

УДК 504.55.054:622(470.6)

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Голик Владимир Иванович^{1,2},
v.i.golik@mail.ru

Разоренов Юрий Иванович¹,
yiri1963@mail.ru

Лукьянов Виктор Григорьевич³,
lukyanov@tpu.ru

¹ Северокавказский государственный технологический университет,
Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

² Владикавказский научный центр,
Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а.

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность. Горное производство вышло в «признанные лидеры» по воздействию на окружающую природную среду, в том числе при разрушении горными работами земной поверхности с катастрофическими последствиями. Минимизация вредного воздействия горных технологий становится актуальным направлением исследований в глобальном масштабе, но практических решений по выходу из сложившегося положения мало.

Целью исследования является доказательство эколого-экономической эффективности природоохранных и ресурсосберегающих технологий разработки рудных месторождений твердых полезных ископаемых и обоснование их перспективности.

Методы исследования включают в себя анализ и обобщение результатов выполненных ранее собственных и привлеченных теоретических и экспериментальных исследований, литературных и патентных данных.

Результаты. Дана историческая справка о динамике этапов эволюции горного производства. Показано, что природные и техногенные факторы поражения экосистем усиливают друг друга за счет синергетического эффекта. Определены направления снижения опасности: закладка технологических пустот твердеющими смесями; подземное выщелачивание бедных и потерянных руд; кучное выщелачивание бедных руд; выщелачивание хвостов обогащения и металлургии с активацией процессов в активаторах типа дезинтегратор. В качестве перспективного направления решения экологической проблемы рекомендована утилизация хвостов первичной переработки руд после извлечения из них металлов до уровня санитарных требований путем комбинирования химического обогащения и активации.

Выводы. Утилизации хвостов обогащения является реальным направлением выживания технологически насыщенного региона добычи и переработки минерального сырья в условиях непрогнозируемого развития технического прогресса, решая проблему упрочнения минерально-сырьевой базы горных предприятий и сохранения окружающей природной среды от деградации.

Ключевые слова:

Горное производство, экосистема, технология, закладка, выщелачивание, ресурсы, утилизация, запасы, хвосты, обогащение, дезинтегратор.

Введение

Человеческое сообщество, опираясь на возможности разума, радикально изменяет природное равновесие на планете Земля. Современный арсенал воздействия на природу включает в себя химическое, радиационное, тепловое, шумовое и др. виды загрязнения окружающей среды. Особенно активно воздействует горное производство.

Деятельность добывающих предприятий изменяет химический состав подземных вод, понижает уровень грунтовых вод, создает условия для деформирования земной поверхности и т. д. Добыча минералов вышла в лидеры среди разрушающих природу технологий по многоплановости и необратимости воздействий на экосистемы Земли.

Если техногенное возмущение экосистемы превышает уровень, при котором биота еще сохраняет способность к самовосстановлению после снятия

нагрузки, воздействие горного производства на экосистемы по своим последствиям можно квалифицировать как прогрессирующую техногенную катастрофу [1].

Горное производство давно вышло в «лидеры» по воздействию на окружающую среду, поэтому исследования эколого-экономических аспектов ресурсосбережения при разработке месторождений полезных ископаемых приобретают особую актуальность [2].

Результаты и обсуждение

Процессы добычи полезных ископаемых (извлечение минералов, вскрытие, подготовка, дробление, выдача на поверхность, измельчение, обогащение и металлургический передел) в любом случае нарушают равновесие экосистемы. Наибольшую опасность представляет та часть отходов,

которая не утилизируется, а остается в окрестностях горного предприятия на хранении (рис. 1).

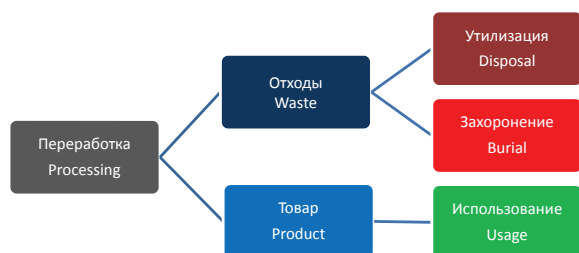


Рис. 1. Влияние процессов горного производства на окружающую среду

Fig. 1. Impact of mining production on the environment

Радикальным воздействием на окружающую среду является разрушение земной поверхности. Техногенные воздействия горных работ нередко генерируют сейсмические эффекты. Так, в 1971 г. на Старогрозненском нефтяном месторождении (Россия, Чечня) произошло вызванное разработкой нефтяной залежи землетрясение интенсивностью 7 баллов.

В результате горных работ из сельскохозяйственного производства изымаются земли под отвалы, выемки, карьеры и др. объекты. При добыче 1 млн т угля нарушается 3–43 га земли, железной руды – 14–600 га, известняка – 60–120 га, фосфоритов – 22–77 га.

Взрывы на карьерах образуют облака объемом в десятки млн м³ с высотой до 1500 м. Концентрация пыли в воздухе на расстоянии до 1,5 км достигает 10 мг/м³ в течение часа.

Техногенное влияние на экосистемы проявляется в формах:

- преобразование поверхности;
- подтопление и осушение территорий, загрязнение подземных вод и горизонтов;
- рассеяние химических элементов, веществ и соединений с нарушением баланса;
- изменение структуры и режима водно-теплового баланса;
- развитие оползневых явлений, карстов, просадок, селей и т. п.;
- истощение земных недр;
- перераспределение напряжений и деформаций в массиве.

Для удовлетворения своих нужд человечество использует слои биосферы, опускаясь на глубину 4 км и поднимаясь на высоту более 4 км [3]. Элементы техногенной катастрофы типизированы нами в таблице [2].

Природные и техногенные факторы поражения экосистем взаимодействуют, создавая синергетический эффект (рис. 2).

Влияние технологий интенсифицирует природные процессы и создает условия для возникновения природно-техногенных катастроф с аккумулятивным эффектом. Приоритетной экологической проблемой является обращение с отходами, потому что перерабатывается не более 1 % старых, лежалых и

до 40 % текущих отходов [4]. В России эксплуатируются более 300 крупных хранилищ отходов переработки минерального сырья с емкостью от 500 до 600 тыс. м³, создающих угрозу. Так, в 1992 г. в результате прорыва дамбы на хранилище хвостов Магнитогорского металлургического комбината в природу выброшено одновременно 2 млн м³ шлама. Под отвалами отводят 0,1 га площади земли на каждые 1000 т сырья. В более чем 2 тыс. отвалов хранится более 3 млрд м³ горной массы.

Таблица. Типизация техногенных катастроф

Table. Typification of technological disasters

Сферы Sphere	Факторы воздействия Impacts	Причины Reasons
Атмосфера Atmosphere	Выбросы пылегазовых частиц; нарушение баланса газов; радиоактивное загрязнение; изменения флоры и фауны; разрушение озонового слоя; температурная инверсия Emissions of dust and gas particles; imbalance of gases; radioactive contamination; changes in flora and fauna; destruction of the ozone layer; temperature inversion	Некорректность процессов, климатические условия Incorrect processes, climatic conditions
Гидросфера Hydrosphere	Миграция загрязнителей в флору; радиоактивное загрязнение; деградация флоры и фауны Migration of contaminants in flora; contamination; degradation of flora and fauna	Некорректность процессов, климатические условия, наличие гидравлических связей Incorrect processes, climatic conditions, presence of hydraulic connections
Литосфера Lithosphere	Разрушение литосферы; изъятие, заболачивание, обезвоживание почв; радиоактивное загрязнение Destruction of lithosphere; removal, waterlogging, dewatering of soils; contamination	Некорректность процессов добычи и переработки сырья Incorrectness of extraction and processing of raw materials
Живое вещество Living matter	Уничтожение, деградация и перерождение флоры и фауны; мутационные изменения, ослабление иммунной способности Destruction, degradation and rebirth of flora and fauna; mutational changes, immune ability weakening	Некорректность процессов, климатические условия, длительность воздействия Incorrect processes, climatic conditions, duration of exposure

Только в г. Кривой Рог накоплено более 3 млрд т вскрышных пород и 2 млрд т хвостов обогащения, в воздух ежегодно выбрасывается более 1,2 млн т пылевидных частиц, из подземных пустот откачивают около 40 млн м³ высокоминерализованных вод. Такое же положение характерно для Норильска, Магнитогорска, Усть-Каменогорска и других горнопромышленных регионов [5]. Пылеобразные и газообразные отходы содержат радиоизотопы U²³⁸, U²³⁵, Th²³².

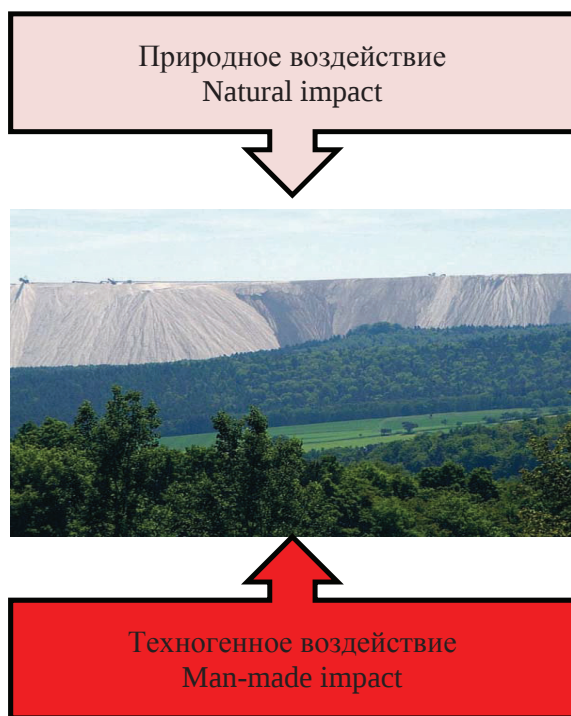


Рис. 2. Взаимодействие факторов воздействия на экосистемы и живое вещество

Fig. 2. Interaction of factors of impact on ecosystems and living matter

Отличие отходов горного производства от отходов других производств состоит в том, что они представляют собой готовое сырье для будущих технологий и могут быть востребованы в будущем [6]. В стоки выбрасывают тысячи тонн жидких руд. Так, оловянные рудники Дальнего Востока образуют ореолы рассеяния металлов, по содержанию металлов сравнимые с запасами в недрах.

Горное производство прошло долгий путь от простого собирательства до современного состояния:

- собирательство 10 тыс. лет до н.э.;
- первые подземные работы с использованием орудий из камня и рогов оленя, мускулы 10 тыс. лет до н. э.;
- металлические орудия, тепловая энергия, использование животных, примитивная механизация н.э.–ср. века;
- механизация процессов, появление ВВ, паровой и электрический привод, создание крупных горных предприятий XVIII в.;
- механизация и автоматизация процессов, первые специальные технологии XIX в.;
- модернизация традиционных технологий, специальные технологии, комплексная механизация процессов XX в.;
- технологии будущего с использованием новых видов энергии.

Опасность горных технологий определяется возможностями применяемых орудий производства, размерами выработок и глубиной разрабо-

ток. Орудия производства прошли путь эволюции от примитивных приспособлений до обладающей большими возможностями техники.

Древнейшие выработки – шурфы – достигали 20×30 м глубины при сужающемся сечении 1,5×2 м поверху и 1 м внизу. Из шурфов проходили штреки размерами 0,6×1,0 м. Большинство древних выработок имеет ширину до 0,5 м при высоте 1 м. В середине прошлого века в Европе шахты достигали глубины 300 м. В настоящее время глубина работ достигла 4 км, а объемы выработок в земной коре измеряются миллионами кубических метров [7].

Вплоть до середины прошлого века обрушение земной поверхности под влиянием горных разработок считалось неизбежным и допустимым, и только во второй половине XX в. оформилось направление гуманизации горного дела, включающее в себя применение технологий с закладкой выработанного пространства (рис. 3).

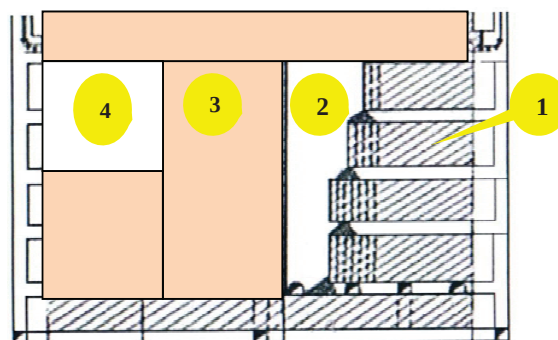


Рис. 3. Система разработки с отбойкой подэтажными ортами с закладкой выработанного пространства твердеющей смесью: 1 – руда; 2 – камера в отработке; 3 – заложённая камера; 4 – камера в стадии закладки

Fig. 3. Development system with sublevel breaking orts with backfilling of the worked-out space with hardening mixture: 1 is the ore; 2 is the testing camera; 3 is the filled camera; 4 is the camera in the filling stage

Наконец, появились способы добычи с выщелачиванием, предоставившие возможность добывать металлы, не извлекая большую часть руды на земную поверхность (рис. 4) [8].

В ходе экономических реформ многие эксплуатируемые месторождения превратились в техногенные и доступны для повторной разработки [9]. Одним из направлений совершенствования горных работ является подготовка объектов к выщелачиванию уже в ходе первичной разработки.

Геотехнологические методы добычи металлов из техногенных месторождений потерянных руд химическим растворением получают развитие в технологически развитых странах. Чаще всего так добывают легко растворимый уран, медь, цинк и свинец. Для повышения экономической эффективности геотехнологии и традиционные технологии отработки балансовых и забалансовых запасов комбинируют.

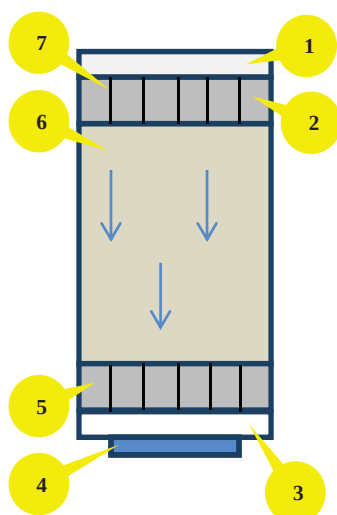


Рис. 4. Подземное выщелачивание металлов: 1 – выработка для подачи раствора; 2 – потолочина; 3 – выработка для приемки раствора; 4 – приемник растворов; 5 – дно; 6 – руда; 7 – скважина для подачи раствора

Fig. 4. Underground leaching of metals: 1 is the stope for solution feeding; 2 is the arch pillar; 3 is the stope for solution acceptance; 4 is the solution box; 5 is the bottom; 6 is the ore; 7 is the hole to feed solution

Так, на Быкогорском руднике подземное и кучное выщелачивание урана из забалансовых руд в течение 30 лет обеспечивало рентабельность добычи урана при содержании в два раза меньшем, чем минимальное содержание в балансовых рудах при традиционной добыче [10].

Важнейшими полезными ископаемыми на территории Северного Кавказа являются цветные, благородные, редкие металлы и рассеянные элементы [11], в истории добычи которых выделяют этапы:

1. Эксплуатация приповерхностных участков в начальной фазе существования с наращиванием производственной мощности при высоком содержании металлов.
2. Выборочная разработка обедненных руд с деконцентрацией работ и увеличением количества поддерживаемых выработок.
3. Оработка низов и флангов месторождений с пониженным содержанием металлов со снижением количества товара при увеличении объема производства.

Урупский ГМК с 1968 г. эксплуатирует Урупское и Власенчихинское месторождения. Технологии с обрушением пород характеризуются потерями руды до 20 % и разубоживанием до 40 %. Гидравлическую закладку нерегулярно применяют в ограниченных случаях при выемке запасов под рекой Уруп.

Тырныаузский вольфрамово-молибденовый комбинат отрабатывал месторождение комбинированно: верхнюю часть карьерами «Высотный» и «Мукуланский», нижнюю часть – рудником «Молибден». До 1968 г. запасы отрабатывали с отбойкой минными зарядами. Затем получили развитие

системы подэтажных штреков, этажно-камерные и подэтажного обрушения с отбойкой на «зажатую» среду. Потери руды достигали 20 %, величина разубоживания – до 40 %. Комбинированная разработка активизировала геомеханические процессы. Наиболее крупный из оползней объемом до 4 млн м³ произошел на площади около 10 га. Объем сдвигающегося массива, в котором расположена часть подземных выработок рудника, оценивается в 15 млн м³.

Причины кризиса разработки Северо-Кавказских месторождений [12]:

- двухстадийная выемка руд с деконцентрацией работ;
- потери и разубоживание при выемке целиков;
- пирометаллургический передел руд с потерей сопутствующих компонентов.

Процессы переработки основного объема руд переносятся в подземные условия. Богатые руды выдают на поверхность и перерабатывают на гидрометаллургическом заводе, остальные выщелачивают в подземных блоках рудников и штабелях. Товарными продуктами комбинированной технологии являются металлы, строительное сырье, обессоленная вода, хлор, водород, кислород, кислоты и щелочи, стоимость которых удешевляет основное производство.

Геотехнологические методы подтверждаются практикой природного выщелачивания. С учетом того, что металлы уже находятся в растворах, экономическая эффективность их извлечения приемлема, а с учетом экологической составляющей не вызывает сомнений.

Природное выщелачивание минералов является продолжением единого процесса физико-химического превращения в результате технологического вмешательства. Крупность потеранных руд от 1 до 250 мм благоприятна для проникновения выщелачивающих реагентов вглубь куска, где при наличии кислорода развивается окисление сульфидных материалов.

Катализатором физико-химических процессов является природная уголекислота. Из минералов выделяются газы, преимущественно CO₂ и N₂, в количествах до 30 м³/т, усиливая окислительные процессы, при наличии пирита, играющего роль катода. На эффективность процессов влияет скорость удаления газов, растворов, перемещения твердых остатков в процессе раскрытия дополнительных рабочих плоскостей.

Стоки промышленных объектов Северного Кавказа попадают в гидросеть, которая является источником воды для региона. Особенности горного ландшафта, заключающиеся в наличии многоводных и быстрых потоков, а также сейсмичности земной коры, способствуют формированию мощных очагов загрязнения продуктами добычи минералов.

Запасы месторождений Северного Кавказа отрабатывали выборочно, с переводом части их в категорию неактивных, которая в настоящее время

ма достигает 50 % от исходных запасов. В аналогичных условиях в мировой практике уже со середины прошлого века применяют ресурсосберегающие технологии добычи руд: с твердеющей закладкой и с выщелачиванием металлов, а пирометаллургия при переработке руд уступила место гидрометаллургии.

Жизнедеятельность горнопромышленных регионов, расположенных в гористой местности, в большей, по сравнению с расположенными на равнине регионами, степени зависит от механизма и условий взаимодействия человека и геологической среды.

Один из аспектов проблемы обеспечения жизнедеятельности горнодобывающего района состоит в установлении корреляции между параметрами техногенного загрязнения геологической среды и состоянием здоровья людей.

Природная составляющая процесса сводится к повышенной проницаемости аллювия, слагающего равнины, на которой расположены населенные пункты, и сложности удаления любого загрязнителя путем его перемещения по латерали и его быстрому вертикальному проникновению с загрязнением более глубоких горизонтов геологической среды. В таком положении находятся горнодобывающие регионы Северного Кавказа, располагающие запасами техногенных месторождений [13].

Вероятность катастроф в регионах Кавказа определяется количеством и качеством поражающих факторов, а также временем. Выветривание и выщелачивание минералов и отходов их переработки формирует потоки загрязненных вод, вследствие чего в почвах, подземных и поверхностных водах формируются ореолы загрязнения.

Математическая модель техногенного катастрофического поражения окружающей среды продуктами деятельности промышленных предприятий увязывает процессы деградации окружающей среды [14]:

$$Y_T = f(O_n, \Sigma, a, T) = \sum_{n=1}^n \sum_{p=1}^P \sum_{o=1}^O \sum_{t=1}^T [(Q_a + Q_r + Q_l)(a_1 - a_2)] \times (K_c K_y K_d K_b K_v K_n),$$

где Y – потенциал техногенного катастрофического поражения; O_n – количество промышленных отходов, вес. ед.; Σ – количество загрязнителей, мигрирующих из отходов в окружающую среду; – концентрация загрязнителей, вес. ед./ед. объема; T – время, ед. времени; p – количество предприятий по переработке отходов; P – количество загрязняющих компонентов в отходах; O – количество операций технологической переработки; Q_a, Q_r, Q_l – количество загрязнителей в атмосфере, гидросфере и литосфере; a_1, a_2 – исходная и конечная концентрация загрязнителей в отходах; K_c – коэффициент самоорганизации загрязнителей в местах скопления; K_y – коэффициент утечки загрязните-

лей в окружающую среду; K_d – коэффициент дальности миграции загрязнителей; K_b – коэффициент влияния загрязнителей на биосферу; K_v – коэффициент вероятности наступления катастрофы со временем; K_n – коэффициент риска наступления катастрофы от неучтенных факторов.

Эффективность охраны окружающей среды определяется соотношением последствий катастроф в денежном выражении и затратами по профилактике и предупреждению их возникновения и развития:

$$P_o = \sum_{n=1}^n \sum_{p=1}^P \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T [(Q_a + Q_r + Q_l) \times (P_z C_k - P_o C_o)] K_y K_n K_t K_n,$$

где P_o – прибыль от использования технологий защиты окружающей среды; Σ – количество агентов воздействия на окружающую среду; T – время, ед. времени; n – количество факторов поражения среды; p – количество работ по ликвидации последствий катастроф; Q_a, Q_r, Q_l – количество загрязнителей в атмосфере, гидросфере и литосфере; P_k – количество работ по компенсации ущерба окружающей среде; C_k – стоимость работ по компенсации ущерба окружающей среде; P_o – количество работ по охране окружающей среды; K_y – коэффициент усиления воздействия на среду; K_n – коэффициент влияния загрязнителей на биосферу; K_v – коэффициент вероятности наступления катастрофы со временем; K_t – коэффициент точности прогнозирования наступления катастрофы; K_n – коэффициент риска наступления катастрофы от неучтенных факторов.

Комбинированное выщелачивание балансовых руд впервые в мировой практике осуществлено на урановом месторождении Восток (Северный Казахстан). Отрабатывали рудное тело линзовидной формы в интенсивно трещиноватых породах крепостью 4–6 по Протодяконову. Коэффициент извлечения металлов в раствор 72 %.

Проблемные вопросы природосберегающей эксплуатации горнопромышленных регионов рассмотрены в трудах Д.М. Бронникова, Е.И. Шемякина, Г.М. Малахова и др.

Повышению полноты использования недр с максимальным извлечением из них полезных компонентов посвятили труды М.И. Агошков, К.Н. Трубецкой, Д.Р. Каплунов, Е.А. Котенко, В.К. Бубнов, В.А. Шестаков и др. [15].

Система государственного регулирования недропользованием решает задачу управления запасами полезных ископаемых с учетом интересов регионального развития страны. Основная научная задача состоит в том, чтобы оградить недра от бесхозяйственности недропользователей и обеспечить поступательное и продолжительное развитие человеческого общества.

Природоохранные технологии конструируются с максимальным учетом экологических последствий горного производства для экосистем окружающей среды. Их целью является сохранность природных экосистем от влияния горных работ.

Стратегия таких технологий основана на положениях:

- некорректность технологий проявляется в потере природных ресурсов;
 - деградация экосистем является следствием некорректности технологий, поэтому стоимость прибыли должна уменьшаться на величину компенсации ущерба среде.
- Реализация стратегии включает направления:
- геохимическая подготовка месторождений к освоению технологиями нового поколения, начиная с разведки;
 - воспроизводство минеральных ресурсов за счет искусственного рудообразования;
 - контролируемое изменение состояния отходов с учетом особенностей ландшафта.

Особенностью месторождений полезных ископаемых является перераспределение полезных компонентов в запасах. В богатых месторождениях содержится 5 % от общего количества полезных компонентов, в рядовых – 30 %, а в бедных и убогих – 65 %. Наибольшее количество полезных компонентов находится не в самих месторождениях, а во вмещающих породах.

Угроза биосфере со стороны горных технологий связана не столько с загрязнением окружающей среды, а с разрушением естественной биоты земли. Горное производство безопасно, если техногенное возмущение экосистемы не превышает уровня, при котором его биота сохраняет свою способность к самовосстановлению после снятия техногенной нагрузки, в связи с исчерпанием запасов полезных ископаемых [16].

Наиболее опасны технологии с обрушением, когда поверхность земли разрушается вместе с ее экосистемами. Еще более опасны технологии, при которых сохранность литосферы декларируется, но не обеспечивается (с магазинированием, креплением и др.). В этом случае разрушение массива возможно в форме катастрофы.

Направления снижения опасности:

- закладка пустот твердеющими смесями;
- подземное выщелачивание бедных и потерянных руд;
- кучное выщелачивание бедных руд;
- выщелачивание хвостов обогащения и металлургии с активацией процессов, совершенствование подготовки руд к выщелачиванию, в том числе проходка горных выработок [17].

Рудовмещающие массивы разделяют на геомеханически сбалансированные участки путем заполнения технологических пустот разнопрочными твердеющими смесями и породами, или хвостами подземного выщелачивания. Технология решает и основную проблему горного дела – обеспечение сохранности экосистем.

Обеспечение экологического благополучия в регионе горных работ достигается комплексом профилактических мероприятий (рис. 5).

Альтернативой технологий добычи металлов с пирометаллургическим переделом является тех-

нология с выщелачиванием металлов из руд в активаторах [18]. Вскрытие минералов анолитом разложения шахтных стоков и обессоливание растворов в электродиализаторах позволяет извлечь до 50–70 % металлов. Конечной целью развития природоохранной концепции является безотходное горное производство с полной утилизацией компонентов добываемого сырья.



Рис. 5. Взаимодействие человека и природы в процессе горного производства

Fig. 5. Interaction of man and nature when mining

Концепция технологической конверсии горного производства включает в себя:

- снижение разубоживания руд породами при закладке пустот твердеющими смесями;
- полное использование запасов при выщелачивании металлов из убогих и бедных руд;
- гидрометаллургическую переработку руд с извлечением всех ценных компонентов.

Состояние природной среды горнодобывающих регионов определяется количеством и качеством хранящихся отходов, поэтому радикальным решением экологической проблемы может быть утилизация запасов хвостов, которая возможна после извлечения из них металлов до уровня санитарных требований [19]. Таким требованиям отвечает технология с комбинированным воздействием на минеральное сырье одновременно механической и химической энергией в активаторах типа дезинтегратор, которая является составной частью получающего развитие направления выщелачивания металлов из руд.

Перспективным направлением извлечения металлов из хвостов обогащения является комбинированная технология, сочетающая возможности одновременно химического обогащения и активации в дезинтеграторе.

Реализация программ радикального оздоровления экосистем окружающей среды путем утилиза-

ции хвостов обогащения на сегодняшний день является единственным направлением выживания технологически насыщенного региона добычи и переработки минерального сырья в условиях неуправляемого развития технического прогресса. Вовлечение в переработку источников химизации экосистем окружающей среды решает одновременно две проблемы глобального значения: упрочнение минерально-сырьевой базы горных предприятий и сохранение от деградации региона [20].

Заключение

Увеличение объемов извлекаемой на поверхность горнорудной массы обусловлено вовлечением в эксплуатацию бедных месторождений со сложными горнотехническими условиями эксплуатации со значительными потерями и разубоживанием.

Горное предприятие является потенциальной угрозой окружающей среде. Безвозвратные потери

полезных компонентов достигают 50 %. Потерянные компоненты становятся мобильными, поступают в зону обитания человека и оказывают на нее отрицательное воздействие. Действенное обеспечение экологической безопасности освоения недр возможно только на базе комплексного решения аспектов рассматриваемой проблемы на всех этапах процесса использования георесурсной базы.

Оценивать перспективы совместного развития минеральной базы горной промышленности и тенденций природосбережения следует из того, что спрос на продукцию горного производства удовлетворять будет еще труднее, несмотря на вовлечение в эксплуатацию новых месторождений. Будут осваиваться глубокие горизонты действующих рудников, месторождения со сложными горно-геологическими условиями, бедные руды, что сопряжено со снижением содержания металла в добываемых рудах, увеличением объема отходов и усилением нагрузки на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang Li, Zhang Xiu-Feng. Correlation of ground surface subsidence characteristics and mining disasters under super-thick overlying strata // *Journal of China Coal Society*. – 2009. – V. 34. – № 8. – P. 1048–1051.
2. Шестаков В.А., Разоренов Ю.И., Габараев О.З. Управление качеством продукции на горных предприятиях. – Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2001. – 262 с.
3. Ресурсовоспроизводящие, экологически сбалансированные геотехнологии комплексного освоения месторождений Курской магнитной аномалии / К.Н. Трубецкой, Д.Р. Каплунов, В.К. Томаев, И.И. Помельников // *Горный журнал*. – 2014. – № 8. – С. 56–63.
4. Environmental assessment of heavy metal and natural radioactivity in soil around a coal-fired power plant in China / X. Lu, W. Liu, C. Zhao et al. // *Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry*. – 2013. – V. 295. – № 3. – P. 1845–1855.
5. Фоменко А.А. Использование техногенных скоплений и забалансовых руд цветных металлов в контексте экономики природопользования // *Горный журнал*. – 2013. – № 2. – С. 102–107.
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. – № 10 (1). – P. 41–71.
7. Capilla A.V., Delgado A.V. The destiny of the earth's mineral resources. – London: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015. – 230 p.
8. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects // *Hydrometallurgy*. – 2015. – V. 157. – P. 306–324.
9. Лизункин В.М., Морозов А.А., Бейдин А.В. Комбинированная геотехнология добычных работ с рентгенорадиометрической сортировкой и выщелачиванием урана из бедной рудной массы в подземных условиях // *Горный журнал*. – 2013. – № 8-2. – С. 82–86.
10. Воробьев А.Е., Голик В.И., Лобанов Д.П. Приоритетные пути развития горнодобывающего и перерабатывающего комплекса Северо-Кавказского региона / под ред. акад. К.Н. Трубецкого. – Владикавказ: Изд-во «Рухс», 1998. – 362 с.
11. Гурьев Г.Т., Цирихова Э.М. Полиметаллические месторождения горной Осетии и их перспективы. – Владикавказ: СКГТУ, 2001. – 154 с.
12. Якименко А.Д., Цидаев Т.С., Дзапаров В.Х. Основные факторы геоэкологии РСО-Алания // *Проблемы геологии и освоения недр: семинар*. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – С. 771–773.
13. Packey D.J. Multiproduct mine output and the case of mining waste utilization // *Resour. Policy*. – 2012. – V. 37. – № 1. – P. 104–108.
14. The effectiveness of combining the stages of ore fields development / V. Golik, V. Komashenko, V. Morkun, Z. Khasheva // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – V. 7. – № 5. – P. 401–405.
15. Development of Mineral Processing Engineering Education in China University of Mining and Technology / Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yumin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye // *Advances in Computer Science and Engineering. AISC 141*. – Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. – P. 77–83.
16. Wu Qiang, Zhang Zhilong, Zhang Shengyuan. A new practical methodology of the coal floor water inrush evaluating II – the vulnerable index method // *Journal of China Coal Society*. – 2007. – № 32 (11). – P. 1121–1126.
17. Лукьянов В.Г., Креп В.Г. Горные машины и проведение горно-разведочных выработок. 2-е изд. – М.: Юрайт, 2016. – 343 с.
18. Техничко-экономическая оценка эффективности блочного подземного выщелачивания урана из бедных руд Стрельцовского рудного поля / А.А. Морозов, А.П. Смагин, Г.Ф. Безносков, А.Н. Юртаев // *Горный журнал*. – 2013. – № 8-2. – С. 129–131.
19. Ракишев Б.Р. Комплексное использование руды на предприятиях цветной металлургии Казахстана // *Горный журнал*. – 2013. – № 7. – С. 102–108.
20. Harris J.M., Roach B. Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach. – New York; Armonk: M.E. Sharpe Inc., 2013. – P. 246–256.

Поступила 13.04.2017 г.

Информация об авторах

Голик В.И., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Северокавказского государственного технологического университета; главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра.

Разоренов Ю.И., доктор технических наук, профессор, ректор Северокавказского государственного технологического университета.

Лукьянов В.Г., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспорта и хранения нефти Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 504.55.054:622(470.6)

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS OF RESOURCE SAVING IN MINING

Vladimir I. Golik^{1,2},
v.i.golik@mail.ru

Yuri I. Razorenov¹,
yiri1963@mail.ru

Victor G. Lukyanov³,
lukyanov@tpu.ru

¹ North-Caucasian State Technological University,
44, Nikolaev street, Vladikavkaz, 362021, Russia.

² Vladikavkaz Scientific Center,
93a, Markov street, Vladikavkaz, 362002, Russia.

³ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Relevance. Mining production became «the recognized leader» in the impact on the environment, including the destruction of the earth's surface when mining, with catastrophic consequences. Minimizing harmful effects of mining technologies becomes a topical area of research at the global scale, but there is no practical solution on the way out of the situation.

The aim of the study is to prove the ecological-economic efficiency of nature protection and resource-saving technologies of mining ore deposits of solid minerals and to substantiate their prospects.

Methods of the research include analysis and synthesis of results of theoretical and experimental research carried out before, literature and patent data.

Results. The paper introduces the historical information on the dynamics of mining industry evolution. It is shown that natural and anthropogenic factors of destruction of ecosystems increase each other due to synergetic effect. The authors have identified the areas of risk reduction: laying the technological voids with hardening mixtures; in situ leaching of poor and orphaned ores; heap leaching of low-grade ores; leaching of tailings of beneficiation and metallurgy of activated processes in activator-type disintegrator. Disposal of ore primary processing tailings after extracting metals to the level of sanitary requirements by combining chemical enrichment and activation is recommended as the perspective direction of solving environmental problems.

Conclusions. Disposal of tailings is the real direction of survival of the technologically rich region of extraction and processing of mineral raw materials in the context of unpredictable technological advances, solving the problem of hardening mineral-raw material base of mining enterprises and environmental conservation from degradation.

Key words:

Mining production, ecosystem, technology, bookmark, leaching, resources, utilization, stocks, tails enrichment, disintegrator.

REFERENCES

- Wang Li, Zhang Xiu-feng. Correlation of ground surface subsidence characteristics and mining disasters under super-thick overlying strata. *Journal of China Coal Society*, 2009, vol. 34, no. 8, pp. 1048–1051.
- Shestakov V.A., Razorenov Yu.I., Gabaraev O.Z. *Upravlenie kachestvom produktsii na gornyykh predpriyatiyakh* [Quality Control of products in mining]. Novocherkassk, SRSTU Publ. house, 2001. 262 p.
- Trubetskoy K.N., Kaplunov D.R., Tomaev V.K., Pomelnikov I.I. Resource reproducing and ecologically balanced geotechnologies of complex development of deposits of Kursk magnetic anomaly. *Mountain zhurnal*, 2014, no. 8, pp. 56–63. In Rus.
- Lu X., Liu W., Zhao C. Environmental assessment of heavy metal and natural radioactivity in soil around a coal-fired power plant in China. *Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry*, 2013, vol. 295, no. 3, pp. 1845–1855.
- Fomenko A. A. Use of man-made clusters and off-balance ores of non-ferrous metals in the context of environmental Economics. *Mountain zhurnal*, 2013, no. 2, pp. 102–107. In Rus.
- 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, no. 10 (1), pp. 41–71.
- Capilla A.V., Delgado A.V. *The destiny of the earth's mineral resources*. London, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015. 230 p.
- Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*, 2015, vol. 157, pp. 306–324.
- Lizunkin V.M., Morozov A.A., Beydin A.V. Combined Geotechnology of mining with X-ray radiometric sorting and leaching of uranium from poor rock mass in underground conditions. *Mountain zhurnal*, 2013, no. 8–2, pp. 82–86. In Rus.
- Vorobyev A.E., Golik V.I., Lobanov D.P. *Prioritetnye puti razvitiya gornodobyvayushchego i pererabatyvayushchego kompleksa Severo-Kavkazskogo regiona* [Priority ways of development of mining and processing complex in the North Caucasian region]. Ed. by K.N. Trubetskoy. Vladikavkaz, Rukhs Publ., 1998. 362 p.
- Guriev G.T., Tsiikhova E.M. *Polimetallicheskie mestorozhdeniya gornoy Osetii i ikh perspektivy* [Polymetallic deposits of mountainous Ossetia and their prospects]. Vladikavkaz, SKGTU Publ., 2001. 154 p.
- Yakimenko A.D., Tsidaev T.S., Dzaparov V.Kh. *Osnovnye factory geologii RSO-Alaniya* [Main factors of geocology of North Ossetia-Alania]. *Problemy geologii i osvoenoya nedr. Seminar* [Geology and mineral exploration. Workshop]. Tomsk, TPU Publ. house, 2004. pp. 771–773.

13. Packey D.J. Multiproduct mine output and the case of mining waste utilization. *Resour. Policy*, 2012, vol. 37, no. 1, pp. 104–108.
14. Golik V., Komashenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metalurgical and Mining Industry*, 2015, vol. 7, no. 5, pp. 401–405.
15. Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yuemin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye. Development of Mineral Processing Engineering Education in China University of Mining and Technology. *Advances in Computer Science and Engineering. AISC 141*. Berlin; Heidelberg, Springer-Verlag, 2012. pp. 77–83.
16. Wu Qiang, Zhang Zhilong, Zhang Shengyuan. A new practical methodology of the coal floor water inrush evaluating II – the vulnerable index method. *Journal of China Coal Society*, 2007, no. 32 (11), pp. 1121–1126.
17. Lukyanov V.G., Krets V.G. *Gornye mashiny i provedenie gorno-razvedochnykh vyrobotok* [Mining machines and carrying out mining exploration workings]. Moscow, Yurayt Publ., 2016. 343 p.
18. Morozov A.A., Smagin A.P., Beznosov G.F., Yurtaev A.N. Techno-economic assessment of efficiency of block underground leaching of uranium from poor ores of the streltsovskoye ore field. *Mountain zhurnal*, 2013, no. 8–2, pp. 129–131. In Rus.
19. Rakishev B.R. Integrated use of ore at the enterprises of nonferrous metallurgy of Kazakhstan. *Mountain zhurnal*, 2013, no. 7, pp. 102–108. In Rus.
20. Harris J.M., Roach B. *Environmental and Natural Resource Economics. A Contemporary Approach*. Armonk, New York, M.E. Sharpe, Inc., 2013. 246 p.

Received: 13 April 2017.

Information about the authors

Vladimir I. Golik, Dr. Sc., professor, North-Caucasian State Technological University; Vladikavkaz Scientific Center.

Yuri I. Razorenov, Dr. Sc., professor, rector, North-Caucasian State Technological University.

Victor G. Lukyanov, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.