risk analysis technology for assessment of the ecological hazard of desertification (by the example of Republic of Buryatia), Contemporary problems of ecology, 2011, Vol. 4, No. 2.

15. Качурин Н. М., Ефимов В. И, Мосина Е. К., Факторович В. В. Перспективы экологически безопасного использования отходов производства на территориях горнодобывающих регионов // Безопасность труда в пром-сти. — 2014. — № 9.
16. Левчук И. Р., Пашкевич М. А. Проблемы рекультивации техногенных массивов предприятия угледобывающей отрасли // Науч. вест. МГГУ. — 2011. — № 8.
17. Казаков В. Б., Попов С. М., Стоянова И. А., Харченко В. В. Методологические основы оценки ценности углепромышленных отходов для расширения масштабов их использования в хозяйственной деятельности // Уголь. — 2012. — № 4 (1033).
18. Попов С. М. Оценка ценности отходов угольной промышленности // Науч. вестн. МГГУ. — 2013. — № 6.
19. Попов С. М. Формирование эколого-экономического механизма оценки и выбора направлений использования углепромышленных отходов // ГИАБ. — 2008. — № 5.
20. Починков И. В., Мясков А. В. Анализ существующих методов использования и переработки отходов угледобычи // Науч. вестн. МГГУ. — 2013. — № 5.
21. Савон Д. Ю., Абрамова М. А. Переработка и утилизация отходов промышленных предприятий как метод ресурсосбережения // Экол. вестн. России. — 2014. — № 6.
22. Ефимов В. И. Выбор показателей для эколого-экономической оценки вариантов использования отходов гидродобычи угля // ГИАБ. — 2012. — № 1.
23. Гридин В. Г. Разработка модульной установки для приготовления и сжигания ВУТ из отходов углеобогащения // ГИАБ. — 2009. — Т. 6. — № 12.
24. Попов С. М., Харченко В. В. Эколого-экономическое обоснование направлений использования отходов гидродобычи угля // ГИАБ. — 2011. — № 9.
25. Ефимов В. И., Никулин И. Б. Изготовление брикетов из угольных шламов обогатительных фабрик // ГИАБ. — 2012. — № 943.
26. Dyakov S. N., Papin A. V., Nevedrov A. V. and Zhbyr E. V. Converting coal slurry to concentrate for coke production, Coke and Chemistry, 2012, Vol. 55, No. 10.
27. Dyakov S. N., Nevedrov A. V. and Papin A. V. Fluorene production from coke-industry byproducts. Coke and Chemistry, 2012, Vol. 55, No. 9.
28. Петрова В. А., Пашкевич М. А. Утилизация обезвоженных техногенных донных отложений водных объектов горно-промышленных регионов // Зап. Горного института. — 2013. — Т. 203.
29. Сластунов С. В., Фейт Г. Н. Оценка риска опасных техноприродных процессов при защите окружающей среды в зоне ведения горных работ // ГИАБ. — 2007. — № 1.
30. Zaostrovsev V. N., Minyaeva I. A., Sukhanevich M. M. and Gorev A. V. Technological complex of purification of return mining waters, Gornyi Zhurnal, 2014, No. 3.

Поступила в редакцию 26/VI 2015