Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений

Екатеринбург
1-3 декабря 2015 г.

УДК 622.85:504.06

Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений: II межд. научно-практ. конф. 2-4 декабря 2015 г.: сб. докл. [электронный ресурс]. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015. – 1 элект.опт. диск (DVD-R). – Загл. с экрана.

В докладах научно-практической конференции Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений» проводимой в рамках VI Уральского горнопромышленного форума, освещены проблемы комплексного освоения недр, разработки новейших технологических решений и обеспечения экологической безопасности при добыче природного и техногенного сырья, вопросы экологического моделирования и применения геоинформационных технологий, теоретические и практические исследования при решении экологических проблем регионов.

Материалы конференции представляют интерес для широкого круга специалистов, занимающихся научными и практическими проблемами экологизации недропользования.

In the reports of scientific and practical conference Technological platform “Hard mineral resources: technological and ecologic problems of natural and man-made deposits development”, that was held during the VI Ural mining forum, the problems of integrated minerals mining, working out the newest technological solutions and providing ecologic safety during natural and man-made minerals mining are taken up, as well as the questions on ecologic modeling and geo-informational technologies employment and theoretical and practical researches by solving the regions’ ecologic problems.

The conference materials represent interest for the wide range of professionals engaged in scientific and practical problems of subsurface management ecologization.

Доклады не рецензировались и печатаются в авторской редакции.
Ответственный за выпуск Шубина Л.А.

© ИГД УрО РАН, 2015
© Коллектив авторов, 2015

Содержание

СЕССИЯ I КОМПЛЕКСНАЯ ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ 7

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА РАЗВЕДОЧНЫХ СТАДИЯХ *Абатурова И.В., Стороженко Л.А., Козлов В.С., Борисихина О.А.* 7

ОЦЕНКА ПРОТЯЖЕННОСТИ КОНЦЕВЫХ УЧАСТКОВ ЛАВ ПО КРИТЕРИЮ УСКОРЕНИЯ КОНВЕРГЕНЦИИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД *АНТИПОВ И.В.* 9

НЕДОСТАТКИ РАЗВЕДКИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ *Баяндина Э.О., Кудряшов А.И., Клепцова Н.К.* 16

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЫЛЕВИДНЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ГРАНИТНЫХ ПОРОД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ *Бортников А.В., Квитка В.В., Самуков А.Д., Спиридонов П.А., Шулояков А.Д. Кутолин В.А., Широких В.А.* 26

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПОДБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДОМ ПВ В НГМК *Сапаров А.Б., Шарафутдинов У.З., Намазбаев Ш.Н.* 32

КЕЙВСКИЕ СТАВРОЛИТОВЫЕ СЛАНЦЫ - ОСНОВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ *Белогурова О.А., Саварина М.А., Шарай Т.В.* 39

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ БУРОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАНСКО-АЧИНСКОГО БАССЕЙНА *Бобыльский А.С., Резник А.В.* 49

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ *Бовдуй М.О. , Аргимбаев К.Р.* 59

КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ «КАРКАСНЫХ» ГЕОТЕХНОЛОГИЙ *Галченко Ю.П., Пацкевич П.Г.* 63

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ИЗУЧЕНИИ РЕЖИМОВ БУРЕНИЯ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ РАЗВЕДОЧНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК И РЕГУЛИРОВАНИЯ ИХ ПАРАМЕТРОВ *Завацки С., Куликов В.В.* 71

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПОДАЧИ РАЗВЕДОЧНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК, МЕХАНИКА РАБОТЫ И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК *Завацки С., Куликов В.В.* 80

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ *Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В.* 87

ЗОНЫ НИЗКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ - ГЛУБИННЫЕ КРИТЕРИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ *Корчин В.А., Буртный П.А., Карнаухова Е.Е.* 92

ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ ТЕННАНТИТОМ ФЛОТОРЕАГЕНТА AERO 5100 *Кунилова И.В., Ягудина Ю.Р.* 101

ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ *Козырь С.В.* 103

СПЕЦИФИКА МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ, ПОДСЧЕТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РУД И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ *Ларичкин Ф.Д.,*

Новосельцева В.Д., Гончарова Л.И. 111

ОСОБЕННОСТИ СДВИЖЕНИЯ ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА *Лобков Н.И.* 117

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ АНТРАЦИТА В ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ *Ленич С. В.* 123

ОСВОЕНИЕ МИНЕРАЛЬНО – СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ В РФ И ИСЧЕРПАНИЕ УПРУГОЁМКОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕДР *Магидов С.Х.* 130

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННО-МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ *Наумов В.А., Наумова О.Б.* 138

ТЕХНОГЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ В ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ КРАСНОРЕЧЕНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ) *Оводова Е.В., Тарасенко И.А., Поселюжная А.В., Тагильцев Я.Е.* 147

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПЛАВКИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ - ЖЕЛЕЗИСТЫХ ООЛИТОВ ОРЕНБУРГСКОГО КРАЯ *Овчаренко А.В., Щапов В.А., Петухов Р.В., Чесноков Ю. А.* 154

АКТИВАЦИЯ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КРАСНЫХ ШЛАМОВ ОБРАБОТКОЙ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА И МИНЕРАЛЬНЫМИ КИСЛОТАМИ *Пасечник Л.А., Яценко С.П., Скачков В.М., Медянкина И.С., Сабирзянов Н.А.* 160

ВАРИАНТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ ОРСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА *Ряховский В.М, Банников В.С., Ряховская С.К.* 163

КОМБИНИРОВАННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НЕДР *Славиковский О.В.* ... 164

ОЦЕНКА ОБОГАТИМОСТИ СУЛЬФИДНОГО СЫРЬЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ *Смайлов Б.Б., Смайлова А.Б., Шехирев Д.В., Думов А.М.* 170

РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ СТРАТЕГИИ ОСВОЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННЫМИ ПОДЗЕМНЫМИ ГЕОТЕХНОЛОГИЯМИ *Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Смирнов А.А.* 180

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НАКЛОННЫХ РУДНЫХ ТЕЛ *Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Рожков А.А.* 191

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСВОЕНИЯ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННЫМИ ГЕОТЕХНОЛОГИЯМИ *Соколов И.В., Гобов Н.В., Соломеин Ю.М.* 193

НОВЫЕ СОБИРАТЕЛИ И ИХ СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СМЕСИ ДЛЯ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД *Чеканова Л.Г., Байгачева Е.В., Лихачева С.В., Манылова К.О.* 201

НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ФАКТОРУ РАЗБАВЛЕНИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ПРИ РАБОТЕ МАШИН С ДВС *Фоменко Д.В., Минин И.В., Минин В.В.* 206

МОРФОЛОГИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗОЛОТА ЧЕРНОРЕЧЕНСКОЙ РОССЫПИ *Хусаинова А.Ш., Кузнецова Е.А., Павлов А.В.* 207

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ НА КАРЬЕРАХ АЗЕРБАЙДЖАНА *Эфендиева З. Дж.* 217

СЕССИЯ II ВОПРОСЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ОЦЕНКИ РИСКОВ 223

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ГОРНО-ДОБЫВАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В КРИВОРОЖСКОМ ЖЕЛЕЗОРУДНОМ БАССЕЙНЕ *Губина В.Г, Бастрыгина Т.М., Заборовский В.С.* 223

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОТЕКАЮЩИХ В ТОЛЩЕ ПЕСКОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ДЖИДИНСКОГО ГОКА *Дабаева В.В., Плюснин А.М.* 225

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ *Домаренко В.А., Павлов И.В., Перегудина Е.В.* 235

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ УСТАНОВОК КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И МОДЕРНИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЕЛОВОЕ» (СЕВЕРНАЯ ХАКАСИЯ) *Максиков С.В., Дьячкова А. В.* .. 241

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД *Еременко В.А., Есина Е.Н.* 249

ОПЫТ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЮ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ САТКИНСКОГО ПРОМУЗЛА *Завьялов К.Е., Менщиков С.Л.* 255

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ *Зобнин Б.Б., Макаров В.В., Вожегов А.В.* 260

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫЛ-ТАШТЫГ (ВОСТОЧНАЯ ТУВА) *Кальная О. И., Аюнова О. Д., Прудников С.Г., Кенден О. А.* 267

ECOLOGICAL ASPECTS OF THE KOUPOL GOLD DEPOSIT FIELD DEVELOPMENT (ASSESSMENT OF DEGREE OF TOXIC POLLUTION OF SURROUNDING HYDROSPHERE) *Raisa A. Kemkina, Igor' V. Kemkin, Anastasiya A. Borisenko* 276

ASSESSMENT AND PREDICTION OF POTENTIAL TOXIC POLLUTION OF ENVIRONMENT BY MINING INDUSTRY OBJECTS (ON AN EXAMPLE OF PRASOLOVKA ORE DEPOSIT) *Raisa A. Kemkina, Igor' V. Kemkin, Lidiya A. Sal'nikova* 281

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ГИДРООТВАЛА УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ИНЯ (КУЗБАСС) *Кириллов В.В., Жоров В.А., Безматерных Д.М., Бурмистрова О.С., Винокурова Г.В., Долматова Л.А., Дьяченко А.В., Зарубина Е.Ю., Котовщиков А.В., Крылова Е.Н., Соколова М.И., Трошкова И.А. Эйрих А.Н., Эйрих С.С.* 291

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ MODIS И ГИС *Ковалёв А.В.* 302

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УЕЗДЕ ЧОДОНЕ, ПРОВИНЦИИ БАККАН, ВЬЕТНАМ *Нгуен Ван Луен, Куач Дык Тинь, Чан Дык Хиеу* 309

ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЛЕСОТУНДРОВЫЕ И ТАЕЖНЫЕ ЛЕСА *Менщиков С. Л.* 313

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ *Ролдугин О.Г.* 319

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ПОДВИГАНИЯ ЛАВЫ НА СДВИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ *Савенко А.В.* 323

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОСВОЕНИЯ РУСЛА Р. ПЫШМЫ (БЕРЁЗОВСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДАЕНИЕ, СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) *Старицына И.А.,*

Старицына Н.А. 332

КАРЬЕРЫ БЕЗ ОТХОДОВ *Сысоев А.А., Ермолаев В.А., Литвин Я.О., Селюков А.В.* 337

ТИПИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНАХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА *Усиков В.И., Озарян Ю.А., Бубнова М.Б., Липина Л.Н.* 343

МОДЕЛИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕАБИЛИТАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ *Хаустов А.П., Редина М.М.* 351

ОСОБЕННОСТИ ЦИАНИСТОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ФЛОТАЦИОННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ БЕРЕЗОВСКОГО РУДНИКА *Лобанов В. Г., Набиуллин Ф.М., Начаров В.Б., Русских А.А., Филонов Н.А., Миков С.В., Тимофеев Е.И., Замотин П.А.* 357

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ *Николаевич Д.А., Аргимбаев К.Р.* 360

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА ОАО «СВЯТОГОР» *Парфенова Л.П.* 366

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА В РАЙОНЕ РАЗВИТИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД *Петрова И.Г., Ковязин И.Г., Козлов В.С.* 369

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ *Писецкий В.Б., Савинцев И.А., Серков В.А., Чевдарь С.М., Шинкарюк В.А.* 373

МИГРАЦИЯ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННОГО РАСТВОРА В МЕРЗЛОМ МАССИВЕ *Попов В.И.* 379

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДНЫХ ПРОМПРОДУКТОВ *Рогожников Д.А., Мамяченков С.В., Анисимова О.С., Дизер О.А, Берстенев Н.В* 386

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАСОМАТИЧЕСКИ ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД *Савинцев И. А., Борисихина О. А., Шевалдин Д. А.* 390

РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ОТКРЫТОЙ УГЛЕДОБЫЧИ В КУЗБАССЕ ПО СРЕДСТВАМ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕМОВ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ *Селюков А.В.* 394

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР И ПЕРЕРАБОТКИ НЕРУДНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА *Склярова Г.Ф.* 404

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И ТРОФИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД НА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ КОЛЬСКОЙ ГМК *Фокина Н.В., Дрыгина Е., Евдокимова Г.А.* 414

К ВОПРОСУ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЯХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ *Цейтлин Е.М., Фадеичев А.Ф., Берсенёв Д.А., Шакирова Э.Р.* 419

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СТАРИННЫХ КОПИЙ РЕЖЕВСКОГО ПРИРОДНО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ЗАКАЗНИКА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ *Шавнин С.А., Галако В.А., Власенко В.Э.* 424

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ОСВОЕНИИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ *Антонинова Н.Ю., Рыбников П.А., Рыбникова Л.С., Славиковская Ю.О., Шубина Л.А.* 430

СЕССИЯ I
КОМПЛЕКСНАЯ ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

УДК 624.131

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА РАЗВЕДОЧНЫХ СТАДИЯХ

Абатурова И.В., Стороженко Л.А., Козлов В.С., Борисихина О.А.

При проектировании любых сооружений, в том числе горных, таких как шахты, карьеры, обязательным является изучение компонентов геологической среды, определяющей хозяйственное освоение территории. Такие составляющие геологической среды определяют как «инженерно-геологические условия». Применительно к условиям, в которых осуществляется строительство и эксплуатация горных предприятий, под инженерно-геологическими условиями следует понимать систему, состоящую из компонентов, которые взаимосвязаны, взаимообусловлены, динамичны, отражают состояние структуры и свойств некоторой области литосферы и определяют конструкцию горного сооружения.

Задачи и методы изучения инженерно-геологических условий месторождений определяются сложностью природных условий, стадией изучения и намечаемым способом разработки полезного ископаемого. При этом необходимо отметить, что роль инженерно-геологической информации возрастает от стадии к стадии. Если на поисковой и оценочной стадиях инженерно-геологические условия играют не определяющую роль, здесь более важным является предварительная оценка промышленной ценности месторождения полезных ископаемых, то на стадиях разведки и эксплуатации эта информация становится фактором, определяющим условия строительства сооружения и разработки месторождения.

В результате инженерно-геологических изысканий на каждой стадии должен быть получен оптимальный объем информации, отвечающий целям проектирования (рис.).

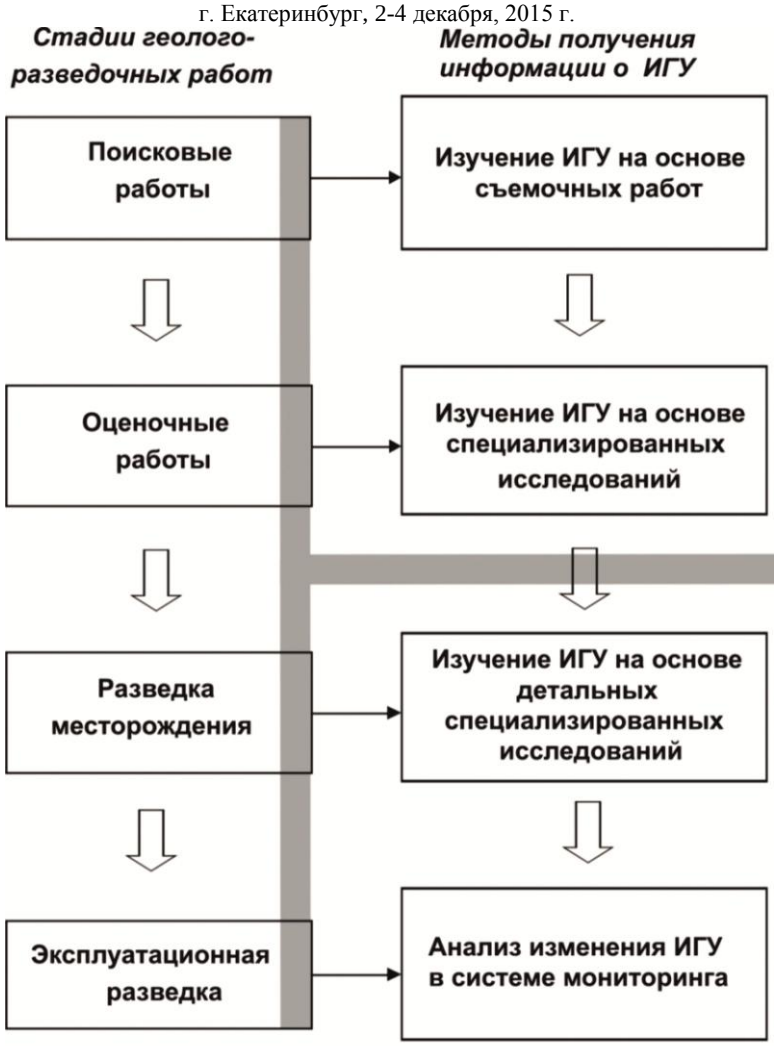


Рис. Схема изучения ИГУ и этапов разработки модели ПТС МПИ по стадиям геологоразведочных работ

На начальных этапах исследования (стадии поисковая и оценочная) необходимо получить данные о компонентах инженерно-геологических условий, охватывающих площадь предполагаемого месторождения, но требования к ее детальности и надежности менее высокие, чем к информации, получаемой на последующей стадии (стадия разведки). В этом случае необходимо использовать более дешевые и менее производительные методы (результаты геологической съемки, геофизических работ, инженерно-геологического обследования).

На стадии разведки необходимо выполнить определение основных компонентов и параметров инженерно-геологических условий, оценить сложность условий разработки месторождения. Для этого используется полный комплекс методов, включающий в себя: инженерно-геологическую съемку,

бурение, инженерно-геологическую документацию, опробование, полевые методы изучения физико-механических свойств, геофизические методы. При этом оптимальный состав методов получения информации определяется стадией изучения и типом месторождения.

Золоторудные месторождения, формирование которых связано со значительным набором осложняющих факторов, таких как метаморфизм, метасоматоз, выветривание, что приводит к интенсивному преобразованию исходных материнских пород, а зачастую к образованию новых минеральных ассоциаций. Это накладывает отпечаток на состояние и свойства пород. В этой связи возникает необходимость в корректировке вышеприведенной методики работ, которая заключается в выполнении специальных методов исследования, таких как рентгенография, описание шлифов и т.д. При отсутствии таких данных зачастую невозможно объяснить полученные результаты, что в свою очередь влечет за собой увеличение объемов дорогостоящих лабораторных исследований.

Сведения об авторах:

Абатурова Ирина Валерьевна, Уральский государственный горный университет, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологи и геоэкологии, 620144 г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30; gingeo@mail.ru; +7 (343) 257-92-71.

Стороженко Любовь Александровна, Уральский государственный горный университет, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и защиты в чрезвычайных ситуациях, 620144 г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30; gingeo@mail.ru; +7 (343) 310-24-04 (контактное лицо).

Козлов Владислав Сергеевич, Уральский государственный горный университет, студент, 620144 г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30; gingeo@mail.ru; +7 (343) 310-24-04.

Борисихина Ольга Александровна, Уральский государственный горный университет, аспирант, 620144 г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30; gingeo@mail.ru; +7 (343) 310-24-04.

УДК 622.834.1

ОЦЕНКА ПРОТЯЖЕННОСТИ КОНЦЕВЫХ УЧАСТКОВ ЛАВ ПО КРИТЕРИЮ УСКОРЕНИЯ КОНВЕРГЕНЦИИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Антипов И.В.

Аннотация

Приведены результаты инструментальных наблюдений в действующем очистном забое шахты им. А.Ф. Засядько. Установлено, что скорость конвергенции вмещающих пород

изменяется во времени и зависит от интенсивности производственных операций в лаве. Вычислены значения ускорения конвергенции вмещающих пород вдоль всей линии забоя лавы. На концевых участках лавы абсолютные значения ускорения конвергенции вмещающих пород меньше, чем в средней части лавы. Предложено использовать ускорение конвергенции вмещающих пород в качестве геомеханического критерия для оценки протяженности концевых участков лавы.

Геомеханические процессы, происходящие в породном массиве на концевых участках лавы, имеют некоторые особенности по сравнению с проявлениями горного давления в средней части. Изучение этих особенностей, а также установление закономерностей протекания процессов в массиве позволяют разрабатывать новые и совершенствовать существующие средства крепления очистных забоев.

Шахтные инструментальные наблюдения в действующих очистных забоях наиболее эффективный способ исследования геомеханических процессов. Натурные инструментальные исследования на шахтах Донбасса проводятся по специальной методике, разработанной Республиканским академическим научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ) [1–4].

Задачи исследований:

- определить конвергенцию вмещающих пород на различных участках лавы, начальный распор R_H и рабочее сопротивление R гидравлических стоек механизированной крепи;

- установить закономерности протекания геомеханических процессов в породном массиве при выполнении технологических операций выемки угля и креплении очистного забоя;

- построить в единой временной системе координат графики конвергенции вмещающих пород и фактические характеристики механизированных крепей, совместив их с планограммами работ в лаве;

- выявить особенности взаимодействия крепи с кровлей на концевых участках лавы и обосновать новый критерий оценки протяженности этих участков.

Наблюдения велись на шахте им. А.Ф.Засядько в лавах, оборудованных механизированными комплексами МКД-90 на пластах m_3, k_8 и l_1. Горно-геологические условия залегания пластов и горнотехнические факторы их

отработки представлены в таблице 1.

Таблица 1

Горно-геологические и горнотехнические условия отработки угольных пластов

Показатели	m_3	k_8	l_1
Вынимаемая мощность пласта, м:	1,35-2,2	0,8-1,1	1,7-2,2
Угол падения пласта, ...°	4-12	7-14	8-25
Глубина разработки, м	1300	910	1000
Основная кровля: мощность, м	12-17	3-5	17-25
крепость, ед.	5-8	10-13	7-8
Непосредственная кровля: мощность, м	2-4,6	0-3,5	0-6,0
крепость, ед.	3-4	3-4	3-4
Почва: крепость	3-5	4-6	3-5
Длина лавы, м	230	230	230
Механизированный комплекс	3МКД90	1МКД90	3МКД90
Рабочее сопротивление крепи, кПа	500	480	500

Для инструментальных замеров и визуальных наблюдений оборудовалась замерная станция на одной из секций механизированной крепи. На четырех стойках через предохранительные клапаны устанавливались манометры МП-3, показания которых дежурный наблюдатель фиксировал с интервалами 10 мин., а во время прохода комбайна и перемещения секций крепи в районе замерной станции каждую минуту. Кроме того выполнялись измерения конвергенции вмещающих пород стойками СУИ-2 с индикаторами ИЧТ-0,01. Показания индикаторов и манометров фиксировались одновременно. Схема размещения оборудования на замерных станциях показаны на рис. 1.

Геологическую и вынимаемую мощность пласта измеряли рулеткой один раз в смену. Расстояние от забоя до точки первого контакта перекрытия с кровлей, а также толщину породной подушки на перекрытии определяли на каждом цикле передвижки. Состояние кровли (заколы, трещины, ступени, вывалы и т. д.), размеры устойчивых обнажений пород в выработанном пространстве фиксировали с помощью фотоаппарата. Продолжительность выполнения технологических операций хронометрировали с точностью до 5 мин.

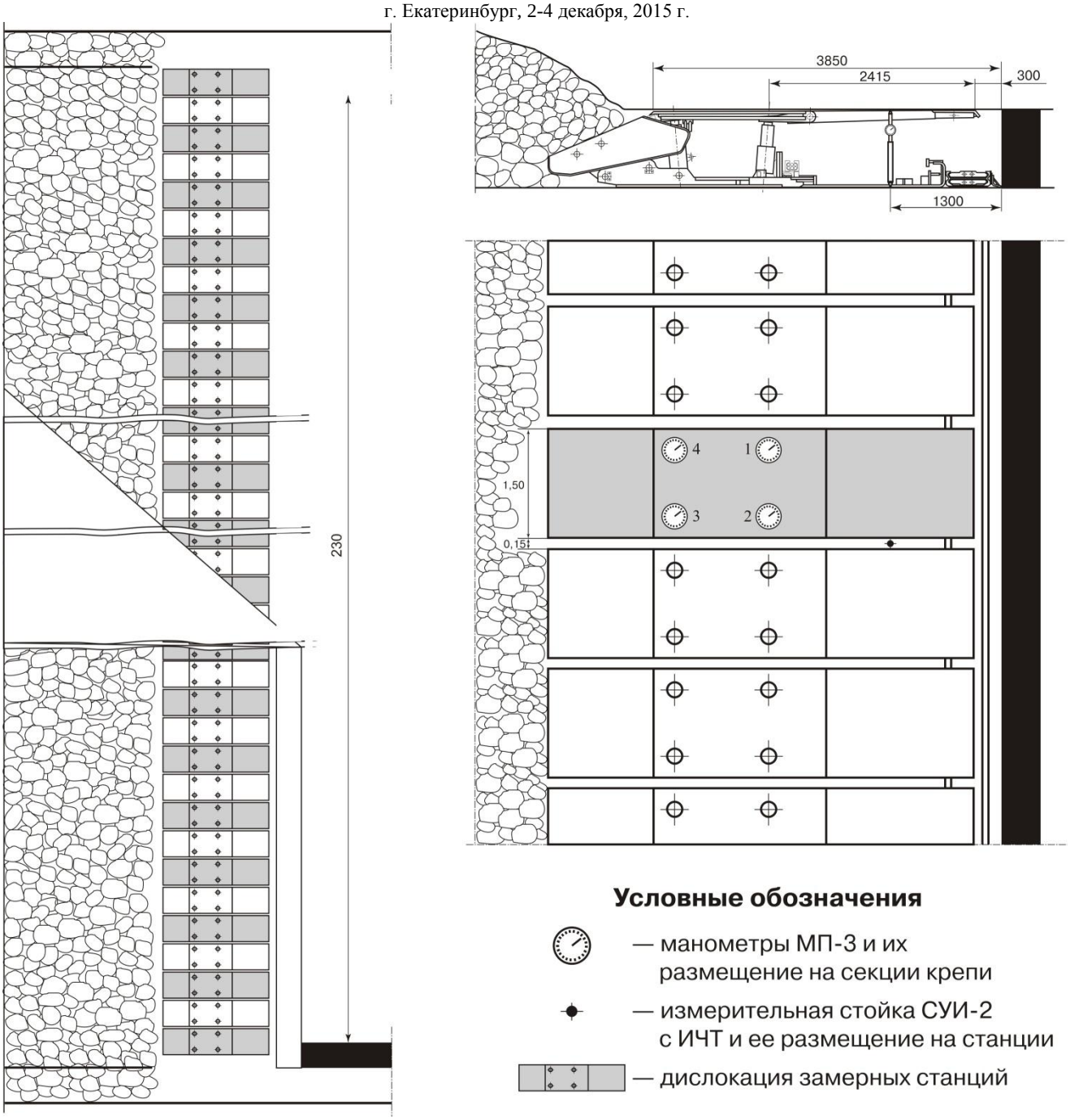


Рис. 1. Схема размещения оборудования на замерной станции

Первая замерная станция была оборудована на сопряжении лавы с конвейерным штреком. Затем её перемещали вверх по лаве и в каждом месте дислокации замеры выполняли до и после прохода комбайна и передвижки секции крепи. Результаты наблюдений за смену заносились в специальные формуляры. В единой временной системе координат построены графики конвергенции вмещающих пород, фактические рабочие характеристики механизированных крепей и планограммы работ в лавах, которые показали взаимосвязь между интенсивностью геомеханических процессов в массиве и технологическими операциями в забое –

выемка угля и передвижка секций механизированной крепи.

Наиболее интенсивная конвергенция вмещающих пород происходит после прохода комбайна в средней части призабойного пространства на расстоянии 1,8-1,9 м от забоя, т. е. подтверждается гипотеза о возникновении растягивающих напряжений в непосредственной кровле при увеличении расстояния от забоя до первой стойки.

В задачи шахтных исследований входила проверка гипотезы о влиянии ширины бесстоечного призабойного пространства на характер опускания кровли: при удалении первой стойки мехкрепи на 2-2,5 м линия опускания пород приближается к экспоненте, а это вызывает образование растягивающих напряжений в нижних слоях, раскрытие трещин и вывалообразования. Расстояние от консолей перекрытия до забоя изменялось от 0,3 до 0,7 м, т. е. превышало паспортное значение в 1,6 раза. Расстояние от забоя до места первого контакта консоли перекрытия с кровлей составило 0,8 м. Причем контактирование в подавляющем большинстве случаев было не сплошным, а точечным, в основном через 3-4 точки передней части консоли. Рессорная и жесткая части перекрытия контактировали с кровлей через породную подушку толщиной 3-10 см.

Наблюдения показали, что интенсивность конвергенции вмещающих пород на концевых участках и в средней части лавы заметно разнится. На сопряжении "лава–штрек" отмечается постоянная скорость конвергенции независимо от передвижки секций крепи, в средней части лавы – резкое увеличение скорости. Разнятся также фактические рабочие характеристики секций в средней части лавы и на концевых участках (рис. 2).

С помощью метода группового учета аргументов (МГУА) [5] установлены зависимости конвергенции вмещающих пород h от времени t на разных участках лавы. Получено 180 систем уравнений вида:

$$\begin{cases} h_1 = c_1 t + e_1 \\ h_2 = b_1 t^2 + c_2 t + e_2 \\ h_3 = b_2 t^2 + c_3 t + e_3 \\ h_4 = c_4 t + e_4 \end{cases} \qquad (1)$$

где, c_1, c_2, c_3, c_4 - безразмерные коэффициенты.

Формулами (1) описываются кривые конвергенции вмещающих пород. Продифференцировав уравнения (1), можно найти скорость конвергенции пород *v*:

$$\begin{cases} v_1 = dh/dt = c_1 \\ v_2 = dh/dt = 2b_1 t + c_2 \\ v_3 = dh/dt = 2b_2 t + c_3 \\ v_4 = dh/dt = c_4 \end{cases} \quad (2)$$

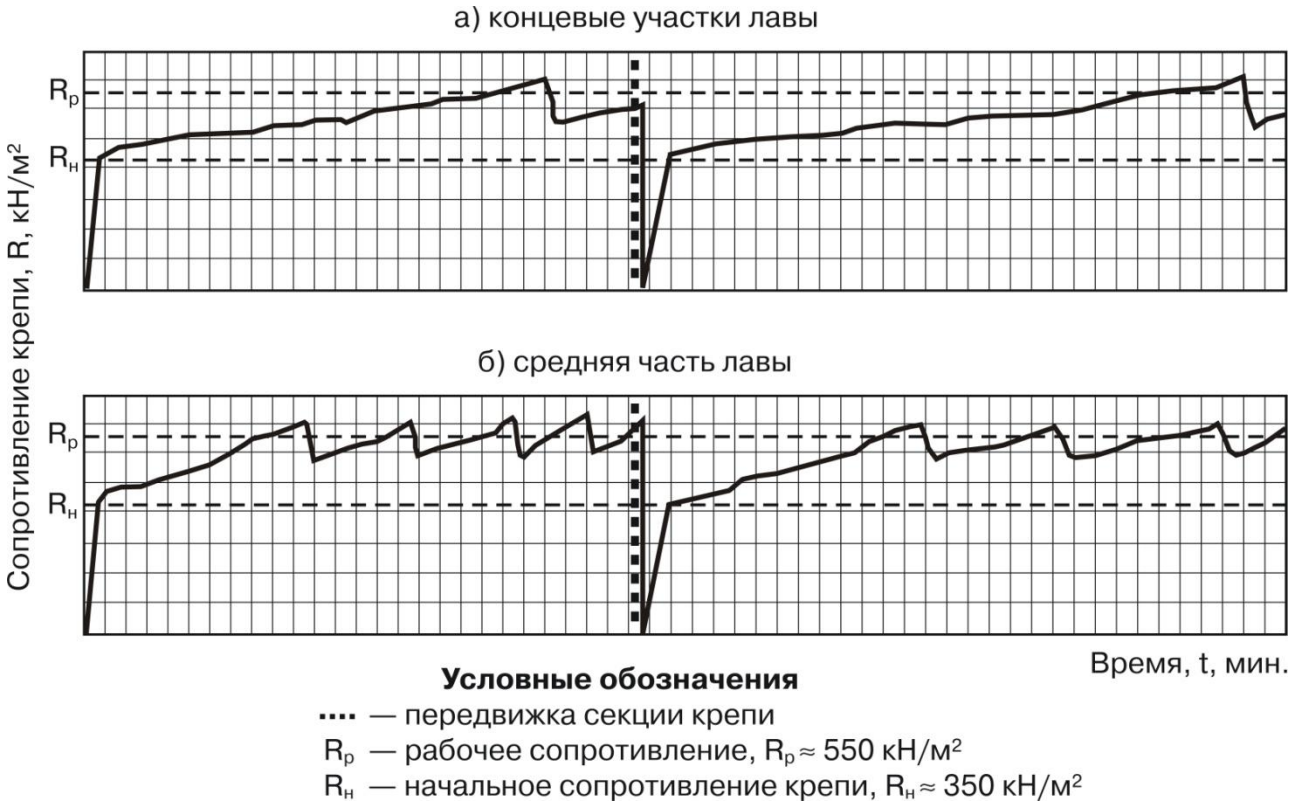


Рис. 2. Фактические рабочие характеристики крепи на разных участках лавы

В средней части лавы до передвижки секции крепи скорость конвергенции кровли и почвы увеличивается неравномерно; после передвижки она неравномерно уменьшается, т. е. существует ускорение конвергенции вмещающих пород.

Продифференцировав уравнения (2), определим ускорение *a* конвергенции вмещающих пород:

$$\begin{cases} a_1 = dv_2/dt = 2b_1 \\ a_2 = dv_3/dt = 2b_2 \end{cases} \quad (3)$$

По формулам (3) для всех лав вычислены значения *a*. Начиная от сопряжения с конвейерным штреком, ускорение конвергенции постепенно увеличивается по длине лавы, достигая максимального значения, затем постепенно уменьшается в районе вентиляционного штрека (рис. 3).

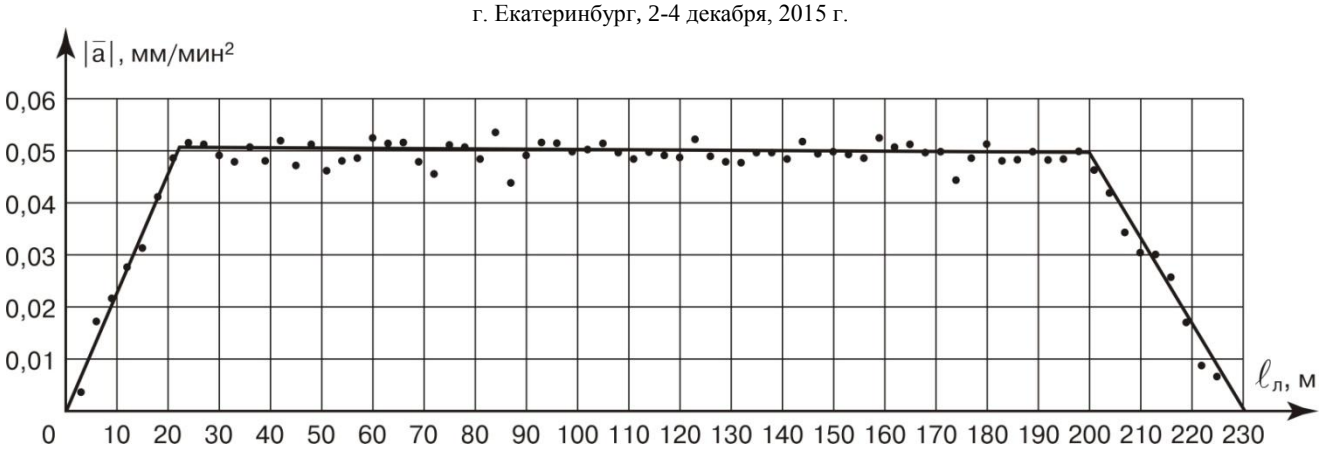


Рис. 3. Значения ускорения конвергенции вмещающих пород по длине лавы

Абсолютное ускорение конвергенции в средней части лавы постоянно и составляет около 0,05 мм/мин.$^{2\cdot}$, на концевых участках оно изменяется от 0,01 до 0,05 мм/мин.^{2}.

Если рассматривать очистной забой с точки зрения особенностей геомеханических процессов в породном массиве, то ускорение конвергенции можно принять в качестве критерия оценки протяженности концевых участков лавы. Установлено, что их длина по ускорению конвергенции пород около выработок, примыкающих к целику, составляет 12-17 м, к выработанному пространству 15-20 м. На этих участках механизированная крепь не входит в режим рабочего сопротивления или выходит крайне медленно. Работа крепи в режиме рабочего сопротивления наблюдается только в средней части лавы. Исследования позволили выявить, что с увеличением мощности пласта удлиняются концевые участки. Однако для формализации такой зависимости требуются дополнительные натурные наблюдения.

Таким образом, величина ускорения конвергенции вмещающих пород является геомеханическим критерием оценки протяженности концевых участков лавы. На этих участках необходимо применять специальные крепи, или другие нетрадиционные средства крепления.

Список литературы

1. Антипов И.В., Савенко А.В., Грядущий В.Б. Комплексные натурные исследования в 6-й западной лаве уклонного поля пласта m_3 шахты им. В.М. Бажанова // Пути повышения безопасности горных работ в угольной

отрасли. – Макеевка: МакНИИ, 2004. – С. 138-141.

2. Антипов И.В., Савенко А.В., Сухаревский Э.Ю. Комплексные натурные исследования в 17-й восточной лаве пласта m_3 АП "Шахта им. А.Ф. Засядько" // Проблеми гірського тиску. – ДонНТУ, 2005. – № 13. – С. 213-222.

3. Антипов И.В., Савенко А.В., Нагорная Е.Д., Данча В.А., Пугач С.С., Жуковцов И.В., Бороненко И.А. Исследования ускорения конвергенции вмещающих пород в очистном забое шахты им. Челюскинцев / Наукові праці УкрНДМІ НАН України, вип. 10. – Донецьк: УкрНДМІ НАН України, 2012. – С. 35-45.

4. Антипов И.В., Савенко А.В., Стаднюк Е.Д., Жуковцов И.В., Козырь С.В. Инструментальные наблюдения конвергенции вмещающих пород и смещения краевой части угольного пласта в очистном забое шахты «Трудовская» / Вісті Донецького гірничого університету, № 1(32). – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 13-22.

5. Антипов И.В., Турбор И.А. Применение МГУА для формализации производственных процессов и операций в очистных забоях / Физико-технические проблемы горного производства. Вып. 15. Физические, геомеханические и технологические проблемы добычи полезных ископаемых. – Донецк: Институт физики горных процессов НАН Украины, 2012. – С. 55-63.

Сведения об авторе:

Антипов Игорь Владиславович, докт. техн. наук, профессор, зав. отделом, Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), 83004, г. Донецк, ул. Челюскинцев, 291, e-mail: iantypov@ukr.net, +380 (63) 333-79-14

УДК 553.632 (470.53)

НЕДОСТАТКИ РАЗВЕДКИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Баяндина Э.О., Кудряшов А.И., Клепцова Н.К.

Разведка Верхнекамского месторождения солей (ВКМС) осуществляется путем проходки с поверхности скважин колонкового бурения, которые располагаются по широтным профилям на расстояниях не менее чем 0,8-1,0 км.

Эксплуатационная разведка выполняется путем проходки подземных субгоризонтальных горных выработок (штреков), а опробование – путем отбора бороздовых проб из стенок штреков, либо опробования керна скважин подземного бурения.

Методика разведки ВКМС имеет следующие основные недостатки:

- низкая достоверность выявления и оконтуривания зон замещения продуктивных пластов каменной солью;

- не учет обязательного присутствия участков сложенных смешанными солями как переходной зоны между карналлитовыми породами и сильвинитами;

- занижение содержания нерастворимого в воде остатка (Н.О.) в рудах промышленных пластов.

Первый недостаток проявляется в том, что при ведении эксплуатационной разведки и очистных горных работ обнаруживаются новые зоны замещения каменной солью. Неожиданное появление этих зон снижает количество балансовых запасов и нарушает планомерность добычных работ. Яркими иллюстрациями этого недостатка являются северо-восточная часть Дурыманского участка (рис. 1) и некоторые количественные данные по центральной части ВКМС (табл. 1).

Причиной этого недостатка является несоответствие параметров разведочной сети размерам зон замещений, о чем уже не раз отмечалось в ряде публикаций [1-3 и др.]. К сожалению, методики прогнозирования зон замещений в пределах участков ВКМС до сих пор нет. Не исключено, что эта проблема будет решена на основе статистического подхода.

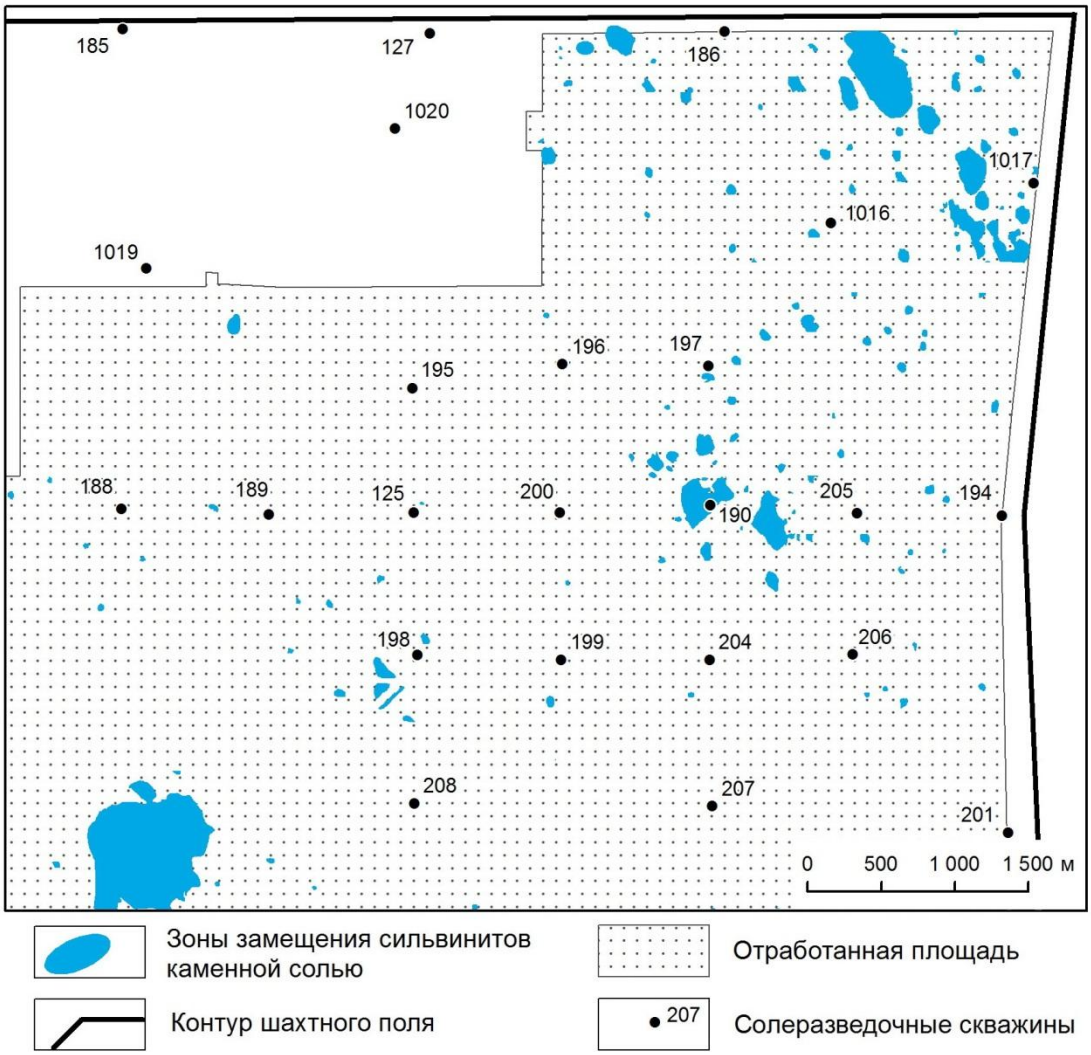


Рис. 1. Фрагмент схемы расположения зон замещения сильвинитов пласта КрII каменной солью на Дурыманском участке (по материалам рудника БКПРУ-2)

Таблица 1

Сопоставление количества и суммарной площади зон замещения в пределах Соликамских участков ВКМС, оконтуренных по данным разведки и разработки (по материалам А.И. Петрика, 2006 г.)

Пласт	Количество зон по данным:		Суммарная площадь зон (км^2) по данным:		Занижение по разведке	
	разведки	разработки	разведки	разработки	абс., км^2	отн., %
АБ	5	33	2,87	7,28	-4,41	-154
КрII	15	85	12,23	19,01	-6,78	-55

Известно, что в продуктивных пластах карналлитовой пачки между полями развития карналлитовых пород и пестрых сильвинитов всегда имеется переходная зона, представленная смешанными солями (карналлитовая порода+сильвинит). В целом эти пласты на 35-47% площади их распространения представлены смешанными солями [4]. Не учет этой зональности лежит в основе второго

недостатка разведки ВКМС, когда поля распространения пестрых сильвинитов непосредственно граничат с площадями распространения карналлитовых пород. В дальнейшем при проведении эксплуатационной разведки и очистных работ вблизи границы этих двух типов руд вскрывается зона смешанных солей, что приводит к уменьшению площадей развития, как пестрых сильвинитов, так и карналлитовых пород и, соответственно, уменьшению их запасов (рис. 2).

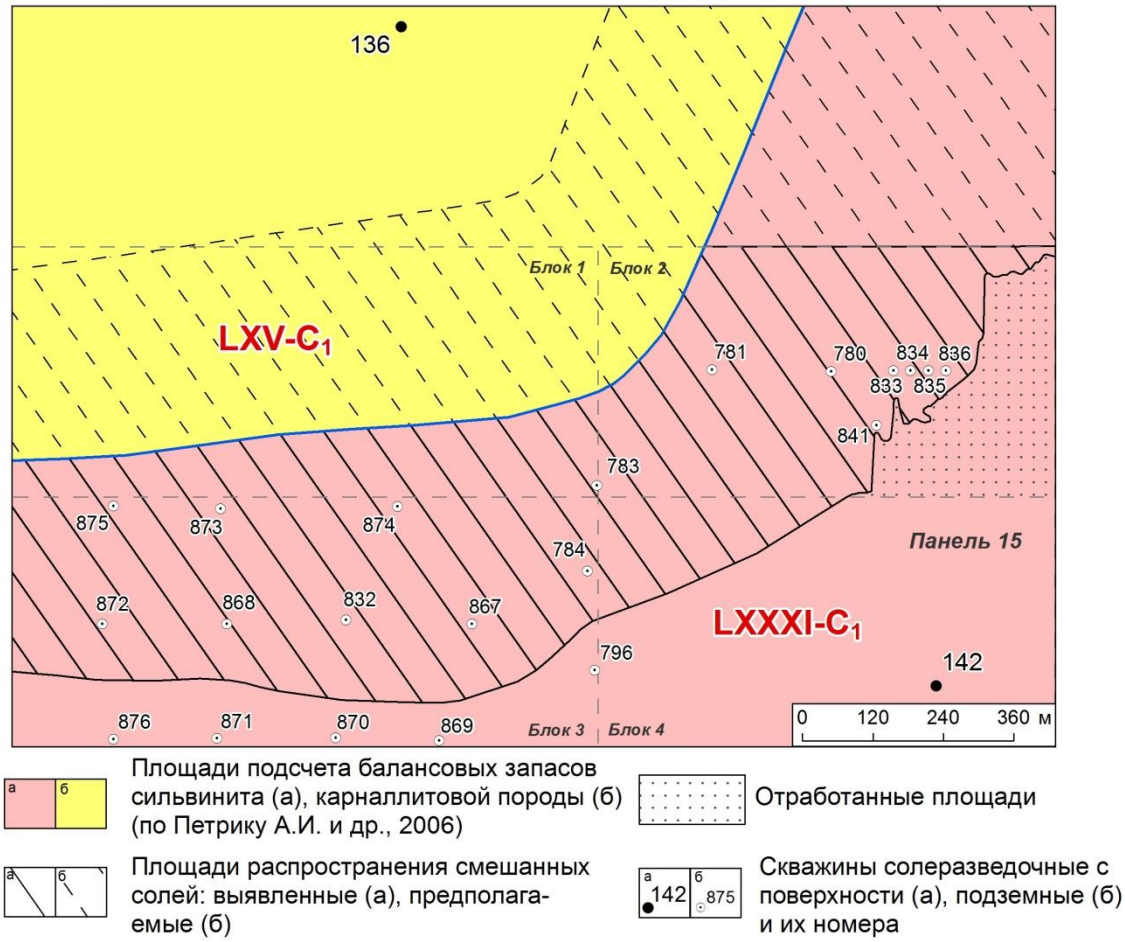


Рис. 2. Фрагмент плана подсчета запасов солей пласта В Ново-Соликамского участка (по Петрику А.И. и др., 2006, с дополнениями)

На практике при геометризации распространения типов руд в пластах карналлитовой пачки необходимо выделять зону смешанных солей. В случаях, когда одной скважиной вскрыта карналлитовая порода, а соседней скважиной – пестрый сильвинит, то расстояние между скважинами необходимо делить на три отрезка, средний из которых соответствует наиболее вероятному положению зоны смешанных солей.

Занижение содержания Н.О. против истинного (третий недостаток разведки)

ведет к недостижению основных проектных технико-экономических показателей нового предприятия. Особенно отчетливо это расхождение проявляется в пределах разведанных участков южной части ВКМС. Сводные результаты сопоставления данных разведки и эксплуатации в пределах участков (шахтных полей) южной части ВКМС приведены в таблице 2.

Таблица 2

Средние содержания Н.О. (масс. %) в сильвинитах по данным разведки и разработки

Шахтное поле	Пласт	Содержание Н.О. по данным:		Расхождение, %		Год, автор
		разведки	разработки	абсол.	относ.	
БКПРУ-1	КрII	1,37	1,85	-0,48	-35	1982, Олифиренко О.В. и др.
		1,28	1,87	-0,59	-46	2010, Романов В.Л. и др.
	АБ	1,59	1,99	-0,40	-25	1982, Олифиренко О.В. и др.
		1,59	1,82	-0,23	-14	2010, Романов В.Л. и др.
БКПРУ-2	КрII	2,11	4,42	-2,31	-109	1982, Олифиренко О.В. и др.
		2,36	4,07	-1,71	-72	2007, Елкин Ю.М. и др.
	АБ	4,60	6,80	-2,20	-48	1982, Олифиренко О.В. и др.
		4,60	6,33	-1,73	-38	2007, Елкин Ю.М. и др.
БКПРУ-3	КрII	3,95	5,69	-1,74	-44	1982, Олифиренко О.В. и др.
		3,80	6,23	-2,43	-64	1984, Пятаев И.А., Сапегин Б.И.
	АБ	7,36	8,55	-1,19	-16	1982, Олифиренко О.В. и др.
		6,33	8,55	-2,22	-35	1984, Пятаев И.А., Сапегин Б.И.

Из этой таблицы следует, что на Дурыманском участке (шахтное поле БКПРУ-2) относительное расхождение содержаний этого компонента превысило даже 100% (относ.).

Причиной столь высокого расхождения содержаний является избирательное истирание керна при проходке скважин, который присущ колонковому бурению. Несмотря на то, что эта проблема стояла перед геологами Верхнекамского месторождения довольно продолжительное время, работ, посвященных изучению причин и самой природы этого явления, очень мало. В 60-х годах прошлого века ею занимались В.Ф. Мягков и В.И. Раевский [5, 6]. В работе [6] для корректировки содержаний Н.О., полученных при бурении скважин с применением бурового раствора (рассола), на основании результатов экспериментальных данных для красных сильвинитов авторами было получено корректировочное уравнение, имеющее следующий вид:

$$y = 0{,}74x + 0{,}29 \quad (1)$$

где y – истинное содержание Н.О. в пласте, масс. %; x – содержание Н.О. в пласте по керну, масс. %.

В комментариях к этому уравнению авторы отмечают, что систематическое занижение содержания этого компонента имеет место, если его содержание в породе составляет менее 1%. «При больших количествах, что обычно, пробы керна показывают завышенные данные» [6, с. 11]. Вполне очевидно, что это уравнение неудачно, так как противоречит многим фактическим данным.

В 1972 г. Пермский госуниверситет выпустил отчет о НИР (Мягков В.Ф., 1972), в котором на основании сопоставления данных разведки и эксплуатационного опробования в пределах трех шахтных полей (СКРУ-1, БКПРУ-1, БКПРУ-2) было предложено поправочное уравнение второго порядка:

$$y = 2{,}25x - 0{,}14x^2 - 0{,}56 \quad (2)$$

Это уравнение легло в основу «Методики переоценки качества сильвинитов при проектировании рудников на Верхнекамском месторождении», утвержденной Союзгорхимпромом 26.07.1974 г. Впоследствии эта методика вошла в нормативный документ [7].

Анализ этого уравнения свидетельствует, что оно полноценно «работает» только при значении $x < 5{,}0\%$. При значении x в интервале 5,0-8,5%, поправка быстро уменьшается, а при значении $x > 8{,}5\%$ поправка идет уже со знаком минус, что противоречит прямому назначению уравнения.

Сотрудниками Пермского госуниверситета и Уральского филиала ВНИИГ был выпущен отчет о НИР (Мягков В.Ф., Кудряшов А.И., 1976), в котором предложены уравнения для корректировки данных разведки о содержаниях Н.О. в двух рабочих пластах в пределах Быгельско-Троицкого участка (шахтное поле БКПРУ-4):

для пласта КрII: $y = 1{,}36x + 0{,}12$, (3)

для пласта АБ: $y = 1{,}16x + 0{,}20$. (4)

Позднее [8] для корректировки содержания Н.О. в пласте КрII в пределах шахтного поля БКПРУ-2 было предложено уравнение:

$$y = 2{,}7 + 0{,}62x, \quad (5)$$

где x – содержание Н.О. по данным разведки.

Графическое выражение поправочных уравнений 1-5 приведено на рис. 3.

Общими недостатками уравнений 3-5 является:

- малый объем использованного фактического материала;

- не определена динамика избирательного истирания керна в зависимости от содержания Н.О. в исследуемых пластах, т.е. на всем интервале содержаний Н.О., согласно представленным уравнениям, процесс избирательного истирания является прогрессирующим.

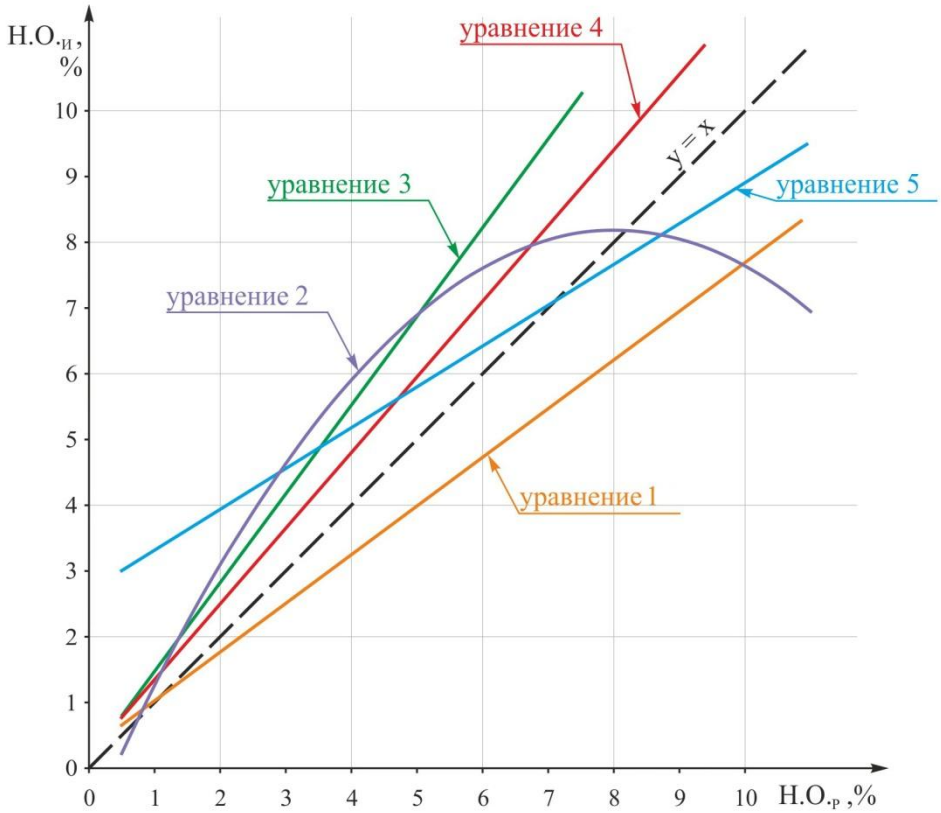


Рис. 3. Графики уравнений 1-5 (Н.О.$_И$ – истинное содержание Н.О. в пласте; Н.О.$_Р$ – содержание по разведке)

Необходимо отметить, что все ранее проведенные сопоставления велись по средним значениям содержания Н.О. в пределах отдельных геологических блоков или их серии, по пластам или по шахтному полю в целом. Это вызвано невозможностью пространственного совмещения точек наблюдения (опробования) при разведке и последующего изучения месторождения (поскольку вокруг скважин, пройденных с поверхности земли, оставляются охранные целики

радиусом до 120 м). Нами же за основу принято сопоставление содержания Н.О. в промышленных пластах по конкретным скважинам, пройденным с поверхности, и среднего содержания этого компонента в элементарной ячейке месторождения (ЭЯМ), определенного по данным эксплуатационной разведки. ЭЯМ – ближайшие окрестности разведочной скважины на уровне промышленного пласта в форме круга радиусом 500 м. Часть этой площади занимает околоскважинный целик. На остальной ее части размещается от 2 до 40 сечений эксплуатационной разведки (рис. 4).

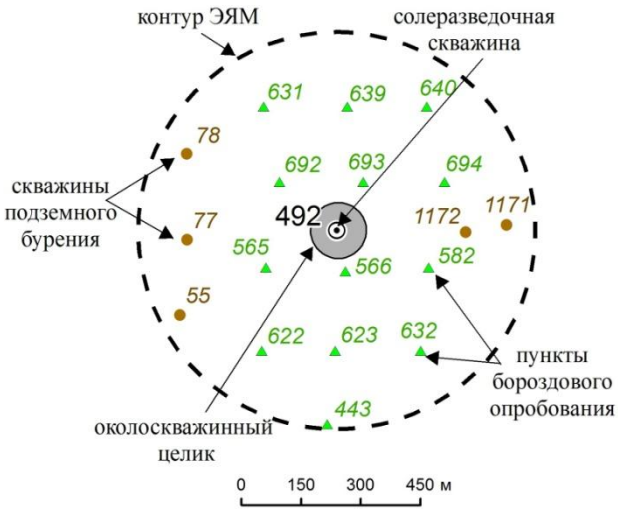


Рис. 4. Пример опробования ЭЯМ (скв. 492, пласт А)

Мерой расхождения данных разведки и эксплуатации является разница между содержаниями Н.О. в пласте, определенными по данным разведки ($Н.О._Р$) и эксплуатационного опробования, обозначаемая буквой греческого алфавита Δ ($\Delta = Н.О._Р - Н.О._И$). За истинное ($Н.О._И$) принято среднее значение, вычисленное по данным эксплуатационной разведки, поскольку плотность наблюдений при эксплуатации более чем на порядок выше, чем при разведке.

Для изучения динамики расхождения в зависимости от истинного содержания Н.О. в пласте строились графики расхождения данных (ГРД), в которых по оси X откладывались значения $Н.О._И$, а по оси Y – значения Δ.

Обработка огромного фактического материала с применением новой методики, детали которой изложены в работах [9, 10], дала возможность получить ряд ранее неизвестных закономерностей и зависимостей, основными из которых

являются:

- характер расхождения данных разведки и эксплуатации по содержанию Н.О. не зависит от текстурно-структурных особенностей сильвинитов;

- график расхождения содержаний Н.О. в промышленных пластах по данным разведки и эксплуатации неоднороден, а его четыре участка (по содержанию Н.О.$_И$) имеют свои особенности, приведенные на рис. 5 и в табл. 3.

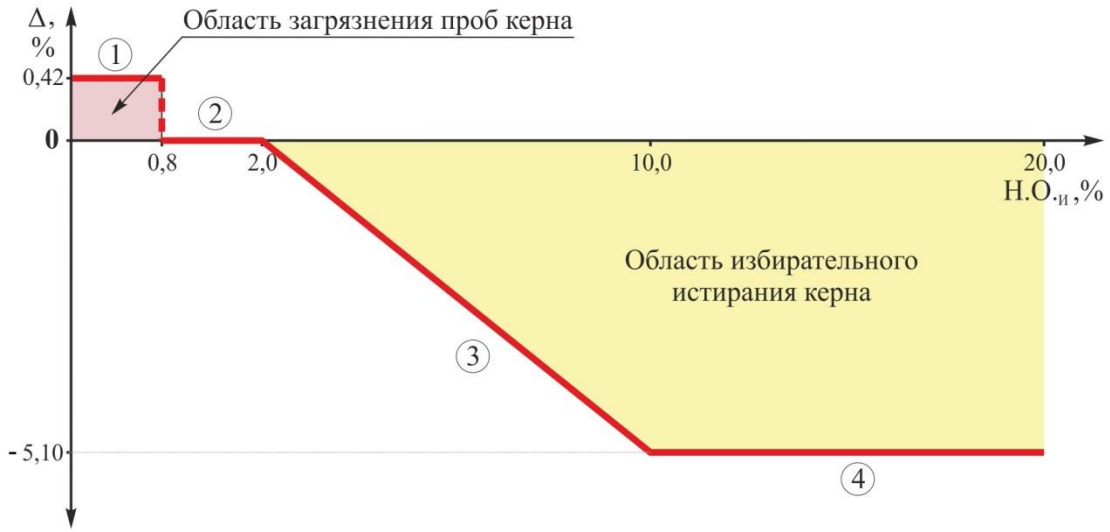


Рис. 5. Идеализированный ГРД (вне масштаба)

Таблица 3

Характеристика участков ГРД

№ участка ГРД	Особенность участка	Интервал участка (по Н.О.$_И$), %	Поправочное уравнение
1	Загрязнение проб нерастворимыми примесями	< 0,8	Н.О.$_И$ = Н.О.$_Р$ – 0,42
2	Отсутствие расхождений	0,8-2,0	-
3	Прогрессирующее избирательное истирание керна	2,0-10,0	Н.О.$_И$ = 2,58·Н.О.$_Р$ – 3,05
4	Предел избирательного истирания керна	10,0-20,0	Н.О.$_И$ = Н.О.$_Р$ + 5,10

Вследствие незначительного загрязнения «чистых» сильвинитов (1-й участок ГРД), поправочные уравнения предлагается применять только при Н.О.$_Р$>2%.

По результатам проведенных работ были составлены карты районирования

по применению поправочных уравнений для всех пластов сильвинитового состава промышленного горизонта ВКМС.

Список литературы

1. Андреев П.С. Совершенствование разведки Верхнекамского месторождения калийных солей // Науч. тр. ПермНИУИ. 1964. Сб. IV. С. 5-26.

2. Копнин В.И., Раевский В.И., Леденцов Л.А. Плотность разведочной сети в стадии детальной разведки Верхнекамского месторождения // Тр. ПермНИУИ. 1962. Сб. 4. -С. 30-39.

3. Раевский В.И., Фивег М.П., Герасимова В.В. и др. Месторождения калийных солей СССР. Л.: Недра, 1973. -344 с.

4. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. – М.: ООО «РПФ» Эпсилон Плюс, 2013. -368 с.

5. Мягков В.Ф. К вопросу об определении поправочного коэффициента к данным поверхностной разведки шахтных полей Верхнекамского калийного месторождения // Сборник научных трудов ППИ. 1961. № 8. -С. 95-101.

6. Мягков В.Ф., Раевский В.И. Избирательное разрушение кернов сильвинитов и карналлитовых пород при бурении скважин на Верхнекамском месторождении // Изв. вузов. Горный журнал. 1964. № 5. -С. 8-12.

7. Нормы технологического проектирования предприятий калийной промышленности. Ч. 1. Нормы технологического проектирования калийных рудников. – Л., 1976.

8. Кудряшов А.И., Шмагина Е.Б., Рунец Г.В. Прогнозирование содержания нерастворимого остатка в калийных рудах и вмещающих породах шахтного поля БКРУ-2 (Верхнекамское месторождение) // Материалы научно-технической конференции молодых специалистов и ученых-галургов 20-21 окт. 1977 г. Березники. –Пермь, УФ ВНИИГ, 1978. -С. 107-109.

9. Баяндина Э.О. Новая методика сопоставления содержаний водонерастворимого остатка солей по данным разведки и эксплуатации Верхнекамского месторождения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, ПГНИУ. Статьи по материалам Всеросс. науч.-практ. конф. с

междунар. участием. 2015. С. 6-7.

10. Баяндина Э.О., Кудряшов А. И. Нерастворимый остаток солей Верхнекамского месторождения. ООО «Типограф». Пермь, 2015. -102 с.

Сведения об авторах

Баяндина Элиза Олеговна, тел. 8-919-708-50-61, e-mail: geoprognoz@inbox.ru

Кудряшов Алексей Иванович, директор, докт. геол.-минерал. наук, тел. 8-909-116-15-88, e-mail: geoprognoz@inbox.ru

Клепцова Надежда Константиновна, старший геолог, тел. 8-965-551-18-26

ООО «НПФ «Геопрогноз», г. Пермь, ул. Клары Цеткин, д. 9, тел. (факс) 8 (342) 235-21-54, e-mail: eoprognoz@inbox.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЫЛЕВИДНЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ГРАНИТНЫХ ПОРОД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Бортников А.В., Квитка В.В., Самуков А.Д., Спиридонов П.А., Шулояков А.Д. Кутолин В.А., Широких В.А.

В настоящее время на территории России накопились миллиарды тонн отходов от переработки горных пород (щебеночных отсевов, отвальных хвостов горно-обогатительных комбинатов) имеющих магматическое происхождение, которые занимают огромные площади и загрязняют окружающую среду.

Ежегодно к ним добавляется около 70 млн. м^3 в виде отходов производства щебня (отсевы мельче 5 мм) и карьерной мелочи, крупностью 0-20 мм, отсеянной в голове процесса переработки горной массы.

В последние годы начались работы по использованию отвальных отсевов для получения фракционированных песков для замены природных песков в бетонных смесях, но для этого из отсевов необходимо выделить пылевидную фракцию крупностью менее 0,16 мм, которая не находя практического применения, складируется, создавая те же экологические проблемы, что и хвостохранилища горно-обогатительных комбинатов.

Большой объем накопленных и образующихся дисперсных отходов гранитных пород обуславливает необходимость проведения исследований по изысканию новых направлений их утилизации, одним их которых может быть использование этих отходов для производства минеральной ваты.

Традиционными и широко распространенными сырьевыми материалами для производства минеральной ваты являются основные горные породы габбро-базальтового типа. Однако эти горные породы имеют дефицит по ряду регионов, а их добыча требует существенных затрат.

Нами исследована возможность использования дисперсных отходов переработки гранитного сырья в качестве основного компонента шихты для производства штапельных волокон, образующих минеральную вату.

Основным критерием пригодности сырья для получения высококачественных волокон минеральной ваты является модуль кислотности, рассчитываемый из соотношения массового содержания кислых и основных оксидов в шихте [1]:

$$M_к = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO} \qquad (1)$$

В соответствии с ГОСТ 4640-2011 модуль кислотности, в зависимости от марки минеральной ваты, должен быть не менее 1,4 - 2,0. Для базальтовых пород оптимальным считается химический состав, обеспечивающий модуль кислотности в интервале от 3 до 5.

С показателем кислотности связана вязкость расплава, определяющая возможность получения супертонких волокон минеральной ваты. Оптимальная вязкость расплава по литературным и экспериментальным данным, для получения супертонких волокон минеральной ваты способом вертикального раздува воздухом должна составлять 3 - 10 Па в интервале температур 1400 - 1450 ^{o}C [2].

Для исследования возможности изготовления шихты для производства минеральной ваты была выбрана каменная пыль гранитоидов, которая образуется при изготовлении из них щебня, на базе ЗАО «Семиозерское карьероуправление» и отсевов доломита одного из месторождений в Ленинградской области.

Главными породообразующими минералами гранитоидов являются кварц, кислый плагиоклаз и калиевый полевой шпат. Очень важно, что температура плавления гранитоидов составляет при атмосферном давлении около 1000 °C [3], так как минералы гранитоидов образуют низкоплавкие эвтектики. Однако столь

низкие температуры плавления реализуются лишь при нагревании проб гранитоидов в течение нескольких дней, поскольку расплавы гранитоидов обладают очень высокой вязкостью [4]. Поэтому при изготовлении минеральной ваты из гранитоидов к ним необходимо добавлять такие компоненты, которые будут понижать вязкость расплава шихты. Наиболее дешевыми компонентами шихты для этой цели могут служить известняки и доломиты.

По данным зарубежных специалистов использование в качестве добавки к алюмосиликатам доломита предпочтительнее известняка, так как с ростом содержания оксида магния, за счет соответствующего уменьшения содержания кальция, увеличивается водостойкость минеральной ваты. Кроме этого растворение доломита начинается при более низкой температуре.

Как показал Тобольский Г.Ф. [5], главным свойством силикатных расплавов, определяющим возможность изготовления из них волокнистых материалов, является вязкость таких расплавов, а поверхностное натяжение имеет меньшее значение, поскольку оно мало меняется с температурой, тогда как вязкость очень сильно зависит от изменения температуры расплава. Исходя из этих соображений, для быстрой предварительной оценки пригодности шихты для производства минеральной ваты достаточно сделать теоретический расчет расплава шихты при разных температурах.

Таблица 2

Температурная зависимость вязкости расплава искусственного гравия, определенная экспериментально путем расчета

Способ определения вязкости	Вязкость, Па·с, при Т°С					
	1250	1300	1350	1400	1430	1450
Экспериментальный	52,3	28,7	11,9	8,3	6,4	5,6
Теоретический расчет по методу Э.С. Персикова	46,3	29,5	19,3	13,0	10,3	8,9
Погрешность расчета, доли ед.	-0,13	+0,03	+0,62	+0,57	+0,6	+0,59

В таблице 2 приведены экспериментальные данные о вязкости расплава шихты из 80% гранитной пыли и 20% известняка (таблица 1), относительная погрешность измерения которых составляет 5%, а также результаты выполненного нами теоретического расчета вязкости расплава этой шихты по методу Э.С. Персикова [4]. Как видно из этой таблицы, расчетные данные

достаточно близко совпадают с экспериментальными при температуре 1250 – 1300 °С и имеют устойчивую погрешность +0,6 ед. в интервале рабочих температур 1350 – 1450 °С, что дает возможность предварительной оценки пригодности шихты из гранитной пыли с добавками известняков и доломитов для изготовления минеральной ваты, путем расчета вязкости расплавов этой шихты.

В таблице 3 приведены результаты химических анализов гранитной пыли щебеночных отсевов ЗАО «Семиозерного карьероуправления» и отсевов доломитов месторождения Ленинградской области, а в таблице 4 химические анализы бентонита, цемента и извести, которые предполагается использовать в качестве связующего компонента при окусковании гранитной пыли и доломита.

Таблица 3

Результаты химического анализа гранитной пыли и отсевов доломитов ЗАО «Семиозерное карьероуправление»

Название проб	Массовая доля, %									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe общее в пересчете на Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	FeO	ппп
Гранитная пыль	58,4	12,8	10,2	0,11	1,85	4,34	2,29	4,33	7,01	0,93
Доломит	12,0	2,18	1,19	0,02	17,1	25,0	—	—	0,05	38,6

В таблицах 5-7 приведены расчетные данные о состава шихт с разными соотношением гранитной пыли и доломита и с разными типами связующих компонентов. Здесь же приведены данные о величине модулей кислотности и вязкости рассчитанных составов шихт. Следует отметить, что расчет вязкости расплава при разных температурах по методу Э.С. Персикова [4] по определению пригодности шихты для изготовления минеральной ваты, гораздо предпочтительнее, чем определение только модуля кислотности, который не учитывает температурных изменений и особенностей поведения расплавов горных пород.

Таблица 8

Вязкость расплавов модельных шихт, составы которых приведены в таблицах 5-7, рассчитанная по методу Э.С. Персикова

N	Состав шихты	Вязкость в П·с при Т°С / с учетом погрешности					
		1250	1300	1350	1400	1430	1450
1	Гранит(0,85)+доломит(0,10)+ Бентонит(0,05%)	386,7	230,2	141,5 / 84,9	89,5 / 53,7	68,90 / 41,34	58,20 / 34,92
2	Гранит(0,80)+доломит(0,15)+ Бентонит(0,05%)	191,7	116,7	73,25 / 43,95	47,27 / 28,36	36,80 / 22,08	31,29 / 18,77
3	Гранит(0,75)+доломит(0,20)+ Бентонит(0,05%)	125,0	77,13	49,03 / 29,42	32,02 / 19,21	25,10 / 15,06	21,44 / 12,86
4	Гранит(0,70)+доломит(0,25)+ Бентонит(0,05%)	77,4	48,65	31,37 / 18,82	20,76 / 12,46	16,40 / 9,84	14,07 / 8,44
5	Гранит(0,65)+доломит(0,30)+ Бентонит(0,05%)	46,2	29,4	19,30 / 11,58	12,9 / 7,74	10,3 / 6,16	8,90 / 5,34
6	Гранит(0,55)+доломит(0,40)+ Бентонит(0,05%)	13,4	8,8	6,0 / 3,6	4,20 / 2,52	3,40 / 2,04	3,0 / 1,8
7	Гранит(0,85)+доломит(0,10)+ Цемент(0,05%)	169,2	103,6	65,30 / 39,18	42,30 / 25,36	33,0 / 19,6	28,10 / 16,86
8	Гранит(0,80)+доломит(0,15)+ Цемент(0,05%)	110,20	68,28	43,56 / 26,14	28,55 / 17,13	22,43 / 13,46	19,18 / 11,51
9	Гранит(0,75)+доломит(0,20)+ Цемент(0,05%)	68,69	43,20	27,95 / 16,77	18,56 / 11,14	14,69 / 8,81	12,63 / 7,58
10	Гранит(0,70)+доломит(0,25)+ Цемент(0,05%)	40,62	25,98	17,07 / 10,24	11,51 / 6,91	9,18 / 5,51	7,94 / 4,76
11	Гранит(0,65)+доломит(0,30)+ Цемент(0,05%)	22,70	14,8	9,90 / 5,94	6,80 / 4,06	5,5 / 3,3	4,70 / 2,82
12	Гранит(0,55)+доломит(0,40)+ Цемент(0,05%)	5,7	3,88	2,70 / 1,62	1,90 / 1,14	1,60 / 0,96	1,40 / 0,84
13	Гранит(0,85)+доломит(0,10)+ Известь(0,05%)	134,2	82,6	52,40 / 31,44	34,20 / 20,52	26,70 / 16,02	22,80 / 13,68
14	Гранит(0,80)+доломит(0,15)+ Известь(0,05%)	85,58	53,45	34,36 / 20,62	22,68 / 13,61	17,89 / 10,73	15,33 / 9,20
15	Гранит(0,75)+доломит(0,20)+ Известь(0,05%)	52,11	33,06	21,57 / 12,94	14,44 / 8,66	11,48 / 6,89	9,89 / 5,93
16	Гранит(0,70)+доломит(0,25)+ Известь(0,05%)	29,98	19,35	12,84 / 7,70	8,73 / 5,24	7,00 / 4,20	6,07 / 3,64
17	Гранит(0,65)+доломит(0,30)+ Известь(0,05%)	13,1	8,7	5,90 / 3,54	4,10 / 2,46	3,30 / 1,96	2,90 / 1,74
18	Гранит(0,55)+доломит(0,40)+ Известь(0,05%)	4,5	3,1	2,20 / 1,32	1,60 / 0,96	1,30 / 0,78	1,10 / 0,66

Как отмечалось выше, для получения супертонких волокон оптимальной является вязкость расплава 3-10 Па·с в интервале температур – 1400-1450 °С. Как видно из таблицы 8, этому условию удовлетворяют расплавы №№ 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18 содержащие 20, 25, 30 и 40% доломита. Однако, как показано в [6], содержание тугоплавкого компонента в шихте не должно превышать 38% от содержания легкоплавкого компонента шихты, иначе тугоплавкий компонент не растворится полностью в расплаве легкоплавкого компонента. Взаимодействие карбонатов с гранитным расплавом

экспериментально изучено и подтверждено в [7]. В составе модельных шихт из таблицы 8 легкоплавким компонентом является гранитная пыль, а тугоплавким – доломит, поэтому пригодным для изготовления высококачественной минеральной ваты будут составы с содержанием доломита в 20, 25 и 30%, которые имеют также достаточно низкую вязкость, не превышающую 10 Па·с при температуре 1450 °С (расплавы №№ 3, 4, 5, 9, 10, 11, 15, 16, 17).

Выводы:

Экспериментальным и расчетным путем подтверждена возможность использования шихты, содержащей в качестве основного компонента дисперсные отходы переработки гранитных пород, для производства минеральной ваты.

Полученные результаты создают предпосылки для разработки новой технологии утилизации тонкодисперсных отходов переработки гранитных пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по Соглашению № 14.576.21.0042 от 16.07.2014 г., (УИПНИ RFMEFI57614X0042).

Список литературы

1. Горлов Ю.П, Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов. М., Стройиздат, 1980.
2. Тобольский Г.Ф. Влияние химического состава сырья на свойства минеральной ваты. В кн.: «Химические и металлургические шлаки», стр. 213-235. Челябинск, Южно-Уральское книжное издательство, 1968.
3. Johannes W., Holtz F. Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks. Springer –Verlag. 1996. 350 p.
4. Персиков Э.С. Вязкость магматических расплавов. М., «Наука», 1984. 160 с.
5. Тобольский Г.Ф. Минеральная вата и изделия из неё. Челябинск, Южно-Уральское книжное издательство, 1968. 237 с.
6. Горяйнов К.Э., Горяйнова С.К.Технология теплоизоляционных материалов и изделий. М. Стройиздат, 1982. 374 с.

7. Летников Ф.А., Медведев В.Я., Иванова Л.И. Взаимодействие гранитного расплава с карбонатами и силикатами. Новосибирск. Изд-во «Наука», Сибирское отделение. 1978. 145 с.

Сведения об авторах:
Квитка Валерий Васильевич, докт.техни. наук, ООО "Интерстройпроект", +7 (812) 3310241, e-mail: interstroyproekt@mail.ru, 199106, Санкт-Петербург, В.О., 22-линия, д. 3

УДК 622.234.42

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПОДБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДОМ ПВ В НГМК

Сапаров А.Б., Шарафутдинов У.З., Намазбаев Ш.Н.

Уже более 20 лет уран в Навоийском ГМК (НГМК) добывается только способом подземного выщелачивания (ПВ), поскольку горным способом отрабатывать оставшиеся бедные, сильно обводнённые со сложными горно-геологическими условиями залегания руд месторождения не только экономически не выгодно, а и практически невозможно. Других способов, кроме ПВ, отработки таких месторождений просто не существует. Доказывать преимущества ПВ уже нет необходимости, а применение современных технических средств позволяет совершенствовать технологии отработки, эффективность которых во многом зависит от условий месторождений каждое из которых уникально и имеет свои особенности. Программой развития НГМК до 2020 года предусмотрен рост уранового производства. Основой высоких темпов добычи будет ввод в эксплуатацию семи новых месторождений. Как показывает многолетний опыт, на начальной стадии отработки новых месторождений возникают проблемы, не позволяющие вести добычу достаточно интенсивно, и это связано с природной уникальностью каждого месторождения. Зачастую первые 3-5 лет эксплуатации, ведется адаптация технологии к конкретному месторождению, и в этот период при высоких затратах добыча просто нерентабельна. Предварительное окисление урана на стадии подготовки запасов – инструмент позволяющий решить данную

задачу, интенсифицировать добычу и добиться ее рентабельности на начальной стадии отработки. С этой целью на новых урановых месторождениях проводятся опытные работы по подбору и адаптации технологий для максимально эффективного использования вскрытых запасов на всех стадиях отработки и особенно на стадиях подготовки и закисления.

Комбинирование традиционных способов отработки впервые было успешно применено на Центральной части месторождения Истиклол.

Распределение карбонатности по разрезу неравномерное от 0,5 до 8% среднее значение 1,8%. Максимальная карбонатность в основном приурочена к гороховидным стяжениям в подошве горизонта. Карбонатные минералы доломит, сидерит, кальцит. Оценивая в ходе работ, воздействие гидрогеохимических особенностей данного месторождения предстояло определиться с технологией и конкретными геотехнологическими параметрами отработки. Продуктивный водоносный горизонт имеет мощность 15-18 м с глубиной залегания кровли 150-180 м. Пьезометрический (статический) уровень на глубине 70-90 м, напор на кровлю 80-100м. Коэф. фильтрации 2-4 м/сут., по отдельным интервалам менее 1 м/сут. Дебит скважин 10-17 $м^3$/ч, удельный дебит в среднем 0,15-0,25 реже до 0,5м/$м^3$. Литолого-геохимические особенности руд и вмещающих пород осложняют процесс отработки месторождения: верхняя часть благоприятна для кислотного выщелачивания, а нижняя для безреагентного бикарбонатного. Разделить эти части очень трудно, но совместная отработка кислотным способом не приемлема, а безреагентным способом - слабо интенсивна, при отработке более 25 – 30% от геологических запасов. В процессе проведения опытно-промышленных работ были опробованы различные схемы вскрытия, конструкции скважин, способы окисления урана.

На начальной стадии работ было решено провести нагнетание сжатого воздуха (НСВ) в рудный горизонт компрессором «ATLAS-COPCO» с целью окисления урана кислородом воздуха без применения дополнительных реагентов и окислителей. Для выполнения этой задачи необходимо было решить ряд вопросов, позволивших провести работы по нагнетанию сжатого воздуха на

должном техническом уровне и главное обеспечить безопасность работ, учитывая высокое давление нагнетания. Специальные технические средства, а именно специально для этих целей разработанный и изготовленный пакер, позволяет проводить нагнетание воздуха в фильтр без риска вывода из строя обсадной колонны, а также компрессора «ATLAS-COPCO», давление на котором 25 атм., нагнетание проводятся в течении 24 часов. Одновременно с нагнетанием для удержания "пузыря" в определенном объеме и границах ячейки (рис 1), в закачные скважины подавались закачные растворы с заполнением их до нулевого уровня, растворы обильно (с максимальной приемистостью) подавались в откачные скважины соседние с нагнетательной. В процессе НСВ отмечалось слабое газирование по закачным скважинам, фонтанирования не происходило, что так же косвенно подтверждает правильность выбранного режима и технологии нагнетания. Предполагается, что созданная таким образом положительная депрессия по периферии ячейки помогает предотвратить площадное распространение «пузыря», удерживать его в границах ячейки, а так же управлять его движением путем регулировки уровней по скважинам. Результат нагнетания предопределил дальнейшее направление проведения работ, продолжением которых стала попытка спровоцировать направленное движение нагнетаемого воздуха по продуктивному горизонту с целью увеличения прорабатываемого объема при минимальных трудозатратах на подготовительные работы. Направление движения воздушной проработки задавалось путем снижения уровня гидрозавесы в сторону соседних откачных скважин поочередно до начала их фонтанирования (рис 2). Подтвержденные аналитикой результаты таких проработок свидетельствуют об их эффективности, данный способ позволяет втрое уменьшить трудозатраты на работы по монтажу пакеров, монтажу-демонтажу погружных электро-насосов, при двойном увеличении объема проработанной воздухом рудной массы.

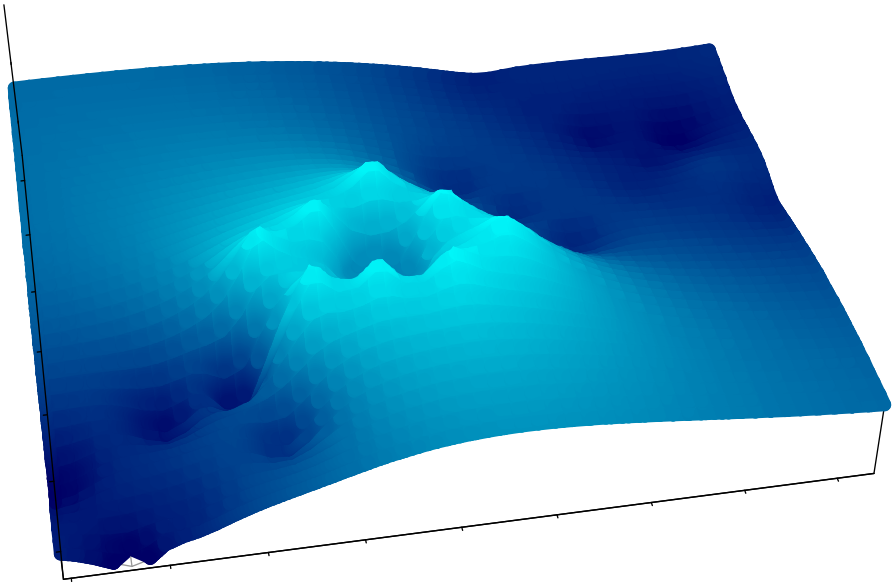


Рис 1.Распространение зоны проработки по пласту – удерживание «пузыря» в границах ячейки.

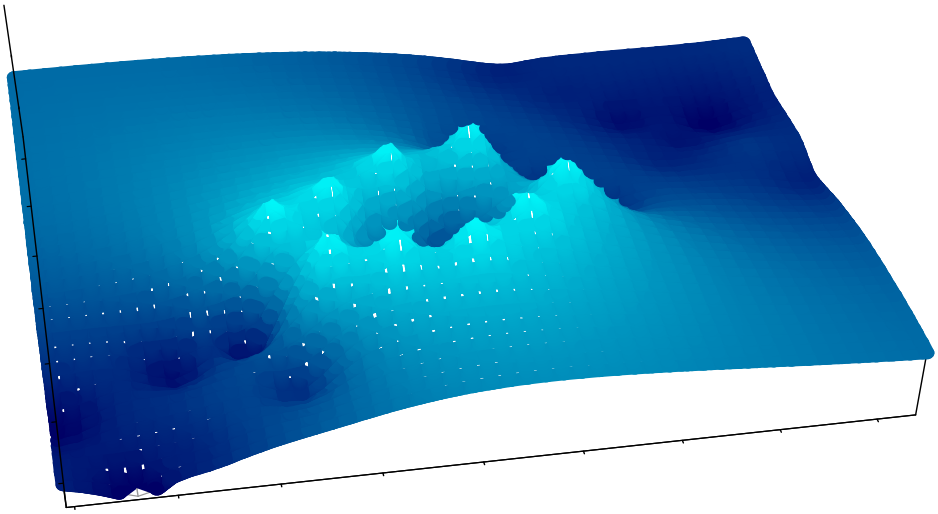


Рис 2.Распространение направленной зоны проработки по пласту.

При продолжении опытно-промышленных работ, направленных на подбор оптимальной технологии нагнетания сжатого воздуха в пласт, на уже вскрытых блоках был проведен ряд экспериментов, позволивших получить новые данные и оптимизировать процесс нагнетания.

С начала опытно-промышленных работ параллельно с применением окисления сжатым воздухом на отдельных обособленных ячейках проводились

опыты по применению в качестве окислителей растворы азотной и серной кислоты с различными концентрациями. В течении 3-х лет шло накопление и анализ полученных данных, нарабатывались приемы и методы подачи реагентов.

Таким образом, отработка опытно - промышленного участка по безреагентной технологии составила около 47 %. Было принято решение об интенсификации добычи за счет увеличения содержания урана в продуктивных растворах с применением в качестве реагента серной кислоты с концентрацией до 3,0 грамм на литр в рабочем растворе. Технологические расчеты показывают, что себестоимость урана при комбинированном безреагентно - слабокислотном способе на 50 % ниже, чем при традиционных способах.

В НГМК взят курс на постоянное обновление средств производства, применение новейшего оборудования, привлечение передового мирового опыта во всех сферах деятельности, в том числе и в производстве урана. Развитие технического прогресса и применение новшеств - обязательное условие для совершенствования технологии отработки месторождений, какими бы сложными они не были.

Это в полной мере относится и к месторождению Северный Канимех, которое характеризуется сложными горными, гидрогеологическими и геотехнологическими условиями. Значительные глубины залегания руд от 480 до 500 метров и проницаемая мощность 15-17 метров, сочетаются с высоким напором пластовых вод на кровлю продуктивного горизонта до 400 метров, что делает невозможным предварительное окисление атмосферным воздухом при помощи его нагнетания компрессором в пласт. При этом повышенная карбонатность до 2 - 5 % и содержание пирита до 2 % указывают на необходимость проведения предварительного окисления. Проведение закисления при помощи сернокислых растворов с концентрацией 15 г/л кислоты растягивается на 14 - 16 месяцев, что и стало причиной низкой эффективности использования вскрытых запасов на стадии подготовки.

Геотехнологическим отделом НГМК, ЦНИЛ НГМК и специалистами Рудоуправления № 5 была разработана и утверждена программа проведения

опытных работ на месторождении Северный Канимех по применению в качестве предварительного окислителя четырехвалентного урана гипохлорита натрия. Ранее подобные работы проводились, однако не была отработана технология дозирования и не определена оптимальная концентрация гипохлорита в рабочих растворах, позволяющая добиться максимального окисления и при этом не спровоцировать кольматацию скважин и пласта, а также выпадение солей при смешивании. Результаты превзошли все ожидания. Введение в процесс гипохлорита натрия привело к интенсификации процесса окисления не только UO_2, но и FeS_2 с выделением в раствор Fe^{+3} и серной кислоты. Образовавшееся в результате этого Fe^{+3} так же принял участие в окислении UO_2, с образованием Fe^{+2}. Следовательно использование в качестве окислителя только сернокислых растворов менее эффективно, чем предварительное окисление рудного горизонта раствором гипохлорита натрия. Уже после двух месяцев работы скважин в режиме активного закисления отмечен рост содержания урана в продуктивных растворах. В скважинах, работающих в аналогичном режиме закисления, но без предварительного окисления на соседних блоках, сопоставимый рост содержания урана проявлялся не ранее 14 – 16 месяцев эксплуатации. Себестоимость полученного урана за счет уменьшения удельного расхода серной кислоты снижена в 2 раза. На сегодняшний день добыча со скважин превышает среднюю почти вдвое. Отсутствует явление кольматации.

В результате проведения работ доказана возможность проведения окисления урановых карбонатных руд гипохлоритом натрия с концентрацией 0,1-0,3 г/л. Испытанная схема проведения блочного комбинированного закисления позволяет:

-получать кондиционные растворы и вести добычу на промышленном уровне и подготовку запасов одновременно;

- увеличить интенсивность отработки запасов;

-сократить время от начала активного закисления всей вскрытой горнорудной массы до получения кондиционных продуктивных растворов;

- эксплуатация запасов становится рентабельной при снижении

себестоимости за счет дополнительной добычи при не изменившихся эксплуатационных затратах.

Положительные результаты применения комбинированных методов отработки месторождения стали основой для их широкого внедрения. Месторождение Сугралы выведено на промышленный уровень добычи благодаря предварительному окислению руд техническим кислородом. Начаты работы по предварительному окислению гипохлоритом натрия руд месторождения Аульбек.

НГМК с 2010 года приступил к освоению месторождения Мейлисай, характеризующегося сложными и своеобразными горно-геологическими условиями, локализацией и вещественным составом руд.

Оценивая в ходе работ, воздействие гидрогеохимических особенностей данного месторождения предстояло определиться с технологией и конкретными геотехнологическими параметрами отработки. В процессе проведения опытно-промышленных работ были опробованы различные схемы вскрытия, конструкции скважин, способы окисления урана. На месторождении Мейлисай наблюдалось значительное снижение дебитов откачных скважин. При осмотре состояния электропогружных насосов было обнаружено обрастание их солями и кристаллами бурого цвета. На карте продуктивных растворов кристаллы белого цвета выросли на бортовых камнях и на водорослях. Также обрастания солями проявлялись на сорбционных колоннах: ионообменная смола цементировалась выпадавшими солями и наросшими кристаллами, что усложняло проведение размена ионита. Выпадение осадков просматривалось по всему пути движения технологических растворов.

Данное состояние потребовало поиск альтернативных окислителей для окисления урана: сода кальцинированная + кислород атмосферного воздуха (эжектирование); азотная кислота с гипохлоритом натрия + кислород атмосферного воздуха (эжектирование); гипохлорит натрия + кислород атмосферного воздуха (эжектирование); технический кислород; серная кислота + ПТД-1 ГМЗ-3; серная кислота + азотная кислота+ технический кислород.

На основании проведенных опытных работ по шести направлениям за

период 2013-2014г. на месторождении Мейлисай предложен способ отработки данного месторождения по следующей схеме – на начальной стадии в качестве окислителя использовать технический кислород в рабочих растворах и последующей подачей в закачные скважины с подкислением смеси азотной и серной кислотой с целью образования бикарбонат - иона и эффективного выщелачивания окисленного металла. Для соблюдения баланса технологических растворов по ячейкам рассмотрен вопрос о снижении среднего дебита по откачным скважинам не более 15м^3/ч., т.к. максимальная приемистость закачной скважины для работоспособности эжектора составляет 5м^3/ч (исходя из результатов опытных работ). После отработки технологического блока по бикарбонатной схеме до 50% продолжить доработку блока и использованием традиционного сернокислотного способа.

Поиски путей сокращения затрат при эксплуатации месторождений на различных стадиях, необходимое условие повышения рентабельности добычи полезных ископаемых, и не только в условиях нестабильной конъюнктуры рыночных цен. Основой для решения этой задачи является технологическая составляющая. Как не существует предела развитию науки и технического прогресса, так и не ограничены наши возможности в совершенствовании технологий добычи полезных ископаемых.

Сведения об авторах:
Сапаров А.Б. ., начальник ТО ПУРиРМ НГМК
Шарафутдинов У.З., канд. техн. наук, зам. начальника СТК рудоуправления №-5 НГМК
Намазбаев Ш.Н., Государственное предприятие Навоийский горно-металлургический комбинат, г. Навои, Узбекистан, e-mail: u0505@mail.ru

УДК 666.766:549.611.13

КЕЙВСКИЕ СТАВРОЛИТОВЫЕ СЛАНЦЫ - ОСНОВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

Белогурова О.А., Саварина М.А., Шарай Т.В.

Особую актуальность сегодня приобретает возможность вовлечения алюмосодержащего сырья Мурманской области в производство огнеупорных материалов различного назначения.

В данной работе в качестве сырья рассмотрены ставролитовые сланцы. Ставролит в основном хаотически рассеян в сланце, кристаллы «плавают» в кварц - мусковитовом субстрате с примесью плагиоклаза, кианита, гётита. Усредненный минеральный состав ставролитового сланца (%): кварц - 41, мусковит - 9, плагиоклаз - 28, ставролит - 18, кианит - 3, рутил - 2, ильменит - 2. Его химический состав (мас. %): SiO_2 - 62,92; TiO_2 - 1,94; Al_2O_3 - 23,36; Fe_2O_3 - 1,84; FeO - 1,84; MgO - 0,56; CaO - 0,78; Na_2O - 2,13; K_2O - 1,8; H_2O - 2,21[1].

Операции обработки сырья перед гранулированием с лигносульфонатом (ЛСТ) отработаны ранее на составах из кианитовой руды (таблица 1) [2, 3]. Восстановительный обжиг при 1350 °С, выдержка – 2 часа.

Таблица 1

Последовательность операций при получении шихты для гранулирования

Гранулы	Сырье для гранул	Последовательность подготовки к гранулированию
СУ	Ставролит + углерод	Ставролит смешивали с половиной количества углерода и ЛСТ, вылеживали, добавляли остаток углерода и ЛСТ, вылеживали и гранулировали
СУА	Ставролит + углерод + алюминиевая пудра	Ставролит смешивали с половиной количества углерода и алюминиевой пудрой, затворяли половиной ЛСТ, вылеживали, вводили остаток углерода и ЛСТ, вылеживали, гранулировали

Структурные исследования гранул выполняли на растровом электронном микроскопе LEO 420 фирмы “ZEISS” (Германия), оснащённом энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 400 фирмы “OXFORD Instrument” (Великобритания).

Морфология карбидизированных гранул приведена на рисунке 1.

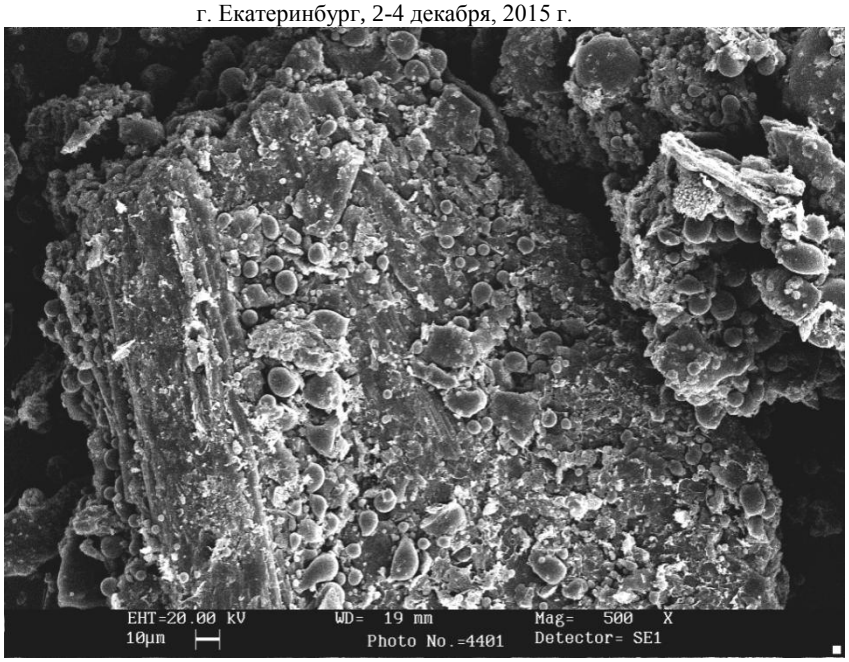


Рис. 1 – Морфология поверхностной структуры карбидизированных гранул на основе ставролитового сланца и углерода (аналитик, к.х.н. Семушин В.В.)

В исходном сырье содержится повышенное количество SiO_2, поэтому изучены свойства муллитокремнеземистых теплоизоляционных материалов на основе карбидизированных гранул из ставролитовых сланцев.

В силикатных системах для создания композиционных материалов используют жидкое стекло, которое обладает способностью к самопроизвольному отвердеванию с образованием искусственного камня. Оно имеет низкую стоимость, не подвергается коррозии, не испаряет пожароопасных летучих компонентов и не ухудшает окружающую среду в процессе эксплуатации.

Структурную основу жидкого стекла составляют низкополимерные гидратированные кремнекислородные анионы. Главную роль в процессе твердения играют процессы их дегидратации и полимеризации. Выделяется коллоидный кремнезем, который обволакивает поверхность зерен минерального наполнителя и, адсорбируясь на ней, связывает частицы в конгломерат. Дополнительный вклад в твердение могут вносить процессы взаимодействия наполнителя и жидкого стекла или нейтрализация щелочного компонента системы углекислым газом воздуха. На сегодняшний день механизмы фазо- и структурообразования при отверждении остаются дискуссионными, не выявлены

взаимосвязи между анионной структурой жидкого стекла, микроструктурой формирующегося из него связующего и конечными свойствами композита.

Механическая прочность жидкостекольного композита определяется прочностями заполнителя, адгезионных контактов между заполнителем и связующим и самого связующего. Эффективными способами повышения свойств с целью расширения области применения жидкостекольных композитов являются разработка способов изменения микроструктуры связующего, а также количественное соотношение компонентов шихты и ее гранулометрический состав.

Снижение концентрации ионов OH^-, стимулируют образование силоксановых связей, поэтому основной набор прочности материалами на жидком стекле происходит в результате обезвоживания системы.

Перевести систему с жидким стеклом в твердое состояние можно разными способами:

1) при потере влаги испарением при обычных температурах;

2) при потере влаги при нагревании выше 100 °С;

3) при введении специальных реагентов - отвердителей.

По нашим наблюдениям дегидратация начинается при комнатной температуре, заметное обезвоживание происходит при 60-80°С и завершается около 150°С.

Особое место среди отвердителей, повышающих модуль жидкого стекла, занимают гексафторсиликаты щелочных металлов. В соединениях кремний (аналогично углероду) 4-валентен. Однако, в отличие от углерода, кремний наряду с координационным числом 4 проявляет координационное число 6, что объясняется большим объемом его атома. Примером таких соединений являются кремнефториды, содержащие группу $[SiF_6]^{2-}$.

Кремнефтористый натрий взаимодействует с жидким стеклом в результате химической реакции:

$$2Na_2SiO_3+6H_2O + Na_2SiF_6 = 6NaF+3Si(OH)_4.$$

Образующийся по этой реакции гель кремнекислоты $Si(OH)_4$ коагулирует и полимеризуется, вследствие чего происходит отвердевание жидкого стекла [5].

Кремнефтористый натрий взаимодействует с водой, входящей в состав жидкого стекла по реакции:

$Na_2SiF_6 + 4H_2O = 2NaF + 4HF + Si(OH)_4$,

в результате чего уменьшается ее количество в композиции, способной превратиться в водяной пар при разогреве, что уменьшает количество крупных пор в объеме материала и способствует увеличению его прочности и снижению теплопроводности.

Введение порошка Na_2SiF_6 в натриевое жидкое стекло, сразу вызывает коагуляцию силиката и гелеобразование вокруг поверхности зерна. Поэтому порошок гексафторсиликата натрия обычно предварительно смешивают с наполнителем, а затем уже с жидким стеклом. Например, для нейтрализации всей щелочи, содержащейся в натриевом жидком стекле ($n = 3$, $\rho = 1{,}45$ г/см^3), требуется около 16% Na_2SiF_6 от массы стекла.

Для получения высокой прочности затвердевшей структуры целесообразно использовать жидкие стекла с высокой плотностью. Ионы щелочного металла при высыхании геля, и позднее обладают довольно высокой подвижностью и мигрируют по поверхности кремнезема, образуя в отдельных пустотах сростки кристаллов соли, а оставшийся кремнезем с уходом ионов натрия приобретает водостойкость [6].

Существует ряд других технологических факторов и условий, которые могут оказать интенсифицирующее воздействие на процесс твердения и структурообразование жидкостекольных композитов.

Эффективно увеличение удельной поверхности компонентов шихты, что приводит к дефектам в кристаллической структуре, аморфизации зерен и соответственно возрастанию реакционной способности сырья.

Известно, что порошок кремния, а также силициды железа и ряда других металлов иногда используют для отверждения жидкостекольных смесей,

поскольку кремний медленно вытесняет водород из воды и переходит в форму гидратированного кремнезема, повышая модуль жидкого стекла:

$Si + 4H_2O \rightarrow 2H_2 + Si(OH)_4$.

Составы шихты для получения муллитокремнеземистой теплоизоляции кроме гранул СУ и СУА (таблица 1) включали отход производства ферросилиция (ОПФ) или алюминиевую пудру.

Основной составляющей ОПФ является кремний, он способствует образованию в поровом пространстве карбида кремния в результате реакционного спекания при взаимодействии с монооксидом углерода:

$2Si+CO\uparrow \rightarrow SiC+SiO\uparrow$

ΔG^0_{298}= -58876+298·7.133= -56750.366 Дж/моль

ΔH^0_{298}= -66.1-103.3+110.524= -58.876 кДж/моль

ΔS^0_{298} = 16.61+211.46-2·18.83-197.543= -7.133 Дж/(моль· К)

$3Si+2CO\uparrow \rightarrow 2SiC+SiO_2$

ΔG^0_{298}= -807992 +298·370.496= -697584.192 Дж/моль

ΔH^0_{298}= -2·66.1-896.84+2·110.524= -807.992 кДж/моль

ΔS^0_{298} =2·16.61+47.86-3·18.83-2·197.543= -370.496 Дж/(моль· К)

В качестве источника порообразующих газов использованы соли аммония. Связка – жидкое стекло без добавок и с введением гексафторсиликата натрия.

Для прохождения процесса дегидратации связующего и разложения газообразователей были выбраны следующие условия: первичная сушка при комнатной температуре в течение 2-х дней, затем термообработка при 60-355°С в течение 3-х часов. Обжиг теплоизоляционного материала при 1200 °С – 2 часа.

Зависимость прочности муллитокремнеземистого теплоизоляционного материала из ставролитовых сланцев от состава шихты и газообразователя приведена на рисунке 2.

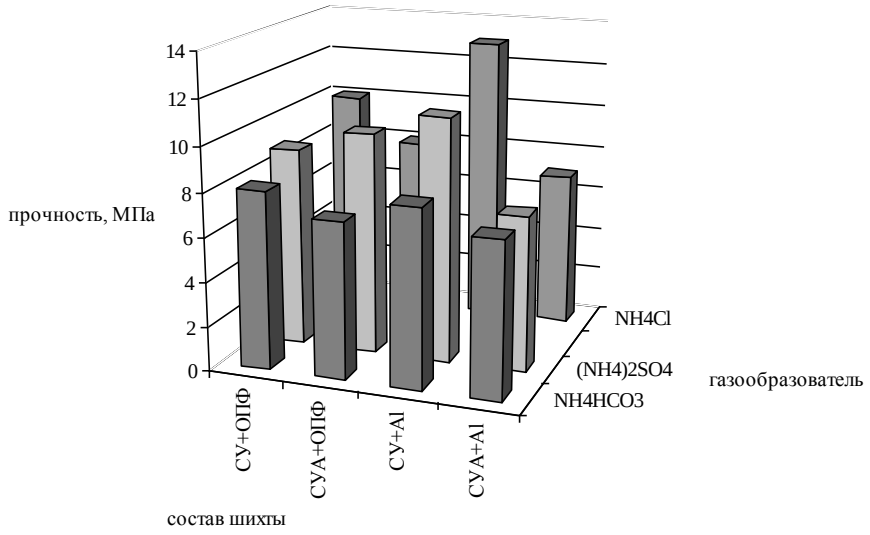


Рис. 2 - Зависимость прочности муллитокремнеземистого теплоизоляционного материала из карбидизированного ставролитового сланца от состава шихты и газообразователя

Введение в шихту для получения теплоизоляционных материалов достаточно большого количества жидкого стекла приводит к увеличению спекаемости образцов и, следовательно, невозможно получить более низкую плотность и высокую пористость.

Один из путей снижения содержания жидкого стекла в композициях - повышение текучести смеси с жидким стеклом при использовании смачивающих и диспергирующих поверхностно-активных веществ. Эти вещества снижают поверхностное натяжение жидкости, способствуют равномерному распределению связующего на частицах наполнителя, вследствие чего можно значительно снизить содержание в смеси силиката натрия.

Поверхностно-активные добавки (ПАВ) бывают гидрофильно-пластифицирующие, гидрофобно-пластифицирующие и микропенообразующие. Как правило, это вещества органического происхождения, растворимые в воде, на поверхности зерен наполнителя и продуктах гидратации образуют тонкие пленки, влияющие без ухудшения качества на свойства цемента и процессы его твердения.

Гидрофильно-пластифицирующей добавкой являются лигносульфонаты технические (ЛСТ), которые улучшают смачивание частиц наполнителя водой,

при этом ослабляются силы взаимного сцепления между частицами, повышаются пластичность и подвижность смеси.

Известно применение лигносульфоната технического (ЛСТ) в качестве пластифицирующей добавки в бетонные и растворные смеси для увеличения их подвижности или уменьшения жесткости, а также для уменьшения расхода цемента [7]. Кроме того ЛСТ применяют как связующее в литейном производстве [8].

В качестве перспективной модифицирующей добавки для создания композиционных материалов на жидком стекле в работе рассмотрены технические лигносульфонаты. Они оказывают существенное воздействие на процессы твердения и структурирования жидкостекольных композиций, улучшают прочностные показатели материала. Введение в состав жидкого стекла лигносульфонатов с повышенными молекулярными массами приводит к получению тонкопористой структуры формирующегося геля, высокой водонепроницаемости, прочности материала и достижению высоких эксплуатационных показателей.

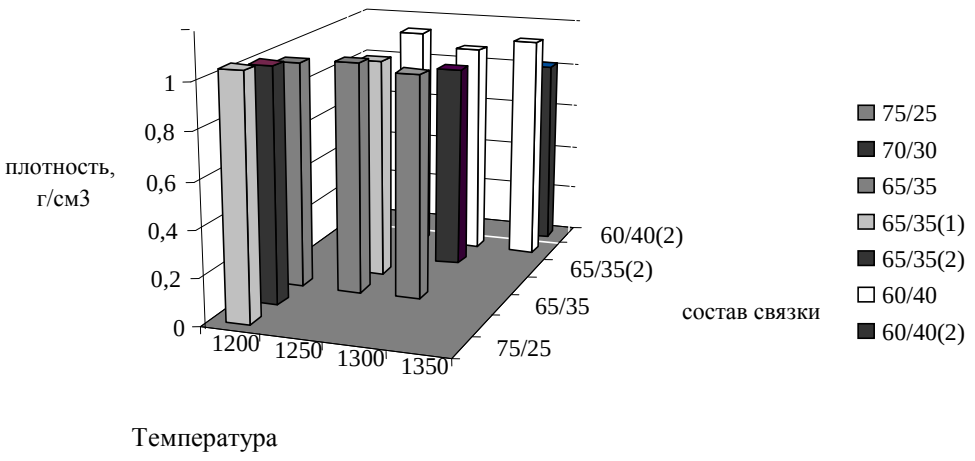
Лигносульфонат может способствовать регулированию размера пор и повышению однородности их распределения в объеме материала. Кроме того он нейтрализует избыточную щелочность композиции, вследствие чего снижается тепловыделение и уменьшается температура разогрева композиции и выделение в ней водяного пара. В результате этого повышается однородность распределения пор в объеме образца и уменьшается их средний размер, что ведет к снижению теплопроводности материала и увеличению его прочности.

В нашей работе получены теплоизоляционные материалы на комбинированной связке из жидкого стекла с отвердителем и лигносульфоната. Соотношение жидкое стекло: лигносульфонат – 75:25, 70:30, 65:35, 60:40. Исследованы свойства образцов из составов, состоящих из карбидизированных гранул (таблица 1), алюминиевой пудры и/или алюмосиликатных полых микросфер.

Синтезирована серия материалов с переменным массовым содержанием основных компонентов шихты (гранулы СУА 80-95, алюминиевая пудра 5-7, АСПМ 5-15, Na_2SiF_6 4-6). При подготовке к формованию часть шихты увлажняли жидким стеклом и ЛСТ, затем вводили гексафторсиликат натрия, перемешивали и заливали оставшуюся часть связки.

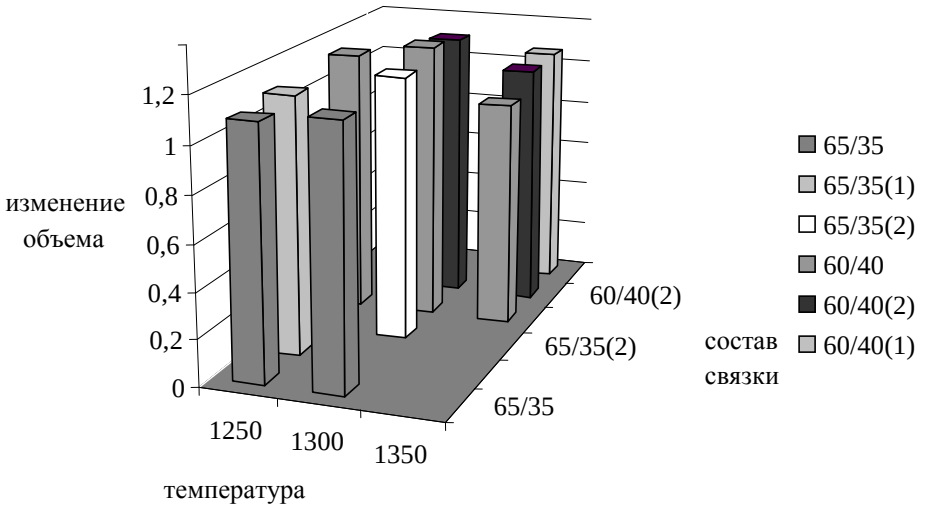
Для прохождения процесса дегидратации связующего были выбраны следующие условия: первичная сушка при комнатной температуре в течение 3-х дней, затем термообработка при 80 °С в течение 2-х часов. Обжиг теплоизоляционного материала при 1200 - 1300°С. В результате термообработки произошло увеличение объема образцов в диапазоне 1,09 -1,21.

На рисунках 3, 4 приведены зависимости плотности и увеличение объема образцов от состава комбинированной связки, температурного режима обжига, а также наличия в шихте алюмосиликатных полых микросфер.



В легенде соотношение жидкого стекла и лигносульфоната в связке
(1) и (2) –в шихте присутствуют алюмосиликатные полые микросферы

Рис. 3 - Зависимость плотности муллитокремнеземистого теплоизоляционного материала из карбидизированного ставролитового сланца (гранулы СУА) от температуры обжига и состава связки



В легенде соотношение жидкого стекла и лигносульфоната в связке

(1), (2) - в шихте присутствуют алюмосиликатные полые микросферы

Рис. 4 – Увеличение объема образцов муллитокремнеземистых теплоизоляционных материалов из гранул СУА в зависимости от состава связки и температуры обжига

Применение в качестве связки модифицированного лигносульфонатом жидкого стекла привело к уменьшению плотности образцов без использования в составе шихты источников порообразующего газа. Наименьшей плотностью обладают материалы, где в составе шихты, кроме карбидизированных гранул и алюминиевой пудры, присутствуют алюмосиликатные полые микросферы.

Ставролитовые сланцы, наряду с кианитовыми, широко развиты в центральной части Кольского полуострова. Кроме того ставролит является отходом при электромагнитной сепарации кианитовых руд, поскольку относится к нежелательным примесям (высокое содержание железа). Использование этого сырья увеличивает значение Кейвских месторождений кианита, как источника комплексных руд.

Список литературы

1. Нерадовский Ю.Н., Войтеховский Ю.Л. Зональность ставролита из кристаллических сланцев Больших Кейв, Кольский полуостров // Труды Карельского научного центра РАН. - 2012. -№ 3. - С. 110–121.

2. Белогурова О.А., Гришин Н.Н. Карбидизированные теплоизоляционные материалы из кианитовой руды // Новые огнеупоры.- 2012.- № 1.- С.31-36.

3. Белогурова О.А., Саварина М.А., Шарай Т.В. Легковесные

муллитокордиеритовые материалы из кианитовой руды Кейвского месторождения // Огнеупоры и техническая керамика.-2013.-№ 7-8.-С.72-77.

4. Тарасова А.П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе. - М.: Стройиздат.- 1982.- С. 16-17.

5. Казанцева Л.К. Формирование источника порообразующего газа при увлажнении природных алюмосиликатов раствором NaOH //Стекло и керамика.- 2012.- №10.- С.37-42.

6. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01-85). - М.: Стройиздат.- 1989. - 11 с.

7. Борсук П.А. Жидкие самотвердеющие смеси. - М.: Машиностроение.- 1979.- С.87-94.

Сведения об авторах:

Белогурова Ольга Александровна старший научный сотрудник, канд. техн. наук, , e-mail:belog_oa@chemy.kolasc.net.ru

Саварина Марина Анатольевна, инженер-технолог

Шарай Татьяна Валентиновна, инженер-технолог

ФГБУН «Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук», 184209 ул. Ферсмана 26А, Академгородок, г. Апатиты, Мурманская обл., 8(81555)79158

УДК 622.271.326

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ БУРОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАНСКО-АЧИНСКОГО БАССЕЙНА

Бобыльский А.С., Резник А.В.

Предложена технология разработки обводненных угольных месторождений без предварительного осушения. Приведены основные параметры и преимущества технологии. Обоснована целесообразность селективной выемки вскрышных пород с крепкими включениями средствами гидромеханизации с использованием выработанного карьерного пространства для организации технологического водоема и гидроотвала.

Топливно-энергетический комплекс Сибири, обладая значительными сырьевыми ресурсами и достаточно развитой производственной инфраструктурой, был и остается главной энергетической базой России.

Ведущими учеными и специалистами обоснована целесообразность увеличения в ближайшие 10-15 лет доли угля в топливно-энергетическом балансе страны до 25-30% против 15-17%, сложившейся в последние годы [1]. В соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2020 года» добыча угля в стране должна быть доведена к 2020 г. до 400-430 млн. т [2]. При этом преимущественное развитие будет иметь наиболее эффективный и безопасный открытый способ добычи угля и, прежде всего, в Кузнецком и Канско-Ачинском угольных бассейнах. Это положение подтверждается и стратегией на перспективу до 2035 г [3]. Проблемы открытой разработки месторождений этих бассейнов достаточно широко рассматривались многими учеными, специалистами проектных организаций и угледобывающих предприятий [4]. По итогам этих работ обоснованы и апробированы на практике основные решения по вскрытию месторождений и системам их разработки, технологии ведения горных работ и техническому оснащению горного производства.

Канско-Ачинский буроугольный бассейн, на базе которого формируется одноименный топливно-энергетический комплекс (КАТЭК), занимает площадь более 50000 км^2 в границах Красноярского края и Кемеровской области. Геологические запасы угля оцениваются более чем в 600 млрд. т, в том числе 140 млрд.т для добычи открытым способом. Запасы угля наиболее крупных месторождений достигают 3-3,5 млрд.т. Угли бассейна пригодны не только для энергетических целей, но и являются отличным сырьем для получения жидких продуктов, металлургического полукокса и облагороженного бытового топлива, химической промышленности. По приведенным затратам на добычу одной тонны условного топлива Канско-Ачинские угли являются самым дешевым топливом в стране. В целом по бассейну выявлено 24 месторождения. Горно-геологические условия этих месторождений весьма благоприятны для добычи угля открытым способом: значительная мощность (до 70-90 м) и преимущественно пологое залегание угольных пластов (1-8^0); сравнительно небольшая мощность и крепость основной массы вскрышных пород (мощность от 8 до 250 м при среднем коэффициенте вскрыши 0,8-2 м^3/т, прочность на сжатие 10-30 МПа); высокое

качество углей (теплота сгорания 3100-3800 ккал/кг, зольность 7-12%, содержание серы до 1%).

Исходя из горно-геологических условий месторождений и физико-технических свойств слагающих их горных пород, на разрезах КАТЭКа предусматривалась крупномасштабная добыча угля по поточной технологии горных работ с использованием роторных экскаваторов производительностью 5250 куб.м/час и более в комплексе с ленточными конвейерами, перегружателями и отвалообразователями [5]. Использование на ведущих разрезах бассейна (Назаровский, Бородинский, Березовский-1) высокопроизводительной техники непрерывного действия показало ее высокую эффективность, в первую очередь, на добычных работах.

Вместе с тем в процессе эксплуатации разрезов выявлен ряд недооцененных ранее факторов, в значительной степени усложняющих ведение горных работ: наличие в основной массе слабо сцементированных вскрышных пород крепких прослоев и линз (далее крепких включений) минерализованных алевролитов, аргиллитов и песчаников на известковом, кремнистом и железистом цементе, разработка которых без предварительного разрушения роторными экскаваторами невозможна; сложные гидрогеологические условия месторождений с наличием до 3-4 водоносных горизонтов с напорными водами и ожидаемыми притоками воды в горные выработки 9000 - 12000 куб.м/час; склонность бурых углей всех месторождений бассейна к самовозгоранию.

Наиболее существенное значение при выборе технологии и оборудования для разработки рассматриваемых месторождений имеют два первых фактора, требующие изыскания нетрадиционных способов и средств выемки горных пород в условиях их повышенной обводненности.

Объектом добычи на месторождениях является хорошо выдержанный угольный пласт, как правило, простого строения, мощностью от 5-15 м (на выходах пластов под наносы) до 60-90 м и углами падения 1-8^0.

Породы вскрыши представлены преимущественно рыхлыми и слабосцементированными песчано-глинистыми отложениями и четвертичными

породами: четвертичными отложениями, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, гравелитами, углистые алевролитами и аргиллитами, углем (таблица 1). Мощность вскрышных пород изменяется от 10-20 м на выходах угольных пластов под наносы до 200-500 м на конечной глубине разработки и прочностью на сжатие 120-140 МПа.

Таблица

Физико-механические свойства горных пород месторождений КАТЭК

Наименование горных пород	Категории по буримости	Процентное содержание по категории пород, %	Временное сопротивление раздавливанию, кг/см2	Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодъяконова, f	Объемный вес, т/м3	Категории по экскавации	Общее процентное содержание по типам вскрышных пород, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Рыхлые и слабосцементированные породы	III	20	20	0,5-3,0	2,08	II-III	96
	IV	15	120				
	V	61	300				
Крепкие песчаники, алевролиты и аргиллиты (крепкие включения)	VI	2	400	4,0-14,0	2,95	IV	4
	VII	2	1400				
Бурый уголь	III	-	200	1,5-2,0	1,2	II	-

Крепкие включения во вскрышной толще месторождений западной части КАТЭКа представлены сидеритовыми и кремнистыми разностями и, как попутно добываемое сырьё, могут быть эффективно использованы в промышленном производстве. Запасы сидеритов указанных выше месторождений оценены в размере около 5-6 млрд.т. Крепкие включения, имеющие мощность 0,1-2,5 м и занимающие 1-3% общего объема вскрышных пород, размещаются крайне неравномерно (по высоте и в плане) в 8-14 конкрециеносных горизонтах, залегающих согласно падению угольного пласта. Среднее расстояние между горизонтами составляет 7-11 м, реже 15 - 22 м. В плане крепкие включения располагаются не по всей площади месторождения, а в отдельных зонах. Размеры крепких включений в плане по отдельным горизонтам изменяются от 1 до 13 м, а

расстояние между ними – от 5 до 20 м. Распределение крепких включений во вскрышной толще по мощности и прочности месторождений западной части КАТЭКа приведено на рис. 1.

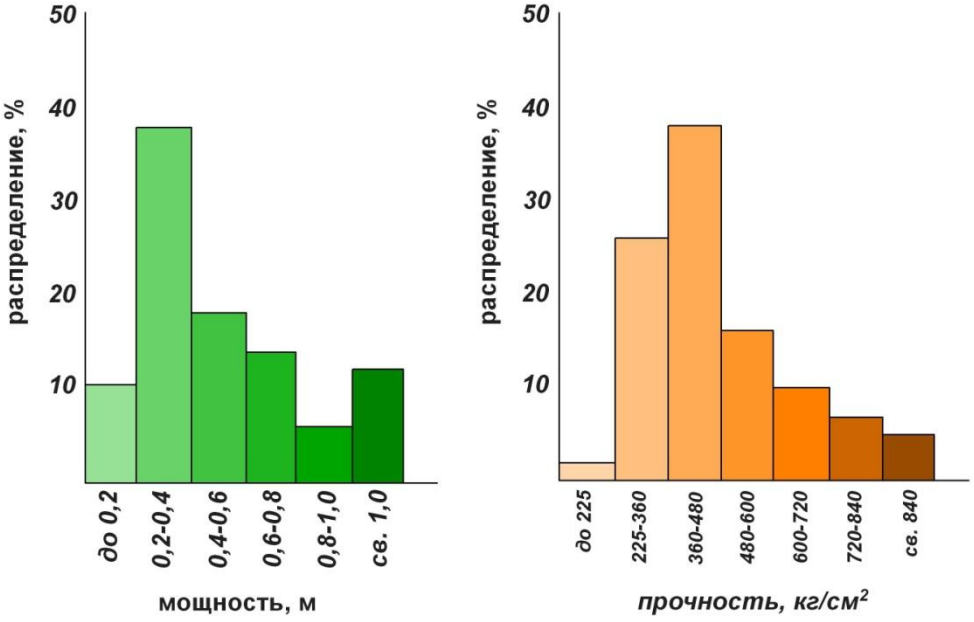


Рис. 1. Распределение крепких включений во вскрышной толще

На месторождениях выявлено несколько водоносных горизонтов, приуроченных к вскрышным породам и угольному пласту и существенно отличающиеся гидрогеологическими условиями. Верхний и нижний водоносные горизонты вскрышной толщи приурочены соответственно к четвертичным отложениям и надугольным породам и разделены слоями алевролитов с линзами песчаников мощностью от 30 до 70 м. Наиболее мощный и выдержанный водоносный горизонт приурочен к углям пласта Итатского. Основной поток горизонта формируется в пределах карьерного поля.

Подугольный водоносный горизонт представлен мощной толщей слабосцементированных песчаников с линзами и невыдержанными по площади слоями алевролитов. Обводненность угольного пласта Итатский определяется условиями его залегания, характеризующимися активным разуплотнением, значительной трещиноватостью, перекрытием на значительной площади обводненными песчано-галечниковыми отложениями, содержащими грунтовые воды, гидравлически связанные с поверхностными водами (в данном случае р. Урюп). Обводнению угольного пласта из подугольного водоносного горизонта

препятствуют слабопроницаемые алевролиты. Коэффициент фильтрации угольного водоносного горизонта является максимальным и составляет 37 м/сутки, верхних горизонтов – 2 - 45 м/сутки. Таким образом, при освоении рассматриваемых месторождений одним из определяющих факторов при выборе технологии их разработки, наряду с наличием во вскрышной толще крепких включений, является повышенная обводненность продуктивной толщи.

С учетом результатов научных исследований и опыта эксплуатации действующих разрезов бассейна (Березовский, Назаровский, Бородинский) наиболее эффективным способом осушения обводненных месторождений КАТЭКа признан подземный способ с сооружением дренажных шахт и сети подземных выработок [6]. Это обусловлено, прежде всего, низкой водопроницаемостью вскрышных пород. Коэффициент фильтрации надугольных песчаников, например, Урюпского месторождения составляет 0,55-3,66 м/сутки. Следует отметить, что подземный способ осушения является и наиболее затратным в его строительстве (до 15-20% общей сметной стоимости) и эксплуатации. Так, для осушения поля I очереди разреза «Березовский-1» была сооружена дренажная система в составе: вертикального ствола диаметром 6 м и глубиной 120 м, дренажных штреков по угольному пласту общей протяженностью 6600 м в объеме 88 тыс.куб.м, из которых пройдены горизонтальные и наклонные водопонижающие скважины общей длинной более 20000 м [7]. Опыт эксплуатации этой капиталоемкой системы свидетельствует о том, что, обеспечивая удовлетворительные результаты осушения угольного пласта, она оказалась недостаточно эффективной для осушения вскрышной толщи. Это, в свою очередь, усложняет ведение горных работ и эксплуатацию горнотранспортного оборудования (налипание и намерзание пород на рабочие органы, просадка грунта под механизмами).

В поисках альтернативных решений по разработке месторождений со специфическими горно-геологическими условиями в работе приводится предлагаемая авторами технология разработки обводненных угольных месторождений с пластами большой единичной мощности без предварительного

осушения продуктивной толщи, предусматривающая: селективную выемку вскрышных пород средствами гидромеханизации, угольного пласта – роторными и цепными экскаваторами; формирование в выработанном карьерном пространстве технологического водоема (с подтоплением части угольного пласта) и гидроотвала вскрышных пород (рис.2).

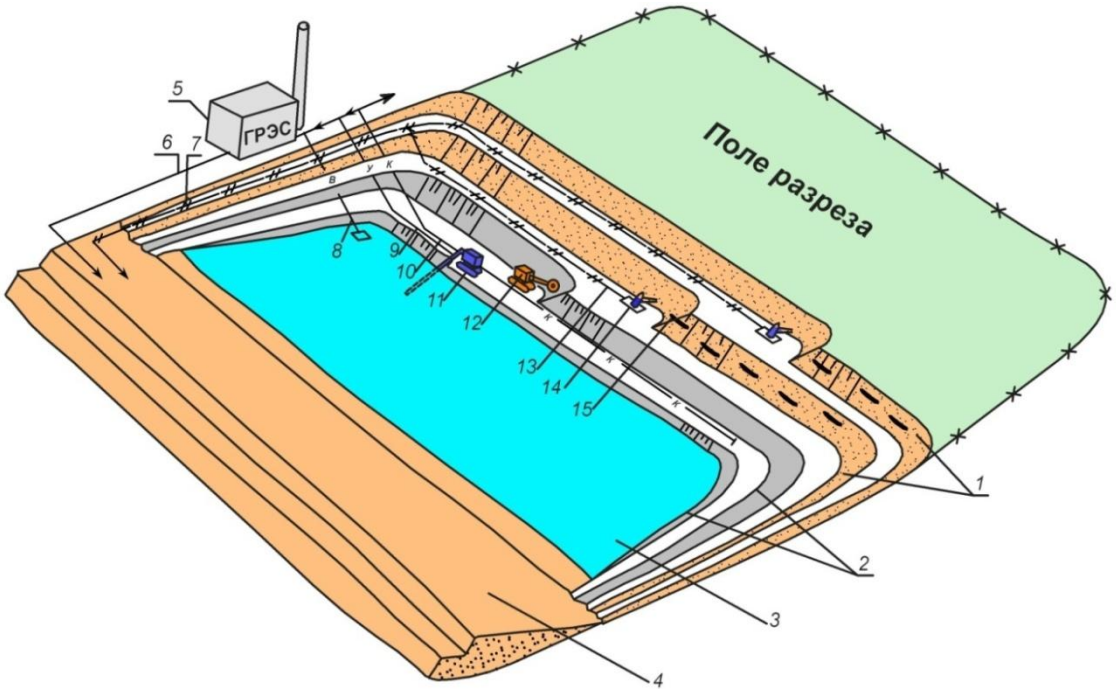


Рис.2. Принципиальная схема разработки Урюпского месторождения

1,2 – вскрышные и добычные уступы, 3 – технологический водоем, 4 – отвал вскрышных пород, 5 – ГРЭС, 6 – шлакопровод, 7 – магистральный пульпопровод, 8 – водовод, 9 – углепровод, 10 – ленточный конвейер, 11 – цепной экскаватор, 12 – роторный экскаватор, 13 – забойный пульпопровод, 14 – гидромонитор, 15 – крепкие породные включения

Наличие технологического водоема создает благоприятные условия для применения на вскрышных породах средств гидромеханизации и размещения в выработанном карьерном пространстве породного гидроотвала. Кроме того, в случае размещения на борту разреза электростанции с угольной генерацией, как это предусматривалось программой формирования КАТЭКа [5], технологический водоем может использоваться в качестве пруда-охладителя без сооружения аналогичного специального гидротехнического объекта с соответствующей экономией денежных средств и земельных площадей, снижением техногенной нагрузки на окружающую природную среду.

С учетом сложности разработки массива вскрышных пород с твердыми включениями техникой непрерывного действия, что выявила эксплуатация

роторных экскаваторов на разрезе «Березовский-1», в данном варианте отработка вскрышных уступов предусматривается гидромеханизированным способом со складированием вскрышных пород в гидроотвале, размещаемом в выработанном пространстве разреза. Для повышения производительности и надежности технологической схемы перед гидромеханизированной выемкой вскрышных пород рассматривается вариант их предварительного рыхления экскаватором-драглайном с селективной выемкой или оконтуриванием крепких породных включений. Отработка верхнего угольного уступа предполагается по традиционной схеме роторными экскаваторами в комплексе с ленточными конвейерами, нижнего (подтопленного) – цепными экскаваторами с нижним черпанием. Выемка угля на нижнем уступе может производиться сезонно или круглогодично (с проведением, при необходимости, специальных мероприятий в зимнее время). Высота угольных уступов определяется мощностью пласта, режимом ведения горных работ, емкостью технологического водоема и параметрами выемочного оборудования.

Целесообразность применения гидромониторной разработки массива вскрышных пород на рассматриваемых месторождениях обусловлена следующими факторами: возможность селективной выемки полезных компонентов (сидеритовых включений); обеспеченность необходимыми для гидромеханизации водными ресурсами (за счет технологического водоема); использование выработанного карьерного пространства для организации гидроотвала вскрышных пород; высокая производительность и низкая себестоимость выемки вскрышных пород. На рис.3 приведены зависимости удельных затрат на выемку вскрышных пород с крепкими включениями от их содержания и мощности (в качестве базовой приняты затраты по роторным экскаваторам, в долях процента). Приведенные на рисунке зависимости свидетельствуют о том, что наименьшие затраты на выемку вскрышных пород месторождений КАТЭКа может обеспечить использование средств гидромеханизации. Средства гидромеханизации позволяют наиболее эффективно вести селективную выемку крепких включений.

Из опыта применения гидромеханизации в различных отраслях промышленности известно, что этот способ разработки массивов горных пород обладает рядом преимуществ, среди которых – поточность выполнения технологических процессов, простота конструкций, небольшие массы и габариты используемых машин и аппаратов, высокая производительность труда, относительно небольшие капитальные и эксплуатационные затраты на производство горных работ, экологичность и безопасность производственных процессов [8]. Как показывает практика, в условиях, пригодных для применения гидромеханизации, производительность труда при гидромониторной разработке в 2-2,5 раза выше, а себестоимость в 1,5-2 раза ниже, чем при экскаваторной выемке пород и транспортировке их автомобильным транспортом.

Результаты научных исследований и большой опыт гидромеханизированной разработки массивов горных пород свидетельствуют о том, что применение этого способа на месторождениях Канско-Ачинского бассейна позволит осуществить селективную выемку основного объема вскрышных пород и крепких включений, исключив, таким образом, недостатки технологии с использованием роторных экскаваторов.

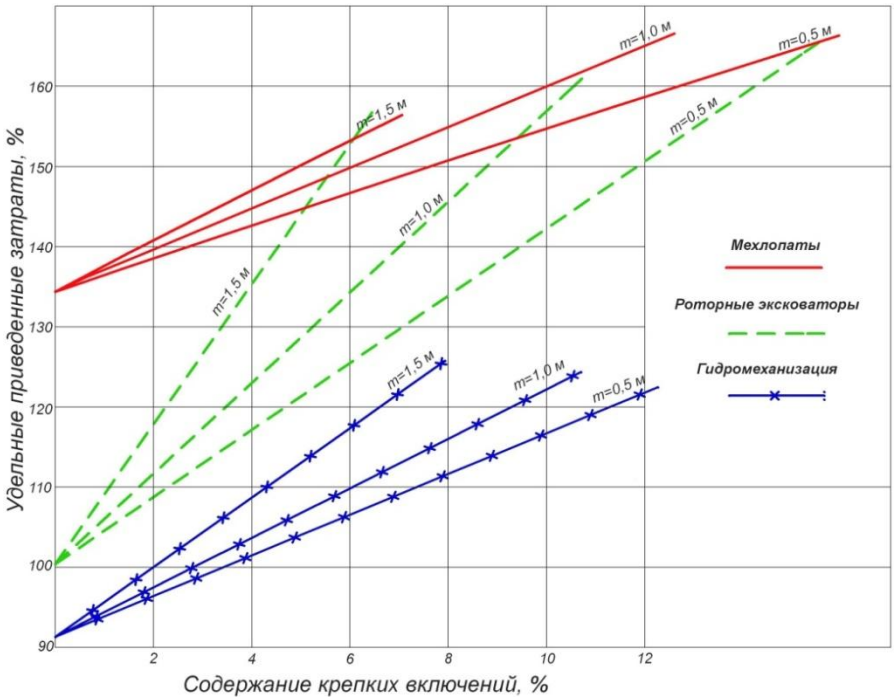


Рис.3. Зависимость удельных затрат на выемку вскрышных пород с крепкими включениями от их содержания и мощности

Выводы:

1. В соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2035г.» обеспечение растущей потребности народного хозяйства в угле предусматривается за счет преимущественного развития открытого способа его добычи, как наиболее эффективного и безопасного в сравнении с подземной угледобычей. При этом ведущее значение сохраниться за Кузнецким и Канско-Ачинским угольными бассейнами.

2. Ряд месторождений Канско-Ачинского бассейна, обладающих значительными разведанными запасами угля и благоприятными горно-геологическими условиями их залегания, имеют специфические особенности, требующие нетрадиционных технологических решений, при их разработке: наличие в основной массе сравнительно слабых вскрышных пород крепких породных включений; большая обводненность месторождений.

3. В качестве альтернативного варианта разработки вскрышных массивов с крепкими включениями предлагается применение, вместо экскаваторов, средств гидромеханизации для селективной выемки пород.

Список литературы

1. Об основных направлениях государственной политики развития угольной отрасли и повышения конкурентоспособности ее продукции на внутреннем и внешнем рынках. Доклад государственного Совета РФ. – Уголь. – 2002. - №10.

2. Энергетическая стратегия России на период до 2020 г. – Москва, 2003.

3. Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. – Москва, 2014.

4. Ческидов В.И. К вопросу использования потенциала открытой добычи угля в восточных регионах России // ФТРПИ. – 2007. - №4.

5. Разработать технологию применения комплексов машин непрерывного действия на разрезе “Урюпский-1”. Отчет по теме 1101/040000-052. УкрНИИпроект. – Киев. – 1978.

6. Технико-экономическое обоснование строительства разреза «Урюпский» п.о. «Красноярскуголь». – Сибгирошахт, 1985.

7. Пересмотр технического проекта разреза «Березовский-1» п.о. «Красноярскуголь» (I очередь строительства разреза). – Т. IIIА, кН. 2. Дренаж и водоотлив. - Сибгирошахт, 1986.

8. Нурок Г.А., Ялтанец И.М. Технология гидровскрышных работ на карьерах. М. – 1975.

Сведения об авторах:

Бобыльский Артем Сергеевич, м.н.с., тел. 8(383)217-36-38, e-mail a-sb@list.ru

Резник Александр Владиславович, м.н.с., тел. 8(383)217-36-38, e-mail a-reznik@mail.ru.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 630091 г. Новосибирск, Красный проспект 54

УДК 622.17

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Бовдуй М.О. , Аргимбаев К.Р.

В Российской Федерации около 40% хвостохранилищ находятся в эксплуатации горно-обогатительными комбинатами. Разработка их механизированным способом невозможна по причине обильного водопритока, нарушения устойчивости дамбы, возможности её прорыва. Решение задачи по разработке действующих хвостохранилищ позволит повысить конкурентоспособность предприятия, снизить себестоимость железорудного концентрата. Отходы горного и обогатительного производства являются потенциальными полезными ископаемыми, но разработка хвостохранилищ ограничена сложными горнотехническими и гидрогеологическими условиями их залегания.

На сегодняшний день известен способ разработки, подходящий для «обводненных» хвостохранилищ, с помощью земснаряда.

Сущность этого способа заключается в том, что выемку лежалых хвостов производят земснарядом, разделяя их на крупную и мелкую фракцию в

гидроциклоне. Складирование различных фракций осуществляют с помощью гидротранспорта, обезвоживание происходит в картах намыва, отгрузку обезвоженных мелких фракций осуществляют экскаватором в автотранспорт.

К недостаткам такого способа разработки «обводненных» хвостохранилищ можно отнести: валовую выемку хвостов из хвостохранилища, при которой извлекаются кондиционный и некондиционный песок, большие энергозатраты, связанные с разработкой «обводненного» хвостохранилища, быстрый износ и большое количество оборудования, связанного с разработкой, зависимость от времени года.

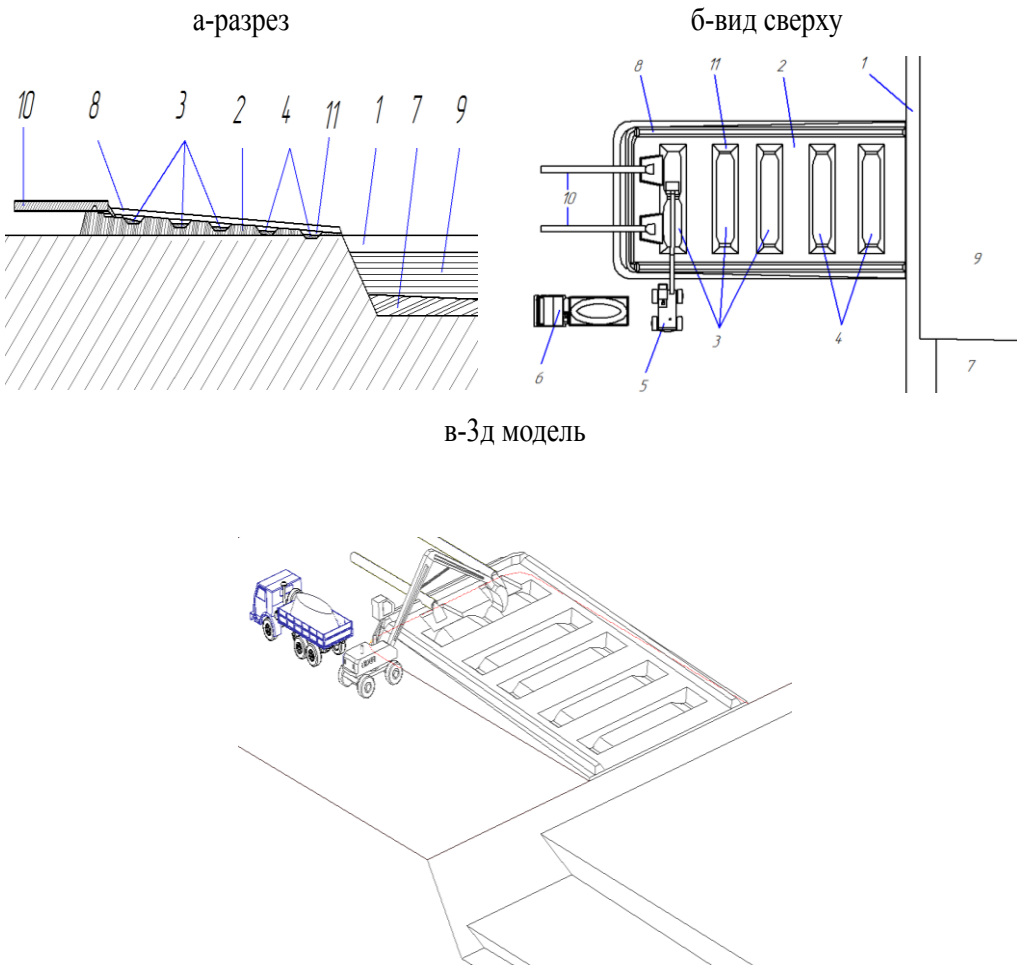


Рис. 1. Способ разработки действующего хвостохранилища: 1- действующее хвостохранилище овражного типа; 2- система осадительных траншей; 3- тяжелая «богатая» фракция хвостов; 4- хвосты со среднем содержанием полезного компонента; 5- выемочно-погрузочное оборудование («обратная лопата» Fuchs); 6- автотранспорт; 7- некондиционные хвосты с малым содержанием полезного компонента; 8- оградительная насыпь; 9- вода; 10- выпуск пульпы; 11- железобетонные «лотки».

Разработка действующего хвостохранилища (рисунок 1) включает в себя

разделение хвостов на фракции и отгрузку их экскаватором типа обратная лопата из железобетонных осадительных лотков в автотранспорт. Транспортирование только кондиционных песков позволяет в значительной степени снизить затраты на обогащение.

Эффективность этого способа была изучена с помощью кластерного анализа, который является одним из важнейших результатов исследований инженерно-геологического районирования в системе осадительных траншей.

Целью районирования является выделение зон (участков), имеющих по всей площади одинаковые или близкие свойства или закономерности их изменения. Например, для хвостохранилищ это могут быть: несущая способность, гранулярный состав, содержание ценного компонента в хвостах. Все это нужно учитывать для разработки технологии и способов использования этих участков как техногенных месторождений.

Современные методы районирования в основном базируются на принципе «последовательного сгущения». В этом случае при разбиении всей площади намывного участка на зоны каждая граница определяется отдельно, независимо от других. Практически находится такая точка, значение параметра районирования в которой принимает либо заранее оговоренное значение, либо некоторое критическое (максимум, минимум на рассматриваемом отрезке самого критерия или скорости его изменения).

В случае, когда исследование ведется одновременно (считаем, что некоторая часть исследований была произведена в один и тот же промежуток времени), уместно производить моделирование намывного участка или же пространственной изменчивости некоторых его параметров. В этом случае определение границ принципиальных зон в наклонной системе осадительных траншей будет сводиться к итерационной модели. Каждая следующая последовательность действий состоит из добавления новых точек изъятия проб из железобетонных лотков и анализа полученных данных, на основании которого будет приниматься решение: при достижении требуемой погрешности следует остановка исследований или их продолжение.

Важно отметить, что все алгоритмы кластеризации подчиняются гипотезе компактности, т.е. в используемом базисном пространстве объекты, принадлежащие одному и тому же классу, максимально близки между собой, а объекты, принадлежащие разным классам, хорошо отделимы друг от друга.

Процесс разбиения на группы также может выполняться различными способами, однако наибольшее распространение получили итерационные процедуры, которые позволяют найти наилучшее разбиение, ориентируясь на заданный критерий оптимизации.

При проведении исследований на участках системы осадительных траншей важным фактором является определение пространственных и временных зависимостей изменения наблюдаемых параметров. Это позволяет значительно сократить объем изысканий. Существенным отличием техногенных участков системы осадительных траншей от естественных является тот факт, что большинство характеристик техногенного участка изменяется функционально, а не скачкообразно. Зная технологию намыва и свойства намывного материала можно с высокой степенью достоверности прогнозировать и пространственную, и временную изменчивость участка в системе осадительных траншей.

В процессе намыва происходит фракционирование осажденной пульпы по гранулярному составу, а также разделение ее на зоны с различным минеральным составом. Как фракционирование, так и разделение на зоны по минеральному составу происходит в результате того, что частицы горной массы имеют различную гидравлическую крупность. При выпуске пульпы в наклонную систему осадительных траншей частица наряду с сохранением движения по оси потока начинает падать под воздействием силы гравитации (рисунок 2).

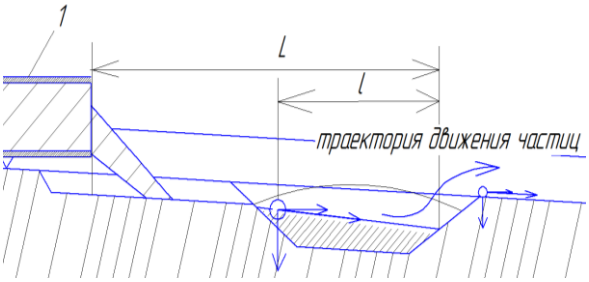


Рис.-2. Осаждение частиц породы: *1*- пульповод; *L,l* -путь осаждения

Таким образом, изменчивость по фронту намыва подавляющего большинства параметров массива будет иметь степенную зависимость. При этом большое влияние на длину пути осаждения влияют форма, степень обтекаемости частицы, общая экспоненциальная зависимость сохранится.

Итак, частица, обладающая разным объемным весом, может преодолеть разное расстояние, на которую также может влиять и угол наклона самой системы осадительных траншей.

Список литературы

1. Ческидов В.В. Обоснование сети мониторинга техногенных массивов с использованием принципов кластерного анализа / Ческидов В.В.// Проблема освоения недр в 21 в. Глазами молодых. – Москва, ИПКОН 2009.

2. Нурок Г.А. Технология и проектирование гидромеханизации горных работ. - М.: Недра, 1965.

3. Аргимбаев К.Р. Определение физико-механических свойств хвостов железосодержащих хвостохранилищ / Холодняков Г.А., Аргимбаев К.Р., Иконников Д.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень – Москва: Горная книга, 2011. - С. 93-98.

Сведения об авторах:
Бовдуй Майя Олеговна, студент, e-mail: m.bovduj@yandex.ru,
Аргимбаев Каербек Рафкатович, к.т.н., ассистент, e-mail: diamond-arg@mail.ru
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

УДК 622.502

КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ «КАРКАСНЫХ» ГЕОТЕХНОЛОГИЙ

Галченко Ю.П., Пацкевич П.Г.

Минеральное сырье, извлекаемое из недр Земли, является основой существования цивилизации, главной чертой которой является быстрое увеличение зависимости развития общества от освоения ресурсов литосферы. Мировое население увеличивается примерно на 2 % в год удваиваясь в среднем

каждые 35 лет, потребление товаров – на 4 % в год с удвоением каждые 17-18 лет, а добыча всех видов полезных ископаемых – в пересчете на каждого жителя Земли – на 10 % в год, с удвоением каждые 9-10 лет. Общее количество вещества литосферы, ежегодно извлекаемого из недр и вводимого в обращение на земной поверхности, уже превышает суммарную годовую биологическую продуктивность всех биомов суши [1]. При этом до 100 %, в зависимости от вида добываемого сырья, добытой горной массы остаётся в виде твёрдых отходов различного гранулометрического и химического состава с весьма неопределённой перспективой дальнейшего использования.

С другой стороны, вполне очевидно, что в обозримой перспективе, по мере исчерпания запасов наиболее богатых по качеству сырья, простых по строению и доступных по расположению и экономике месторождений, предметом освоения будут становиться всё более сложные геологические объекты с невысоким качеством извлекаемого сырья и труднодоступные по расположению относительно поверхности Земли. При этом не менее очевидно, что потребность нашей технократической цивилизации в минеральных и энергетических ресурсах литосферы будет возрастать всё более быстрыми темпами. То есть имеет место сложное комплексное противоречие уменьшающихся ресурсов литосферы и возможностей биосферы с нарастающим в количественном и качественном отношении давлением потребностей антропосферы.

Наиболее реальные возможности преодоления или разрешения этого системного противоречия связаны с развитием геотехнологий, применяемых для освоения ресурсов недр. Причём глобальный масштаб обозначенного противоречия требует, чтобы это развитие шло не по пути совершенствования и повышения эффективности отдельных технологических процессов, как это происходит в настоящее время, а затрагивало бы сами принципы построения горных технологий. В самом общем виде, эти принципы были сформулированы в работе [1], как гомеостатическая трансформация в техносферу законов функционирования биологических систем. Превращение этих законов в конкретные геотехнологические решения определяются особенностями строения,

условий разработки и морфологией месторождений и отдельных рудных тел.

Антропогенное вторжение в литосферу Земли, с целью извлечения полезных ископаемых, кардинально изменяет состояние огромных её участков. Образуется новый литосферный объект – техногенно изменённые недра.

Способы и закономерности формирования этого объекта не только определяют количественные, качественные и экономические показатели освоения недр, но и порождают детерминированный ряд геоэкологических последствий, затрагивающих состояние геосфер нашей планеты: литосферы, гидросферы, атмосферы, биосферы и антропосферы.

Состояние породного массива в структурной основе техногенно измененных недр – зоне техногенного разрушения – определяется особенностями процессов извлечения полезных ископаемых, то есть набором необходимых для этого действий. Для включения части ресурсов литосферы в хозяйственный оборот необходимо обеспечить доступ с земной поверхности к месту залегания полезного участка литосферы, придать его веществу подвижность и доставить это вещество на поверхность Земли.

Новое для вещества литосферы свойство – подвижность – может быть обеспечено в рамках применяемых геотехнологий либо дезинтеграцией вещества в заданном объёме (твердые полезные ископаемые), либо изменением его агрегатного состояния (например, выплавка серы), либо созданием условий для миграции полезного компонента – физических (нефть, газ, вода, тепло) или химических (выщелачивание металлов на месте залегания).

Рассмотрение геотехнологий, применяемых для подземной добычи минерального сырья (то есть формирования зоны техногенного разрушения), позволяет выделить одну общую для всех случаев особенность развития геотехнологических и геомеханических процессов – добыча полезного ископаемого в зоне техногенного разрушения литосферы и защита этой зоны от последствий геомеханического возмущения прилегающих участков литосферы всегда совмещены по времени. В связи с этим, очистная выемка неизбежно включает в себя необходимость выполнения дополнительных процессов,

обеспечивающих поддержание динамического равновесия всей геотехнической системы. Таким образом, при развитии геотехнологий всегда имеет место локальное противоречие между необходимостью и возможностью изменения геотехнологий при изменении условий разработки, преодоление которого является условием для дальнейшего развития подземной геотехнологии.

Согласно современным представлениям о литосфере, как сплошной среде с разномасштабными неоднородностями, избыточные напряжения на этих неоднородностях возникают лишь при конечной скорости деформирования твердого тела и со временем релаксируют. Скорость релаксации напряжений на неоднородности прямо пропорциональна величине напряжений и обратно пропорциональна размеру неоднородности. Чем больше размер неоднородности, тем выше напряжение на ней при заданной скорости деформации, и тем меньше скорость релаксационных процессов.

При формировании достаточно крупной неоднородности (отрабатываемого участка) условия воспроизводства устойчивых динамических структур в литосфере будут определяться релаксационными процессами на внешнем контуре неоднородности [3, 4]. Поэтому опережающее формирование этого контура открывает реальную возможность преодоления обозначенного выше локального противоречия за счёт того, что при формировании и развитии зоны техногенного разрушения процессы добычи полезного ископаемого и защиты от последствий геомеханических возмущений литосферы разделяются во времени. Опережающая надработка или подработка разрабатываемого массива снижает вертикальную составляющую напряжений в над- и подработанной частях массива. При этом участки, в которых уровень нормальных напряжений не превышает величину ($\sigma_{доп}$), определенную по условиям устойчивости обнажения (L), считаются разгруженными (или защищенными). Зону защиты отстраивают по углам защиты φ_1 и φ_2 (рис. 1).

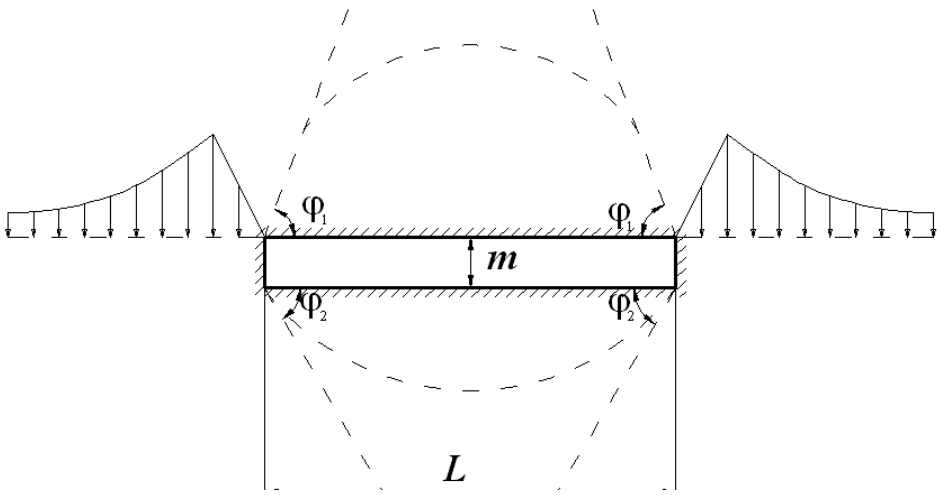


Рис. 1 – Влияние незаложенного защитного слоя на состояние различных частей массива горных пород

В надработанной части массива в этом случае наблюдаются деформации растяжения, а напряжения становятся намного меньше первоначальных (γH). Подработанную часть массива можно считать частично защищенной, так как в ней за счет формирования свода естественного равновесия возникают напряжения, пропорциональные параметрам этого свода [5, 6]. Нетрудно видеть, что углы защиты φ_1 и φ_2 соответствуют положению касательных, проведенных через точку пяты свода. При выемке рудного тела с закладкой с предварительной надработкой массива по кровле, где защитный слой образуется последовательным проведением выработок с закладкой, картина напряженно-деформированного состояния массива приобретает вид, показанный на рис. 2.

По мере удаления от передовой выработки защитного слоя размеры защищённой зоны уменьшаются пропорционально величине угла защиты φ_2, вследствие нарастающего влияния горизонтальной составляющей главных напряжений [6]. Поэтому опережающее возведение вертикального оконтуривающего целика по внешнему контуру защищаемой зоны адекватно перемещению границы этой зоны во внешнюю часть массива, что существенно упрощает геомеханические условия разработки основных запасов выемочного участка.

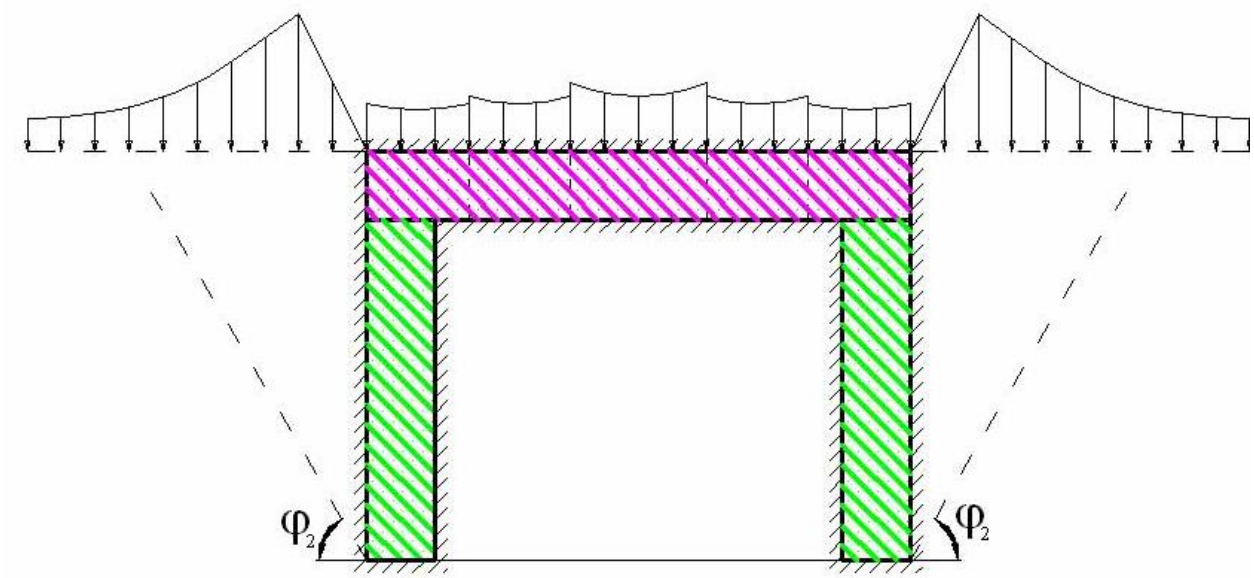
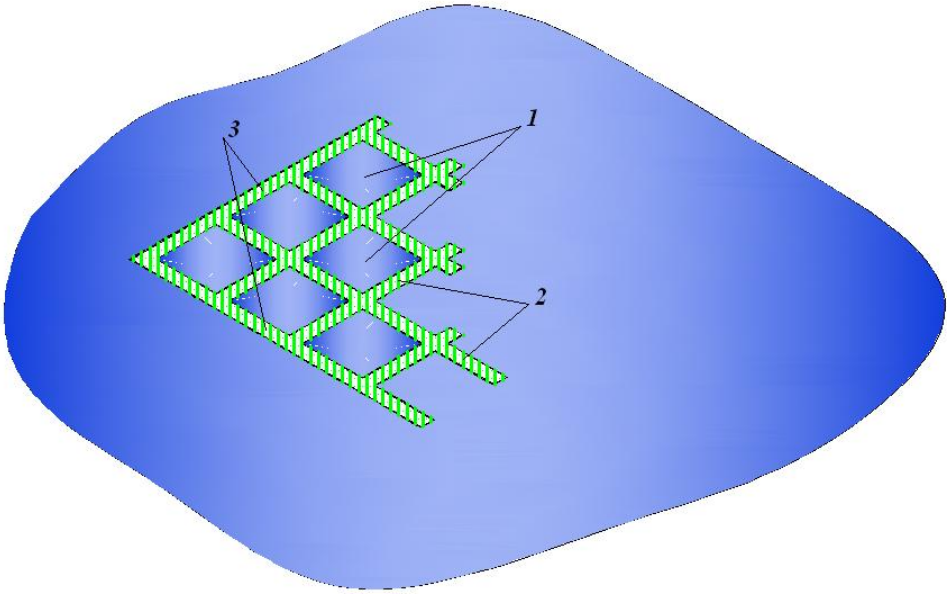


Рис. 2 –Формирование защищённой зоны при возведении оконтуривающих целиков

Таким образом, *геофизическая идея* предлагаемого подхода заключается в выделении зоны техногенного разрушения литосферы из общего поля геофизических изменений состояния массива за счёт разделения во времени процессов добычи полезного ископаемого и процессов преодоления последствий геомеханического возмущения прилежащих участков литосферы.

- При реализации этой идеи месторождение (или его часть) сначала разделяются на отрабатываемые участки путём отработки приконтурных запасов этих участков и возведения оконтуривающих искусственных массивов – верхнего и боковых (рис. 3). Ширина боковых оконтуривающих массивов может быть постоянной (при простом контакте рудного тела с вмещающими породами или при возведении массива в руде) или изменяющейся в сторону внешнего контура рудного тела (при сложной форме этого контура). Форма отрабатываемого участка в горизонтальном сечении может быть произвольной, в зависимости от реальной морфологии отрабатываемого рудного тела.

- Устойчивость оконтуривающих искусственных массивов на последующих стадиях отработки участка недр обеспечивается путём опережающего разделения общего пролёта подработки на локальные пролёты посредством возведения системы разделительных искусственных массивов. В результате в отрабатываемом участке литосферы возникает пространственная искусственная «каркасная» конструкция.



1 – выемочные единицы; 2 – разделительные искусственные массивы; 3 – оконтуривающие искусственные массивы

Рис. 3 – Стадия образования выемочных единиц

Выемка запасов для формирования «каркасной» конструкции возможна только с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. При рудах и породах средней, выше средней устойчивости и устойчивых целесообразно ориентироваться на системы разработки с отбойкой руды из подэтажных штреков или восстающих с последующей закладкой твердеющими смесями. Возможно применение системы с магазинированием руды и последующей закладкой выработанного пространства по окончании генерального выпуска руды. Если руды и породы недостаточно устойчивы, то возведение оконтуривающих и разделительных массивов производят путем выемки руды горизонтальными слоями (восходящими или нисходящими) с твердеющей закладкой.

Отработка основных запасов месторождения начинается после возведения системы оконтуривающих и разделительных массивов и набора закладкой заданной прочности. Образованные выемочные блоки могут быть отработаны с применением известных геотехнологий, выбор и параметры которых в каждом случае будут определяться горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки.

Геотехнологическая идея и очевидное преимущество предлагаемой

концепции заключается в том, что новые возможности повышения безопасности и производительности труда достигаются путём целенаправленной компоновки во времени и пространстве известных и проверенных горных технологий [7].

Экономическая эффективность предлагаемых решений обеспечивается за счёт функционально обоснованного сочетания дорогих и малозатратных геотехнологий, когда соотношение между ними определяется геомеханическими условиями.

Применение принципов построения «каркасной» геотехнологии открывает реальные перспективы для решения экологических проблем освоения месторождений:

- опережающее возведение несущей «каркасной» конструкции обеспечивает сохранность налегающей толщи пород и земной поверхности при последующей выемке основных запасов;
- ограждение зоны ведения добычных работ до их начала позволит максимально сохранить водоносные горизонты и защитить горные работы от их влияния;
- формирование выработанного пространства в виде системы искусственно оконтуренных полостей создаёт условия для размещения в них любых видов промышленных или бытовых отходов.

В целом «каркасные» геотехнологии создают возможность повышения экономической эффективности, промышленной и экологической безопасности подземной разработки месторождений за счёт освобождения геотехнологии отработки большей (основной) части запасов от необходимости выполнения непроизводительных работ по преодолению последствий развития геофизических возмущений в зоне перехода свойств техногенно изменённых недр путём превентивного создания системы искусственных горнотехнических конструкций, свойства и параметры которых определяются, в каждом случае, реальными особенностями развития геомеханических процессов.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. – М.: Научтехлитиздат, 2003. 260 с.

2. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Замесов Н.Ф., Куликов В.И., Родионов В.Н. Структура техногенно измененных недр // Вестник РАН. – 2002. – Т. 72, №11. С. 969-975.

3. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики. – М.: Недра, 1986. 286 с.

4. Родионов В.Н. Очерк геомеханики. М.: Научный мир, 1996. – 126 с.

5. Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Богданов Г.И. Разработка руд на больших глубинах. – М.: Недра, 1982. 292 с.

6. Викторов С.Д., Иофис М.А., Гончаров С.А. Сдвижение и разрушение горных пород. – М.: Наука, 2005. –277 с.

7. Галченко Ю.П., Айнбиндер И.И., Сабянин Г.В. Родионов Ю.И., Пацкевич П.Г. О новой концепции развития подземной геотехнологии // Горный журнал 2007. – № 1. – С. 7-10.

Сведения об авторах:
1. Галченко Юрий Павлович, профессор, д. техн. наук, вед.н.с., Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (ИПКОН РАН)
2. Пацкевич Петр Геннадьевич, канд. техн. наук, с.н.с., e-mail: Patskevich@outlook.com,
Организация – Институт проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (ИПКОН РАН), 111020, Москва, Крюковский тупик, 4, тел.:+7 (495) 360-1726, факс: +7 (495) 360-8960

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ИЗУЧЕНИИ РЕЖИМОВ БУРЕНИЯ ГИДРОФИЦИРОВАННЫХ РАЗВЕДОЧНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК И РЕГУЛИРОВАНИЯ ИХ ПАРАМЕТРОВ

Завацки С., Куликов В.В.

Результаты бурения геологоразведочных и эксплуатационных скважин с отбором кернового материала являются одним из основных источников

информации о горных породах и условиях их залегания. При этом предъявляются высокие требования к качеству бурения и кернового опробования скважин, к информативности и достоверности данных о полезных ископаемых. В современных условиях растёт необходимость разведки и разработки месторождений и их участков на больших глубинах, часто в осложнённых геологических условиях, характеризующихся как высокой твёрдостью монолитных интервалов, так и перемежаемостью механических свойств переслаиваемых горных пород, а также трещиноватостью, раздробленностью, кавернообразованием и, как следствие, недостаточным для качественного опробования выходом керна. В настоящее время разрабатываются и внедряются в практику производства буровых работ новые конструкции алмазных, твёрдосплавных и алмазно-твёрдосплавных породоразрушающих инструментов и новые технологии эффективного высокопроизводительного бурения. Всё чаще с целью уменьшения финансовых затрат на процесс бурения и получения более качественных результатов применяются горизонтальное и субгоризонтальное бурение, бурение скважин кустовым способом, направленное бурение и бурение восстающих скважин. В результате применения новых высокотехнологичных материалов и современных технологий и, как следствие, возникающих высоких энергетических и других затрат на производство породоразрушающих инструментов, стоимость последних непрерывно повышается.

В результате перечисленных факторов существенно возрастают требования, предъявляемые к точности управления процессом углубки скважины, стойкости породоразрушающего инструмента и производительности бурения. Это вызывает необходимость проведения научных исследований базовых характеристик существующих конструкций механизмов подачи буровых установок с целью выявления их преимуществ и недостатков, формулирования более жёстких требований к механизмам и технологии углубки скважин, а также разработки, конструирования и практической реализации эффективных технических средств и технологий управления процессом углубки скважин.

Наибольшее распространение среди буровых установок, предназначенных

для колонкового и бескернового бурения скважин на твёрдые полезные ископаемые, получили гидрофицированные установки, оснащённые механизмами подачи бурового инструмента с объёмным гидроприводом [1 – 6] исполнительных узлов. Остановимся на схеме объёмного гидропривода с параллельным гидроцилиндрам подключением дросселя механизма подачи бурового станка, как одной из основных схем [5; 7], применяемых при бурении скважин на современных буровых установках.

В результате анализа работы механизма подачи по зависимостям, рекомендованным в работе [3], было получено следующее уравнение [5 – 6]:

$$C_{ос} = \rho \cdot f_{в} \cdot (Q_{нт} \cdot \eta_{но} - h_{поб} \cdot n \cdot f_{в} \cdot m / \eta_{до})^2 / (2 \cdot \mu_1^2 \cdot f_1^2) + G_{ос} - P_{н} \cdot f_{н} \cdot m \cdot \eta_{дг} \cdot \eta_{дм}, \quad (1)$$

где $C_{ос}$ – осевое усилие на породоразрушающий инструмент; ρ – плотность рабочей жидкости (масла) в гидросистеме механизма подачи буровой установки; $f_{в}$ – разница площадей поперечных сечений поршня и штока поршня; $Q_{нт}$ – теоретическое значение объёмной подачи маслонасоса гидросистемы установки; $\eta_{но}$ – объёмный коэффициент полезного действия маслонасоса, учитывающий утечки рабочей жидкости в маслонасосе, для поршневых маслонасосов рекомендуется [2] принять $\eta_{но} \approx 0{,}98 - 0{,}99$; $h_{поб}$ – величина подачи бурового инструмента за один его оборот вокруг своей оси; n – частота вращения бурового инструмента; m – число параллельно работающих гидроцилиндров в механизме подачи буровой установки, как правило, $m = 2$; $\eta_{до}$–объёмный коэффициент полезного действия гидродвигателя, учитывающий утечки рабочей жидкости в гидродвигателе, для поршневых гидродвигателей рекомендуется [2] принять $\eta_{до} \approx 0{,}98 - 0{,}99$; μ_1 – коэффициент расхода жидкости через дроссель: $\mu_1 = 0{,}75 - 0{,}8$ для игольчатых дросселей, $\mu_1 = 0{,}64 - 0{,}7$ для щелевых дросселей [5]; f_1 – площадь поперечного сечения проходного отверстия дросселя; $G_{ос}$ – осевая составляющая веса бурового снаряда и узлов бурового станка, участвующих вместе со снарядом в создании осевого усилия, действующего на породоразрушающий инструмент (траверса, верхний гидравлический патрон и др.) в процессе углубки скважины, т.е. с учётом сил трения труб о стенки скважины и потока промывочной жидкости о поверхность бурового снаряда, а также силы давления гидроподпора в буровом сальнике; $P_{н}$ – избыточное давление в нижних полостях гидроцилиндров механизма подачи; $f_{н}$ – площадь поперечного сечения гидроцилиндра; $\eta_{дг}$ – гидравлический коэффициент полезного действия гидродвигателя (учитывает потерю давления в работающем гидродвигателе), для поршневых гидродвигателей рекомендуется [2] принять $\eta_{дг} \approx 1$; $\eta_{дм}$ – механический коэффициент полезного действия гидродвигателя (учитывает потерю энергии на преодоление сил сопротивления в механических узлах работающего гидродвигателя), для поршневых гидродвигателей рекомендуется [2] принять $\eta_{дм} \approx 0{,}85 - 0{,}95$.

$$h_{об} = \upsilon_{п} / n, \quad (2)$$

где $\upsilon_{п}$ – скорость подачи бурового инструмента.

$$\upsilon_{п} \approx \upsilon_{м},\ h_{поб} \approx h_{об}, \quad (3)$$

т.е. скорость подачи $\upsilon_{п}$ можно принять приблизительно равной

механической скорости бурения $\upsilon_м$, а подачу бурового инструмента $h_{поб}$ – углубке скважины за один оборот инструмента вокруг своей оси $h_{об}$.

Полученная зависимость (1) позволяет проанализировать взаимосвязь параметров режима бурения скважин, реализуемых при бурении с гидравлическим механизмом подачи буровой установки.

В отличие от известных подобных решений, полученная зависимость (1) учитывает в явном виде, во-первых, величину углубки породоразрушающего инструмента за один его оборот вокруг своей оси $h_{1об}$ и, во-вторых, подачу маслонасоса $Q_{нт}$ и его КПД $\eta_{но}$, а также КПД гидродвигателя – $\eta_{дг}$ и $\eta_{дм}$.

Анализ зависимости (1) показывает, что гидравлический механизм подачи с гидравлическим дросселем, подключенным параллельно гидродвигателю, обеспечивает приблизительное постоянство величины осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент $C_{ос} \approx idem$ в различных геологических разрезах только при соблюдении условия

$$(Q_{нт} \cdot \eta_{но} - h_{1об} \cdot n \cdot f_в \cdot m / \eta_{до}) \approx idem, \qquad (4)$$

выполнимого (если $Q_{нт} \approx idem$ и $n \approx idem$, а $h_{1об} \neq idem$) при

$$(Q_{нт} \cdot \eta_{но}) >> (h_{1об} \cdot n \cdot f_в \cdot m / \eta_{до}), \qquad (5)$$

т.е. при бурении в наиболее твёрдых и прочных горных породах, в которых $(h_{п1об} \approx h_{1об}) \to 0$ и $(\upsilon_{пм} \approx \upsilon_м) \to 0$.

Гидравлический механизм подачи с дросселем, подключенным параллельно гидродвигателю, обеспечивает приблизительное постоянство величины осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент $C_{ос} \approx idem$ в различных геологических разрезах только при соблюдении условия

$$(Q_{нт} \cdot \eta_{но} - h_{поб} \cdot n \cdot f_в \cdot m / \eta_{до}) \approx idem, \qquad (6)$$

что выполнимо при

$$Q_{нт} \cdot \eta_{но} >> h_{поб} \cdot n \cdot f_в \cdot m / \eta_{до}, \qquad (7)$$

т.е. при бурении в наиболее твёрдых и прочных горных породах, в которых $(h_{поб} \approx h_{об}) \to 0$ и $(\upsilon_п \approx \upsilon_м) \to 0$. При бурении в породах невысоких категорий по

буримости $C_{ос} \neq idem$.

Под характеристикой гидравлического механизма подачи рекомендуется понимать зависимость изменения скорости перемещения выходного звена гидродвигателя во времени при переменной буримости горных пород:

$$\upsilon_{пм} = f(\tau), \qquad (8)$$

где τ – время углубки скважины.

Характеристикой гидравлического механизма подачи является функциональная зависимость осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент от величины среднего значения его углубки за один его оборот вокруг своей оси при постоянной и (или) переменной буримости горных пород:

$$C_{ос} = f(h_{1об}). \qquad (9)$$

Расчёты по уравнению (1) для построения рис. 1 выполнялись применительно к буровому станку СКБ-5, техническая характеристика гидросистемы которого представлена в работе [7]: $D_п$ = 105 мм = 0,105 м; $d_ш$ = 50 мм = 0,05 м.

В соответствии с уравнениями:

$f_в = f_п - f_ш = (\pi/4) \cdot (D_п^2 - d_ш^2) = (\pi/4) \cdot (0{,}105^2 - 0{,}05^2) = 6{,}7 \cdot 10^{-3}$ м^2,
$f_н = f_п = (\pi/4) \cdot D_п^2 = (\pi/4) \cdot 0{,}105^2 = 8{,}66 \cdot 10^{-3}$ м^2,
$f_1 = \pi \cdot d_{э1}^2 / 4$.

Тогда функциональная зависимость (1) примет вид:

$$C_{ос} = 850 \cdot 6{,}7 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}98 - h_{1об} \cdot 14 \cdot 6{,}7 \cdot 10^{-3} \cdot 2 / 0{,}98)^2 / (2 \cdot 0{,}76^2 \cdot f_1^2) + 6200 - 4 \cdot 10^5 \cdot 8{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0{,}9.$$

Анализ функциональной зависимости (9), представленной на рис. 1, применительно к гидравлическому дросселю, подключенному параллельно гидродвигателю и работающему по зависимости, показывает, что рост углубки за один оборот $h_{1об}$, вызванный уменьшением сил сопротивления внедрению породоразрушающего инструмента в горную породу (т.е. снижением категории пород по буримости) сопровождается снижением осевой нагрузки $C_{ос}$. Справедливо и обратное: чем меньше величина углубки $h_{1об}$, тем выше усилие прижатия породоразрушающего инструмента к забою скважины.

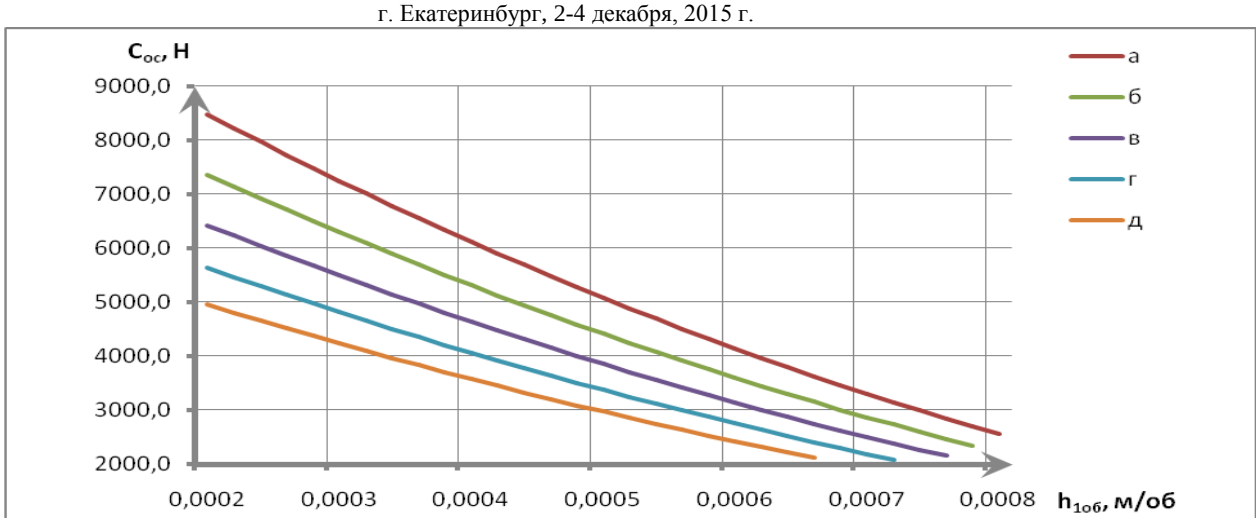


Рис. 1. Зависимость осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент $C_{ос}$ от величины углубки породоразрушающего инструмента за его 1 оборот вокруг своей оси $h_{1об}$ при различных эквивалентных диаметрах проходного отверстия гидравлического дросселя $d_{э1}$ и ρ = 850 кг/м^3; $\eta_{но}$ = 0,98; n = 840 об/мин = 14 об/с; m = 2; $\eta_{до}$ = 0,98; μ_1 = 0,76; $G_{ос}$ = 3 ·10^4 Н; $P_н$ = 2 ат = 2 · 10^5 Па; $\eta_{дг}$ = 1; $\eta_{дм}$ = 0,9; для бурового станка СКБ-5 [7]: $Q_{нт}$ = 18 л/мин = 3,0 · 10^{-4} м^3/с; $D_п$ = 105 мм = 0,105 м; $d_ш$ = 50 мм = 0,05 м;

а: $d_{э1}$ = 2,8 мм = 2,8 · 10^{-3} м;

б: $d_{э1}$ = 2,9 мм = 2,9 ·10^{-3} м;

в: $d_{э1}$ = 3,0 мм = 3,0 ·10^{-3} м;

г: $d_{э1}$ = 3,1 мм = 3,1 ·10^{-3} м;

д: $d_{э1}$ = 3,2 мм = 3,2 ·10^{-3} м.

Для анализа степени стабильности изменения величины осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент $C_{ос}$ в зависимости от изменения его углубки за один оборот вокруг своей оси $h_{1об}$ при бурении в породах различных категорий по буримости продифференцируем выражение (1), принимая все величины, кроме $C_{ос}$ и $h_{1об}$ неизменными. В результате получим:

$$\partial C_{ос} / \partial h_{1об} = \rho \cdot f_в^2 \cdot n \cdot m \cdot (f_в \cdot n \cdot m \cdot h_{1об} / \eta_{до} - Q_{нт} \cdot \eta_{но}) / (\mu_1^2 \cdot f_1^2 \cdot \eta_{до}). \quad (10)$$

Анализ зависимости (10), график которой представлен на рис. 2, показывает, что интенсивность (скорость) изменения осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент $\partial C_{ос} / \partial h_{1об}$ при увеличении углубки за один оборот $h_{1об}$ также увеличивается.

В результате дифференцирования уравнения, имеем:

$$\partial h_{1об} / \partial C_{ос} = (B_1^2 - 4 \cdot A_1 \cdot (F_1 - C_{ос}))^{0,5}. \quad (11)$$

Рассмотрим принципиальную схему последовательного по отношению к

гидроцилиндру (гидродвигателю) подключения гидравлического дросселя механизма подачи и параллельного – напорного золотника (дросселирующего клапана), как одну из возможных схем [7], реализованную, в частности, в механизме подачи буровой установки УКБ-3 [7].

Зависимость объёмного расхода рабочей жидкости $Q_{нз}$, протекающей через напорный золотник любой конструкции, от потери давления в нём, в соответствии с работой [6] рекомендуется определять по формуле истечения жидкости через малое отверстие в тонкой стенке, идентичной зависимости (1):

$$Q_{нз} = \mu_{нз} \cdot f_{нз} \cdot (2 \cdot P_{нз} / \rho)^{0,5}, \qquad (12)$$

где $Q_{нз}$ – объёмный расход рабочей жидкости, протекающей через напорный золотник, подключенный параллельно гидродвигателю; $\mu_{нз}$ – коэффициент расхода напорного золотника, подключенного параллельно гидродвигателю; $f_{нз}$ – площадь проходного отверстия напорного золотника, подключенном параллельно гидродвигателю; $P_{нз}$ – потеря давления в напорном золотнике, подключенном параллельно гидродвигателю; ρ – плотность рабочей жидкости гидропривода.

По аналогии:

$$f_{нз} = \pi \cdot d_{энз}^{2} / 4, \qquad (13)$$

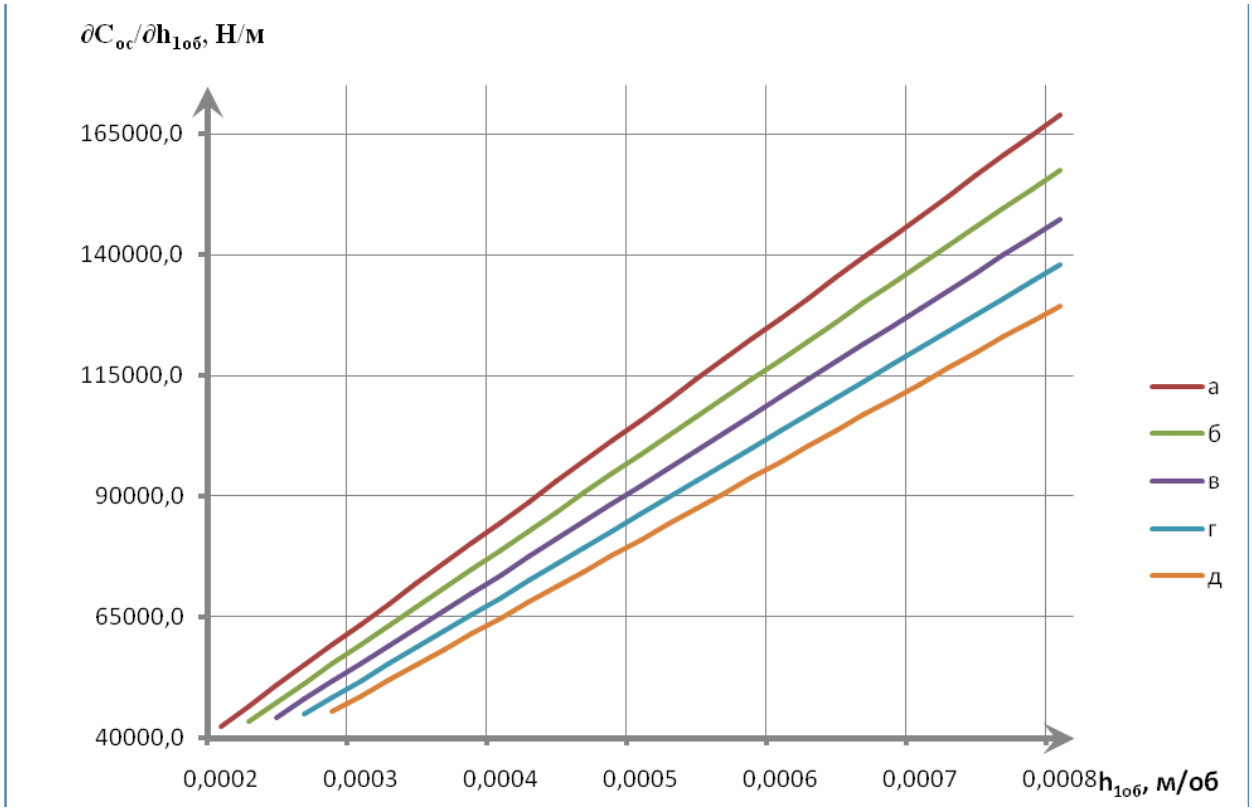


Рис. 2. Интенсивность изменения осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент

$C_{ос}$ при изменении его углубки за 1 оборот вокруг своей оси в процессе работы механизма подачи бурового станка СКБ-5 при различных эквивалентных диаметрах проходного отверстия гидравлического дросселя

$d_{э1}$и ρ = 850 кг/м^3; $\eta_{но}$ = 0,98; n = 840 об/мин = 14 об/с; m = 2; $\eta_{до}$ = 0,98; μ_1 = 0,76; $\eta_{дг}$ = 1; $\eta_{дм}$ = 0,9; для бурового станка СКБ-5 [7]: $Q_{нт}$ = 18 л/мин = 3,0 · 10^{-4} м^3/с; $D_п$ = 105 мм = 0,105 м; $d_ш$ = 50 мм = 0,05 м;

а: $d_{э1}$ = 2,8 мм = 2,8 · 10^{-3} м;

б: $d_{э1}$ = 2,9 мм = 2,9 ·10^{-3} м;

в: $d_{э1}$ = 3,0 мм = 3,0 ·10^{-3} м;

г: $d_{э1}$ = 3,1 мм = 3,1 ·10^{-3} м;

д: $d_{э1}$ = 3,2 мм = 3,2 ·10^{-3} м.

где $d_{энз}$ – эквивалентный диаметр проходного отверстия напорного золотника, подключенного параллельно гидродвигателю.

Рассуждая так же, как и для схемы с параллельным подключением гидравлического дросселя, но относя полученные выше промежуточные решения к напорному золотнику, имеем:

$$C_{ос} = G_{ос} + G_{п2}, \quad (14)$$

где $G_{п2}$ – усилие, сообщаемое буровому снаряду механизмом подачи при последовательном гидроцилиндру (гидродвигателю) подключении гидравлического дросселя.

В соответствии:

$$G_{п2} = (P_в \cdot f_в - P_н \cdot f_н) \cdot m \cdot \eta_{дг} \cdot \eta_{дм}, \quad (15)$$

$$P_в = P_{нз} = \rho \cdot Q_{нз}^2 / (2 \cdot \mu_{нз}^2 \cdot f_{нз}^2). \quad (16)$$

$$P_н = P_{др} = \rho \cdot Q_{др}^2 / (2 \cdot \mu_{др}^2 \cdot f_{др}^2), \quad (17)$$

или

$$P_2 = \rho \cdot Q_2^2 / (2 \cdot \mu_2^2 \cdot f_2^2), \quad (18)$$

где P_2 – потеря давления в гидравлическом дросселе, подключенном последовательно гидродвигателю; Q_2 – объёмный расход жидкости через гидравлический дроссель, подключенный последовательно гидродвигателю; μ_2 – коэффициент расхода рабочей жидкости через гидравлический дроссель, подключенный последовательно гидродвигателю; f_2 – площадь поперечного сечения проходного отверстия гидравлического дросселя, подключенного последовательно гидродвигателю.

По формуле имеем:

$$f_2 = \pi \cdot d_{э2}^2 / 4, \quad (19)$$

где $d_{э2}$ – эквивалентный диаметр проходного отверстия гидравлического дросселя, подключенного последовательно гидродвигателю.

$$C_{ос} = (\rho \cdot Q_{нз}^2 \cdot f_в / (2 \cdot \mu_{нз}^2 \cdot f_{нз}^2) - \rho \cdot Q_2^2 \cdot f_н / (2 \cdot \mu_2^2 \cdot f_2^2)) \cdot m \cdot \eta_{дг} \cdot \eta_{дм} + G_{ос}. \quad (20)$$

$$Q_2 = \upsilon_{пм} \cdot f_н \cdot m / \eta_{до} \approx h_{1об} \cdot n \cdot f_н \cdot m / \eta_{до}. \quad (21)$$

$$Q_{нз} = Q_{нт} \cdot \eta_{но} - \upsilon_{пм} \cdot f_в \cdot m / \eta_{до} \approx Q_{нт} \cdot \eta_{но} - h_{1об} \cdot n \cdot f_в \cdot m / \eta_{до}. \quad (22)$$

После подстановки имеющихся промежуточных решений в уравнение (14) последнее примет вид:

$$C_{ос} = ((Q_{нт} \cdot \eta_{но} - h_{1об} \cdot n \cdot f_{в} \cdot m / \eta_{до})^2 \cdot f_{в} / (\mu_{нз}^2 \cdot f_{нз}^2) - (h_{1об} \cdot n \cdot f_{н} \cdot m / \eta_{до})^2 \cdot f_{н} / / (\mu_2^2 \cdot f_2^2)) \cdot \rho \cdot m \cdot \eta_{дг} \cdot \eta_{дм} / 2 + G_{ос}. \quad (23)$$

Полученное уравнение (23) позволяет проанализировать взаимосвязи гидравлических параметров работы механизма подачи буровой установки (теоретического значения объёмной подачи насоса $Q_{нт}$, коэффициентов расхода рабочей жидкости через напорный золотник $\mu_{нз}$ и гидравлический дроссель μ_2, площадей поперечного сечения проходных отверстий напорного золотника $f_{нз}$ и гидравлического дросселя f_2,) и основных параметров режима бурения скважин (осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент $C_{ос}$ и частоты его вращения n) при параллельной по отношению к гидродвигателю схеме подключения напорного золотника, работающего по зависимости (16) и последовательной – гидравлического дросселя, работающего по зависимости (18).

Как и полученная выше зависимость (1), уравнение (23), в отличие от известных подобных решений, представленных, например, в работах [6; 7], учитывает величину углубки породоразрушающего инструмента за один его оборот вокруг своей оси $h_{1об}$, подачу маслонасоса $Q_{нт}$ и его КПД $\eta_{но}$, а также КПД гидродвигателя – $\eta_{дг}$ и $\eta_{дм}$.

Таким образом, механизм подачи буровых установок можем смело называть основополагающим и вектороопределяющим фактором при разработке техники и технологий бурения скважин. От него напрямую зависит выбор типа буровой установки, а так же параметров бурения скважин, таких как: частота вращения буровой колонны, подача промывочной жидкости, тип породоразрушающего инструмента, углубка за оборот, скорость бурения и другие. От параметров работы самого механизма подачи буровой установки зависит не только скорость бурения и качество проводимых работ, но и безаварийность, надёжность и долговечность самой буровой установки и отдельных узлов бурового комплекта, таких как: мачта, трубы, обсадная колонна,

породоразрушающий инструмент и сама скважина.

Список литературы

1. Васильев Б.А., Грецов Н.А. Гидравлические машины. – М.: Агропромиздат, 1988. – 272 с.

2. Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод. – М.: Недра, 1991. – 331 с.

3. Завацки С., Куликов В.В. Анализ основных характеристик и механика работы гидравлических механизмов подачи буровых установок. // XII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ). Доклады. В 2-х томах. / Ред. коллегия: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий. – М.: МГРИ-РГГРУ; ФГУП ГНЦ РФ «ВНИИгеосистем», 2015. – Том 2. – с. 66÷67 (546 с.).

4. Завацки С., Куликов В.В. Регулирование параметров режима бурения на гидрофицированных буровых установках. // XII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ). Доклады. В 2-х томах. / Ред. коллегия: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий. – М.: МГРИ-РГГРУ; ФГУП ГНЦ РФ «ВНИИгеосистем», 2015. – Том 2. – с. 134÷135 (546 с.).

5. Кирсанов А.Н., Зиненко В.П., Кардыш В.Г. Буровые машины и механизмы. – М.: Недра, 1981. – 448 с.

6. Куликов В.В. Буровая гидроаэромеханика и элементы гидропневмопривода. / В кн.: Бурение разведочных скважин. Глава 5, с. 258 ÷ 298. // Н.В. Соловьев, В.В. Кривошеев, Д.Н. Башкатов и др. Под общ. ред. Н.В. Соловьева. – М.: Высшая школа, 2007. – 904 с.

7. Ушаков А.М. Гидравлические системы буровых установок. – Л.: Недра, 1988. – 161 с.

Сведения об авторах:
Завацки С., Куликов В.В., e-mail: mechanica.mgri@yandex.ru
ФГБОУ ВПО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ-РГГРУ, Москва

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПОДАЧИ РАЗВЕДОЧНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК, МЕХАНИКА РАБОТЫ И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Завацки С., Куликов В.В.

При движении ньютоновской жидкости в гидравлической магистрали различают два основных режима течения: ламинарный и турбулентный [4; 5]. Ламинарный режим характеризуется вихревым движением микрочастиц

жидкости [2],слоистым течением потока, отсутствием перемешивания жидкости и относительно невысокими средними скоростями движения потока. Для турбулентного режима характерны [2; 4; 5]неупорядоченное (хаотичное) движение микрочастиц, отсутствие слоев в потоке, интенсивное перемешивание жидкости, сопровождающееся пульсациями локальных (местных) давлений и скоростей движения частиц жидкости, а также относительно высокие скорости средние движения потока. Кроме того, резкое изменение направления движения турбулентного потока в гидравлической магистрали может приводить к появлению областей (макро)вихревых движений жидкости, отрывных течений, кавитационных зон, на образование и поддержание которых затрачивается энергия, рассеивающаяся во внешнюю среду в форме теплоты (диссипация энергии).

В наиболее общем виде функциональную взаимосвязь потери давления в потоке жидкости $\boldsymbol{P}_{тр}$, затрачиваемой на преодоления сил внутреннего трения, от средней скорости движения жидкости $\boldsymbol{\upsilon}$ (или объемного $\boldsymbol{Q}$ или массового $\boldsymbol{M}$ расхода) в гидравлической магистрали, можно представить следующим образом:

$$\boldsymbol{P}_{тр} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{\upsilon}^{a}; \boldsymbol{Q}^{a}; \boldsymbol{M}^{a}; \boldsymbol{H}^{b}; \boldsymbol{k}_{э}^{c}; \boldsymbol{d}_{э}^{-m}; \boldsymbol{Re}^{-q}; \boldsymbol{\rho}^{r}; \boldsymbol{\mu}_{о}^{s}), \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{P}_{тр}$ – потеря давления в потоке жидкости, затрачиваемая на преодоление сил внутреннего трения; $\boldsymbol{\upsilon}$ – средняя (по поперечному сечению) скорость движения жидкости в гидравлической магистрали; $\boldsymbol{Q}$ – объемный расход жидкости; $\boldsymbol{M}$ – массовый расход жидкости; $\boldsymbol{H}$ –длина потока; $\boldsymbol{k}_{э}$ – эквивалентная шероховатость поверхности магистрали; $\boldsymbol{d}_{э}$ – эквивалентный диаметр потока;$\boldsymbol{Re}$– число Рейнольдса; $\boldsymbol{\rho}$ – плотность жидкости; $\boldsymbol{\mu}_{о}$ – абсолютная вязкость жидкости; $\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}, \boldsymbol{c}, \boldsymbol{m}, \boldsymbol{q}, \boldsymbol{r}, \boldsymbol{s}$ – числовые показатели степени.

В зависимости от вида функциональной связи потери давления в потоке жидкости $\boldsymbol{P}_{тр}$от параметров различают линейную и нелинейную функциональные области [4; 5]:

1. Линейная область гидравлических сопротивлений (характерна для ламинарного режима течения жидкости при $\boldsymbol{a} = 1$; $\boldsymbol{b} = 1$; $\boldsymbol{c} = 0$;$\boldsymbol{m} = 4$;$\boldsymbol{q} = 1$;$\boldsymbol{r} = 0$;$\boldsymbol{s} = 1$):

$$\boldsymbol{P}_{тр} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{\upsilon}; \boldsymbol{Q}; \boldsymbol{M}; \boldsymbol{H}; \boldsymbol{d}_{э}^{-4}; \boldsymbol{Re}^{-1}; \boldsymbol{\mu}_{о}), \qquad (2)$$

$$\boldsymbol{P}_{тр} \neq \boldsymbol{f}\,(\boldsymbol{k}_{э}; \boldsymbol{\rho}). \qquad (3)$$

2. Нелинейная область гидравлических сопротивлений (характерна для

турбулентного режима течения жидкости при a>1). В нелинейной области гидравлических сопротивлений выделяют [4; 5] 3 подобласти.

2.1. Нелинейная доквадратическая подобласть гидравлических сопротивлений (характерна для турбулентного режима течения жидкости в гидравлически гладких магистралях при a = 1,75; b = 1; c = 0;m = 4,75;q = 0,25;r = 0,75;s = 0,25):

$$P_{тр} = f(v^{1,75};\ Q^{1,75};\ M^{1,75};\ H;\ d_э^{-4,75};\ Re^{-0,25};\ \rho^{0,75};\ \mu_о^{0,25}), \quad (4)$$

$$P_{тр} \neq f\ (k_э). \quad (5)$$

2.2. Нелинейная доквадратическая подобласть гидравлических сопротивлений (характерна для турбулентного режима течения жидкости в гидравлически шероховатых магистралях при 1,75 <a< 2; b = 1; 1,75 <c < 2; 4,75 <m< 5,25; 0 <q< 0,25;0,75 <r< 1;

0 <s< 0,25):

$$P_{тр} = f(v^a;\ Q^a;\ M^a;\ H;\ k_э^c;d_э^{-m};\ Re^{-q};\ \rho^r;\ \mu_о^s). \quad (6)$$

2.3.Квадратическая подобласть гидравлических сопротивлений (характерна для турбулентного режима течения жидкости в гидравлически шероховатых магистралях при a = 2; b = 1; c = 0,25;m = 5,25;q = 0;r = 1;s = 0):

$$P_{тр} = f(v^2;\ Q^2;\ M^2;\ H;\ k_э^{0,25};d_э^{-5,25};\ \rho), \quad (7)$$

$$P_{тр} \neq f\ (Re;\ \mu_о). \quad (8)$$

Проведённый анализ показывает, что показатели степени в зависимости (1)могут менять свои значения в следующих диапазонах: 1≤a≤ 2; b = 1; 0≤c < 2; 4≤m≤ 5,25; 0 ≤q≤1;

0 ≤r≤ 1;0 ≤s≤ 1.

Представленные зависимости (2) – (8) свидетельствуют о том, что однозначный вид связи между потерей давления $P_{тр}$ и средней скоростью движения жидкости v отсутствует. Конкретная форма функциональной зависимости определяется в основном режимом течения жидкости, а для

турбулентных потоков – степенью развитости турбулентного течения, геометрией, качеством обработки и состоянием поверхности магистрали.

Зависимости (1) – (7) носят общий характер и их можно распространить не только на потери давления по длине потока, но и на местные гидравлические сопротивления [1], к числу которых в полной мере относятся дроссели[3], устанавливаемые в гидравлических механизмах подачи буровых установок и служащие для регулирования расхода жидкости.

Потери давления в местных гидравлических сопротивлениях (дросселях) составляют значительную часть общих потерь давления в гидросистемах буровых установок. Однако зависимости, рекомендуемые в специализированной прикладной литературе, не имеют четкого обоснования, не учитывают сложности явлений и неоднозначности вида функциональных взаимосвязей гидравлических параметров. Это связано, в первую очередь, со сложностью явления протекания жидкости через местное гидравлическое сопротивление и слабой изученностью его механизма [1].

Для обоснования вида функциональной связи потери давления в потоке рабочей жидкости $P_{тр}$, движущейся через проходное отверстие гидравлического дросселя и напорного золотника от средней скорости υ_i, объёмного расхода Q_i или массового расхода M_i необходимо установить режим течения жидкости в отверстии. Режим течения устанавливается путём сравнения расчётного значения числа РейнольдсаRe_iс его критическим значением $Re_{крi}$ [1 – 3; 14; 15; 19].

$$\boldsymbol{Re_i = \upsilon_i \cdot d_{эi} / \nu_o = \rho \cdot \upsilon_i \cdot d_{эi} / \mu_o = \rho \cdot Q_i \cdot d_{эi} / (f_i \cdot \mu_o) = M_i \cdot d_{эi} / (f_i \cdot \mu_o)}, \qquad (9)$$

где Re_i – число Рейнольдса для потока рабочей жидкости, движущейся через проходное отверстие гидравлического дросселя, подсоединённого параллельно ($Re_i \equiv Re_1$) или последовательно ($Re_i \equiv Re_2$) гидродвигателю, или через проходное отверстие напорного золотника ($Re_i \equiv Re_{нз}$); υ_i – средняя скорость движения рабочей жидкости через проходное отверстие гидравлического дросселя, подсоединённого параллельно ($\upsilon_i \equiv \upsilon_1$) или последовательно ($\upsilon_i \equiv \upsilon_2$) гидродвигателю, или через проходное отверстие напорного золотника ($\upsilon_i \equiv \upsilon_{нз}$); $d_{эi}$ – эквивалентный диаметр проходного отверстия гидравлического дросселя, подсоединённого параллельно ($d_{эi} \equiv d_{э1}$) или последовательно ($d_{эi} \equiv d_{э2}$) гидродвигателю, или проходного отверстия напорного золотника ($d_{эi} \equiv d_{энз}$); Q_i – объёмный расход рабочей жидкости, движущейся через гидравлический дроссель, подключенный параллельно ($Q_i \equiv Q_1$) или последовательно ($Q_i \equiv Q_2$) гидродвигателю, или через напорный золотник ($Q_i \equiv Q_{нз}$); M_i – массовый расход рабочей жидкости, движущейся через гидравлический дроссель,

подключенный параллельно ($M_i \equiv M_1$) или последовательно ($M_i \equiv M_2$) гидродвигателю, или через напорный золотник ($M_i \equiv M_{нз}$); f_i – площадь поперечного сечения проходного отверстия гидравлического дросселя, подсоединённого параллельно ($f_i \equiv f_1$) или последовательно ($f_i \equiv f_2$) гидродвигателю, или проходного отверстия напорного золотника ($f_i \equiv f_{нз}$); i – индекс, обозначающий принадлежность величины (параметра) гидравлическому дросселю, подключенному параллельно (i ≡ 1) или последовательно (i ≡ 2) гидродвигателю, или принадлежность напорному золотнику (i ≡ нз); ρ, ν_o, μ_o – плотность, кинематическая и абсолютная вязкость рабочей жидкости соответственно: для минеральных масел станочных гидроприводов можно принять [17] ρ = 850 – 910 кг/м^3; ν_o = (16,5 – 55) · 10^{-6} м^2/с; μ_o = 0,014 – 0,05 Па · с.

Если справедливо неравенство [1 – 3; 14; 15; 19]

$$\boldsymbol{Re_i < Re_{крi}}, \qquad (10)$$

где $Re_{крi}$ – критическое значение числа Рейнольдса для потока рабочей жидкости, движущейся через проходное отверстие гидравлического дросселя, подсоединённого параллельно ($Re_{крi} \equiv Re_{кр1}$) или последовательно ($Re_{крi} \equiv Re_{кр2}$) гидродвигателю, или через проходное отверстие напорного золотника ($Re_{крi} \equiv Re_{крнз}$), то режим течения рабочей жидкости ламинарный (линейная область гидравлических спротивлений).

Если [1 – 3; 14; 15; 19]

$$\boldsymbol{Re_i \geq Re_{крi}}, \qquad (11)$$

то режим течения турбулентный (нелинейная область гидравлических сопротивлений).

В результате многочисленные эмпирические зависимости описывают лишь локальные опыты и действительны в очень узких условиях применения. Точность расчетов по таким зависимостям при турбулентном течении невелика и не превышает 20% [1]. При определении местных потерь давления в условиях ламинарного и турбулентного доквадратичного течения возможны ошибки до 100% и более вследствие слабой изученности [1]. Теоретические решения для местных гидравлических сопротивлений единичны и локальны. Все это вызывает значительную сложность корректного описания и эффективного исследования работы механизмов подачи буровых установок.

При традиционном описании работы механизма подачи буровой установки [3] расход жидкости через дроссель $\boldsymbol{Q_1}$ рекомендуется определять по следующей зависимости:

$$\boldsymbol{Q_1 = \mu_1 \cdot f_1 \cdot (2 \cdot P_1 / \rho)^{0,5}}, \qquad (12)$$

где $\boldsymbol{Q}_1$ – объёмный расход жидкости через дроссель; $\boldsymbol{\mu}_1$ – коэффициент расхода жидкости через дроссель: $\boldsymbol{\mu}_1$ = 0,75 – 0,8 для игольчатых дросселей, $\boldsymbol{\mu}_1$ = 0,64 – 0,7 для щелевых дросселей [3]; $\boldsymbol{f}_1$ – площадь поперечного сечения проходного отверстия дросселя; $\boldsymbol{P}_1$ – потеря давления в дросселе.

$$\boldsymbol{f}_1 = \pi \cdot \boldsymbol{d}_{э1}^{\,2} / 4, \qquad (13)$$

где $\boldsymbol{d}_{э1}$ – эквивалентный диаметр проходного отверстия дросселя.

$$\boldsymbol{Q}_1 = \boldsymbol{v}_1 \cdot \boldsymbol{f}_1 = \boldsymbol{M}_1 / \boldsymbol{\rho}, \qquad (14)$$

где $\boldsymbol{v}_1$ – скорость движения жидкости в дроссельной щели; $\boldsymbol{M}_1$ – массовый расход жидкости через дроссель.

Решая совместно (12) – (14), получим

$$\boldsymbol{P}_1 = \boldsymbol{\rho} \cdot \boldsymbol{v}_1^{\,2} / (2 \cdot \boldsymbol{\mu}_1^{\,2}) = 8 \cdot \boldsymbol{\rho} \cdot \boldsymbol{Q}_1^{\,2} / (\boldsymbol{\mu}_1 \cdot \pi^2 \cdot \boldsymbol{d}_{э1}^{\,4}) = 8 \cdot \boldsymbol{M}_1^{\,2} / (\boldsymbol{\rho} \cdot \boldsymbol{\mu}_1 \cdot \pi^2 \cdot \boldsymbol{d}_{э1}^{\,4}). \qquad (15)$$

Традиционное решение (15), широко применяемое в практике анализа механики работы механизмов подачи буровых установок, по виду функциональной связи потери давления в дросселе $\boldsymbol{P}_1$ от скорость движения жидкости в дроссельной щели $\boldsymbol{v}_1$ (или от объёмного $\boldsymbol{Q}_1$ или массового $\boldsymbol{M}_1$ расхода) соответствует квадратической подобласти гидравлических сопротивлений, описываемой зависимостями (7) и (8). Традиционное решение (15) не учитывает области (подобласти) гидравлических сопротивлений (2) – (6), что не позволяет корректно описать механику работы гидравлических механизмов подачи буровых установок.

Экспериментальные исследования, проводившиеся в НИИавтоматики Везиряном Р.Е. и Арзумяновым Э.С. под руководством Альтшуля А.Д., результаты которых представлены в работах [1; 2], показали, что применительно к угловым регулирующим клапанам (они конструктивно и по назначению эквивалентны гидравлическим дросселям и напорным золотникам механизмов подачи буровых установок) можно принять следующие диапазоны экспериментальных значений чисел Рейнольдса$Re_{эi}$:

$$\boldsymbol{Re_{эi} \le 10} \qquad (16)$$

для линейной области гидравлических сопротивлений (ламинарный режим течения рабочей жидкости);

$$\mathbf{10 < Re_{эi} < 10000} \qquad (17)$$

для нелинейных доквадратических подобластей гидравлических сопротивлений (турбулентный режим течения рабочей жидкости);

при

$$\mathbf{Re_{эi} \geq 10000} \qquad (18)$$

наблюдается квадратическая подобласть гидравлических сопротивлений (турбулентный режим течения).

Существующая технология бурения скважин не учитывает потенциальные возможности регулирования параметров работы механизма подачи. Имеющиеся традиционные решения не учитывают все возможные области гидравлических сопротивлений гидравлических дросселей механизмов подачи буровых установок. Анализ работы механизма подачи буровой установки показывает наличие доквадратического режима течения рабочей жидкости через дроссель при разных схемах подключения дросселя. Учёт в полученных зависимостях значений КПД работы насосов и гидродвигателей, величины производительности маслонасоса, углубки за один оборот, частоты вращения бурового инструмента и режима течения рабочей жидкости через дроссель позволяет более точно управлять параметрами режима бурения.

Список литературы

1. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 224 с.

2. Бекнев В.С., Епифанов В.М., Леонтьев А.И. и др. Под общ. ред. А.И. Леонтьева. Газовая динамика. Механика жидкости и газа. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. –671 с.

3. Кирсанов А.Н., Зиненко В.П., Кардыш В.Г. Буровые машины и механизмы. – М.: Недра, 1981. – 448 с.

4. Куликов В.В. Буровая гидроаэромеханика и элементы гидропневмопривода. / В кн.: Бурение разведочных скважин. Глава 5, с. 258 ÷ 298.

// Н.В. Соловьев, В.В. Кривошеев, Д.Н. Башкатов и др. Под общ. ред. Н.В. Соловьева. – М.: Высшая школа, 2007. – 904 с.

5. Чугаев Р.Р. Гидравлика (Техническая механика жидкости). – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.

Сведения об авторах:
Завацки С., Куликов В.В., e-mail: mechanica.mgri@yandex.ru
ФГБОУ ВПО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» МГРИ-РГГРУ, Москва

УДК 553.985

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ

Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В.

Состояние изученности природных битумов и их освоенности в мире все еще низкое, но вместе с исчерпанием традиционных резервов страны с дефицитом углеводородов все чаще обращаются к их нетрадиционным источникам [1].

Природные битумы (ПБ) - природные органические соединения с первичной углеводородной основой, имеющие твердую, вязкую и вязко-жидкую консистенцию. Они образуют широкий спектр соединений от высокоуглеродистых разностей до отдельных классов или сложной смеси высокомолекулярных углеводородов, содержащих асфальтово-смолистые компоненты и металлы [2]. Битумы – полезные ископаемые органического происхождения с первичной углеводородной основой – генетически представляют собой естественные производные нефтей, залегающие в недрах на глубинах от 3 до 500 метров в твердом, вязком и вязко-пластичном состояниях. Битумы условно подразделяются на несколько классов: мальты, асфальты, асфальтиты, кериты и антраксолиты – с плавными переходами между ними.

Кроме повышенного содержания асфальтено-смолистых компонентов (от 25 до 75% мас.), высокой плотности (0,965–1,22 г/см^3), аномальной вязкости (более 104 мПа·с), обусловливающих специфику добычи, транспорта и переработки, природные битумы содержат значительное количество серы и

металлов, особенно пятиокиси ванадия (V_2O_5) и никеля (Ni) в концентрациях, соизмеримых с содержанием металлов в промышленных рудных месторождениях в России (V_2O_5 до 7800 г/т) и за рубежом (V_2O_5 до 3500 г/т). В ряде битумных месторождений их концентрация сопоставима с содержанием в рудах [3].

Анализ исследований по проблеме природных битумов позволил некоторым исследователям констатировать, что состав и свойства этого природного сырья уникален. Битумы не повторяют состава и свойств традиционных нефтей, поэтому рассматриваются как комплексное многоцелевое сырье для ряда отраслей народного хозяйства: нефтехимической, химической металлургической, строительной и др. [4]. Битумы находятся в земной коре в самых различных формах: в рассеянном состоянии, в виде незначительных примесей и в виде скоплений, где битум пропитывает различные породы или находится в чистом (или почти чистом) виде. Многочисленные классификации справедливы для нефтяных и газовых месторождений, а также для некоторых скоплений битумов.

Однако установлены большие группы битумных месторождений, связанных с эрозионными формами рельефа и с моноклинальными и синклинальными тектоническими элементами, многие из которых совершенно нетипичны для залежей нефти и газа. По данным Р.М. Гисматуллина, Р.Н. Валеева, В.Л. Штейнгольца все битумные месторождения делятся на три типа: структурно-пластовые, эрозионных форм рельефа и тектонических нарушений. Условия локализации и пространственного распределения битумов свидетельствуют о том, что залежи битумов распределены неравномерно по площади в форме локальных скоплений [5].

В России природные битумы развиты в центральных районах Волго-Уральской битумонефтегазоносной провинции, а также на территориях Самарской, Оренбургской областей, Северного Сахалина, Республики Коми, Восточной Сибири и Северного Кавказа [6]. Зоны битумонакопления Северо-Кавказкой нефтегазоносной провинции, в основном, приурочены к различным геоструктурным элементам - Западно-Кубанскому и Терско-Каспийскому краевым прогибам [7]. На основании исследований здесь было выделено девять

битумных полей и изучено 3 месторождения природных битумов: Пираузское, Нефтегорское и Южно-Зыбзенское [8, 9]. Оконтуривание границ территорий проведено до глубины залегания битумоносного комплекса не более 300 м, в связи с тем, что уже на глубинах первых сотен метров битумные скопления сменяются высоковязкими и обычными нефтями.

Изучение отечественного и зарубежного опыта показывает, что существуют следующие способы извлечения ПБ:

1. Рудничные методы (включающие карьерные и шахтные очистные системы разработки): породу извлекают на поверхность, затем из нее экстрагируют битум и производят искусственное жидкое топливо и другие продукты. Рудничные методы добычи нефти и битумов в нашей стране имеют почти вековую историю. Известны колодцы, штольни и мелкие шахты в районах Поволжья и Кавказа [6].

2. Шахтные (дренажные) системы разработки: битум добывается в шахте без выемки битуминозной породы через дренажную систему скважин, пробуренных из горных выработок.

3. Скважинные внутрипластовые способы: битум извлекается через пробуренные с поверхности скважины за счет термического или иного воздействия на битуминозный пласт.

До сих пор битумы, как ценное по энергетическим и химическим свойствам углеводородное сырье, не востребованы по причине отсутствия рентабельной технологии их добычи и переработки. Имеющиеся пока в России технологии не позволяют сделать добычу природных битумов коммерчески выгодной, особенно на фоне нынешних цен на нефть. Следует также изучить возможность использования получаемых при извлечении битумов отходов, утилизация которых может существенно повысить экономические показатели разработки месторождения.

К настоящему времени вопросы комплексного использования природных битумов не решены из-за слабой разведанности месторождений. Отсутствует

организация учета сырьевых ресурсов попутных компонентов, методов добычи, транспортировки, переработки и извлечения попутных компонентов.

В связи с этим экономическое обоснование вовлечения в оборот ресурсов природных битумов и их комплексного использования является актуальной задачей и имеет практическое значение для дальнейших разработок по повышению эффективности освоения минерально-сырьевых ресурсов нефтяной промышленности на базе внедрения новых технологий добычи и переработки природных битумов с извлечением попутных компонентов.

Благодаря своим адгезионным и гидрофобным свойствам битум может быть применен в дорожном строительстве [8,9], изготовлении кровельных материалов, при строительстве фундаментов зданий и сооружений, прокладке трубопроводов. Природные битумы используются как строительное сырье (дорожные покрытия, производство мягкой кровли, асфальтитовой мастики и др.), в электропромышленности (изоляторы, антикоррозийные покрытия и др. Из битуминозных карбонатных пород получают мастику и щебень.

Заключение

На территории Российской Федерации добыча природных битумов в промышленном масштабе не ведется. В соответствии с законом «О недрах» при разработке месторождений полезных ископаемых должны сочетаться интересы как собственника недр – государства, так и недропользователей.

Способ разработки зависит от типа месторождений, условий и глубины залегания битумонасыщенных пород, величины запасов, коллекторских свойств пород, качества и физико-химических свойств битумов. Необходимо изучение технологических свойств битумонасыщенных пород с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования технологической схемы их переработки с комплексным извлечением содержащихся в них компонентов, имеющих промышленное значение.

Для практической реализации путей освоения ресурсов битумов на длительную перспективу необходимо: приоритетное развитие новых технологий и способов добычи разведанных запасов битумов, обеспечивающих

максимальную битумоотдачу, извлечение сырья без потерь его ценных компонентов, сохранение экологической обстановки и природного гидрогеологического режима на объектах разработки и экономическую рентабельность работ.

Таким образом, разработка и использование природных битумов, с их экономической и экологической основой, составляют комплексную проблему, имеющую важное народнохозяйственное значение.

Список литературы:

1. Халимов Э.М., Климушин И.М., Фердман Л.Н. Геология месторождений высоковязких нефтей СССР. Справочное пособие. М.: Недра, 1987. 174 с.
2. Природные битумы СССР (закономерности формирования и размещения), Л.: Недра, 1981. 195с.
3. Высоковязкие нефти, природные битумы и остаточные нефти разрабатываемых месторождений: Труды научно-практической конференции VI Межд. Спец. Выставки «Нефть, газ -99». Казань, 8-9 сент. 1999, т. I –II.
4. Алемасов В.Е. О концепции освоения месторождений природных битумов и высоковязких нефтей. Комплексное освоение природных битумов и высоковязких нефтей (извлечение и переработка): Труды Всесоюз. конференции. Казань, 1992. С. 5−8.
5. Гисматуллин Р.М., Валеев Р.Н., Штейнгольц В.Л. Основные типы битумных месторождений // Геология битумов и битумовмещающих пород. М.: Наука, 1979. С. 45−52.
6. Николин И.В. Методы разработки тяжелых нефтей и природных битумов // Наука – фундамент решения технологических проблем развития России, 2007, №2. С.54−68.
7. Лебедько Г.И. Прогноз углеводородного сырья Северо-Кавказской нефтегазоносной провинции // Геология нефти и газа. 2007. №4.
8. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Природные битумы Предкавказья и их рациональное использование // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2011. № 57. С. 127−129.

9. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Природные битумы Северо-Кавказкой нефтегазоносной провинции // Геология нефти и газа. 2014. № 6. С.48−52.

Сведения об авторах:
Казанкова Эльвира Ромуальдовна , с.н.с., e-mail: Elvira.Kazankova@mail.ru, kazankova@ipng.ru,
Корнилова Наталья Вячеславовна, н.с., e-mail:nataliakornilova@rambler.ru
ИПНГ РАН (институт проблем нефти и газа РАН), 119 333 г. Москва, ул. Губкина д.3, тел. 8-(495)135-39-48

УДК 552.08:53

ЗОНЫ НИЗКИХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СКОРОСТЕЙ - ГЛУБИННЫЕ КРИТЕРИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Корчин В.А., Буртный П.А., Карнаухова Е.Е.

Системный анализ построенных нами петроскоростных моделей земной коры центральной части УЩ позволил выявить логические связи поверхностной геологии этого района с глубинной структурой и вещественным составом, чему способствовало усовершенствование методики петроскоростного моделирования глубинных горизонтов коры при обобщении материалов *PT*-исследований скорости распространения упругих волн ($V_{P,S}$) и упругих параметров различных пород, их плотности (ρ), а также широкого комплекса геолого-геофизических данных [1, 2]. Это позволило трансформировать результаты выполненных здесь сейсмических исследований (ГСЗ и МОВОГТ) в физико-механическую и литологическую информацию на фоне сложных структур коры.

Основой петрофизического моделирования является дифференциация по физическим параметрам различных минеральных сред в зависимости от их петрологических характеристик, в том числе состава, генезиса и других факторов. Анализ причин дифференциации физических свойств в пределах одноименных петрографических групп связан с особенностями корреляции физических свойств со структурно-вещественными признаками. При наличии их закономерных связей можно прогнозировать природу соответствующих геологических объектов, учитывая степень геолого-петрофизической информативности используемых данных. Корреляция свойств по структурно-вещественным признакам является

основным условием петрофизической классификации пород. Следовательно, результаты экспериментального изучения комплекса физических параметров минерального вещества конкретных геологических структур в модельных *PT*-условиях служат основой для более однозначной интерпретации результатов геофизических наблюдений и построения петроскоростных моделей литосферы [1-5]. Такие исследования позволяют получать принципиально новую и весьма ценную информацию об особенностях изменений упругих параметров минерального вещества в термобарических режимах, которые на данном этапе развития экспериментальных исследований могут быть наиболее приближены к реальным *PT*-условиям недр.

На основании наших построений, помимо уточнения положения и состава ее глубинных горизонтов, оказалось возможным предположить существование на различных глубинах области аномального физико-механического состояния пород. Это, в первую очередь, относится к коровым зонам низких сейсмических скоростей (ЗНС) термобарической природы [4]. Породы в ЗНС обладают повышенной хрупкостью и сжимаемостью, а также пониженными значениями модуля сдвига. И, следовательно, здесь в условиях коровых сложных термоупругих напряжений происходит разуплотнение породы, контролируемое повышенной структурной неоднородностью, разуплотнением минерального вещества, понижением его плотности, повышенной пористостью [1,4,5]. Глубинными сейсмическими исследованиями литосферы установлены аномалии упругого поведения минеральной среды на различных глубинах в виде так называемых ЗНС. Зоны выявлены в континентальной и океанической коре, в районах различной тектонической активности и расположены, как правило, на глубинах 3-25 км. Эти зоны имеют мощность от несколько сотен метров до 20 км с уменьшением скорости в них от десятков метров на секунду до 0,4÷0,6 км/с. Абсолютные значения скорости в зоне обычно 6,1±0,4 км/с (в тектонически активных регионах $V_{Pmin} \approx$ 5,6÷6,6 км/с). Коровые зоны низких скоростей, как правило, ограничены по площади и вертикали.

Многолетними экспериментальными исследованиями горных пород

различного минерального состава в условиях высокого давления и температуры [1, 2, 4], нами установлены сложные зависимости изменения их упругих параметров с глубиной (рис.1).

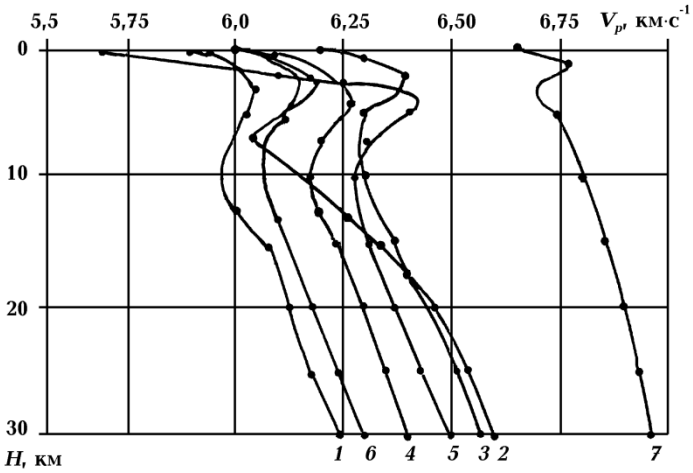


Рис. 1. Изменение $V_{P,S} = f(PT) = f(H)$ с глубиной для различных пород.

Суть экспериментальных исследований сводится к определению упруго-плотностных параметров пород в зависимости от программного изменения в аппарате высокого давления *PT*-параметров, соответствующих конкретным значениям *P* (давление) и *T* (температура) на различных глубинах литосферы. Образец породы в эксперименте как бы «погружается» на определенную глубину, при этом контролируются его характеристики. С увеличением глубины, другими словами термобарических параметров опыта, воздействующих на образец породы, после некоторого увеличения $V_{P,S}$ и ρ наблюдается область их уменьшения. Затем $V_{P,S}$ и ρ вновь возрастают. Таким образом, на зависимостях $V_{P,S}=f(PT)=f(H)$ образуется ЗНС (рис. 1).

На основании экспериментальных данных исследования горных пород при высоких *P* и *T* и опытов, выполненных по программам (низко- и высокотемпературные режимы) или изобарам и изотермам, расчетами установлено, что в случае реализации низкотемпературного режима опытов $\left(\frac{\partial T}{\partial H} < 9-11\frac{^oC}{км}\right)$ ЗНС на зависимостях $V_P=f(PT)=f(H)$ не проявляются [4]. Если

температурный градиент $\frac{\partial T}{\partial H} > 15 \div 20 \frac{^oC}{км}$ в интервале давлений 1,8÷3,5 кбар на зависимостях $V_P=f(PT)$ зоны низких скоростей проявляются четко. Уменьшение скоростей в этих зонах для различных образцов пород варьируют от -10 до -250 м/с. Мощность экспериментальных слоев с пониженной скоростью от 2 до 20 км (60% в интервале 6-12 км). Как правило, глубины минимальных значений V_P расположены в интервале суперпозиции *P* и *T*, соответствующих 9-16 км. Конфигурация экспериментальных ЗНС (глубина залегания, мощность, занижение скорости) подобны обнаруженным в ходе глубинного сейсмического зондирования земной коры.

Анализируя многомерные корреляционные зависимости изменения скоростей от давлений, температур и вещественного состава, установлено, что в ЗНС влияние минерального состава на изменения скоростей мало, и оказывается значительно меньше, чем структурные преобразования среды. В термобарических условиях больших глубин твердое тело стремится к новому, энергетически выгодному равновесному состоянию. При этом в первую очередь, изменяется характер и распределение внутренних напряжений, и, как следствие, количество и структура дефектов породообразующих минералов, которая в большинстве случаев необратима и сохраняется при снятии всесторонней нагрузки в режиме «замораживания». Именно это свойство пород используется при изучении структурных преобразований минеральной среды после различных *PT*-воздействий оптическими, рентгеноструктурными методами, электронной микроскопией.

Высокочастотными резонансными исследованиями мономинеральных сред определено пороговое значение величины давления, температуры, время и циклов воздействия их на образование в минерале устойчивых дислокационных ансамблей, способствующих как совершенствованию монокристалла, так и его двойникованию, разориентации структурных элементов, разуплотнению поликристаллической структуры, снижающей его упругие характеристики. Выявленные нами вещественные и структурные изменения пород оптическими,

рентгеноструктурными, электронно-микроскопическими и многими другими методами исследований, а также данные изучения упругих характеристик пород, свидетельствуют, что в структурном отношении зоны инверсии скорости в породах, в первую очередь, связаны с разуплотнением межзерновых границ за счет интенсивного перемещения, локализации различных дефектов породообразующих минералов, а также существенного изменения поля напряжений на границах зерен отдельных объемов элементов породы. Весь комплекс вещественно-структурных изменений породы, начиная от термодинамических условий 3-5 км до 12-15 км (область инверсии скоростей упругих волн), когда с увеличением *PT* скорости V_P, V_S уменьшаются, образуя ЗНС, указывает на свойства пород, характерных их катакластическому преобразованию [4]. В этом интервале воздействия *P* и *T* происходит разуплотнение минеральной среды, явление дилотансии. Основной механизм этого — совместное действие развивающихся в среде неравномернораспределяющихся неоднородных напряжений по объёму образца, иногда достигающих в локальных контактах значений больше предела прочности отдельных минералов, приводящих к хрупким на микроуровне разрушениям среды. Этому разуплотнению способствуют разного значения коэффициенты линейного расширения отдельных разноориентированных минералов, эффект декрипитации газово-жидких включений, миграция свободной воды и газа по микротрещинам породы. Совокупность обнаруженных микроструктурных преобразований породы свидетельствует о низкотемпературном упругом упрочнении и хрупком разрушении минерального вещества. На этих глубинах возрастает проницаемость пород, их гигроскопичность. Вероятно, это способствует активизации перемещений флюидных растворов и других газово-жидких сред, их локализации. Одновременно эти микроструктурные нарушения породы подготавливают условия для существенных её преобразований с увеличением *P* и *T*. При дальнейшем погружении породы на большие глубины, порядка 25-30 км, обнаружены следующие ее изменения. С повышением действующих на образец программных *PT*-параметров (H>25 км, *P*>5,5 кбар,

T>300°C) наблюдается интенсивное возрастание упругих характеристик пород. После уплотнения ее с глубиной (H>10÷15 км) включаются механизмы, характерные пластическому деформационному уплотнению среды. За счет вещественных и структурных (на уровне элементарных дефектов) перестроек происходит совершенствование породы, что улучшает её упругие характеристики, возрастают $V_{P,S}$ и ρ в них. С некоторыми допущениями, пользуясь геологической терминологией, в интервале P и T, соответствующих глубинам 20-40 км, наблюдается процесс регионального низкотемпературного дислокационного метаморфизма. Очевидно, с этими процессами связано появление на этих глубинах литосферы интенсивных отражающих сейсмических площадок (граница K_2), которые, как правило, выявляются вслед за ЗНС или низкоградиентными (по упругим параметрам) участками земной коры.

Сопоставляя данные ГСЗ и эксперимента, можно сделать ряд предположений о физической природе упругой зональности минерального вещества верхних горизонтов земной коры. Согласно критериям подобия приходим к заключению, что условия равенства средних значений P и T в модели и натуре достаточно, чтобы скорость распространения упругой волны в них могла быть сравнима. Следовательно, результаты исследований упругих характеристик горных пород в лабораторных PT-условиях опытов сопоставимы с таковыми, полученными глубинным сейсмическим зондированием. Считаем, что наличие ЗНС в земной коре как результат структурных превращений пород в условиях противоборства P и T, является объективной реальностью, характерной для минеральной среды на определенных глубинах Земли [4]. ЗНС возникают в тех случаях, когда градиент температуры на соответствующих глубинах превосходит определенный порог, а давление не способно компенсировать нарушение сплошности минерального вещества, вызванное действием температуры. Экспериментально и расчетами показано, что условия возникновения ЗНС чувствительны к температурам. Флюктуации температур различного происхождения на глубинах 7-20 км могут изменять параметры ЗНС вплоть до их исчезновения. В связи с этим ЗНС в земной коре встречаются не повсеместно, а

эпизодично, локализуясь в отдельных районах на конкретны глубинах. Этот факт подтвержден выполненным петрофизическим термобарическим моделированием верхних горизонтов земной коры, в пределах которых часто фиксируются зоны низких скоростей. В основу моделирования положено сопоставление данных ГСЗ с материалами экспериментальных исследований упругих характеристик горных пород в *PT*-условиях, соответствующих глубинным термобарическим параметрам изучаемого района [2]. Нами установлено, что в районах с низким тепловым потоком ЗНС проявляются слабо. На участках с высоким тепловым потоком ЗНС четкие, с интенсивным уменьшением скоростей. Зоны низких скоростей наиболее активные горизонты современного преобразования минеральной среды земной коры, даже в тектонически-спокойных регионах (например, кристаллических щитах). Они претерпевают постоянные динамические изменения. Это области наиболее выраженной самоорганизации минеральной среды нашей планеты.

На основании построенных в процессе глубинного геологического картирования (ГГК-200) петроскоростных разрезов, профилей 1—1' и 3—3' и термобарического петрофизического моделирования вдоль них [1], обнаружены на различных глубинах зоны аномального физико-механического состояния пород, так называемые ЗНС (рис. 2).

Относительно высокая контрастность упругих свойств пород в ЗНС зонах разломов (по отношению к вмещающей среде) позволила по данным МОВ проследить разломы внутри кристаллического фундамента [1]. Анализ данных об углах падения и отражающей способности разломов в пределах исследуемой территории позволил выявить несколько уровней изменений этих параметров по вертикали. В частности, углы падения изменяются здесь от близких к вертикальным (с отчетливой тенденцией к выполаживанию) до субгоризонтальных. Кроме того, глубинные этажи с высокой субгоризонтальной акустической неоднородностью пород можно увязывать с ЗНС.

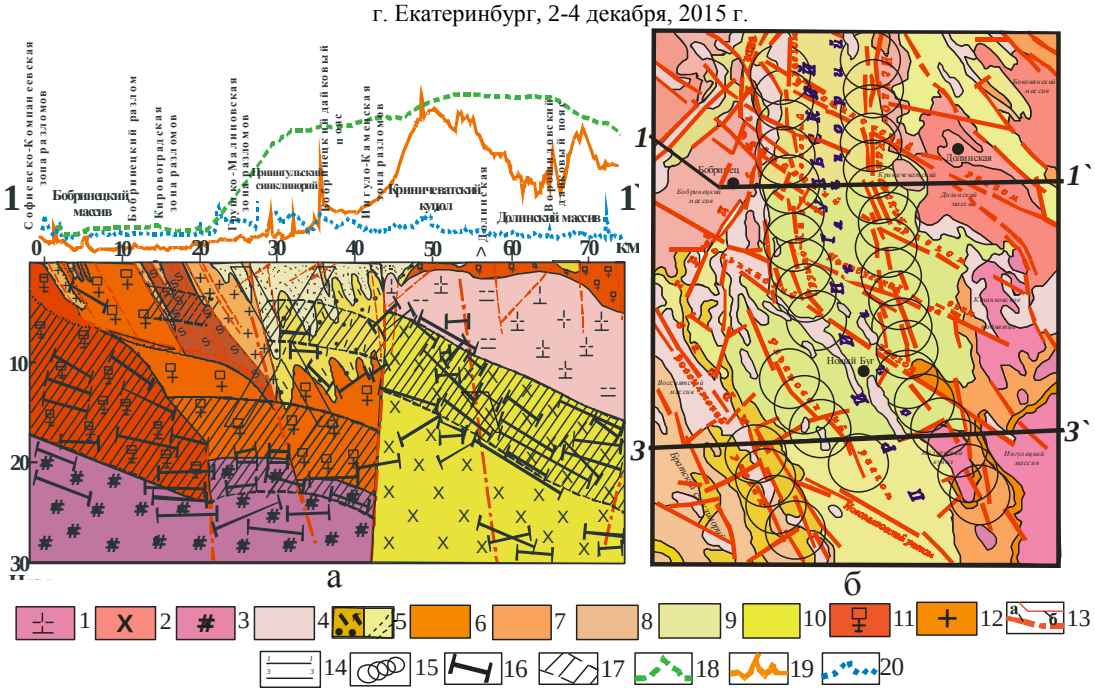


Рис. 2. Схематический геолого-геофизический разрез земной коры по профилю 1—1' (а) и геоструктурная схема Ингуло-Ингулецкого района центральной части УЩ в рамках площади ГГК-200 (б). 1 - плагиограниты; 2, 3 - диориты порфиробластовые, чарнокиты и граниты трахитоидные; 4 - массивы приразломных зон средне- и мелкозернистых гранитов; 5 - гнейсы; 6 - карбонатно-терригенный комплекс; 7, 8 - вулканогенно-осадочный комплекс; 9, 10 - флишевый комплекс; 11 - граниты порфиробластические; 12- граниты равномернозернистые; 13 - зоны разломов; 14 - профили петроскоростного моделирования; 15 - области интенсивного метасоматоза, генетически связанные с коровыми ЗНС; 16 - отражающие площадки МОВ-ОГТ; 17 - зоны интенсивной акустической неоднорости (сейсмического расслоения); 18 - A_{ga}; 19 - ΔT_a; 20 - $U_{вп}$ [1].

С учетом состояния пород в ЗНС (областях разуплотненных пород) их наличие может служить критерием поиска полезных ископаемых, поскольку эти зоны наиболее проницаемы для мигрирующих минеральных сред в земной коре. Именно поэтому системный анализ данных петрофизического моделирования, геофизических и геологических материалов дал нам возможность составить новую геоструктурную схему Ингуло-Ингулецкого района центральной части УЩ и выделить наиболее перспективные участки для разработки полезных ископаемых (рис. 2). Прогноз этот был затем подтвержден более детальными геолого-геофизическими производственными работами на отдельных площадях[1,3].

Наиболее перспективны в данном аспекте горизонты палеообластей ЗНС, которые, возможно, в настоящее время находятся вблизи поверхности в результате эрозии коры.

Обобщая результаты исследований ометим, что весь комплекс вещественно-

структурных изменений породы, начиная от термодинамических условий 3-5 км до 12-15 км, свидетельствуют о свойствах пород характерных их катакластическому преобразованию. В этом интервале возрастания *P* и *T* происходит разуплотнение минеральной среды. Этому разуплотнению способствуют эффект разрушения газовожидких включений, миграция свободной воды и газа по микротрещинам породы флюидов, метасоматических растворов. С ними связываются повышенная интенсивность теплового потока, поступление продуктов магматизма (в том числе в виде гидротермальных растворов), активизация процессов метасоматоза, в конечном счете, возникновение возможных концентраций некоторых полезных ископаемых. Приобретая характер широкомасштабной системы сквозных глубинных нарушений в коре, указанные зоны в период протекания тектономагматических процессов являются наиболее проницаемыми. Являясь же корневой системой приповерхностных разломных структур, эти зоны в последующие этапы тектономагматической активизации способствуют выносу, перераспределению, формированию и локализации определенных видов минерального вещества в близповерхностных частях коры. Они характеризуются существенными геохимическими аномалиями и наличием оруденений, приуроченных к глубинным разломам, а также, естественно, генетическими связями с проявлениями разноглубинных тектоно-метасоматических процессов. Таким образом, коровые зоны термобарического разуплотнения минеральной среды (зоны низких сейсмических скоростей) могут служить диагностическим признаком при поисках месторождений широкого комплекса полезных ископаемых.

Список литературы

1. Корчин В.А., Буртный П.А., Коболев В.П. Термобарическое петрофизическое моделирование в геофизике. Киев: Наукова думка, 2013. 312 с.

2. Буртный П.А., Корчин В.А., Карнаухова Е.Е. Моделирование вещественного состава глубинных горизонтов земной коры (новая концепция интерпретации геофизических данных). Saarbrücken: LAP Lambert Akademic Publishing, 2013. 188 с.

3. Кировоградский рудный район. Глубинное строение. Тектонофизический анализ. Месторождения рудных полезных ископаемых / Под ред. В.И .Старостенко, О.Б. Гинтова. Киев: РПЦ «Галактика», 2013. 500 с.

4. Корчин В.А. Термодинамика коровых зон низких сейсмических скоростей (новая научная гипотеза). Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 280 с.

5. Корчин В.А. Коровые зоны низких скоростей – перспективные горизонты локализаций глубинных углеводородов // Глубинная нефть. 2013. 1, № 8. С. 1099–1116.

Сведения об авторах:

Корчин Валерий Александрович; вед. научный сотрудник; старший научный сотрудник; канд. физ.-мат. наук; e-mail: korchin@igph.kiev.ua

Карнаухова Елена Евгеньевна; ст. научный сотрудник; кандидат геологических наук; Буртный Петр Алексеевич; Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины; научный сотрудник;

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины; Телефон: +38(044)4242844; Украина, 03680, Киев-142, пр. Палладина, 32;

УДК 535-15: 553.08

ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ ТЕННАНТИТОМ ФЛОТОРЕАГЕНТА AERO 5100

Кунилова И.В., Ягудина Ю.Р.

Теннантитсодержащие руды являются сложным объектом для обогащения, т.к. имеют переменный состав. Однако теннантит является более богатым медью минералом по сравнению с халькопиритом, также он может служить источником получения мышьяка. Узельгинское месторождение (Урал) содержит руды, в которых теннантит представлен цинковожелезистыми разновидностями. В связи с малоселективными флотационными свойствами бутилового ксантогената, для повышения извлечения теннантита необходим более селективный реагент, каким является сульфгидрильный собиратель N-аллил-O-изобутилтионокарбамат (основное действующее вещество в реагенте AERO 5100). Методом ИК-Фурье спектроскопии МНПВО установлено наличие реагента AERO 5100 на

поверхности теннантита после взаимодействия с раствором реагента при pH 9, создаваемом гидроксидом кальция. Относительная степень сорбции составила 18%.

Относительная степень суммарно физической и химической сорбции бутилового ксантогената в сопоставимых условиях несколько выше (23%), однако она одна не определяет флотационной активности, поскольку тионокарбамат обладает более эффективным гидрофобизирующим действием и создает более оптимальную структуру поверхностного слоя на минерале, обеспечивающую эффективный разрыв гидратной прослойки между пузырьком и частицей минерала. На рисунке показаны спектры теннантита после взаимодействия с бутиловым ксантогенатом и AERO 5100 при одинаковой концентрации.

Анализ ИК-спектров показал изменение энергии связи с катионом минерала, указывающее на повышение прочности связи реагента с металлом минерала после взаимодействия с теннантитом, для N-аллил-O-изобутилтионокарбамата в области частот (волновых чисел) 470см$^{-1}$ и косвенно по изменению энергии связи C=S в солидофильной группе до и после взаимодействия с теннантитом - по смещению максимумов характеристических полос в области частот 1000-1000 см$^{-1}$, с 1064 до 1046см$^{-1}$, т.е. на 18см-1. Изменение частоты максимума полосы C=S для ксантогената после взаимодействия с теннантитом намного меньше - 7см$^{-1}$.

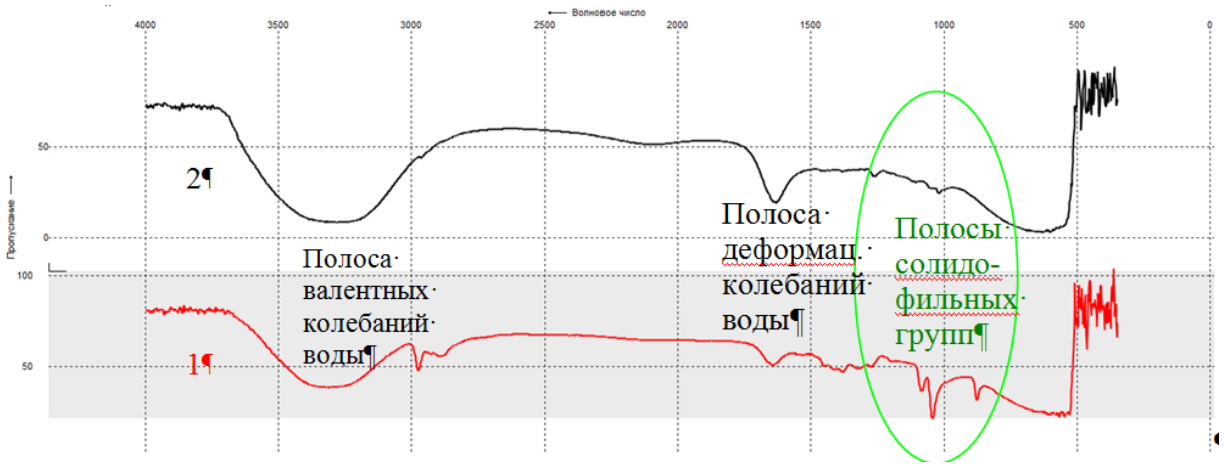


Рисунок - ИК-Фурье спектры МНПВО теннантита после взаимодействия с реагентами: 1 - AERO 5100; 2 - бутиловый ксантогенат

Об образовании на поверхности теннантита нового соединения с химически

закрепленным собирателем свидетельствует и новая полоса в этой области с максимумом 1084 см$^{-1}$. Следует отметить, что увеличение интенсивности, ширины и площади полосы в области 485см$^{-1}$, а также образование полосы 1020 см$^{-1}$ для теннантита после взаимодействия с ксантогенатом указывает на образование в поверхностном слое диксантогенида. Интенсивности максимумов, относящихся к полосам пропускания солидофильных групп реагента AERO 5100, взаимодействующих с теннантитом, выше, чем для ксантогената, что указывает на большую степень химической сорбции реагента AERO 5100 на теннантите по сравнению с ксантогентом (область полос пропускания на рисунке выделена зеленым овалом). Сравнение строения молекул ксантогената и тионокарбамата также показывает, что замена атома серы, связанной полуторной связью с углеродом, в ксантогенате на электронодонорную группу R2N- в тионокарбамате повышает прочность связи сера-металл минерала.

Таким образом, прочность закрепления AERO 5100 на минерале теннантите выше, чем для бутилового ксантогената калия, что определяет большую селективность AERO 5100 к теннантиту.

Сведения об авторах:

Кунилова Ирина Валерьевна, с.н.с., к.т.н., ИПКОН РАН, тел. (916)225-15-81, факс (495) 360-89-60, e-mail: ivkunilova@yandex.ru 111020, Москва, Крюковский туп., д.4

Ягудина Юлия Радиковна, начальник исследовательской лаборатории ОАО "Учалинский ГОК", тел. (34791) 9-53-47, факс (34791) 6-05-36, e-mail: yagudina52@mail.ru 453700, Республика Башкортостан, г. Учалы, ул. Горнозаводская, д. 2

УДК 622.834

ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Козырь С.В.

Аннотация: приведен пример опытного замера конвергенции пород кровли в очистном забое, а также разработка геомеханической модели и определения конструктивных особенностей гидравлических механизированных крепей для обеспечения оптимальных силовых режимов взаимодействия с вмещающими породами обеспечивающих энергетическую стабильность системы "крепь-породный массив".

Шахтные натурные наблюдения являются наиболее достоверным методом

исследования особенностей геомеханических процессов в горном массиве. Такие исследования выполняются методами визуального наблюдения, или с использованием специальной аппаратуры. Наилучшие результаты дает рациональное сочетание этих методов. Методика комплексных исследований в очистных забоях шахтах Донецкого угольного бассейна разработана Республиканским академическим научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ). Эта методика предполагает исследование особенностей взаимодействия механизированных крепей с породным массивом и установление закономерностей протекания геомеханических процессов.

Комплексные исследования были проведены в 8-й западной лаве пласта l_4 ГП «ДУЭК» "Шахта Трудовская" [1].

Полезная мощность пласта изменяется от 1,45 до 1,63 м, составляя в среднем 1,5 м. Угол падения пласта – 10-11^0, объемный вес угля – 1320 кг/м^3 и сопротивление угля резанию – 250 кН/м. Непосредственная кровля пласта мощностью от 1,0 до 3,0 м по классификации Донуги относится к категории $Б_2$- $Б_3$ (неустойчивая и среднеустойчивая). Основная кровля состоит из твердых песчаников и классифицируется категорией $А_2$-$А_3$ (легко- и среднеобрушаемая). Лава отрабатывается механизированным комплексом 2МКД90.

Для инструментальных замеров и визуальных наблюдений оборудовалась замерная станция на секции механизированной крепи. На четырех стойках через предохранительные клапаны устанавливались манометры МП-3, показания которых дежурный наблюдатель фиксировал с интервалами 10 мин, а во время прохода комбайна и перемещения секций крепи в районе замерной станции каждую минуту. Кроме того, выполнялись измерения конвергенции вмещающих пород стойками СУИ-2 с индикаторами ИЧТ-0,01. Показания индикаторов и манометров фиксировались одновременно. Геологическую и вынимаемую мощность пласта измеряли рулеткой. Расстояние от забоя до точки первого контакта перекрытия с кровлей, а также толщину породной подушки на перекрытии определяли на каждом цикле передвижки секций крепи. Состояние

кровли (заколы, трещины, ступени, вывалы и т. д.), размеры устойчивых обнажений пород в выработанном пространстве фиксировали с помощью фотоаппарата. Продолжительность выполнения технологических операций хронометрировали с точностью до 5 мин.

Интенсивная конвергенция вмещающих пород наблюдалась после прохода комбайна в средней части призабойного пространства на расстоянии 1,6-1,8 м от забоя, что подтверждает гипотезу о s-образном опускании кровли и возникновении растягивающих напряжений в массиве при увеличении расстояния от забоя до первой стойки крепи [2]. При этом линия опускания непосредственной кровли приближается к экспоненте, обуславливая образование растягивающих напряжений в нижних слоях, раскрытие трещин и вывалы породы в призабойном пространстве лавы.

Моделирование, как метод познания действительности, широко применяется в различных областях науки. При решении задач горной геомеханики используются физические, аналитические и численные методы моделирования натуры [3, 4].

Среди методов физического моделирования наибольшее распространение получили метод эквивалентных материалов и поляризационно-оптический. Иногда их используют с методами структурных моделей, электроаналогии и центробежного моделирования. Сущность этих методов заключается в замене естественных горных пород такими искусственными материалами в модели, физико-механические показатели которых находятся в определенных соотношениях с аналогичными показателями объектов натуры. Такая замена действительности моделью осуществляется с помощью критериев и констант подобия.

Методы физического моделирования широко апробированы при решении широкого круга задач; они обладают высокой наглядностью, но позволяют получать только качественную картину физической природы изучаемых процессов. Наряду с преимуществами физическое моделирование имеет и недостатки: невысокая точность результатов, связанная со значительным

искажением (масштабным уменьшением) действительности, получение результатов в относительных показателях, высокая материалоемкость и трудоемкость изготовления моделей.

Этих недостатков лишены аналитические методы моделирования, существенное достоинство которых состоит в возможности получения количественных результатов в абсолютных показателях, более полном учете реальных свойств массива горных пород, геометрических размеров и внешних воздействий. К аналитическим относятся методы, в которых искомые показатели представляются в явном виде и могут быть вычислены с любой степенью точности, а к численным – методы, в которых сплошная среда аппроксимируется квазидискретной моделью.

По сравнению с аналитическими, численные методы более гибкие, так как дают возможность моделировать неоднородность породного массива, различные включения и зоны ослабления трещинами, а также позволяют учитывать большее количество физико-механических характеристик пород.

Среди численных методов наибольшее распространение получил метод конечных элементов (МКЭ), обладающий значительным диапазоном возможностей для решения различных задач горной геомеханики [5, 6].

При использовании МКЭ породный массив заменяется квазидискретной моделью, состоящей из конечного числа плоских треугольных элементов. При этом сохраняются реальные геометрические размеры и напряжения в массиве.

Для решения задачи имитирования взаимодействия механизированной крепи с породным массивом необходимо разработать геомеханическую модель. Разработка геомеханической модели включает в себя последовательное решение следующих вопросов: установление геометрических размеров расчетной схемы и способа разбиения ее на элементы с учетом исходной постановки задачи; вычленение в расчетной схеме интересующей области исследования путем вычисления внутренних сил на каждом этапе расчета и использования их в качестве внешних нагрузок в следующем этапе, то есть осуществление постепенного перехода от общего решения к частному.

Поскольку охватить весь диапазон различных сочетаний горно-геологических факторов не представляется возможным, ограничимся условиями 8-й западной лавы пласта l_4 ГП «ДУЭК» "Шахта Трудовская", которые являются наиболее представительными условиями залегания пластов для Донецкого угольного бассейна.

Полагаем, что производится отработка пологого угольного пласта мощностью 1,5 м, залегающего на глубине около 1000 м. В основной кровле пласта залегают породы категории $А_2$ или $А_3$ (песчаники, мощностью от 5 до 20 м с шагом вариации в моделях 5 м), непосредственная кровля – аргиллит категории $Б_2$ или $Б_3$ имеющий мощность 1,0 до 3,0 м (мощность непосредственной кровли варьируется в моделях с шагом 0,1 м). В почве – алевролит категории $П_{2-3}$.

Для горных пород характерны гравитационные, прочностные и деформационные свойства. Наиболее полно эти свойства отражают следующие физико-механические характеристики: плотность (ρ, кг/м^3), сцепление (С, Па), угол внутреннего трения (φ, град.), модуль упругости (Е, Па), коэффициент Пуассона (ν) и предел прочности на растяжение ($\sigma_р$, Па). Обобщенные значения этих показателей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики вмещающих пород и угольного пласта

Слои элементов	Физико-механические характеристики массива						Категория пород
	ρ, кг/м^3	С, Па	φ, град.	Е, Па	ν	$\sigma_р$, Па	
I	Вышележащие породы и грунты						
	2500	$10\cdot10^6$	22	20000	0,32	$2\cdot10^6$	
II	Основная кровля						По обрушаемости:
	2400	$15\cdot10^6$	35	25000	0,33	$3\cdot10^6$	$А_2$
	2600	$20\cdot10^6$	40	30000	0,31	$4\cdot10^6$	$А_3$
III	Непосредственная кровля						По устойчивости:
	2600	$5\cdot10^6$	25	10000	0,29	$1\cdot10^6$	$Б_2$
	2800	$7\cdot10^6$	30	15000	0,26	$1,5\text{-}10^6$	$Б_3$
IV	Угольный пласт						
	1300	$3,4\cdot10^6$	37	4600	0,30	$0,6\text{-}10^6$	
V	Почва						По устойчивости:
	2700	$13\cdot10^6$	35	22000	0,34	$2,6\text{-}10^6$	$П_{2-3}$

Геомеханическая модель представляет собой вертикальный разрез от земной поверхности до глубины 1100 м (рис. 1). Горизонтальные размеры модели также принимаются 1100 м. Размеры приняты априори при условии неизменности

геостатических напряжений на границах. Если предполагаемые сдвижения будут выходить за границы модели, то ее размеры необходимо увеличить. Сетка конечных элементов сгущается в районе угольного пласта, где предполагаются высокие градиенты напряжений.

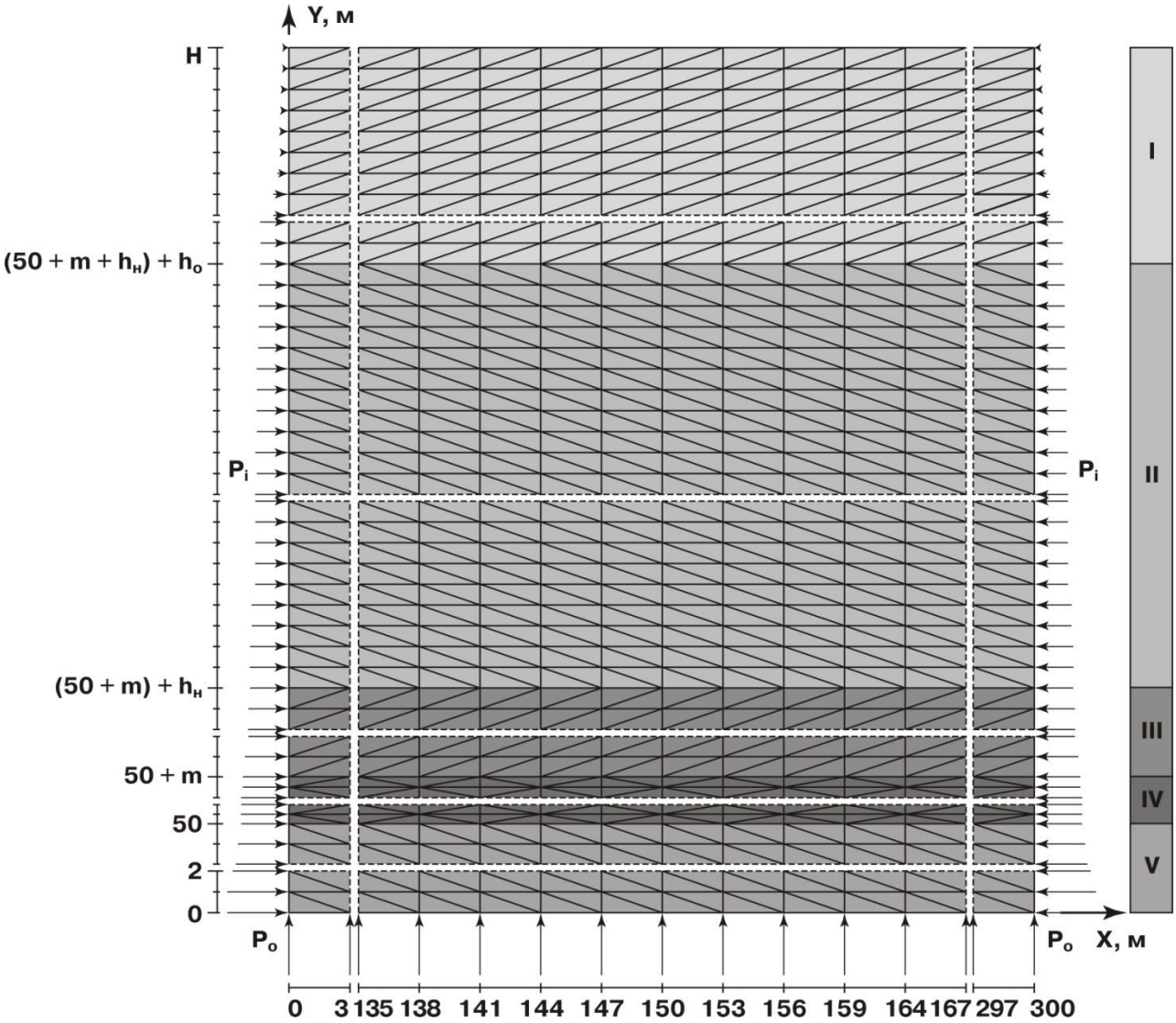


Рис. 1. Схема к расчету напряжений в горном массиве:
H - вертикальный размер модели, м; m - мощность угольного пласта, м; $h_н$ - мощность непосредственной кровли, м; $h_о$ - мощность основной кровли, м; P_0 - геостатические напряжения в горном массиве, МПа; P_i - напряжения на вертикальных границах модели, МПа; I, II, III, IV, V - номера слоев элементов, согласно табл. 1

На первом этапе решения задачи проверяется условие равновесия модели. Расчеты выполняются для массива не подверженного влиянию горных работ и модель при этом должна сохранять геостатическое равновесие. Распределение напряжений в любом произвольном вертикальном сечении должно в точности повторять картину распределения внешних сил на границах модели.

На втором этапе моделируется проведение разрезной печи, наличие которой вызывает незначительные смещения пород и перераспределений напряжений. В последующих этапах моделируется выемка угля путем увеличения пролета кровли в выработанном пространстве на величину подвигания забоя лавы ΔL. Расчеты выполняются до тех пор, пока не будет зафиксировано разрушение элементов, имитирующих основную кровлю, то есть, пока не произойдет первичное обрушение. Если первичная посадка кровли произошла на n-ом этапе расчетов, то предыдущее n-1 решение принимается в качестве исходного для вычленения в модели участка меньших размеров, а полученные напряжения являются граничными условиями для исследуемой области.

В исследуемой области моделируется призабойная крепь путем приложения противодействующих сил к узлам элементов, имитирующих породы кровли в призабойном пространстве.

Разработанный алгоритм моделирования геомеханических процессов в горном массиве реализован комплексом прикладных программ FEM. В отличие от известных алгоритмов в программах FEM используется полученное впервые аналитическое решение задачи формирования матриц жесткости элементов, что значительно повышает быстродействие вычислений и не требует значительного объема памяти компьютера. Наибольший эффект от использования комплекса программ FEM достигается при решении сложных задач имитирования геомеханических процессов на значительной площади горного массива, а также при решении задач моделирования взаимодействия крепи с неустойчивыми породами кровли, когда возникает необходимость сгущения сети элементов в местах высоких градиентов напряжений.

Установлено, что для повышения адаптивности крепи к условиям неустойчивых пород кровли необходимо обеспечить возможность ее работы в режиме оптимальных силовых параметров, соответствующих горногеологическим условиям залегания пласта. Для условий неустойчивых пород кровли (категория $Б_2$) удельной сопротивление крепи должно изменяться от 350 до 400 кН/м^2, а для среднеустойчивых $Б_3$ - от 400 до 450 кН/м^2. Завышенное,

или заниженное сопротивление крепи приводит к нарушению сплошности пород и вывалообразованиям в призабойном пространстве лавы.

Существующие гидравлические механизированные крепи в силу своих конструктивных особенностей не способны обеспечить оптимальные силовые режимы взаимодействия с вмещающими породами. Поэтому крепи очистных забоев, адаптивные к неустойчивым кровлям, должны иметь новую конструкцию и базироваться на новых принципах взаимодействия с вмещающими породами, обеспечивающих энергетическую стабильность системы "крепь-породный массив".

Список литературы

1. Антипов И.В., Савенко А.В., Стаднюк Е.Д., Жуковцов И.В., Козырь С.В. Инструментальные наблюдения конвергенции вмещающих пород и смещения краевой части угольного пласта в очистном забое шахты «Трудовская» / Вісті Донецького гірничого університету, № 1(32). – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С. 13-22.

2. Стаднюк Е.Д., Козырь С.В. Исследование шага первичной посадки основной кровли для условий пологого пласта / Матеріали регіональної науково-практичної конференції «Проблеми гірничої технології» – Красноармійськ: ДонНТУ. – 2012. – С. 94-100.

3. Стаднюк Е.Д., Жуковцов И.В., Козырь С.В. Эволюция моделей расчета шага обрушения основной кровли / Физико-технические проблемы горного производства. Вып. 15. Физические, геомеханические и технологические проблемы добычи полезных ископаемых. – Донецк: Институт физики горнах процессов НАН Украины, 2012. – С. 99-110.

4. Филимонов П.Е., Антипов В.И. Методы моделирования объектов горной геомеханики / Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Сб. научн. тр.– Донецк: ООО "Норд Компьютер", 2002. – С. 20–21.

5. Antypov I., Filimonov P., Shcherbinin D. Finite Element Method in geomechanics / DonNTU.- Donetsk, 2001.- P. 86-88.

6. Антипов И.В., Филимонов П.Е. Имитирование условий взаимодействия крепи с горным массивом методом конечных элементов / Сб. научн. тр.

"Геотехническая механика".- ИГТМ НАН Украины, № 49.- 2004.- С. 99-106.

Сведения об авторе:

Козырь Сергей Вячеславович, ведущий инженер, Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), г.Донецк, ул. Челюскинцев, 291, e-mail: kozirsergey@ukr.net; +38(050)502-48-81.

УДК 338.45:622'17:504.062

СПЕЦИФИКА МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ, ПОДСЧЕТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РУД И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Ларичкин Ф.Д., Новосельцева В.Д., Гончарова Л.И.

Рациональное использование многокомпонентного природного и техногенного минерального сырья начинается и во многом обеспечивается на стадии геологического изучения и геолого-экономической оценки выявленных ресурсов при экономическом обосновании параметров кондиций для рационального оконтуривания и подсчета промышленных запасов природного или техногенного месторождения и содержащихся в них промышленных запасов всех ценных составляющих, включая, так называемые основные и попутные компоненты.

В качестве основы группировки попутных полезных ископаемых и компонентов принята форма нахождения каждого конкретного ценного компонента в горной массе месторождения в широком смысле (включая, кроме промышленной залежи, весь комплекс покрывающих и часть вмещающих пород) и взаимосвязанный с ней технологический принцип последующего выделения компонентов в самостоятельные готовые конечные продукты. Безусловно, это обстоятельство является весьма важным и необходимым для геологоразведочных работ и рационального использования ресурсов месторождения. Но заявленный принцип не облегчает решения сложной проблемы определения себестоимости каждого из вырабатываемых компонентов (продуктов) и дифференцированной оценки экономической эффективности производства каждого их них в

отдельности, обоснования рационального перечня полезных компонентов, подлежащих извлечению при переработке и учету в промышленных запасах месторождения.

Зачастую и основные компоненты представлены в сырье, как самостоятельными минералами (извлекаемыми, либо не извлекаемыми по имеющимся технологиям), так и различными неструктурными механическими или изоморфными примесями в рудных и нерудных минералах. Т.е. необходимость изучения форм нахождения в сырье должна распространяться на все без исключения как полезно используемые, так и удаляемые в отходы компоненты, особенно экологически опасные. Кроме того, не решается проблема дифференцированной оценки экономической эффективности извлечения и использования каждого из основных полезных компонентов в тех случаях, когда их в перерабатываемом сырье больше одного. Например, медь и никель в медно-никелевом; медь и цинк в медно-цинковом; медь, свинец и цинк в полиметаллическом сырье. Предлагается лишь выделять условный основной или *«главный»* [1] из основных компонентов, который имеет наибольший удельный вес в товарной продукции. Но содержания ценных компонентов в пределах месторождения (залежи, выемочного блока) в большинстве случаев варьируют в широких диапазонах, а уровень извлечения отдельных компонентов при переработке сырья может существенно меняться, особенно при изменении технологии, так что удельный вес основных компонентов в стоимости товарной продукции не является постоянным.

Для повышения обоснованности учета специфики, анализа и оценки целесообразности и экономической эффективности комплексного освоения месторождений многокомпонентных руд и промышленного использования каждого из ценных его составляющих-компонентов, необходимо уточнение условий и методики обоснования параметров кондиций, обеспечивающих индивидуальную целесообразность - рентабельность извлечения каждого из ценных компонентов руды в готовую конечную товарную продукцию при непременной общей рентабельности комплексного использования разведанных

запасов конкретного многокомпонентного минерального сырья в целом, учитываемых по промышленным категориям в Государственном балансе минерального сырья.

Применительно к многокомпонентным месторождениям определение минимально-промышленного содержания основного компонента по сравнению с определением минимально-промышленного содержания условного компонента с учетом не только основных, но и всей совокупности промышленно значимых «попутных» компонентов, кроме того, имеет следующий недостаток.

Отдельные части месторождений (геологические блоки, обособленные залежи, линзы, мощные прослои и т.п. в контуре промышленных запасов и непосредственно прилегающие к ним) с относительно низким содержанием «основных» компонентов, могут иметь повышенные содержания высокоценных «сопутствующих» компонентов, обеспечивающих высокорентабельную их отработку. Поэтому ограничение изучения «сопутствующих» полезных ископаемых и компонентов границами разведки «основных» полезных ископаемых [1,5,6] может привести к снижению потенциальной ценности месторождения и утрате значительной части рентабельных конкурентоспособных ресурсов. Кроме того, на стадиях поисковых, оценочных работ и даже разведки месторождений еще не вполне выявляется общая и, особенно, относительная промышленная и коммерческая значимость отдельных ценных компонентов многокомпонентного сырья, соответственно обоснованное выявление попутных, основных компонентов и главного из основных, соответственно рациональных границ разведочных работ на их основе, весьма проблематично.

В зарубежной практике понятие и терминология комплексного использования минерального сырья практически не используются, а для подсчёта запасов месторождений многокомпонентных руд используются методы геостатистики в форме совместного кригинга (co-kriging), использующего корреляции содержаний компонентов [4-7].

Аналогичный методический подход использовался и в отечественной практике, в частности для оценки содержаний (соответственно запасов)

сопутствующих минералов и элементов, в частности, редкоземельных по крупнейшим хибинским месторождениям апатитонефелиновых руд по корреляции с известными (базовыми) данными анализов на P_2O_5 и Al_2O_3 с учетом природных типов руд [8].

Однако и в зарубежной и отечественной практике до настоящего времени вопрос о круге полезных компонентов и их минимальном содержании, включаемых в подсчет промышленных запасов по тому или иному подсчетному блоку, месторождению в целом решается субъективно, целиком в зависимости от компетенции и предпочтений конкретного исполнителя, так как экономическая целесообразность получения отдельных компонентов при этом не выявляется. Минимальное содержание так называемых «попутных» компонентов при обосновании кондиций и подсчете запасов, как правило, не устанавливается, либо рекомендуется принимать близким к их содержанию в отходах обогащения или металлургического (химического передела) [1, 3]. В зарубежной экономической литературе проблемы комбинированного комплексного использования многокомпонентного сырья рассматриваются только в части распределения совокупных затрат между вырабатываемыми продуктами [9, 10].

Исследование специфических особенностей экономического обоснования основных параметров кондиций при комплексном особенности использовании многокомпонентного минерального сырья позволило предложить методику количественного расчета в дополнение к минимально-промышленному содержанию условного компонента (в пересчете всех промышленно значимых компонентов многокомпонентного сырья в один из них – условный) в разведанном сырье – предельных браковочных-бортовых содержаний каждого из ценных компонентов руды в отдельности, исходя из условия окупаемости только индивидуальных прямых затрат, непосредственно связанных и непременно возникающих при организации производства только данного конкретного компонента (концентрата) без учета какой-либо части косвенных расходов, необходимых для производства хотя бы двух или всех ценных компонентов сырья [11]. Предложенная методика обеспечивает обоснованное оконтуривание и

подсчет промышленных запасов руды в целом и каждого из его ценных составляющих на экономически обоснованной рациональной основе.

Последующие исследования авторов показали необходимость уточнения и развития предложенного подхода, поскольку оконтуривание месторождений на основе бортовых содержаний «*n*-ценных составляющих-компонентов» многокомпонентного сырья, как правило, приводит к совокупности различных, в общем случае несовпадающих «*n*-контуров» месторождения. Большое количество *n*-контуров характерно при оконтуривании полиметаллических руд (до 10-12) и руд редкоземельных металлов - РЗМ (до 15 и более). Конструирование из полученных «*n*-контуров» оптимального контура промышленных запасов месторождения, соответствующего рассчитанному минимально-промышленному содержанию условного компонента, а также индивидуальной рентабельности производства каждого из извлекаемых ценных компонентов, не представляется возможным и требует дополнительных исследований.

Исходя из сказанного, для рационального оконтуривания месторождений минерального сырья при обосновании основных параметров кондиций необходим максимальный учет их специфических особенностей и закономерностей распределения ценных компонентов в рудных залежах месторождений и процессах их производства и потребления и формирования экономических параметров комбинированного комплексного производства.

Повышение уровня и эффективности комплексного использования сырья на основе технического прогресса, выявления и использования всех имеющихся резервов является составной частью общей проблемы повышения эффективности общественного производства.

Список литературы

1. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р. – М.: НП НАЭН, 2007. – 60 с.

2. Требования к комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных компонентов. – М: ГКЗ СССР, 1982. – 21с.

3. Методические рекомендации по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов. Рекомендованы к использованию протоколом МПР России от 03.04.2007 г. №11-17/0044-пр. – М.: ФГУ «ГКЗ», 2007. – 16 с.

4. Armstrong M. Basic linear geostatistics. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1998. 149 p.

5. Dubrule O. Two methods with different objectives: splines and kriging // Math. Geol. 1983. V. 15. N 2. P. 245-257.

6. Merks J.W. Applied statistics in mineral exploration // Mining Engineering. 1997. V. 49. N 2. P. 78-82.

7. Rivoirard j. Introduction to disjunctive kriging and non-linear geostatistics. Oxford: Clarendon Press, 1994. 181 p.

8. Каменев Е.А. Эффективность комплексной переоценки хибинских месторождений по новой методике //Проблемы комплексного использования природных ресурсов Кольского Севера. – Апатиты: КНЦ РАН, 1989.

9. Друри, К. Введение в управленческий и производственный учет: учеб. пособие для вузов / К. Друри ; пер. с англ. под ред. Н. Д. Эриашвили ; предисл. проф. П. С. Безруких. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Аудит : ЮНИТИ, 1998. – 783 с.

10. Управленческий учет 1. Учебное пособие. Подготовлено корпорацией ПРАГМА при поддержке Агентства США по международному развитию. – Бишкек, 2005.

11. Ларичкин Ф.Д., Азим Иброхим, Глущенко Ю.Г., Переин В.Н., Хамзин Б.С. О методологии обоснования параметров кондиций на месторождениях многокомпонентных руд // Горный журнал, 2011, №7. – С. 36-39; и №8. – С 69-72.

Сведения об авторах:

Ларичкин Федор Дмитриевич, д. э.н., профессор, директор, e-mail: lfd@iep.kolasc.net.ru), р.т. 815555-79-310

Новосельцева Валентина Дмитриевна, к.э.н., доцент, e-mail: lfd@iep.kolasc.net.ru), р.т.

881555- 79-500

Гончарова Лариса Ивановна, научный сотрудник, e-mail: goncharova@iep.kolasc.net.ru), р.т. 81555-79-457

ФБГУН Институт экономических проблем им. Г.П. Лузина КНЦ РАН, 184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, д. 24-а,

УДК 622.831.27

ОСОБЕННОСТИ СДВИЖЕНИЯ ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Лобков Н.И.

В процессе выемки угля постоянно растет площадь (длина) очистной выработки, начиная с момента отхода лавы от разрезной печи (рис 1). Одновременно

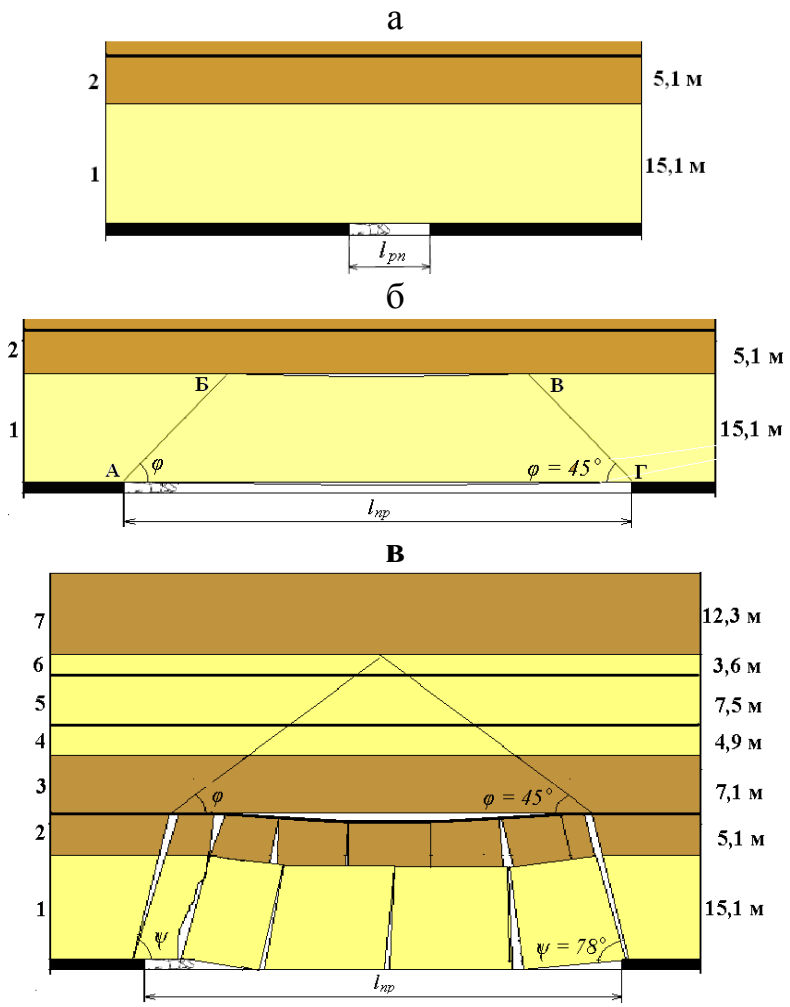


Рис. 1. Развитие длины выработанного пространства при подвигании лавы: **а** – до 10 м от разрезной печи; **б** – на величину предельного пролета слоя №1; **в** – на величину первичной посадки слоя №1; 1…7 – номера породных слоев

увеличивается площадь обнажения кровли. Моделирование поведения пород кровли при выемке пласта d_4 шахты «Красноармейская-Западная №1» на модели из эквивалентных материалов показало следующее. Слой №1 (рис. 1а) при отходе лавы от разрезной печи не более чем на 10 м ($l_{pn} \leq 10$ м) зависает над выработанным пространством без заметных смещений. Дальнейшее подвигание лавы (рис. 1б) ведет к упругому деформированию слоя №1. Слой №2 при этом зависает без заметных смещений. Линии ***АБ*** и ***ВГ***, соединяющие точки изгиба слоя №1, наклонены к горизонтальной линии под углом $\varphi = 45^{o}$. При достижении предельного пролета слоя №1 ($l_{пр}$) отмечается максимальная величина его изгиба. Слой №2 обнажился по линии ***БВ*** и завис над слоем №1. Малейшее дальнейшее подвигание забоя привело к обрушению слоя №1 вместе со слоем №2 (рис. 1в). Слой №3 завис над слоями №2 и №1. Углы наклона линии обрушения к горизонтали составили $\psi = 78^{o}$. Слои №4, №5, №6 практически не сдвигались.

Таким образом, формирование области сдвижения пород в кровле пласта производится последовательным послойным изгибом породных слоев в пределах упругости с последующим последовательным послойным обрушением. Особенностью обрушения слоев является формирования групп слоев, в которых нижний слой, имеющий больший предельный пролет является несущим, а верхний или несколько верхних с меньшими предельными пролетами изгибаются и обрушаются вместе с несущим слоем. Такие слои с меньшими предельными пролетами являются пригрузкой несущему слою и способствуют уменьшению шага посадки.

Для прогнозирования числа породных слоев, приходящих в сдвижение над выработанным пространством в процессе выемки угля, кроме углов наклона линий изгиба (φ) и обрушения (ψ) слоев над выработанным пространством, необходимо знать их предельные пролеты. Поскольку предельный пролет слоя это пролет перед обрушением, рассмотрим его обрушение как средней части тонкой плиты жестко защемленной с двух, трех и четырех сторон [1]. Среднюю часть плиты можно представить в виде единичной балки-полоски жестко защемленной с двух сторон. Распределение горизонтальных напряжение в месте

заделки балки приведено на рисунке 2. Породный слой №1 изгибаясь, формирует опорное давление на краевую часть пласта $P_{on}^{\max}$. В результате физического моделирования установлено, что обрушение породного слоя во время первичной посадки происходит вследствие возникновения трещины на верхней его кромке и распространения ее по всей мощности до нижней кромки. На верхней кромке слоя действуют вертикальные сжимающие напряжения, $\sigma_{сж1}^{вер}$, вызванные опорным давлением P_{on}^{max}, а также горизонтальные растягивающие $\sigma_{p}^{гор}$.

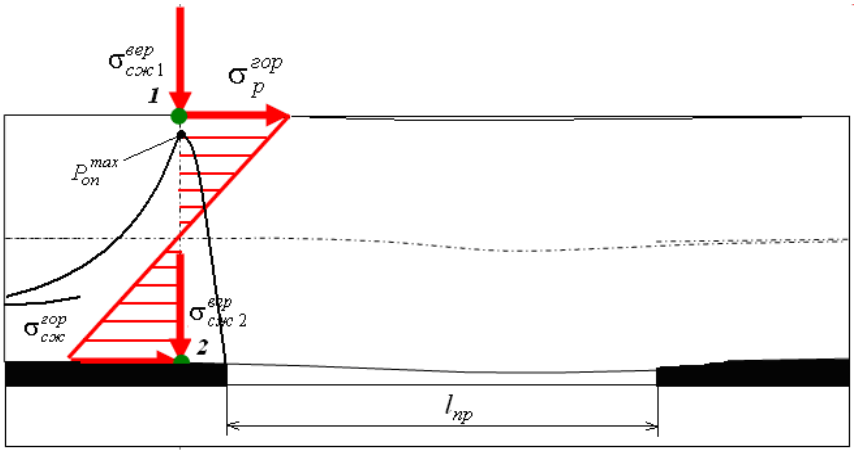


Рис. 2. Схема распределения напряжений в заделке слоя при его изгибе

На нижней кромке слоя действуют горизонтальные сжимающие напряжения $\sigma_{сж}^{гор}$ от изгиба слоя и $\sigma_{сж2}^{вер}$, возникшие в результате действия опорного давления и изгиба слоя. Очевидно, что под действием горизонтальных растягивающих напряжений $\sigma_{p}^{гор}$ и при отходе лавы на величину $l_{пр}$ в точке 1 начнет зарождаться трещина. При пересечении трещиной слоя по всей мощности (достижении точки 2) произойдет обрушение слоя (рис. 3).

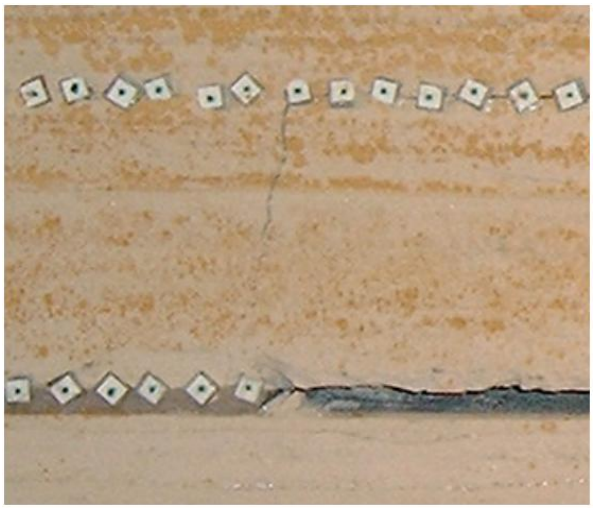


Рис. 3. Распространение трещины в слое кровли перед обрушением

Трещины под действием растягивающих напряжений возникают и на нижней кромке изгибающегося слоя в центральной его части. Но их распространение по всей мощности слоя (до верхней кромки) сдерживается действием горизонтальных сжимающих напряжений. Развитию секущей трещины, из-за которой и происходит обрушение слоя, способствует деформирование угольного пласта в зоне восходящего опорного давления. Смятие пласта ведет к расхождению берегов зародившейся трещины, чего не наблюдается у трещин на нижней кромке в середине слоя.

По А. Гриффитсу разрушение хрупких материалов начинается тогда, когда растягивающие напряжения на контуре концентраторов напряжений типа трещин, включений менее прочного материала и других микроскопических дефектов, достигают прочности молекулярных связей [2; 3]. Под действием максимальных горизонтальных растягивающих напряжений от верхней кромки слоя начинает развиваться трещина (рис. 4).

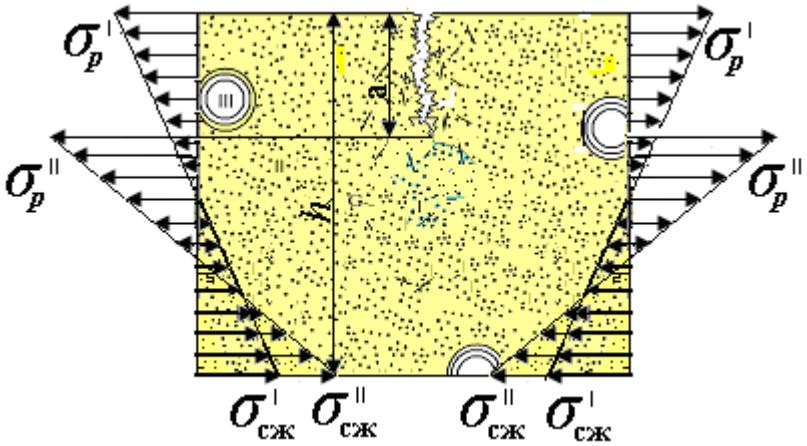


Рис. 4. Модель образования и развития трещины в породном слое:
I, II, III – нарушения в породе различных характеров и форм;
а – длина трещины.

С достижением трещиной длины **а,** максимум растягивающих напряжений смещается вниз на такое же расстояние. При этом увеличивается максимальная величина горизонтальных напряжений. Увеличение действующих горизонтальных напряжений ведет к увеличению скорости развития трещины и ее распространению к нижней кромке слоя. Увеличение растягивающих

горизонтальных напряжений с увеличением длины трещины **а,** обеспечивает ее практически мгновенное распространение от верхней кромки слоя к нижней. Обрушение породного слоя происходит при пересечении его трещиной по всей мощности.

Величина горизонтальных напряжений в породном слое может быть определена, как изогнутой балки при ее жестком защемлении с двух сторон [4] на опорах.

$$\sigma_{\rho} = \frac{q l_{пр}^{2}}{2h^{2}}, \text{ МПа} \qquad (1)$$

где q – распределенная нагрузка на породный слой, Мн/м^2;

$l_{пр}$– предельный пролет слоя перед обрушением, м;

h – мощность несущего породного слоя, м.

величина распределенной нагрузки, образованной весом группы слоев

$$q = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i h_i, \text{ Мн/м}^2 \qquad (2)$$

где Σq – суммарная нагрузка группы слоев, Мн/м^2;

n – количество слоев в группе.

Условие для образования трещины по А. Гриффитсу записывается

$$\sigma = \sqrt{\frac{2ÅÃ}{\pi \ell_{ò}}}, \text{ МПа} \qquad (3)$$

где σ – действующее напряжение, МПа;

$l_т$ – критическая длина трещины, м;

Е – модуль упругости, МПа;

Г – поверхностная энергия тела, Дж/м^2.

Учитывая нарушенность вмещающего массива, разрушение породного слоя при изгибе начнется с роста существующей трещины, критическая длина которой определится из выражения:

$$\ell_{êð} = \frac{2ÅG_c}{\pi \sigma_{ð}^{2}}, \text{ м} \qquad (4)$$

где G_c – эффективная поверхностная энергия (ЭПЭ), Дж/м^2;

$\sigma_р$ – предел прочности породы на растяжение, МПа.

Из выражений (1) и (4) определим:

$$\ell_{\text{ïð}}^{2} = \frac{2\text{h}_{\text{ñ}}}{\gamma_{\text{ñ}}}\sqrt{\frac{2EG_c}{\pi\ell_{\text{êð}}}}, \text{м}^2 \qquad (5)$$

ЭПЭ суммарно учитывает все процессы, поглощающие энергию перед фронтом трещины. Поэтому ЭПЭ является наиболее полной характеристикой сопротивляемости горных пород разрушению. Для определения ЭПЭ в условиях ступенчатого пдвигания очистного забоя (на ширину исполнительного органа выемочной машины) и увеличения напряжений соответствует метод центробежного разрыва дисков с отверстием по схеме [5].

Выводы

1. При деформировании породного слоя до первичной посадки угол изгиба φ составляет 45°;
2. Деформируемая кровля над выработанным пространством делится на группы слоев, которые состоят из несущего слоя и слоев, изгибающихся и обрушающихся вместе с несущим, т.е. слоев пригрузки;
3. Обрушение группы слоев происходит в результате возникновения трещины на верхней кромке несущего слоя в месте заделки над пластом и пересечения трещиной слоя по всей мощности.

Список литературы

1. Бубнов И.Г. Труды по теории пластин. – М., Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1953. – 423 с.

2. Griffits A. The theory of rupture. Proceedinq of 1-st International lonq. Appl. Mech., Delft, 1924, p. 55-63.

3. Партон В.З. Механика разрушения: От теории к практике.: Наука Гл. ред. физ.–мат. лит., 1990.– 240с.

4. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. Учебник под. Ред Г.С. Варданяна – М., Издательство АСВ, 1995.– 568 стр.

5. Пат. 39916 Україна, МПК (2009) G 01 N 3/00. Спосіб визначення тріщиностійкості гірських порід /Бачурін Л. Л., Ревва В. М., Кольчик Є. І.;

заявник і патентовласник Інститут фізики гірничих процесів НАН України. – № а 2007 01888 ; заявл. 23.02.07 ; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6.

Сведения об авторе:

Лобков Николай Иванович, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), 83004, г. Донецк, ул. Челюскинцев, 291; e-mail: iantypov@ukr.ne +380 (50) 156-56-79

УДК 621.926

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ АНТРАЦИТА В ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

Ленич С. В.

Запасы угля на Донбассе достаточны для обеспечения энергобезопасности региона и развития энергетики на несколько десятилетий. В условиях ограниченности инвестиций в разработку и внедрение новых угольных технологий целесообразно начать с наименее затратных мероприятий направленных на повышение эффективности и надежности тепловой схемы, системы пылеприготовления и энергетического оборудования существующих котельных установок.

На тепловых электростанциях для факельного сжигания используется пылевидное топливо, получаемое из антрацитов и тощих углей. При этом самым энергозатратным процессом при пылеприготовлении является измельчение угля до требуемой тонкости помола.

Таким образом, создание более эффективных и менее энергоёмких способов и технологий измельчения угля для сжигания представляет собой важную и актуальную задачу.

При пневмотранспортировании материалов в качестве энергоносителя применяют воздух. Двигаясь по сложным траекториям, частицы сыпучего материала соударяются друг с другом и, встречая на своём пути стенки и конструктивные элементы пневмотранспортной системы, ударяются о них. В

результате при транспортировании и сепарации наблюдается измельчение сыпучего материала. Это явление вызвало интерес у исследователей, занимающихся процессами измельчения сыпучих материалов.

На сегодняшний день разработаны различные конструкции пневматических и струйных (газоструйных) мельниц. Принцип их работы основан на ударе высокоскоростным потоком частиц о размольную плиту или друг с другом. Данный способ измельчения может быть реализован путём разгона частиц потоком воздуха и удара их о сменные отбойные плиты, установленные в коленах пневмотранспортного трубопровода.

На кафедре «Транспортные системы» ГОУ ВПО «Луганский государственный университет им. В. Даля» разработано два варианта конструкции пневмотранспортной измельчительной установки. Первый вариант представляет собой зигзагообразный измельчительный трубопровод, устанавливаемый в линейную часть трубопроводов, транспортирующих уголь. Второй вариант предполагает использование измельчительной установки, в виде вертикального змеевика с использованием П-образных колен. Конструкция и принцип действия разработанных устройств описаны в [1, 2].

Проведенный анализ показал, что в большинстве известных работ измельчение материалов в процессе пневмотранспортирования рассматривается как отрицательное явление. А целенаправленных исследований по установлению закономерностей измельчения материалов при движении аэросмеси по трубопроводам с измельчительными элементами проведено не было. Проведение таких исследований на экспериментальной установке представляет практическую ценность и научный интерес.

Исследование проводилось с целью установления экспериментальной зависимости влияния скорости аэросмеси, угла поворота колена транспортного трубопровода, массовой концентрации и первоначальной удельной поверхности измельчаемого материала на прирост удельной поверхности при ударе об отбойный элемент пневмотранспортной измельчительной установки. Результаты исследования позволят при правильном сочетании вышеперечисленных факторов

свести энергозатраты на измельчение угля к минимуму.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Анализ исследуемых факторов, описание измельчительной установки (принцип её работы) и порядок проведения опытов приведены в методике экспериментального исследования [3]. Установка оснащена 5-ю датчиками давления, турбинным расходомером, и счётчиками расхода воздуха и числа оборотов осевого вала питателя. Все показания приборов с помощью аналогового цифрового преобразователя регистрировались программой измерений на компьютере в режиме реального времени.

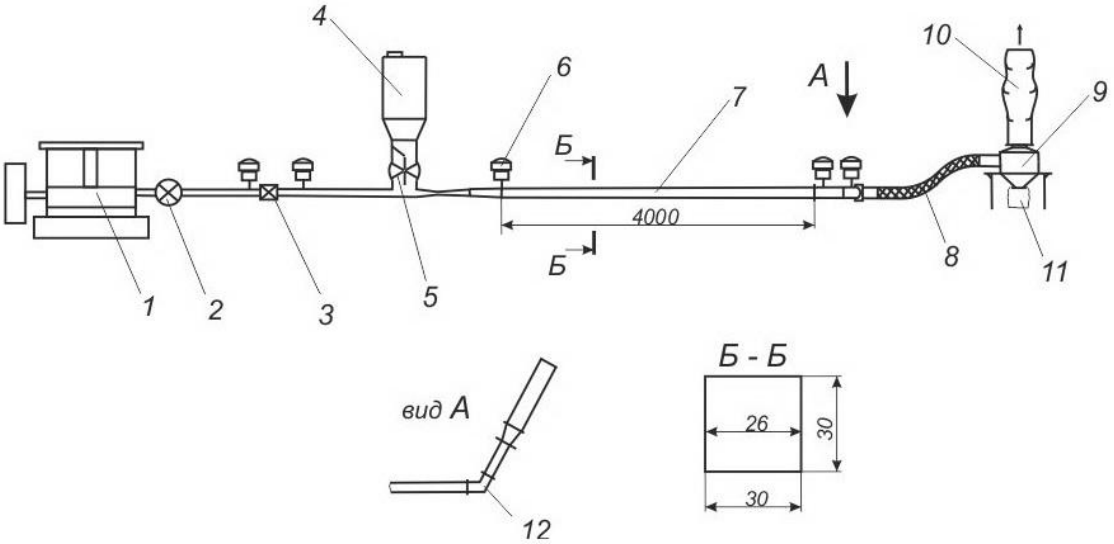


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
1 – компрессор поршневой; 2 – вентиль входной; 3 – расходомер турбинный; 4 – бункер; 5 – питатель секторный; 6 – датчики давления; 7 – разгонный участок (трубопровод квадратного профиля); 8 – соединительный шланг резиновый; 9 – циклон; 10 – фильтр тканевый; 11 – приёмный мешок (для выгрузки материала); 12 – колено

В качестве факторов выступают: угол поворота колена трубопровода δ (град.), скорость аэросмеси $V_{см}$ (м/с) перед коленом и массовая концентрация аэросмеси μ (кг/кг) [3]. В качестве параметра оптимизации y был принят прирост удельной поверхности ΔS_m (м^2/кг), характеризующий изменение дисперсности частиц угольной пыли.

Для оценки влияния крупности частиц на прирост удельной поверхности ΔS_m для каждого сочетания факторов было проведено пять последовательных ударов (циклов измельчения), причём после каждого удара бралась порция измельчённого угля, а оставшийся материал снова засыпался в бункер для следующего удара. Затем определялся гранулометрический состав, среднее значение удельной поверхности S_m взятых порций угольной пыли определялось расчётом согласно [4]. Разность удельных поверхностей пыли до удара и после него давала прирост удельной поверхности ΔS_m. Таким образом, можно было проследить характер изменения прироста удельной поверхности ΔS_m в зависимости от номера удара и удельной поверхности пыли S_m перед каждым ударом.

В результате было поставлено пять полных трёхфакторных экспериментов типа 2^3. Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни			Интервалы варьирования
	верхний +1	основной 0	нижний –1	
$V_{см}$, м/с	90	70	50	20
δ, град.	90	75	60	15
μ, кг/кг	2	1,2	0,4	0,8

По результатам обработки опытов получено пять уравнений регрессии. В натуральных величинах уравнения прироста удельной поверхности ΔS_m имеют вид:

– после 1-го удара:

$$\Delta S_{m1} = -2,86 + 0,2165V + 0,06\delta - 1,7875\mu; \quad (1)$$

– после 2-го удара:

$$\Delta S_{m2} = -4,82 + 0,198V + 0,051\delta - 1,194\mu; \quad (2)$$

– после 3-го удара:

$$\Delta S_{m3} = -3,015 + 0,142V + 0,045\delta - 1,0\mu; \quad (3)$$

– после 4-го удара:

$$\Delta S_{m4} = -1{,}565 + 0{,}111V + 0{,}031\delta - 0{,}914\mu; \quad (4)$$

– после 5-го удара:

$$\Delta S_{m5} = -1{,}173 + 0{,}09V + 0{,}022\delta - 0{,}642\mu. \quad (5)$$

Анализ уравнений (1)-(5), показывает, что в области эксперимента, наибольшее влияние на прирост удельной поверхности ΔS_m измельчаемого антрацита при его пневмотранспортировании оказывают: скорость аэросмеси $V_{см}$ и массовая концентрация μ. Причём, прирост удельной поверхности ΔS_m повышается с увеличением скорости аэросмеси $V_{см}$ и уменьшением массовой концентрации μ. В меньшей степени на прирост удельной поверхности ΔS_m влияет изменение угла поворота колена δ, увеличение которого (до 90º) приводит к росту ΔS_m.

Удельная поверхность угольной пыли S_m после i-го удара равна:

$$S_{m\,i} = S_{m_o} + \sum_{i=1}^{n} \Delta S_{m\,i}, \quad (6)$$

где S_{m_o} – первоначальная удельная поверхность угольной пыли, м^2/кг; i – номер удара (цикла измельчения); n – общее количество ударов (циклов измельчения).

С учётом формулы (6) можно проследить зависимость прироста удельной поверхности ΔS_m от текущей удельной поверхности S_m угольной пыли после каждого удара. Для этого используя экспериментальные математические модели (1)-(5) построим график зависимости $\Delta S_m = f(S_m)$, при этом принимаем постоянное сочетание факторов на верхних, средних и нижних уровнях (рис. 2).

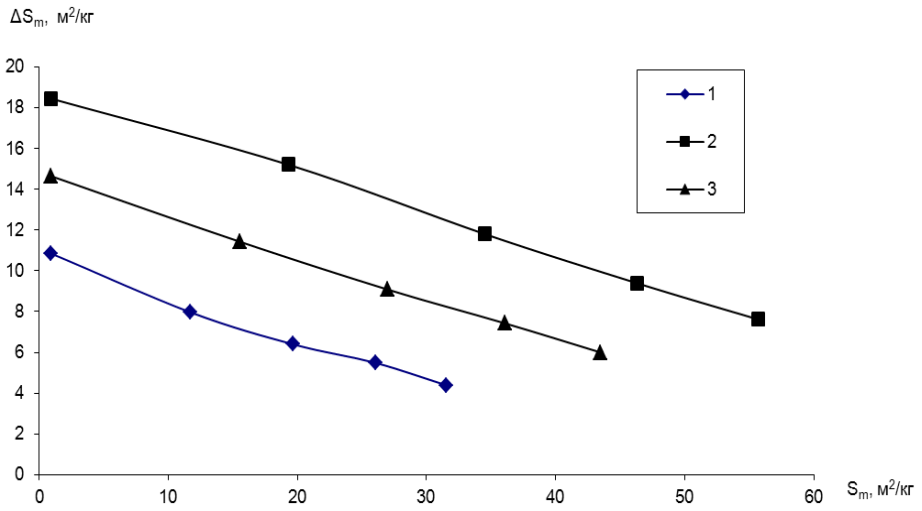


Рис. 2. График зависимости $\Delta S_m = f(S_m)$:

1 – все факторы (–1): $V_{см}$ = 50 м/с, δ = 60º, μ = 0,4 кг/кг;
2 – все факторы (+1): $V_{см}$ = 90 м/с, δ = 90º, μ = 2,0 кг/кг;
3 – все факторы (0): $V_{см}$ = 70 м/с, δ = 75º, μ = 1,2 кг/кг

Как видно из графика (рис. 2) зависимость $\Delta S_m = f(S_m)$ имеет выраженный линейный характер. Уравнение ($y = kx+b$) наклонных прямых имеет вид:

$$\Delta S_m = \left(\Delta S_{m1} + 0,2\right) - 0,2 \cdot S_m . \qquad (7)$$

где ΔS_{m1} – прирост удельной поверхности после первого удара, м^2/кг.

Далее подставив уравнение (1) в формулу (7) получим:

$$\Delta S_m = -2,66 + 0,2165 V_{см} + 0,06\delta - 1,7875\mu - 0,2 \cdot S_m . \qquad (8)$$

Для нескольких последовательных ударов уравнение (8) примет вид:

$$\Delta S_{m\,i} = -2,66 + 0,2165 V_{см} + 0,06\delta - 1,7875\mu - 0,2\left[S_{m_o} + \sum_{i=2}^{n} \Delta S_{m\,i-1}\right], \qquad (9)$$

На графике (рис. 3) представлена зависимость $\Delta S_m = f(S_m)$, определённая по уравнению (9) для пяти ударов и показано сравнение с экспериментальными точками. Добавочные проверочные экспериментальные точки взяты на основании дополнительно проведенных опытов.

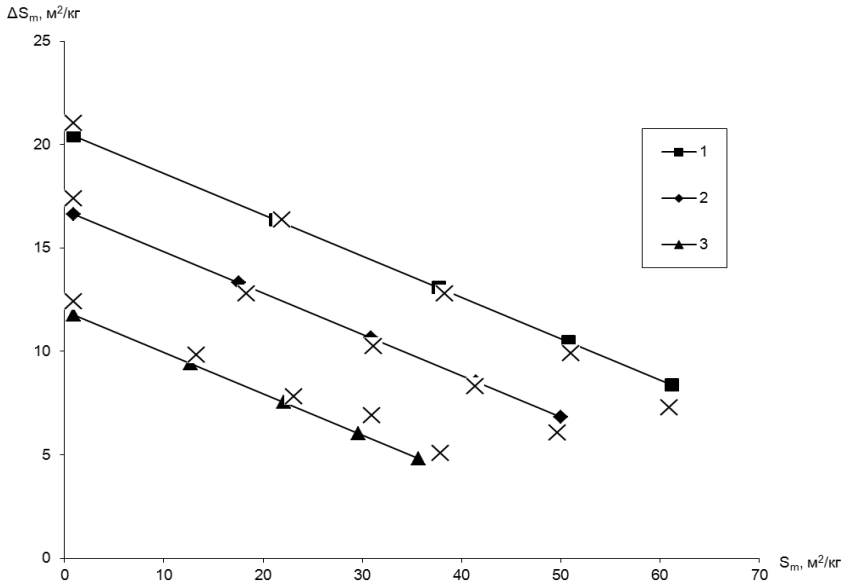


Рис. 3. График зависимости $\Delta S_m = f(S_m)$:

1 – $V_{см}$ = 90 м/с, δ = 75º, μ = 0,4 кг/кг; 2 – $V_{см}$ = 70 м/с, δ = 90º, μ = 0,6 кг/кг;
3 – $V_{см}$ = 50 м/с, δ = 75º, μ = 0,4 кг/кг

Как видно (рис. 3), полученная экспериментальная зависимость (9) адекватно отражает реальный процесс измельчения антрацита в пневмотранспортной измельчительной установке.

Выводы. 1. Проведенные исследования продемонстрировали полную работоспособность разработанной пневмотранспортной измельчительной установки и возможность получения в ней пылеугольного топлива с необходимой тонкостью помола.

2. Установлена экспериментальная зависимость влияния скорости аэросмеси, угла поворота колена транспортного трубопровода, массовой концентрации и первоначальной удельной поверхности измельчаемого материала на прирост удельной поверхности при измельчении угля в коленах пневмотранспортной измельчительной установки.

Список литературы

1. Патент 44274 Україна, МПК (2009) кл. B02C 19/00, B02C 23/06. Подрібнювач / В. О. Турушин, Г. І. Нечаєв, С. В. Ленич; заявл. 05.05.2009; опубл. 25.09.2009, Бюл. № 18.

2. Патент 101529 Україна, МПК (2013.01) кл. B02C 19/06, B02C 23/00. Газоструминний подрібнювач / В. О. Турушин, С. В. Ленич; заявл. 23.05.2011; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7.

3. Ленич С. В., Турушин В. А., Ставцев В. В. Методика экспериментального исследования измельчения угля в пневмотранспортной измельчающей установке // Вісник СНУ ім. В. Даля. 2011. № 5(159) частина 2. С. 319 – 325.

4. Ходаков Г. С. Тонкое измельчение строительных материалов. М.: Строительство, 1972. 239 с.

Информация об авторах:

Ленич Сергей Васильевич – ст. преподаватель ГОУ ВПО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», 91034, Украина, г. Луганск, кв. Молодежный 20а, e-mail: ttsnu@meta.ua.

УДК 551.49 + 624.131.1

ОСВОЕНИЕ МИНЕРАЛЬНО – СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ В РФ И ИСЧЕРПАНИЕ УПРУГОЁМКОГО ПОТЕНЦИАЛА НЕДР

Магидов С.Х.

Рост народонаселения в мире и повсеместное желание повышать уровень материального благосостояния делают неизбежной необходимость в ускорении темпов промышленного производства, для чего требуется минеральное сырье во всё возрастающих количествах. В то же время интенсивная деятельность горнодобывающих отраслей порождает множество экологических проблем, как локального, так и глобального уровня. Подобная деятельность может стать одной из причин, способствующих проявлению геологических катаклизмов. Это касается, прежде всего, наведённой сейсмичности, которая в ряде случаев может вызывать крупные разрушения и наносить серьёзный экономический ущерб, а также вести к многочисленным человеческим жертвам. При этом необходимо понимать, что негативные последствия техногенной деятельности в большинстве случаев могут иметь отстроченный характер и проявляться спустя не одно десятилетие. Поэтому важно знать какие изменения происходят в недрах, для

того, чтобы давать научно – обоснованные прогнозы относительно геоэкологических проявлений в будущем. Особо ценную информацию может дать изучение динамики геогидросистем, изменение их физико –механических и геохимических параметров. Важное значение имеют и знания о темпах исчерпания упрогоёмкого потенциала недр под влиянием техногенной деятельности. Изменение термобарических условий в недрах изменяет не только свойства флюидов гидрогеологических систем, но и самих вмещающих пород, в том числе, их фильтрационные свойства. А изменение этих свойств, соответственно, отражается на протекании геодинамических процессов, повышая геоэкологические риски.

Изучению динамики упругоёмкого потенциала недр посвящён ряд работ, вышедших в последнее время. В основном они увязываются с деятельностью нефтегазодобывающей промышленности в связи с негативным влиянием падения пластовых давлений на эффективность извлечения углеводородного сырья. Практические мероприятия по поддержанию пластовых давлений, хотя и являются достаточно дорогостоящими, в ряде случаев позволяют замедлить истощение упругой энергии продуктивных пластов. Тем не менее, в последние три десятилетия в РФ происходит последовательное снижение упругоёмкого потенциала недр на нефтегазовых месторождениях и прилегающих областях [1-4]. Указанная тенденция может быть проиллюстрирована, если в качестве наглядного параметра принять такой показатель как доля фонтанных скважин. На рис.1. представлена кривая изменения доли фонтанных нефтегазовых скважин в РФ за полувековой период в сопоставлении с кривой изменения их среднего дебита.

Неблагоприятные тренды, выявленные представленными кривыми, свидетельствуют о существенных негативных изменениях техногенного генезиса, произошедших за относительно короткий период, и сигнализируют о неблагоприятном сценарии развития.

При добыче подземных вод для хозяйственных нужд воздействие на гидрогеологические системы и геологическую среду производится не в меньших масштабах. В последнее время опубликован ряд работ, специально посвященный

этим вопросам [5-8].

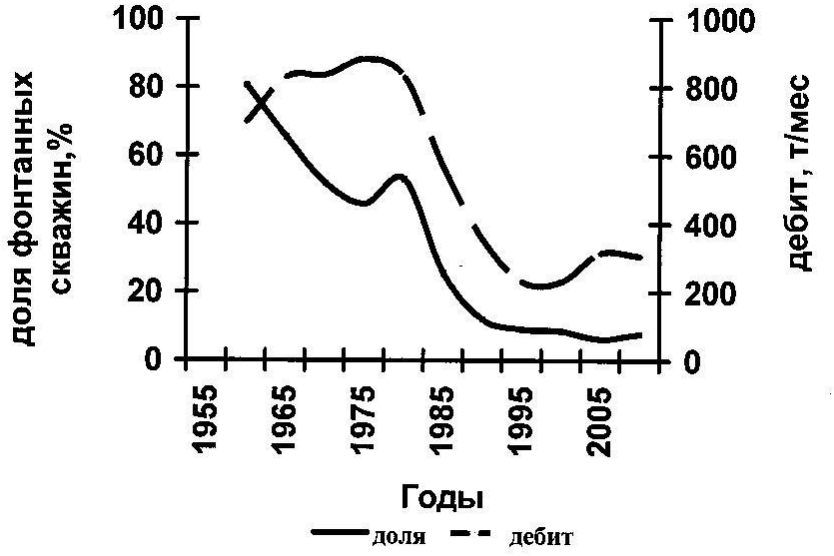


Рис.1. Дебит нефтяных скважин в РФ и упругоёмкий потенциал пластов.

Это касается, в том числе, и добычи термальных вод для хозяйственного использования. В Дагестане, например, добыча термальных вод с начала 70-х годов существенно превышает добычу нефти. На рис.2. представлены официальные данные по извлечению из недр подземных вод, в том числе изъятие вод при водоотливе и дренаже при эксплуатации шахт и карьеров.

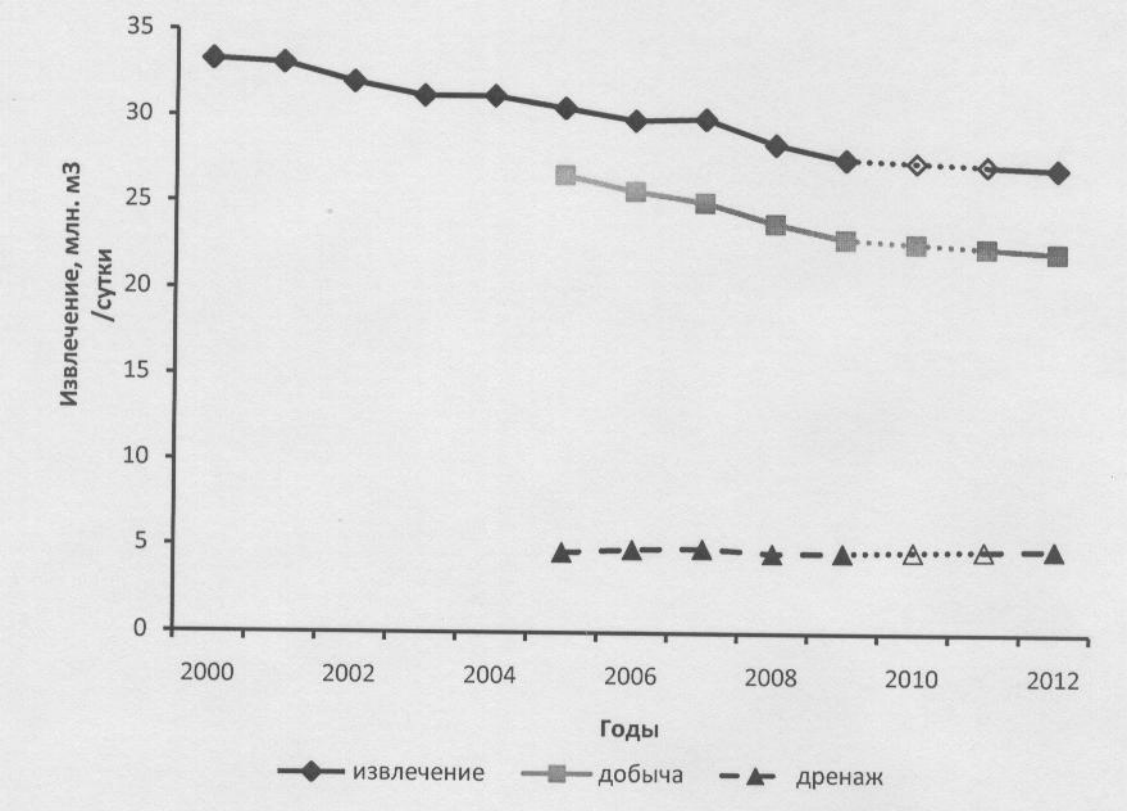


Рис.2. Извлечение подземных вод в РФ для хозяйственного использования, млн. $м^3$

/сутки. *Данные на пунктирных линиях - рассчитанные значения.*

Реальные объёмы забора вод из подземных источников могут быть существенно выше, но для иллюстрации можно воспользоваться и официальными данными. Из рис.2 видно, что водоотлив и дренаж составляет заметную долю от общего объёма извлекаемых из недр подземных вод. Соответственно, и влияние этих изъятий на исчерпание упругоёмкого потенциала может быть значительным. Необходимо, при этом, отметить, что воздействие на упругий режим не будет прямо пропорционально объёмам отбора вод, так как большинство шахт и карьеров имеют относительно небольшие глубины и, как правило, расположены в в зонах активного водообмена. Поэтому восстановление упругого режима может происходить относительно быстро.

Реальная картина исчерпания упругоёмкого потенциала гидрогеологической системы будет зависеть от многих факторов, и, прежде всего, от интенсивности суммарного отбора флюидов для хозяйственных целей и способности природных геогидросистем к самовосстановлению. Динамика доли фонтанных скважин будет зависеть и от средней глубины скважин, ввод в строй более глубоких скважин, может на первоначальных этапах вести к повышению доли фонтанных скважин. По мере исчерпания упругой энергии доля фонтанных скважин будет падать и в этих глубокозалегающих пластах, вовлечённых в техногенез, посредством глубоких и сверхглубоких скважин.

Исчерпание упругой энергии недр может происходить не только при извлечении жидких и газообразных флюидов, но и при разработке месторождений твёрдого минерального сырья. При освоении месторождений данного типа необходимым элементом горных технологий является водоотлив и дренаж, для предотвращения затопления шахт и карьеров подземными водами. В связи с этим освоение минерально- сырьевой базы также сопровождается искусственной дефлюидизацией недр. Анализ развития геологической отрасли свидетельствует о том, что наряду с ростом средней глубины нефтяных скважин, растет глубина шахт и карьеров, вовлекаются в техногенные процессы всё более глубокие горизонты земных недр. В настоящее время максимальная глубина скважин уже

превысила 10 километров, а максимальная глубина шахт достигла 5 километров. Максимальная глубина карьеров существенно ниже, но ущерб от них также значительный. Характеристики некоторых объектов приведены в таблице 1.

В таблице приведены данные по крупнейшим скважинам, шахтам и карьерам, а для иллюстрации тезиса о росте глубины рассматриваемых объектов со временем, по одной из шахт приведены данные с интервалом примерно в два десятилетия. За этот период глубина шахты Витватерсранд возросла примерно на 700 метров. А данные об изменении средней глубины нефтяных скважин приведены в ряде работ , в частности, в публикации [5].

Таблица 1

Наиболее глубокие скважины, шахты и карьеры в мире [9-12] .

Название	Страна	Дата	Глубина(м)
С К В А Ж И Н Ы			
Кольская СГ-3	РФ	1994	12262
Тюменская СГ-6	РФ	1996	7502
Саатлинская	Азербайджан	1990	8324
1-Бейден-Юнит	США	1972	9159
Берта-Роджерс	США	70-е годы	9583
KTB Hauptbohrum	Германия	1994	9100
Цистердорф	Австрия	80-е годы	8553
Ш А Х Т Ы			
Тау-Тона	ЮАР	2000-е годы	5000
Витватерсранд	ЮАР	1981	3800
Витватерсранд	ЮАР	2000-е годы	4500
Мпоненг	ЮАР	2002	3800
Чемпион-Риф	Индия	1981	3400
Шахтёрская глубокая	Украина	1986	1546
Комсомольская	РФ	1976	1200
К А Р Ь Е Р Ы			
Каньон Бингхем	США	2000-е годы	1200
Chuquicamata	Чили	2007	850
Качарский	Казахстан	1986	720
Удачное	РФ	2001	600
Мирный	РФ	2001	500

На рис.3 приведены данные по изменению средней глубины нефтяных скважин, что свидетельствует о масштабах техногенного воздействия на геосферу

в крупнейшем регионе мира- РФ, средняя глубина эксплуатационных скважин в которой уже превысила 2500 метров. В некоторых регионах этот показатель значительно выше. Так, в Дагестане ещё два десятилетия назад средняя глубина эксплуатационных нефтяных скважин превысила отметку 4000 метров.

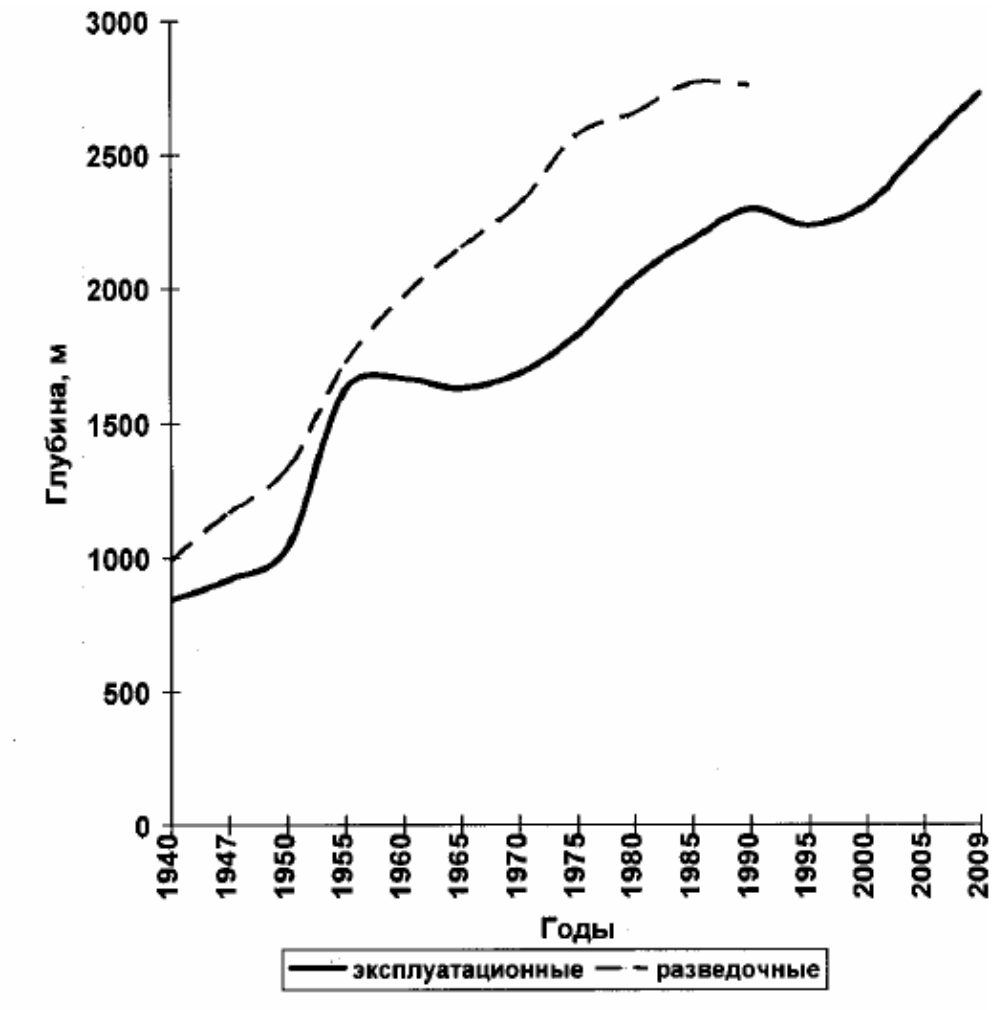


Рис. 3. Средняя глубина скважин, законченным бурением в РФ.

В настоящее время в мире бурится значительное количество глубоких и сверхглубоких скважин для освоения нефтегазовых месторождений.

При эксплуатации карьеров и шахт в РФ из недр Земли извлекаются значительные объемы подземных вод, сопоставимые с количеством попутных пластовых вод, извлекаемых из недр нефтегазовой промышленностью. Как уже отмечалось выше, большая часть подземных вод при дренаже и водоотливе изымается из зоны активного водообмена, а с ростом глубины карьеров и шахт, происходит забор также из зон затруднённого и весьма затруднённого водообмена, что существенно отражается на упругоёмком потенциале недр.

Если принять за истину тезис о латеральной гидравлической связи геогидросистем в региональном и даже глобальном масштабе, а также наличие в геологической среде как бы своеобразных геосфер, то исчерпание упругоёмкой энергии на отдельном месторождении при его эксплуатации, может оказывать свое влияние на значительные расстояния. Данный эффект будет проявляться не только при разработке нефтегазовых месторождений, но и при освоении запасов твёрдого минерального сырья. Эти рассуждения позволяют сделать вывод о том, что разработка месторождений твёрдого минерального сырья вносит свой вклад в исчерпание упругоёмкого потенциала недр и может оказывать влияние на динамику доли фонтанных скважин в нефтегазовой отрасли. То есть можно считать, что в исчерпании упругоёмкого потенциала недр вносит не только нефтегазовая отрасль, но и горнодобывающая отрасль при извлечении твёрдого минерального сырья.

Упругие запасы составляют часть геологических запасов [13-14]. Поэтому сохранение упругой энергии продуктивных пластов является одной из приоритетных задач рационального использования природных ресурсов.

Существует настоятельная необходимость в проведении обширных исследований по изучению динамики упругоёмкого потенциала недр под влиянием горнодобывающей промышленности, разрабатывающей источники твёрдого минерального сырья, подобно исследованиям по искусственной дефлюидизации гидрогеосистем, и изменению их свойств в нефтегазовой отрасли.

Список литературы

1. Магидов С.Х. Истощение запасов нефтегазового сырья и сокращение упругого потенциала недр // Материалы Всероссийской научно-практической конференции: «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». Грозный, 2011. С.178-182.

2. Магидов С.Х. Искусственная дефлюидизация недр и некоторые сейсмические проявления техногенного характера // Региональная геология и нефтегазоносность Кавказа. Махачкала, 2012. С.133-138.

3. .Магидов С.Х. Добыча нефти и газа и упругий потенциал недр Земли // Тезисы докладов Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. М., 2012. С. 60-61.

4. Магидов С.Х. Баланс отбора и закачки жидкости в нефтесодержащие водоносные пласты нефтегазовых месторождений РФ и изменение барических свойств в недрах // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы. Воронеж, 2013, С.152-155.

5. Магидов С.Х. Изучение антропогенных изменений подземной геогидросферы для оценки и прогноза геоэкологической опасности // Вестник Отделения наук о Земле РАН, том 3, NZ6068, doi: 10.2205/2011NZ000198, 2011

6. Maghidov S.Kh. Economic use of underground waters in RF and exhaustion elastic potential of the Earth´s bowels // Experiment in Geosciences. 2013, V.19, №1. P.115-117.

7. Магидов С.Х. Добыча подземных вод в РФ и субъектах Северо-кавказского федерального округа и некоторые проблемы охраны природы // Экологические проблемы водных ресурсов Дагестана и пути их решения. Махачкала, 2013. С. 99-102.

8. Магидов С.Х. Хозяйственное использование подземных вод в РФ и исчерпание упругоёмкого потенциала недр // Экспериментальная геохимия. 2013, т. 1, № 4.

9. Горная энциклопедия. М., Советская энциклопедия, 1986, т.2. С. 76-77.

10. http://www.cadcatalog.ru/interes/int skvaginy.html

11. http://coal.dp.ua/index.php?catid=25:the-project&id=12345:10-----&Itemid=27&option=com_content&view=article

12. http://xage.ru/samyie-bolshie-kareri-so-vsego-mira/

13. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика. М., Физматлит, 2008. С. 22-24

14. Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика. М., Физматлит, 2010. С. 16-20

Сведения об авторе:

Магидов Салаутдин Халитович, канд.хим. наук, с.н.с., e-mail: salavmag@yandex.ru, *Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, (8722) 62-93-95*

УДК 553.06

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННО-МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Наумов В.А., Наумова О.Б.

Техногенные минеральные образования (ТМО) – это неполезные ископаемые, которые являются основным продуктом горной деятельности добывающих предприятий в мире. Основные затраты (до 90% и более) при разработке месторождений полезных ископаемых приходятся на извлечение, дробление и переработку именно «неполезных ископаемых» и выделение из них того, что принято называть «полезные ископаемые».

ТМО на сегодняшний день представляют собой конечный результат геологической и горнотехнической деятельности человечества [1-6]. Поэтому их рассматривают как техногенные отвалы, техногенные и технологические отходы, техногенное минеральное сырье и техногенный минеральный ресурс. Многими отмечено, что использование техногенных осадков представляет существенный резерв пополнения минерально-сырьевого потенциала предприятий и страны. Некоторые предприятия начали его осваивать исключительно в связи с истощением минерально-сырьевой базы.

Объем понятия «ТМО» не имеет однозначного толкования в геологическом, технологическом, экономическом, экологическом и юридическом аспекте и потому ТМО часто и неправомерно ассоциируют с *техногенными месторождениями*. Хотя, как постоянно отмечает В.И. Тараконовский в законодательных и нормативных документах отсутствует их четкое понятие и определение. В современном российском правовом поле (получение права пользования недрами, новых лицензионных участков) нет четких указаний по направлениям использования ТМО. Их часто называют технологическими отходами. Тогда как ТМО могут быть рассмотрены не как *отходы производства*,

а как *промежуточный продукт, склад продукции*, подготовленный к последующему использованию.

История формирования разных типов ТМО насчитывает тысячелетия с тех пор, как Человек взял палку-копалку, или начал добывать первые полезные ископаемые. Изучение ТМО позволило найти первое рудное золото в России (Ерофей Марков разбирал хрусталеносные жилы и отметил там крупинки «желтого металла»), россыпное золото (Лев Иванович Брусницын промывал «хвосты» рудотолчейной фабрики и обнаружил «иное» золото), первый алмаз в России добыт в результате перемыва золотоносных отвалов. Первое значимое месторождение платины также было техногенным. Ее добывали на месте, где ранее «топили серебришко», мешавшее получению чистого золота [7].

Формирование ТМО, как и в природных россыпях, обусловлено процессами физического, химического и биохимического выветривания и преобразования, где роль геологического агента выветривания выполняет человек, вооруженный техникой. Следовательно, состав и строение ТМО определяют: 1) природные закономерности размещения, вещественного состава первичных месторождений, особенности распределения, первичные формы нахождения полезных компонентов; 2) технологии переработки минерального ресурса и способы размещения ТМО; 3) процессы преобразования вещества в ТМО.

Геологические процессы *формирования* ТМО следует рассматривать как процессы техногенеза – деятельность человека, вооруженного техникой; геологические процессы *преобразования* состава и строения ТМО как процессы техногеогенеза. Направления их проявления прослежены в результате механической, физико-химической и биохимической дифференциации и интеграции осадков и полезных компонентов [2, 3].

При формировании техногенных осадков *(техногенезе)* в результате механической дифференциации и интеграции осадков, вне зависимости от исходного состава природных образований (россыпи или дробленый материал коренных руд), выделены три основных типа техногенных фаций: намывной, отвальный (насыпной) и отвально-намывной [1]. С разной степенью детальности

изучены закономерности формирования и распределения в них свободного золота на примере россыпных и рудных объектов Урала, Сибири, Канады (Klondike gold-field, Yukon), Якутии, Дальнего Востока [1, 2, 4-6].

Процессы техногеогенеза выражаются в техногенном породо- и минералообразовании: разложение *пирита* угольных месторождений, самоизливы кислых шахтных вод и формирование техногеогенных залежей железных руд; при разложении отвалов колчеданно-барит-полиметаллического золоторудного месторождения (Салаир, Ново-Урское), первичные сульфиды железа и меди преобразовались до самородной серы, азурита и малахита.

В результате разработки природных россыпей золота формируются техногенные россыпи (отвалы). Породы отвалов и полезные компоненты при техногеогенезе преобразуются под влиянием поверхностных и подземных вод, атмосферных осадков, под воздействием окислительно-восстановительных и других физико-химических условий среды (электрические, электромагнитные, гравитационные поля) и других факторов.

На техногенных россыпях золота и платиноидов Урала нами проведены полевые исследования. Установлено, что свободное золото в техногенных россыпях подвергается механической дифференциации. В частицах металла под влиянием физико-химических и биологических процессов происходят изменения, на уже существующих частицах образуются новые агрегаты золота [2, 8]. В техногенной россыпи происходит формирование «нового» месторождения. Ведущая роль при направленном формировании техногенных россыпей принадлежит техногеогенным процессам. Техногеогенез здесь рассматривается как сжатый во времени и локализованный в пространстве гипергенез, проявляющийся в результате «реакции» поднятых из недр пород на новые условия среды, выражающийся в изменении их строения и состава, а также преобразовании полезных компонентов [1].

Физико-химическое преобразование россыпей проявляется в высвобождении частиц золота из глинистых агрегатов и сростков, переходе металла в коллоидное состояние, растворении и отложении, сорбции, замещении

и др. Эти процессы приводят к высвобождению и перераспределению концентраций тонкодисперсного золота на геохимических барьерах. Закономерности этих процессов детально не изучены. Вероятно, что они протекают при положительном влиянии органики и бактерий.

Изучение золотоносных фаз из техногенных россыпей Урала показало, что увеличение концентрации и рост новообразованного золота происходит при разных условиях в течение достаточно короткого периода времени: от 1 до 5 лет. В одном из цехов шлихообогатительной установки (ШОУ) золотодобывающего прииска золото обрабатывалось кислотами в бетонном бункере. Происходило взаимодействие золотосодержащих растворов с карбонатной составляющей бетона. На карбонатном геохимическом барьере золото восстановилось до металлического. Стенки бункера интенсивно корродировались, за первый год работы при чистке бункера извлечено несколько сотен граммов золота. При дальнейшей работе ШОУ такого количества золота в бункере не наблюдалось [2].

Техногеогенез минеральных фаз золота детально рассмотрен при анализе рядов: Au–Hg–Cu; Au–Hg–Cu; Au–Pt(Fe), Au–Pb. Техногеогенез золота в техногенных образованиях (растворение, перенос, аккумуляция) приводит к мобилизации и осаждению, укрупнению частиц золота (агломерация, новообразование, слипание частиц золота в общий агрегат) при взаимодействии разных частиц золота (Au–Au).

В России практикуется повторная отработка техногенных россыпей золота, алмазов. При этом их извлечение весьма существенное и экономически оправдано. Существует устоявшееся мнение, что главным фактором сохранения золота в отвалах является несовершенство предшествующих технологий их разработки. Мы считаем, что важную роль играют процессы перераспределения и укрупнения золота в ТМО. Нами показаны причины и механизмы «роста» золота в техногенных осадках. В зависимости от состава первичных пород изменяются и темпы роста золота.

При повторной отработке техногенных россыпей отмечают значительную долю относительно крупного золота, которое теоретически должны были бы

извлечь при существующих технологиях отработки. Недоизвлечение золота связывают с устаревшими технологиями и некачественной работой обогатительного оборудования. И не учитывают (не понимают), что в техногенных условиях активизирован процесс мобилизации и укрупнения золота (техногеогенез). Одновременно с укрупнением золота протекает и противоположный процесс – диспергация и распад техногеогенных фаз золота на мельчайшие частицы, о чем свидетельствуют весовые накопления золотой пыли (частиц менее 5 мкм), крупные агрегаты «золотой пыли».

Внутреннее строение золота из ТМО отличается фазами различного состава, представляющими: 1) исходный металл; 2) продукты его преобразования в процессе переработки россыпей; 3) техногенные новообразования. Очень сложно идентифицировать собственно техногеогенные преобразования. Порядок и механизмы изменения минеральных фаз золота практически не отличаются от таковых в природных условиях. Наиболее отчетливые изменения выявлены при поверхностных взаимодействиях первичных золотоносных фаз с ртутью, металлами, водами отвалов.

Образование корочек и налетов гидроксидов железа и марганца − явление поверхностного взаимодействия золотоносных фаз с рудными растворами, обогащенными этими элементами. Железо-марганцевые фазы образуют налеты и корочки на золоте, выступают в качестве цемента, формирующего более крупные агрегаты. Такие соединения широко распространены в техногенных образованиях (песчаники, гравелиты и конгломераты), отмечены в техногенных россыпях.

При увеличениях свыше 100 тысяч раз в сканирующем электронном микроскопе хорошо различаются наноразмерные детали строения поверхностных налетов на золоте. В частности, характерно присутствием агрегатов, сложенных наночастицами вторичных новообразований, отдельные изолированные наночастицы, сложные комбинации разного рода построек [9]. Среди разного рода вторичных новообразований различаются наночастицы, которые по многим признаками напоминают «новое» нанозолото. К сожалению, из-за малых размеров

они не могут быть надежно идентифицированы микрозондовым анализом.

Состав пленок и примазок на частицах золота тех же проб установлен микрозондовым методом. Для более достоверного определения состава примазок выбирались места их скоплений. По химическому составу среди примазок могут быть выделены следующие группы: титано-железисто-кремнеземистые, железистые, марганцевые, с повышенным содержанием редких земель, оловосодержащие, кальций-фосфатные (апатитовые), с повышенным содержанием тория.

Управление процессами техногенного преобразования золота возможно [1, 2]. Это создает возможность формирования новых технологий создания промышленных скоплений для последующего извлечения золота. Процессы техногенного преобразования важно учитывать при известных способах разработки техногенных месторождений, т.к. в процессе преобразования частиц благородных металлов изменяются их физические и технологические свойства. Возникают определенные трудности при обогащении россыпей традиционными гравитационными способами.

Такими изменениями золотоносных фаз природа «подсказывает» пути изменения и преобразования золотоносных фаз в техногенных условиях. Необходимо изучить, разобраться и начать управлять процессами преобразования золота в рамках предлагаемых природой условиях; перейти от неосознанных действий к осознанному управлению геологическими процессами в техногенных условиях; реализовать принцип «смотри, что делает природа; попробуй, повтори».

Природоподобные или техногеогенные процессы изменения геологической среды - это активированные человеком эндогенные и экзогенные геологические процессы. Сегодня они проявляются повсеместно как новый этап развития ноосферы, техносферный этап. Изучению этих процессов практически не уделяется внимание. Вместе с тем эти неосознанные нами процессы – управляемые. Результаты геологической деятельности в техногенно-минеральных образованиях (преобразование вещества и пространства в техногенных

образованиях, возникающие на границе взаимодействия лито-, био-, гидро-, атмо- и социосферы) – потрясающие. Они приводят как к негативным, так и позитивным последствиям для Человека. Их управляемость позволяет формировать экономически выгодные для освоения концентрации полезных компонентов или использовать законы их преобразования для получения веществ с заданными характеристиками состава и свойств. Человечество уже запустило механизмы работы "заводов в недрах". Задача – понять, изучить и научится управлять «природно-техногенными заводами в недрах».

Н основе этих представлений введено понятие «техногенный рудогенез», как геологический процесс создания природой или человеком рудных объектов на основе техногенных осадков, в результате процессов техногенеза и техногеогенеза [2]. Показаны примеры созданных природой золотых техногенных руд. Это литифицированные в результате техногеогенеза агрегаты (конгломераты) с цементом гидрооксидов железа из головной части намывной техногенной фации участка «Болдер Майнер» (р. Индиан, Юкон, Канада) с видимым золотом.

Разработаны рекомендации и реализованы на практике вопросы управления формированием повышенных концентраций золота в ТМО (технорудогенеза) на основе законов механической (создание механических барьеров, технологических ловушек и др.), физико-химической (создание геохимических барьеров, размещение металлических «подложек»), биохимической (формирование пленок на поверхности золота и других металлов) дифференциации. Фактическое извлечение золота при существующих условиях увеличивается на 5-20%.

Удачным примером управления формированием концентраций золота в промышленных условиях была разработка и применение модульных технологий на одном из россыпей Урала. В результате реализации проекта дополнительно получено 6% или 9,24 кг химически чистого золота. Анализ формы нахождения золота в шламохранилище золоторудного объекта Урала и куче месторождения Мурунтау (Узбекистан) позволил подготовить рекомендации для повышения степени извлечения золота в масштабах предприятий.

На основании установленных закономерностей поведения золота в

техногенных условиях показаны перспективные направления использования золотоносных техногенных образований без необходимости извлечения золота из недр путем создания химических заводов в недрах. Обоснована возможность использования промежуточных продуктов обогащения (золотосодержащих растворов, возникающих в процессе промышленного выщелачивания) для решения задач химического производства.

Таким образом, геология и знания, получаемые по ТМО, рассматриваемые с позиций традиционных и новых подходов к геологии россыпей, является закономерным этапом развития «геологии россыпей». Теоретические закономерности формирования ТМО служат базой для понимания характера и условий протекания природных процессов в россыпях и коренных объектах. Практическое использование знаний по геологии ТМО может быть использовано для работы с золотом из россыпей, продуктов дробления золотоносных пород и для других типов полезных компонентов минерального сырья.

В целом, геология техногенно-минеральных образований, процессы формирования и управления распределением концентраций на уровне механической, физико-химической, биохимической дифференциации и интеграции представляет собой новый этап в развитии «геологии россыпей» и революцию в понимании и реализации подходов освоения и использования вещества ТМО, имеющую важное теоретическое и практическое значение. Грамотное использование ТМО на основе природоподобных технологий – более эффективное и экологичное действие, чем «освоение новых территорий», поскольку интенсивный путь развития в противовес экстенсивному (вовлечению новых территорий и пространств со старыми технологиями).

Исследования выполнены при финансовой поддержке МОН РФ в рамках тематического плана Пермского университета, государственного контракта 14.515.11.0061 ФЦП МОН «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы», при поддержке гранта РФФИ 13-05-96009; финансовая поддержка совещания РКВ-2015 осуществлена МОН Пермского края и РФФИ (проект 15-05-20581).

Список литературы

1. Наумов В.А. Особенности формирования и распределения благородных металлов в техногенных россыпях и отвалах Урала // Горный журнал. Известия высших учебных заведений. 1994. № 8. С. 39−50.

2. Наумов В.А. Минерагения, техногенез и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Пермский государственный университет. Пермь, 2010. 42 с.

3. Наумов В. А., Наумова О. Б. О направленном формировании россыпных месторождений золота (постановка проблемы) // Важнейшие промышленные типы россыпей и месторождений кор выветривания, технология оценки и освоения: матер. XI Межд. совещ. Москва-Дубна, 1997. С. 150.

4. Макаров В.А. Геолого-технологические основы ревизии техногенного минерального сырья на золото. Красноярск: ООО «Поликом», 2001. 132 с.

5. Ковлеков И.И. Техногенное золото Якутии. М: Горная книга, 2002. 303 с.

6. Мирзеханова З.Г., Мирзеханов Г.С., Дебелая И.Д. Техногенные образования россыпных месторождений золота: ресурсно-экологические аспекты отработки. Хабаровск, ДВО РАН, 2014. 297 с.

7. Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 132 с.

8. Генералов. М.Е., Наумов В.А. Преобразование золота в техногенных россыпях и отвалах Урала // Уральский геологический журнал. 1998. № 4. С. 19−56.

9. Наумов В. А., Осовецкий Б. М. Ртутистое золото и амальгамы в мезозой-кайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 3. С. 256–273.

Сведения об авторах:

Наумов Владимир Александрович, директор, доцент, докт. геол.-минерал. наук, тел. +7(342)2396408, факс +7(342)2 371480, e-mail: naumov@psu.ru, Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, 614990, г. Пермь, ул. Генкеля, 4.

Наумова Оксана Борисовна, заведующая кафедрой поисков и разведки полезных

ископаемых, доцент, докт. геол.-минерал. наук, тел., фак: +7(342)2 371480, e-mail: poisk@psu.ru, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.

УДК 549.01

ТЕХНОГЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ В ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ КРАСНОРЕЧЕНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)

Оводова Е.В., Тарасенко И.А., Поселюжная А.В., Тагильцев Я.Е.

Аннотация.

В работе приводятся данные о техногенной минерализации в хвостохранилищах Дальнегорского района Приморского края. На основе результатов химического, рентгеноструктурного анализов и сканирующей электронной микроскопии установлено, что в пределах исследуемых техногенных объектов, на испарительном геохимическом барьере, формируются сульфаты группы мелантерита, розенита и фиброферрита.

Введение

В настоящее время особую актуальность приобретают вопросы, связанные с проблемами вторичного минералообразования в зоне окисления месторождений и сопряженных с ними техногенных объектов – хвостохранилищ, отвалов и терриконов.

Проблема вторичного минералообразования в хвостохранилищах возникла в результате интенсивно развивающихся диагенетических преобразований, вызванных процессами окисления, растворения и гидролиза. Ведущим минералообразующим процессом в геотехногенных системах является сульфатизация – процесс образования минералов класса сульфатов, в которое вовлекается как природное, так и техногенное вещество (Белогуб и др., 2007; Тарасенко и др., 2001; Alpers et al., 2000; Jambor et al., 2000).

Сульфатная минерализация начинается с окисления сульфидов, преимущественно пирита и пирротина, первичными продуктами которых являются серная кислота и сульфаты ряда $Fe^{2+}SO_4 \cdot nH_2O$ (n = 1–7). Образующаяся серная кислота способствует более глубокому преобразованию гипогенных

минералов и кристаллизации маловодных сульфатов, а окисление Fe^{2+} до Fe^{3+} приводит к образованию сульфатов группы копиапита, ярозита и, в конечном счете, оксигидроксидов железа (Alpers et al., 2000).

Растущий интерес к данной группе минералов вызван, прежде всего, тем, что, формируясь на испарительном геохимическом барьере в результате восходящей циркуляции капиллярных растворов, сульфаты концентрируют широкий спектр элементов – Pb, Zn, Fe, Cu, Co, Al, As, Mn, Mg. Являясь высокорастворимыми минеральными фазами, в период дождей они способствуют миграции токсичных металлов, тем самым, оказывают серьезную экологическую нагрузку на водные экосистемы.

Объекты и методы

Объектами данного исследования являются минералы класса сульфатов хвостохранилищ Краснореченской обогатительной фабрики Дальнегорского района, содержащие отходы обогащения комплексных оловянно-полиметаллических и серебро-свинцово-цинковых руд Смирновского и Южного месторождений.

Отбор минералогических проб осуществлялся точечным способом в герметичные стеклянные бюксы. Минералогические исследования выполнялись в Аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН методами рентгеноспектрального микроанализа с помощью энергодисперсионного спектрометра INCA-sight производства Oxford Instruments (Великобритания) и рентгенографического анализа на дифрактометре ДРОН-3 с монохроматизированным излучением и на микродифрактометре D8-Discover. Изучение микроморфологии и состава минеральных фаз осуществлялось на сканирующих электронных микроскопах JSM-6490LV и ZEISS EVO 50XVP, оснащенных рентгеновскими энерго-дисперсионными спектрометрами INCA Energy, в режимах вторичных и отраженных электронов при ускоряющем напряжении 20 кВ и токах пучка $n \cdot 10^{-12}$.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что на поверхности и

в бортах исследуемых хвостохранилищ наиболее распространенными, формирующими налеты и корки мощностью 0,5–3,0 см, являются минералы группы мелантерита, розенита и фиброферрита.

Сульфаты группы мелантерита имеют сложный состав, кроме железа, содержания которого варьируются от 0,90–7,94 мас. %, присутствуют примеси Al, Zn, Mg и Mn, их содержания достигают 9,34, 27,54, 3,67 и 14,38 мас. % соответственно. На основании этого выделены следующие разности мелантеритов: собственно мелантерит, рассчитанная формула (усредненная по 10 анализам) имеет вид: $(Fe_{0,77}Zn_{0,10}Mg_{0,07}Mn_{0,06})SO_4 \cdot 7H_2O$; марганец-цинковые мелантериты, в составе которых примерно одинаковое количество Mn и Zn, формула (по 8 анализам) – $(Fe_{0,46}Zn_{0,35}Mn_{0,18}\ Al_{0,01})\ SO_4 \cdot 7H_2O$; алюмомелантериты имеющие формулу – $(Al_{0,63}\ Mn_{0,16}Fe_{0,09}\ Zn_{0,08}Mg_{0,04})\ SO_4 \cdot 7H_2O$ (усредненная по 12 анализам). Составы сульфатов группы мелантеритов отражены на рис. 1.

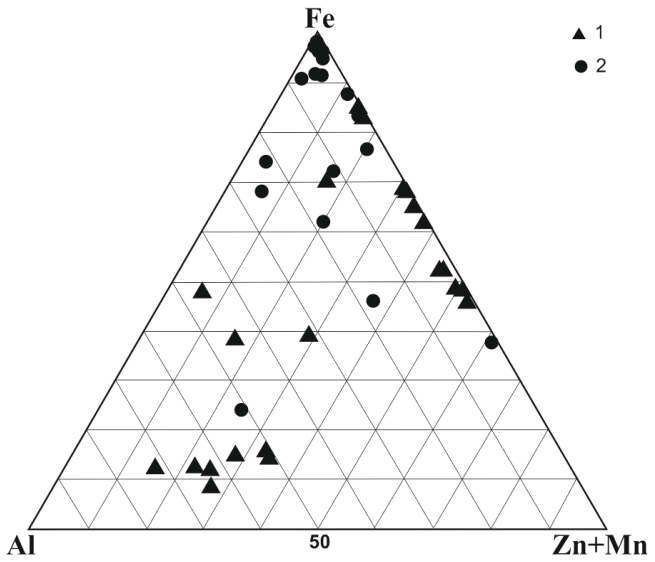


Рис. 1. Тройная диаграмма Al – Fe – Zn+Mn, составлена по формульным единицам мелантеритов и фиброферритов хвостохранилищ Дальнегорского района. Составы сульфатов группы мелантерита (1); фиброферрита (2)

Минералы собственно мелантерита встречаются в виде тонкочешуйчатых листоватых кристаллов (рис. 2 А), марганец-цинковые мелантериты образуют глобулярные агрегаты, размер отдельных глобул изменяется от 0,5 до 20 μm (рис. 2 Б-1). Алюмомелантериты представлены удлиненными, плотно прилегающими друг к другу, волосовидными кристаллами, диаметр которых не более 0,2 μm, а длина более 100 μm. (рис. 2 Б-2).

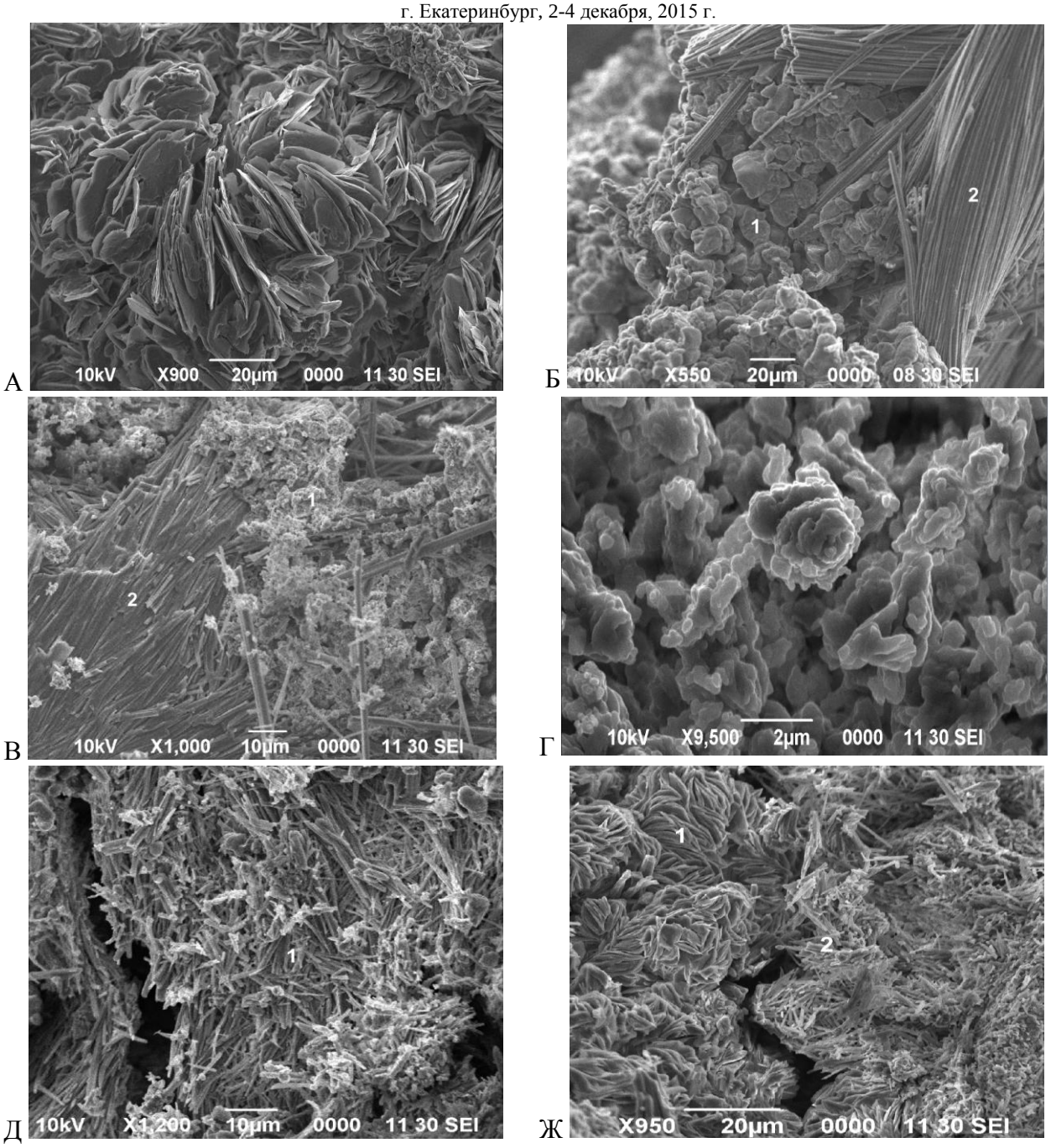


Рис. 2. Морфоструктуры сульфатных минералов хвостохранилищ Дальнегорского района (А–Ж): А – листоватые кристаллы собственно мелантерита; Б –глобулярные агрегаты марганец-цинковых мелантеритов (1); удлиненные кристаллы алюмомелантеритов (2); В – микрокристаллические агрегаты илезита (1); волокнистые кристаллы алюминиевого розенита (2); Г – бойлеит; Д – асбестовидные кристаллы алюминиевого фиброферрита; Ж – листоватые кристаллы фиброферрита, с примесями магния (1); алюминиевый фиброферрит (2)

Формирование марганец-цинковых мелантеритов связано с окислением сфалерита, а алюмомелантеритов, вероятно, вызвано сернокислотным разложением алюмосиликатов, таких как, калиевые полевые шпаты и слюды.

В пределах исследуемых объектов также установлены сульфатные минералы группы розенита. Минералы группы розенита образуются при температуре 18–30 ^{o}C, в условиях относительной влажности 70–80 %, в результате дегидратации мелантерита (Jambor et al., 2000). Среди обнаруженных разностей розенита выделены следующие: розенит, бойлеит, илезит, а также алюминий-, магний- и фторсодержащие розениты (рис. 3).

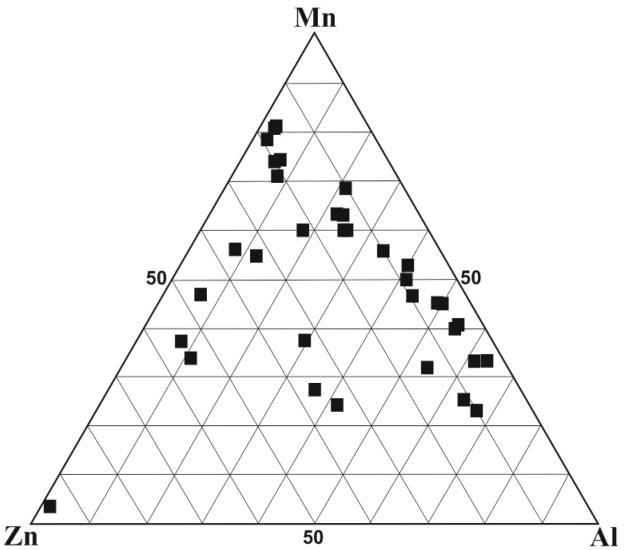


Рис. 3. Тройная диаграмма Zn – Mn – Al, составлена по формульным единицам розенита хвостохранилищ Дальнегорского района. Составы сульфатов группы розенита

В собственно розените концентрации железа изменяются от 0,85 до 13,09 мас. %, присутствуют примеси Al, Zn, Mg, Mn и F, их содержания варьируются от нуля до 8,48; 9,11; 6,24; 15,44 и 5,75 мас. % соответственно. Редко отмечаются незначительные примеси Si (0,18–4,82 мас. %) и K (до 1,05 мас. %). Рассчитанная кристаллохимическая формула исследуемого розенита имеет следующий вид ($Fe_{0,65}$ $Si_{0,14}$ $Al_{0,09}$ $K_{0,05}$ $Mg_{0,02}$ $Zn_{0,02}$)[SO_4] · $4H_2O$ (усредненная по 7 анализам). Розенит образует мелкозернистые агрегаты, часто в тесном срастании с удлиненными кристаллами алюминиевого розенита.

Повсеместно, в пределах исследуемых объектов, встречается илезит, содержащий примеси Zn, Al, Mg, в формуле которого 0,5 < Mn < 0,72. Илезит образует микрокристаллические агрегаты, как правило, в срастании с алюминиевым розенитом (рис. 2 В).

Бойлеит $ZnSO_4$ · $4H_2O$ встречается реже других водорастворимых сульфатов и образует мелкозернистые агрегаты неправильной формы (рис. 2 Г). Изученный нами образец бойлеита имеет формулу ($Zn_{0,68}$ $Fe_{0,29}$ $Mn_{0,03}$)[SO_4] · $4H_2O$.

Алюминиевые розениты образуют параллельно-волокнистые (рис. 2 В-2),

спутанно-волокнистые, а также призматические и таблитчатые кристаллы. В сульфатах данного вида содержания Al варьируются от 0,46 до 8,48 мас. %, на основании чего можно выделить две разновидности алюминиевых розенитов. В первую объединяются розениты в формуле которых 0,50 < Al < 0,59, с незначительными примесями Mn, Fe, Zn, Mg, рассчитанная кристаллохимическая формула $(Al_{0,56}\ Mn_{0,23}\ Zn_{0,10}\ Mg_{0,06}\ Fe_{0,05})[SO_4] \cdot 4H_2O$ (усредненная 6 по анализам). Во вторую входят розениты с содержанием Al < 0,50, они представлены короткопризматическими и таблитчатыми кристаллами.

Кроме этого на исследуемых объектах обнаружены минералы группы фиброферрита, которые образуют мономинеральные агрегаты светло-коричневого цвета, хотя на других объектах (по данным Parafiniuk J., 1991) довольно часто наблюдаются взаимные прорастания фиброферрита с копиапитом, алуногеном, галотрихитом и гипсом.

В составе исследуемого фиброферрита содержание железа изменяется от 2,27 до 45,46 мас. %. В нем также установлены примеси Al (0,26–6,66 %), Mn (0,18–5,18 %), Mg (0,49–2,66 %), Zn (0,22–1,89 %), Si (0,19–3,69 %), K (0,21–0,74 %), Na (1,04 %), Cu (0,18 %) (см. рис. 1). Во всех изученных образцах, установлены примеси высокотоксичного As (0,33–0,46 %).

По преобладанию в составе тех или иных элементов, выделены алюминиевые, марганцевые и кремниевые фиброферриты.

Алюминиевые фиброферриты достаточно широко распространены и характеризуются переменным содержанием железа и алюминия, их формулы имеют следующий вид: $(Fe_{0,58}\ Al_{0,17}\ Mg_{0,10}\ Mn_{0,09}\ Zn_{0,05}\ As_{0,01})\ [SO_4]\ OH \cdot 5H_2O$ или $(Al_{0,47}\ Fe_{0,23}\ Mn_{0,23}\ Zn_{0,07})\ [SO_4]\ OH \cdot 5H_2O$. Во втором образце количество алюминия в два раза превышает содержание железа, что указывает на процессы взаимного изоморфизма $Fe^{3+} \leftrightarrow Al$. При изучении морфологии алюминиевых фиброферритов выделены две основные формы, первая представлена тонковолокнистыми, игольчатыми, асбестовидными агрегатами (рис. 2 Д), вторая представлена мелкозернистыми образованиями.

Марганцевые фиброферриты образуют разноразмерные столбчатые

кристаллы и мелкозернистые агрегаты. В данном типе фиброферритов также проявлен изоморфизм $Fe^{3+} \leftrightarrow Mn$. Усредненные формулы по 7 анализам следующие $(Fe_{0,43}\ Mn_{0,33}\ Al_{0,16}\ Zn_{0,08})\ [SO_4]\ OH \cdot 5H_2O$ и $(Mn_{0,36}\ Fe_{0,32}\ Mg_{0,15}\ Zn_{0,14}\ Al_{0,01}\ Cu_{0,01})\ [SO_4]\ OH \cdot 5H_2O$.

Кроме этого обнаружены разности фиброферритов, обогащенные кремнием и магнием. Изучение микроморфологии фиброферритов позволило обнаружить, что магниевые разности имеют листоватые пластинчатые агрегаты, плотно прилегающие друг к другу (рис. 2 Ж-1), а кремниевые имеют мелкозернистое строение.

Выводы

Таким образом, в результате изучения минеральных новообразований на хвостохранилищах Дальнегорского района, установлено, что преобладающими техногенными минеральными формами являются сульфаты группы мелантерита, розенита и фиброферрита. В зависимости от наличия в химическом составе тех или иных элементов в каждой группе сульфатов выделяются железистые, алюминиевые и марганец-цинковые разновидности.

Исследование морфологии позволило установить некоторые отличительные особенности. Показано, что алюминиевые сульфаты имеют удлиненные, столбчатые и призматические кристаллы, железистые и магниевые разности – листоватые и пластинчатые агрегаты, а марганец-цинковые представлены мелкозернистыми формами.

Новообразованные минералы отражают общую картину физико-химических процессов, происходящих в толще хвостохранилищ, частично сдерживают процесс интоксикации экосистемы производными отходов обогащения и контролируют миграционные способности ряда элементов, поэтому их дальнейшее изучение чрезвычайно актуально.

Список литературы

1. Белогуб Е.В., Щербакова Е.П., Никандрова Н.К. Сульфаты Урала: распространенность, кристаллохимия, генезис. М.: Наука, 2007. 160 с.

2. Тарасенко И.А., Зиньков А.В. Экологические последствия минералого-геохимических преобразований хвостов обогащения Sn-Ag-Pb-Zn руд (Приморье, Дальнегорский район). Владивосток: Дальнаука, 2001. 194 с.

3. Alpers C.N., Jambor J.L., Nordstrom D.K. eds. Sulfate Minerals: Crystallography, geochemistry, and Environmental Significance / Rev. Mineral. Geochem. 2000. V. 40. 608 p.

4. Jambor J.L., Nordstrom D.K., Alpers C.N. Metal-sulfate salts from sulfide mineral oxidation // Sulfate Minerals. Rev. Min. Geochem., 2000. V. 40. pp. 305-350.

5. Parafiniuk J. Fibroferrite, slavikite and pickeringite from the oxidation zone of pyrite-bearing schists in Wieściszowice (Lower Silesia). Mineralogia Polonica, 1991. V. 22. pp. 3–16.

Сведения об авторах:

Оводова Елена Викторовна, аспирант кафедры геологии, геофизики и геоэкологии Инженерной школы. e-mail: ovodova.2011@mail.ru

Тарасенко Ирина Андреевна докт. геол-минерал. наук, с.н.с. лаборатории геохимии, e-mail: tarasenko_irina@mail.ru

Поселюжная Анна Владимировна, вед. инж. лаборатории микро- и наноисследований e-mail: anna_ivv@mail.ru

Тагильцев Ярослав Евгеньевич, студент кафедры геологии, геофизики и геоэкологии Инженерной школы, e-mail: mangus_93@mail.ru

Дальневосточный федеральный университет, 690000, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, кампус ДВФУ, корпус Е-303

УДК 669.1: 553.068.22

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПЛАВКИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ - ЖЕЛЕЗИСТЫХ ООЛИТОВ ОРЕНБУРГСКОГО КРАЯ

Овчаренко А.В., Щапов В.А., Петухов Р.В., Чесноков Ю. А.

Аннотация

Выполнен дополнительный химический анализ и лабораторная экспериментальная плавка железистых оолитов с выходом чугуна 33-42 %. Оолиты обнаружены ранее в Илекском районе Оренбургского края. Доказано практически, что оолиты Илекского района являются перспективным железорудным сырьем для Орско-Халиловского металлургического комбината. Обсуждаются вопросы детальных поисков наиболее богатых залежей и экологические проблемы их разработки.

В работе [1] сообщалось о находке в Илекском районе Оренбургского края железистых оолитов. Был выполнен рентгеноспектральный флуоресцентный

анализ на СРМ-35 и XRF 1800 их состава и обнаружено содержание в образцах около 49% гидроокислов железа (табл. 1, фото 1).

Таблица 1

Результаты рентгеноспектрального флуоресцентного анализа

№ пробы	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	V	Cr	MnO	F_2O_3 общ	ППП-хим	*Сумма*	S
773	1.14	1.11	6.97	33.1	0.105	0.81	1.34	0.33	0.063	0.027	0.054	49.0	7.1	*101.15*	0.
Предели опр.	0.5				0.05	0.03				0.003					0.04

Исполнители: *Горбунова Н.П., Татаринова Л.А., Неупокоева Г.С., Власов В.П., 10.04.2014, ИГГХ, УрО РАН*

Образцы являются слабомагнитными или практически немагнитными, с плотностью 2.5-2-65 г/см^3. В полевой сезон 2015 года была собрана новая, более обширная, коллекция образцов, определены материнские породы, содержащие оолиты (фото 2), выполнены экспериментальные геофизические работы по оценке мощности рудоносного горизонта и отдельные геологические маршруты по оценке площади распространения.

Фото 1. Железистые оолиты Оренбургского края, Илекский район, коллекция 2015 г

(© А.В. Овчаренко, 2015 г)

Фото 2. Железистые оолиты Оренбургского края в естественном залегании, Илекский район. Материнскими породами являются сероцветные слабосцементированные песчаники.
(© А.В. Овчаренко, 2015 г)

В данной работе был выполнен т.н. «мокрый» химический анализ состава образцов, который в целом совпал с результатами первоначального рентгеноспектрального анализа. На основе «мокрого» анализа была составлена лабораторная проба для плавки (табл. 2). Подготовка пробы состояла в дроблении (1.5 кг образцов) и получении усредненного состава руды (размеры гранул до 5 мм), выборки усредненной навески путем последовательного деления (квартования), добавлении известняка и кокса.

Таблица 2

Состав плавильной шихты

Состав	Содержание, %	Перерасчет содержания, %	Содержание в грамма
Руда	54	62	150
Известняк	25	28	67.7
Кокс	21	10	24.2
		ИТОГО	241.5

Режимы и стадии плавки приведены в таблице 3.

Таблица 3

Режимы и стадии плавки железистых оолитов

Процесс	Температура, С^{o}	Результат
Первоначальный нагрев	До 1440	-
Продолжение нагрева	1430-1450	Начало плавления
Продолжение нагрева	1460	Полное расплавление шихты
Продолжение нагрева	1460-1465	интенсивное горение кокса, вспучивание расплава с вытеканием из тигля
Понижение температуры С выдержкой 10-15 мин.	До 1310	Предотвращение вытекания расплава из тигля
Медленный нагрев 3-5 град./мин.	До 1460	Густой расплав
Нагрев	1500	Интенсивное кипение расплава
Снижение температуры	До 1480	Стабилизация кипения
Выдержка 80 мин	1480	Разделение расплава на чугун и шлак
Медленное охлаждение	25	Получение образцов чугуна и шлака

Результаты плавки представлены на фото 3 (металлическая часть) и 4 (шлаковая часть).

Фото 3. Результаты лабораторной плавки оолитов Оренбургского края

Основной слиток (слева) и металлическая часть из шлаковой фракции, полученная дроблением шлака и магнитной сепарацией

Фото 4. Шлаковая фракция плавки

Видны многочисленные чугунные шарики, которые извлечены магнитной сепарацией металла, который частично остался в шлаке в виде металлических шариков (фото 4). Раздельное взвешивание металлической и шлаковой фракции дало результат: металл – 26.8 г, шлак -57.4 г. (потери приваривания к тиглю, выход летучих и сгорание кокса составили более 50%). Выход металла в процентах от веса расплава приближенно оценивается в 33-42 %, доля плавильного шлака 67-48%. Более точный выход металла будет оценен последующими плавками большего веса.

В работе [2] приведена схематическая карта областей распространения железистых оолитовых образований, бывшего СССР (рис. 5). Делается оценка, что в железистых оолитах содержится основная масса мировых запасов железа (вероятно без океанических залежей-прим. авторов). Такие оценки еще более повышают перспективы Оренбургских руд.

Исходя из изложенного, делается вывод, что оолиты являются перспективным железосодержащим сырьем, например, для Орско-Халиловского

МК.

При детальных поисках, разведке и эксплуатации обширных, но маломощных пластов неизбежно возникнут экологические проблемы, которые потребуют систему мер по рекультивации отработанных площадей.

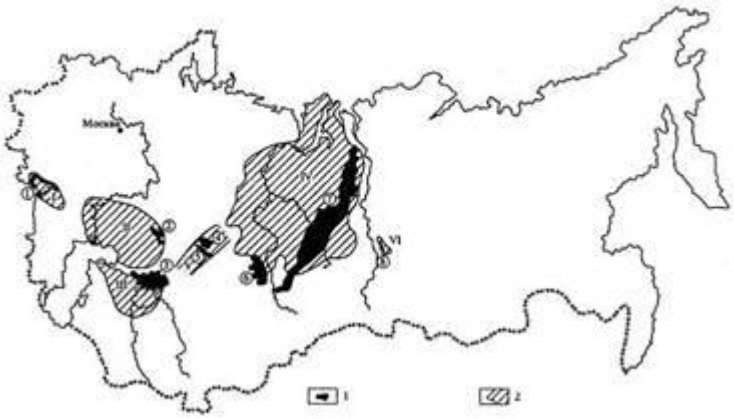


Рис. 5. Площади распространения оолитовых железных руд бывшего СССР, пространственно ассоциирующие с нефтегазоносными бассейнами , по [2], 1995 г.

1 - площади распространения оолитовых железных руд (месторождения, бассейны): 1 - Керченско-Таманский, 2 - ***Илекские****, 3 - Приаральский, 4 - Аятское, 5 -Лисаковское, 6 - Прииртышский, 7 - Западно-Сибирский, 8 - Ангаро-Питский; 2 - нефтегазоносные бассейны: I - Индоло-Кубанский, II - Прикаспийский, III - Северо-Устюртский, IV - Западно-Сибирский, V - Тургайский, VI - Ангаро-Питский.*

Список литературы:

1. Овчаренко А.В., Малошаг В.П. Находка железистых оолитов в Илекском районе Оренбургского края. В кн. Степи северной Евразии. Материалы VII международного Степного форума. Оренбург, 2015, изд. дом «Димур», с.597-601

2. Павлов Д. И., Карцев А. А. Зоны катагенной разгрузки подземных вод нефтегазоносных бассейнов и осадочный рудогенез. «Геология рудных месторождений», 1995, том 37, № 2, с. 122-131.

Сведения об авторах

Овчаренко Аркадий Васильевич, с.н.с., канд. физ-мат. наук Институт геофизики УрО РАН

Щапов Владислав Анатольевич, с.н.с., докт. геол.-минер. наук, профессор, Институт геофизики УрО РАН

Чесноков Юрий Анатольевич, заведующий лабораторией, канд. техн. наук, Институт Металлургии УрО РАН

Петухов Роман Владимирович, аспирант, стажер-исследователь, Институт Металлургии УрО РАН,

УДК 669.712:542.61

АКТИВАЦИЯ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КРАСНЫХ ШЛАМОВ ОБРАБОТКОЙ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА И МИНЕРАЛЬНЫМИ КИСЛОТАМИ

Пасечник Л.А., Яценко С.П., Скачков В.М., Медянкина И.С., Сабирзянов Н.А.

Введение

Щелочной отход глиноземного производства – красный шлам (КШ) является токсичным и оказывает негативное влияние на окружающую среду. Действующие в Свердловской области два алюминиевых завода (ОАО «УАЗ-СУАЛ» и ОАО «БАЗ-СУАЛ») накопили на своих шламовых полях более 100 млн тонн этого отхода и ежегодно добавляет еще до 2,5 млн тонн. Экологические катастрофы, вызванные складированием таких шламов, в последние годы все чаще приводят к страшным последствиям и даже жертвам среди населения: прорыв дамбы в 2010 г в г. Айка (Венгрия), неоднократные землетрясения в районе г. Пин-Го (КНР), полевые уносы шлама в районах «Три ущелья» (КНР) и шламохранилища Николаевского глиноземного завода (Украина) и др.

Одним из путей масштабного использования КШ может явиться его применение в качестве сорбционного материала для очистки сточных и шахтных вод от токсичных металлов. При этом важно отметить, что очистка растворов от токсичных веществ осуществляется не только за счет сорбции металлов шламом, но и при нейтрализации кислых стоков щелочным подшламовым раствором. Общая минерализация технологических сбросов горно-обогатительных комбинатов Урала достигает 20-30 г/дм^3, а концентрация токсичных металлов (Pb, Cu, Zn, Cd, Ni и др.) может достигать до ~1 г/дм^3[1]. Исследования по сорбции шламами показали перспективность в отношении ионов меди [2], кадмия [3, 4], свинца и цинка [5], мышьяка (V), хрома(VI), молибдена и фосфора [6, 7].

Состав КШ гидрохимической ветви глиноземного производства (Байера) разных предприятий может сильно различаться в зависимости от технологии и исходного сырья (табл.), поэтому создание на основе КШ эффективного адсорбента требует определенных исследований.

Таблица

Состав гидрохимических шламов глиноземных предприятий, мас.%

Предприятие	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**SiO_2**	**TiO_2**
ОАО «БАЗ-СУАЛ»	14,2	43,4	15,5	9,6	4,1
HASCO «Три ущелья», КНР	26,4	5,3	17,5	19,5	4,0

В данной работе на примере сорбции меди определена возможность использования шламов исходного и обработанного путем активации минеральными кислотами и диоксидом углерода.

Выполненные комплексные исследования подтверждают экономическую целесообразность полной гидрохимической переработки шламов глиноземного производства по блочным технологиям с получением: концентратов редких элементов (Sc, Y, Zr, Ti), коагулянта, гипса, карбонизированного шлама. В результате представленных в данной статье показано, что модифицированный (карбонизированный) шлам может найти применение для очистки, например, от ионов меди (II) и других токсичных цветных металлов со снижением их содержания до ПДК и одновременной нейтрализации кислых техногенных стоков. При использовании варианта кислотного вскрытия шлама с извлечением редких металлов выделяемый алюможелезистый сернокислотный коагулянт найдет эффективное применение для очистки щелочных сточных вод глиноземных предприятий взамен сернокислотной нейтрализации стоков.

Список литературы

1. Экологические аспекты переработки техногенных вод медно-колчеданных месторождений Южного Урала / Медяник Н.Л., Мунтяну О.В., Строкань А.М. // Химическая технология: тезисы докладов Международной конференции по химической технологии ХТ'07, г. Москва, 17-23 июня 2007 г. Том. 2. – Москва: ЛЕНАНД, 2007. – С. 272-274.

2. Адсорбция ионов меди (II) из водных растворов на отходах глиноземного производства / Орлов С.Н., Бурков К.А., Скрипник М.Ю. // Журнал прикладной химии. – 2011. – Т. 84. – Вып. 12. – С. 1946-1949.

3. Исследование адсорбционных закономерностей ионов кадмия на

диоксиде титана и красном шламе / Муравьева С.А., Козлов К.В. // Материалы международной практической конференции «Актуальные проблемы биологической и химической экологии», г. Москва, 26-29 ноября 2012 г. – Москва: МГОУ, – 2012. – С. 127-128.

4. A study a removal of cadmium (II) from aqueous solution by adsorption on red mud / Kumar S., Singh D., Upadhyay M. et al. // Research Journal of Chemical Science. – 2014. – Vol. 4(4). – P. 44-53.

5. Evaluation of the interaction mechanisms between red muds and heavy metals / Laura S., Paola C., Pietro M. // Journal Hazardous Materials. – 2006. – Vol. 136. – Is. 2.– P. 324-329.

6. Study of sorption processes and FT-IR analysis of arsenate sorbed onto red muds (a bauxite ore processing waste) / Paola Castaldi, Margherita Silvetti, Stefano Enzo, Pietro Melis // Journal Hazardous Materials. – 2010. – Vol. 175. – Is. 1-3.– P. 172-178.

7. Исследование адсорбционных закономерностей анионов на поверхности красного шлама / Терехова М.В., Русакова С.М. // Известия МГТУ «МАМИ». – 2013. – № 3. – Т. 1. – С. 147–151.

8. Карбонизация пульпы красного шлама глиноземного производства с извлечением скандия / Яценко С.П., Пягай И.Н. // Химическая технология. – 2009. – Т.10. – №4 – С. 231-237.

9. Утилизация шлама глиноземного производства / Пягай И.Н., Пасечник Л.А., Яценко А.С., Скачков В.М., Яценко С.П. // Журнал прикладной химии. – 2012. – Т.85. – №11. – С.1736-1740.

10. Селективное извлечение иттрия из шламов глиноземного производства / Пасечник Л.А., Яценко А.С., С.П. Яценко, Скрябнева Л.М. // Цветные металлы. – 2013. – №12. – С. 39-44.

11. Сорбционная технология извлечения цветных металлов из шахтных вод / Тимофеев К.Л., Набойченко С.С., Лебедь А.Б., Акулич Л.Ф. // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2012. – №6. – С. 7-10.

12. Гидрохимическая переработка шламов глиноземного производства / Яценко С.П., Сабирзянов Н.А., Пасечник Л.А., Скачков В.М., Пягай И.Н. // Экология и промышленность России. 2012. – № 11. – С.10-13.

Сведения об авторах:

Пасечник Лилия Александровна, канд. хим. наук, с.н.с., e-mail: pasechnik@ihim.uran.ru; +7 (343) 362-31-08

Яценко Сергей Павлович, гл.н.с., профессор, док. хим. наук, e-mail: yatsenko@ihim.uran.ru; +7 (343) 374-53-14

Скачков Владимир Михайлович, канд. хим. наук, н.с., e-mail: vms@weburg.me ; +7 (343) 374-53-14

Медянкина Ирина Сергеевна, аспирант, м.н.с., e-mail: lysira90@mail.ru; +7 (343) 362-31-08

Сабирзянов Наиль Аделевич, зав. лабораторией, док. техн. наук, sabirzyanov@ihim.uran.ru; +7 (343) 374-53-14

ИХТТ УрО РАН, 620990, г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 91

ВАРИАНТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ ОРСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Ряховский В.М, Банников В.С., Ряховская С.К.

Изучен минеральный и химический состав исходных стекловидных песков, техногенных отвалов Орского металлургического завода. Выявлено два типа песков : а) силикатное стекло по составу близкое к пироксенам с включениями хромшпинелидов и б) силикатное стекло с включениями железо-никелевого сульфида.

В качестве методик для выделения фракций, пригодных для дальнейшего использования, применены методы ступенчатой сухой магнитной сепарации и низкотемпературной плазмы.

Методом сухой магнитной сепарации выделены фракции с высоким содержанием никеля и хрома, пригодные для дальнейшего металлургического передела, а также высокожелезистые продукты (45-50%) для получения пигментов.

Установлено, что применение низкотемпературной плазмы приводит к глубоким преобразованиям первичных продуктов с появлением новых минеральных фаз и изменением характера их локализации в образцах. Так

происходит формирование железо-никелевых сульфидных фаз в виде шарообразных обособлений, появление твердых растворов железа и никеля - фаз практически не содержащих серы и кислорода. Кроме того, среди продуктов переработки появляются фазы магнетита и самородного железа.

Выявленный характер воздействия низкотемпературной плазмы на изученные образцы открывает широкие возможности для создания новых технологических схем переработки техногенного сырья, что несомненно требует дополнительных углубленных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашение № 14.604.21.0128)

Сведения об авторах:

Ряховский Владимир Михайлович, докт. геол.-минерал. наук, Главный научный сотрудник, тел. (495)692-3036, e-mail: rvm1941@mail.ru

Геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, 125009 г. Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 11

УДК [622.014.3:553.042.004.14]:622.271.3.06/272

КОМБИНИРОВАННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ НЕДР

Славиковский О.В.

Добыча и переработка минеральных ресурсов – безальтернативная основа развития существования цивилизации на современном уровне, и одновременно источник ее экологических проблем, поскольку любая из традиционных геотехнологий (открытый, подземный, открыто-подземный способы разработки месторождений) связана с изменением в той или иной степени количественного и качественного состояния недр.

Основополагающее место в богатстве стран в общем развитии цивилизации занимают ресурсы земных недр.

Человечество ежегодно извлекает из недр Земли многие сотни миллиардов тонн различных руд, горючих ископаемых и строительных материалов. В результате переработки этого сырья выплавляется свыше 800 млн.т различных металлов, рассеивается на полях более 400 млн.т минеральных удобрений и до 4

млн.т различных ядохимикатов.

В ИПКОН РАН – основоположника проектирования горнотехнических систем, выполнен большой комплекс исследований по комплексному и экологически безопасному освоению недр, что позволило обосновать три этапа освоения месторождений полезных ископаемых:

- на первом этапе определяющим фактором является экономическая выгода его отработки в целом;

- на втором этапе основное направление его освоения связано со снижением себестоимости добычи на основе технического перевооружения горнодобывающего предприятия и применения инновационных технологий;

- третий этап – комплексное освоение минеральных ресурсов недр, которое в современных условиях предусматривает использование с максимальным эффектом всего ресурсного потенциала месторождений – богатых, рядовых и бедных руд, сопутствующих полезных ископаемых, техногенных образований прошлых лет, минерализованных вод, подземного пространства, а также текущих отходов добычи и переработки руд [1].

Длительное освоение рудных месторождений физико-техническими способами привело к истощению балансовых запасов и снижению их качества, а также накоплению большого количества отходов горнометаллургического производства в виде складирования хвостов обогащения и металлургических шлаков, отвалов некондиционных руд и пустых пород.

На территории России к 2009 г. накоплено в отвалах и хвостохранилищах более 80 миллиардов тонн отходов горнопромышленного комплекса.

Горнопромышленный комплекс в настоящее время является одним из основных источников формирования экологических проблем, поскольку ежегодно в мире добывается и перерабатывается порядка 100 млрд.т минеральных ресурсов.

Формируемые в результате открытой разработки месторождений отвалы вскрышных пород и другие техногенные образования являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод и атмосферного воздуха.

Ориентация горнодобывающих предприятий России на добычу определенного вида минеральных ресурсов привело к потерям в недрах многих видов минеральных ресурсов.

Предприятия черной металлургии СССР были ориентированы в основном на извлечения железа, на основе применения физико-технической геотехнологии, хотя многие отрабатываемые железорудные месторождения содержали и другие ценные минеральные компоненты.

Целый ряд скартово-магнетитовых железорудных месторождений Урала (Высокогорское, Ново-Песчанское и др.) характеризуются повышенной концентрацией меди. Так концентрация меди 0,3 - 0,4 % установлено в руде Ново-Песчанского месторождения. Однако, длительное время основным конечным продуктом этих предприятий являлась железная руда.

Как известно, деятельность горных предприятий связана с образованием большого количества отходов. На территории Урала расположено большое число предприятий именно тех отраслей промышленности, которые оказывают сильное отрицательное воздействие на окружающую среду. Негативные экологические последствия их деятельности выражаются в загрязнении атмосферы, почвы, подземных и поверхностных вод, уничтожении растительного покрова нарушении сложившегося гидро- и почвобаланса. Территории нарушенных земель (горные выработки, отвалы, шламохранилища) занимают огромные площади и предопределяют необходимость в настоящее время соответствующие технические решения по утилизации отходов горнодобывающего предприятия.

Примером может служить ОАО «Гайский ГОК», где производится добыча медно-цинковых руд открытым и подземным способом и переработка их на обогатительной фабрике с получением медного и цинкового концентратов, при этом выход отходов обогатительного передела составляет до 20 % от общего объема перерабатываемой руды.

В период с 1997 по 2007 г.г. в связи с увеличением производительности обогатительной фабрики с 3,9 млн.т до 5,4 млн.т в год произошло увеличение объемов хвостов, получаемых при обогащении руды, что потребовало

строительство нового хвостохранилища. Для реализации этого решения более 250 га сельскохозяйственных земель должны быть переведены в земли промышленного назначения под его строительство. Чтобы этого избежать на Гайском ГОКе был разработан проект о размещении хвостов обогащения в выработанном пространстве карьера № 2 и об использовании их при изготовлении закладочных смесей.

Современный рудник – предприятие, имеющее комплексное механизированное производство, где технологические процессы выполняются различными видами машин и механизмов. Все процессы и технологические операции взаимосвязаны по производительности отдельных производственных звеньев, по временному фактору их использования и обеспечивают при соответствующих технологических решениях проектную производительность горного предприятия.

Принципиальное содержание подземного способа разработки месторождения отражает принятая технологическая схема рудника, стержнем которой являются не только технологические процессы, горные выработки и средства механизации, связанные с непосредственным воздействием на горную массу (основной объект труда), т.е. с отбойкой, доставкой, транспортом и подъемом руды и горнопроходческими работами, но и целый комплекс вопросов, связанный со снижением экологической нагрузки на территории, где залегает разрабатываемое месторождение [2].

Для преодоления нарастающего технологического прессинга на природные экологические системы необходимо в первую очередь совершенствование, создание и широкое применение малоотходных, ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий, направленное на изменение свойств горных пород и минерального вещества на макро и микроуровнях, комбинаций открытой и подземной физико-технической геотехнологий с физико-химической, повышение технологических свойств попутно извлекаемых горных пород для превращения их в минеральное сырье, создание природно-техногенных и техногенных месторождений в выработанном пространстве, что возможно при

переходе на комбинированную геотехнологию отработки месторождений [5].

В ИПКОН РАН обоснована и разработана идея полного цикла комплексного освоения месторождений предусматривающая не только полную добычу полезных ископаемых и глубокую комплексную переработку руд, но и вовлечение в эксплуатацию техногенных георесурсов [3].

Одним из основных направлений комплексного освоения недр в целях повышения эффективности их использования и уровня экологизации недропользования – это переход на малоотходные и ресурсосберегающие технологии.

Цель развития малоотходных и ресурсосберегающих технологий - создание замкнутых технологических циклов с полным использованием поступающего сырья и отходов. Так сооружение подземных обогатительных комплексов позволит отходы обогатительного передела размещать в подземных техногенных пустотах, а на поверхность выдавать только концентрат.

Ресурсосберегающие технологии дают возможность экономить минеральные ресурсы при одновременном снижении трудовых и материальных затрат. Ресурсосбережение обеспечивается за счет полноты выемки полезного ископаемого.

Малоотходные и ресурсосберегающие технологии являются взаимозависимыми, частично дополняющими друг друга, так как они создаются на основе использования выработанного пространства; техногенных месторождений; ресурсосберегающего оборудования и т.д.

Доказана эффективность формирования техногенных месторождений из отходов обогатительного передела определенного качества, что позволяет, в свою очередь, увеличить сроки существования предприятия; в связи с процессом внедрения техногенного минерального сырья в промышленное производство.

При этом затраты на добычу техногенного сырья минимальны, поскольку в отличии от традиционных технологий, отсутствуют затраты на геологоразведочные работы, вскрышные работы, буровзрывные работы и т.д. Для этого на начальной стадии складирования шламов обогащения необходимо

создать из шламохранилища новое техногенное месторождение с заданным распределением полезного компонента, который рассматривается в качестве сырьевого ресурса будущих периодов. На шламохранилищах поток гидросмеси разделяется на два основных направления: надводный, называемый пляжем шламохранилища и подводный участок – прудок-отстойник.

В результате этих процессов с использованием инновационных технологий основанных на фракционировании по крупности происходит осаждение определенного минерала в зоне пляжа.

Исходя из условий, предъявляемых к формируемому техногенному типу полезного компонента при проектировании определяются требуемые схемы изменения параметров намыва.

Впервые идея целенаправленного создания техногенных месторождений с заданными параметрами и технологическими характеристиками минерального сырья для последующего эффективного использования техногенных георесурсов впервые была выдвинута академиком К. Н. Трубецким [4].

Исходя из экономической ситуации, которая сложилась на территориях с развитым горнопромышленным комплексом, особенно с высоким уровнем урбанизации, необходимо изменить саму парадигму формирования технологической схемы рудника, на основе перехода от проектирования горных предприятий к проектированию горнотехнических систем.

Горнотехническая система – это совокупность горных конструкций, технических и технологических подсистем открытых, подземных, открыто-подземных, физико-химических и специальных методов добычи во взаимодействии с вмещающими их участками недр [1].

Сложившийся дефицит минерально-сырьевой базы на действующих горно-добывающих предприятиях, имеющих развитую производственную и социальную инфраструктуру, к числу которых относятся и предприятия горно-металлургического комплекса Урала, обеспечивает необходимость разработки инновационных технологий комплексного освоения недр.

Список литературы

1. Каплунов Д.Р. К обоснованию роли и значения геотехнологических модулей при проектировании комбинированной разработки рудных месторождений / Д.Р.Каплунов, М.В.Рыльникова, В.А.Юков // Комбинированная геотехнология: комплексное освоение и сохранение недр Земли: труды по материалам междунар.нау.-тех.конф./ Магнитогорск: МГТУ.– 2011. – С.12-22

2. Славиквский О.В. Комбинированная геотехнология: учебное пособие / О.В. Славиковский, Ю.О.Славиковская // Екатеринбург:УГГУ. – 2011.- 174с.

3. Каплунов Д.Р. Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранение недр Земли / Д.Р.Каплунов, М.В. Рыльникова, Д.Н.Радченко // ГИАБ. – 2015. – спец.выпуск №15. – С.5-11

4. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / РАН, АГН, РАЕН, МИА; под ред. Трубецкого К. Н. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 478с.

5. Каплунов Д.Р. Комбинированная геотехнология / Д.Р.Каплунов, В.Н. Калмыков, М.В. Рыльникова // Руда и металлы. – 2003. - №3. – 560с.

Сведения об авторе:
Славиковский Олег Валерьянович, докт. техн. наук, профессор,
oleg.slavikovskiy.31@mail.ru, +7 (343) 257-31-51, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

УДК 622.772

ОЦЕНКА ОБОГАТИМОСТИ СУЛЬФИДНОГО СЫРЬЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Смайлов Б.Б., Смайлова А.Б., Шехирев Д.В., Думов А.М.

Для многих сульфидных руд цветных металлов, получение кондиционных концентратов с удовлетворительным извлечением путем флотационного обогащения оказывается весьма затруднительным.

Один из принятых в мировой практике путей решения проблемы – применение комбинированных технологий переработки труднообогатимых руд.

В этом случае извлечение металлов в концентраты лимитируется требованиями их кондиционности, а полнота извлечения металлов из руды обеспечивается получением дополнительного комплексного некондиционного продукта, перерабатываемого на месте гидрометаллургическим способом.

Наличие двух переделов – и флотационного, и гидрометаллургического, безусловно, сильно усложняют переработку руды, хотя и обеспечивают повышенную товарность продукции в гидрометаллургическом переделе.

Таким образом, необходимость применения комбинированной технологии для сульфидных руд цветных металлов определяется обогатимостью руды классическим флотационным способом.

Следовательно, адекватная оценка обогатимости руды является главным аргументом к применению комбинированной технологии для ее переработки.

Трудности флотационного обогащения руды определяются ее вещественным составом. Тонкая и сложная вкрапленность может привести к недостаточному раскрытию ценных минералов. Особенности кристаллического строения, примеси и т.п. могут привести к недостаточной контрастности флотационных свойств разделяемых минералов.

В работе предложены методы оценки обогатимости руды, основанные на изучении минерального состава руды и продуктов ее флотационного обогащения, с учетом кинетики флотации, с применением количественного минералогического анализа.

Основным оборудованием для проведения исследования является Комплекс MLA System (рисунок 1).

Комплекс MLA System состоит из сканирующего электронного микроскопа Quanta 650 и специального программного обеспечения MLA Suite. Комплекс позволяет анализировать пробы продуктов переработки минерального сырья с возможностью качественного и количественного определения минералов, металлов и примесей. Размер анализируемых частиц может достигать 2 мкм, а включения минералов размером до 0,2 мкм (200 нм). Управляющим программным обеспечением является MLA Suite, контролирующий всю работу электронного

микроскопа, включая автоматический анализ образцов и обработку полученных данных.

Рис. 1 – Комплекс MLA System. Внешний вид

На рисунке 2 изображена частица – сросток нескольких минералов после определения прибором минеральных фаз на основе обработки изображения частицы в отраженных электронах и микрозондового анализа фаз по вторичному рентгеновскому излучению. Точки микрозондового анализа показаны крестиками.

Результатом является создание базы данных для выдачи информации об образце. Объем получаемой информации зависит от целей исследования.

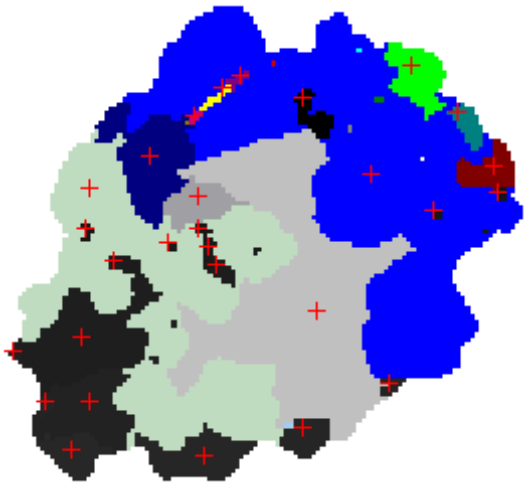


Рис. 2 – Точечный рентгенофлуоресцентный анализ каждого минерального зерна

Полная база данных содержит следующую информацию: состав минералов; распределение элементов по минералам; распределение частиц и минеральных зерен по крупности; степень раскрытия минералов (свободные; в сростках с одним минералом; в сростках с двумя и более минералами); распределение частиц по различному содержанию минералов; распределение частиц по различной площади свободной поверхности минералов; кривые предельной обогатимости для каждого минерала и элемента;

Количество анализируемых частиц исчисляется десятками и даже сотнями тысяч. Вся информация предоставляется в графической и табличной формах. MLA позволяет производить дополнительную обработку результатов анализа.

Изучение обогатимости подвергли труднообогатимую тонковкрапленную свинцово-цинковую руду (таблица 1).

Очень сложные и тонкие срастания галенита, сфалерита, марказита и кальцита – это основная картина взаимоотношений между минералами руды (рисунок 3). Размер сростков между этими четырьмя минералами варьирует от десятых до сотых долей миллиметра.

Таблица 1

Минеральный состав руды

Минерал	Массовая доля, %
Галенит	1.03
Пирит	38.95
Сфалерит	7.84
Алюмосиликаты	8.44
Карбонаты	34
Барит	2.44
Кварц	5.74
Прочие	1.56
Всего	100

Перед флотацией руда измельчена до 90 % класса минус 44 мкм. Системой MLA сформирована база из 2 млн частиц.

По данным MLA, степень раскрытия минералов составила: галенит – 45,5 %, сфалерит – 57,0 %, пирит – 58,4 %.

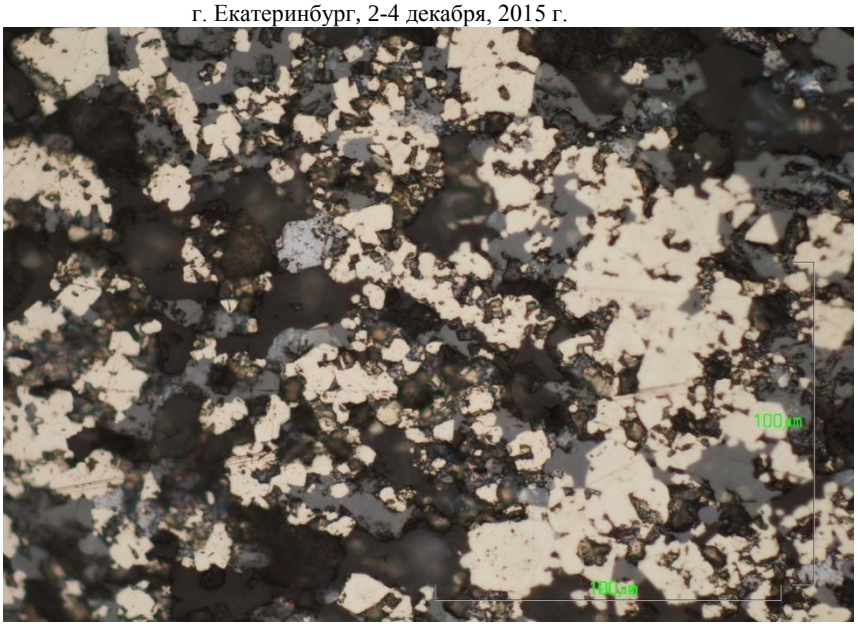


Рис. 3 – Сложные взаимные срастания галенита (светло-серое), пирита (бледно-желтое), сфалерита (серое) в кальцитовой массе (темное).

Способ построения кривой предельной обогатимости для элемента системой MLA предполагает накопление в концентрате частиц (из базы данных частиц), последовательно начиная от самых богатых по данному элементу к менее богатым, пока в базе не останется частиц, содержащих данный элемент. Таким образом, для каждого элемента кривая предельной обогатимости построена так, как будто из руды планируется выделять концентрат только данного элемента.

При этом для цинкового концентрата данные предельной обогатимости завышены по отношению к технологии последовательного выделения свинцового и цинкового концентратов. Они не учитывают возможных потерь цинка в свинцовом концентрате в виде сростков сфалерита с галенитом.

Поэтому была разработана программа, реализующая построение кривых предельной обогатимости для последовательного выделения свинцового и цинкового концентратов.

При этом из общей базы данных в свинцовый концентрат также последовательно помещают частицы от наиболее богатых по свинцу к более бедным. Однако каждую частицу проверяют на отношение содержания цинка к содержанию свинца. Если это отношение оказывается больше заданного, частицу в свинцовый концентрат не помещают и оставляют в базе. Формирование

цинкового концентрата производят, набирая частицы от наиболее богатых по цинку к более бедным из частиц, оставшихся в базе оставшихся после того, как сформирован свинцовый концентрат.

Кривые обогатимости приведены для двух вариантов отношений массовых долей цинка и свинца - 0,325 и 0,0342 (рисунок 4).

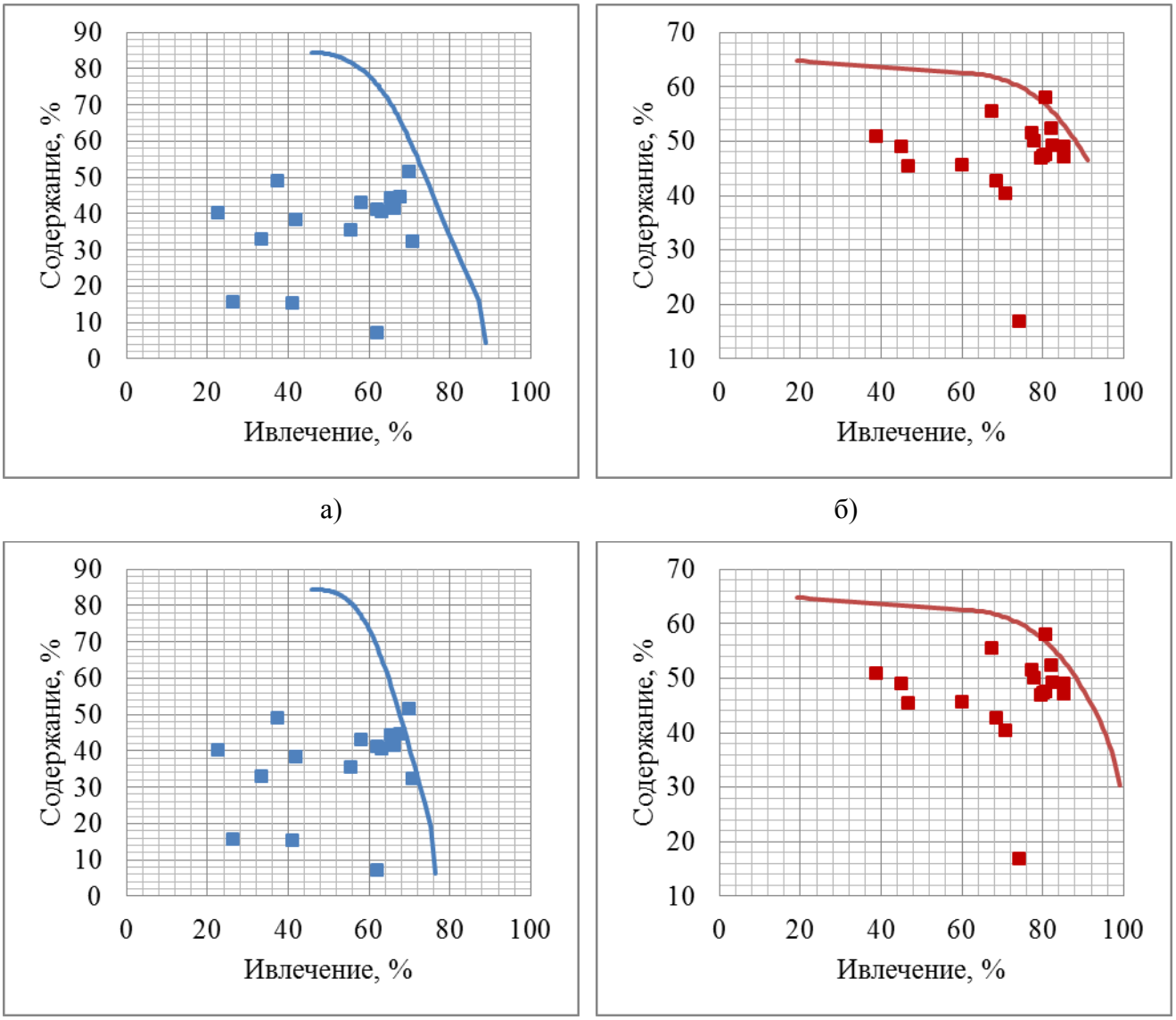


Рис. 4 – Кривые предельной обогатимости для свинцового (а, в) и цинкового (б, г) концентратов при последовательном выделении свинцового и цинкового концентратов с максимальными соотношениями массовых долей цинка и свинца 0,345 (а, б) и 0,0342 (в, г) (сплошные линии) и результаты исследований руды по чисто флотационной технологии за период 1960-2010 гг (точки)

Сопоставляя графики рисунка 4, легко видеть, что уменьшение допустимого

соотношения массовых долей цинка и свинца приводит к смещению кривой обогатимости по свинцу в сторону меньших извлечений. Это происходит потому, что в концентрат допускаются все меньше сростков свинцовых и цинковых минералов, что уменьшает извлечение свинца.

При этом происходит перераспределение сростков галенита и сфалерита из свинцового в цинковый концентрат. Поэтому кривые обогатимости по цинку смещаются в сторону больших извлечений.

При этом смещения кривых отсутствуют в области графиков, соответствующих высоким содержаниям свинца и цинка, так как эти области формируются раскрытыми частицам галенита и сфалерита. Чем меньше содержание металлов в расчетных концентратах, тем большую роль в извлечении играют сростки галенита и сфалерита.На графиках нанесены точки извлечений металлов в одноименные концентраты и содержаний металлов в них, соответствующие экспериментам в течение длительного периода изучения руды данного месторождения.

Большинство экспериментов, за единичными исключениями, не достигает предельных показателей даже данной весьма труднообогатимой пробы, как по свинцу, так и по цинку.

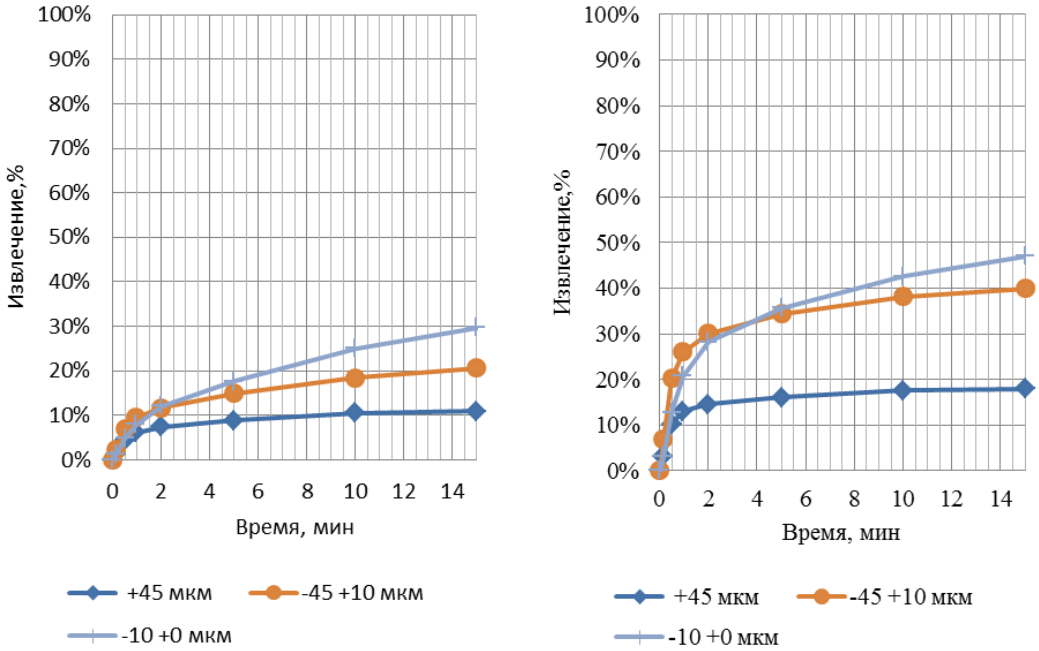
Все это позволяет сделать вывод, что трудная обогатимость исследуемой свинцово-цинковой руды не в первую очередь определяется раскрытием.

Для установления контрастности флотационных свойств различных минеральных форм, проведены кинетические опыты. Опыты проводились по схеме прямой селекции, состоящей из свинцовой флотации и цинковой флотации с получением черновых концентратов. Депрессоры сфалерита в свинцовой флотации – сернистый натрий и цинковый купорос. Свинцовую флотация проводили в содовой среде, цинковую – в известковой. Определение минерального состава продуктов проводилось с применением системы MLA.

Извлечение галенита в черновой свинцовый концентрат составило 86,4 %. Однако в этот концентрат в довольно большой доле (28,5 %) сфлотировался и сфалерит. Очень велико извлечение в этот продукт пирита – 48,2 %. Извлечение

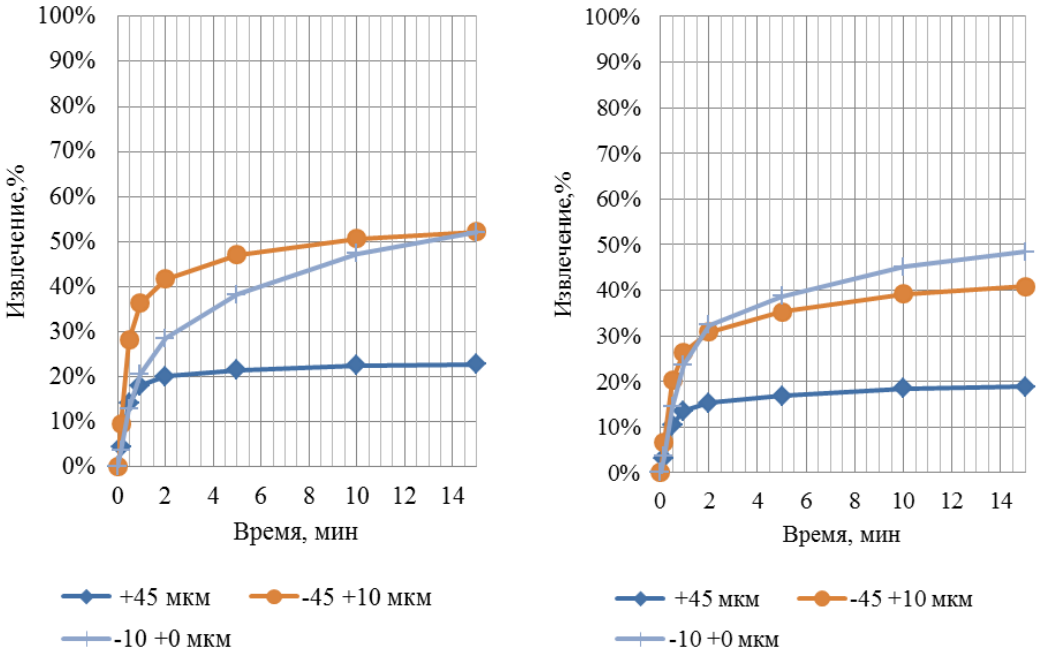
сфалерита в черновой цинковый концентрат составило 68.6 %, при этом извлечение сфалерита от питания цинковой флотации – 96,2 %, что является высоким показателем. Потери галенита с черновым цинковым концентратом достаточно заметны – 8.8 %, что составляет 64,6 % от галенита, попавшего в цинковую флотацию. Пирит извлекается в черновой цинковый концентрат на 27,4 %. Флотируемость пирита в этой операции аномально высока: несмотря на жесткий известковый режим, извлекается 52,88 % пирита, попавшего в питание цинковой флотации. Потери галенита и сфалерита с хвостами совсем малы – соответственно 4,8 и 2,8 %.

На рисунках 5 – 8 приведены кинетики флотации свободных зерен сфалерита и пирита, а также сростков этих минералов раздельно по классам крупности +45 мкм, минус 45 +10 мкм и минус 10 мкм для условий свинцовой и цинковой операций флотации. Данные получены путем MLA-анализа на содержание указанных минеральных форм продуктов кинетических опытов по флотации руды.



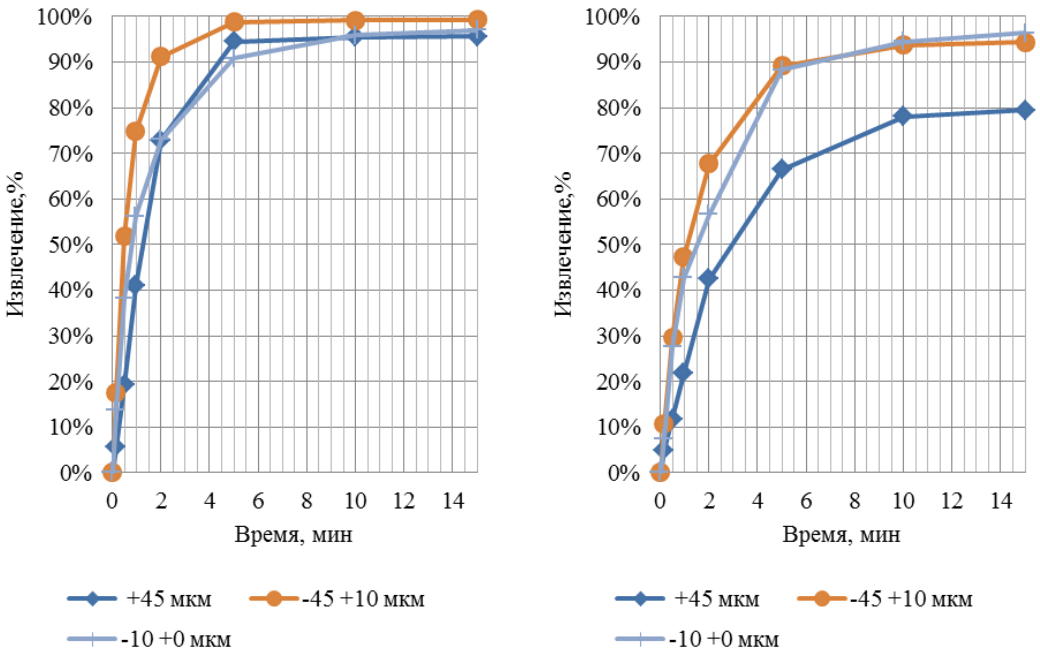
а) свободные зерна б) сростки

Рис. 5 - Кинетика флотации сфалерита по классам по крупности в операции свинцовой флотации



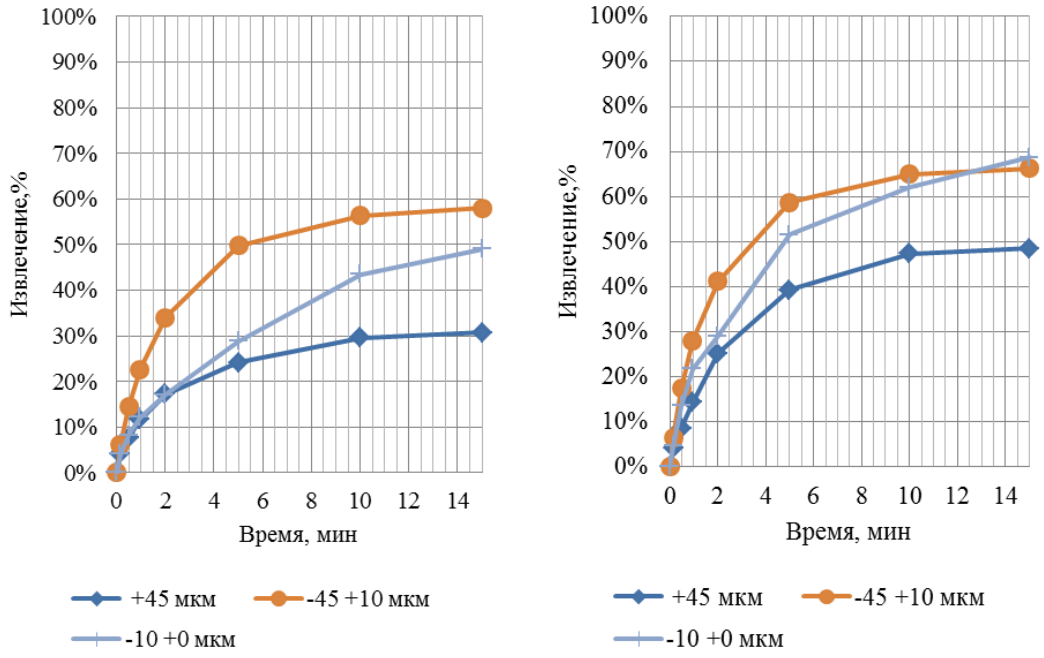
а) свободные зерна б) сростки

Рис. 6 – Кинетика флотации пирита по классам по крупности в операции свинцовой флотации



а) свободные зерна б) сростки

Рис. 7 – Кинетика флотации сфалерита по классам по крупности в операции цинковой флотации



а) свободные зерна б) сростки

Рис. 8 – Кинетика флотации пирита по классам по крупности в операции цинковой флотации

По данным рисунков видно, что загрязнение пиритом как свинцового, так и цинкового черновых концентрата в основном происходит за счет наличия флотоактивного пирита в виде раскрытых частиц.

Практическое совпадение скоростей флотации галенита, с одной стороны, и флотирующихся пирита и сфалерита, с другой, не позволяют надеяться на получение кондиционного свинцового продукта. В цинковой флотации часть сфалерита флотируется быстрее, чем флотоактивный пирит. Следовательно, есть возможность отделить часть сфалерита от пирита с получением кондиционного цинкового концентрата.

Таким образом, данная руда является труднообогатимой из-за низкой контрастности флотационных свойств разделяемых минералов, и требует комбинированной схемы с выделением части цинка в кондиционный цинковый концентрат и получением комплексного продукта для гидрометаллургической переработки.

Схемными опытами данные выводы подтверждены. Установлена возможность получения кондиционного цинкового концентрата с массовой долей

цинка 53,07 % и извлечении цинка 52,36 %.

Целесообразно одновременное получение комплексного свинцово-цинкового продукта для дальнейшей гидрометаллургической переработки. Выход данного продукта 9,92 %, массовые доли свинца и цинка соответственно 6,05 % и 17,88 %, извлечения 56,13 % и 32,28 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы Минобрнауки России по теме «Комбинированная технология комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья цветных и благородных металлов». Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57514X0085

Сведения об авторах:

Смайлов Берик Болатович, инженер НИТУ «МИСиС», +7 (916) 5802844, e-mail: smailov_berik@mail.ru

Смайлова Алина Бектургановна, инженер НИТУ «МИСиС», +7 (499) 2365057, e-mail: smailova_alina@mail.ru

Шехирев Дмитрий Витальевич, к.т.н., профессор, ст.н.с. НИТУ «МИСиС», +7 (903) 5585085, e-mail: shekhirev@list.ru

Думов Александр Маркович, к.т.н., доцент, НИТУ «МИСиС», +7 (903) 9725974, e-mail: amark1@mail.ru

119991, Москва, Ленинский проспект, 4, НИТУ «МИСиС»

УДК 622.271.3/272

РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ СТРАТЕГИИ ОСВОЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННЫМИ ПОДЗЕМНЫМИ ГЕОТЕХНОЛОГИЯМИ

Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Смирнов А.А.

Особенность проблематики состоит в том, что в современной науке и практике формирование вариантов и реализация геотехнологической стратегии (ГС) освоения мощных глубокозалегающих железорудных месторождений основаны на традиционном последовательном и нисходящем порядке ведения горных работ [1]. Причем при комбинированной разработке, это присуще как освоению месторождения в целом (с реализацией последовательного перехода от открытых горных работ к подземным), так и части запасов, предназначенных для подземной разработки (переходная зона и далее нисходящая поэтажная выемка) [2]. Применение инновационной ресурсосберегающей технологии восходящей

выемки с закладкой выработанного пространства [3] в рамках общей ГС освоения подземных запасов, сдерживается, на наш взгляд, следующими обстоятельствами:

- несовершенством методологической базы собственно долгосрочного (на весь срок освоения) и целевого (получение максимального интегрального эколого-экономического эффекта) планирования разработки месторождения;

- нерешенностью задачи оптимальных структуры и параметров горнотехнической системы (ГТС), включающей порядок и направление развития горных работ, способ и схему вскрытия, систему разработки, способ транспортирования, целесообразность подземного обогащения, использование выработанного пространства для складирования отходов горного производства;

- отсутствием критерия и методики эколого-экономической оценки ГС.

Систематизированы факторы, влияющие на выбор ГС, по группам: социально-экологические (здоровье и занятость населения, воздействия на окружающую среду (ОС); рыночные (внешнеэкономические и макроэкономические); природные (географо-экономические, геологические); инновационные (НТП, наличие инновационных технологий); производственные (горнотехнические, технологические, организационные, специфические).

ГС освоения подземных запасов при комбинированной разработке мощных глубокозалегающих рудных месторождений определена как комплекс взаимоувязанных мероприятий, включающий установление в рамках принятой концепции: схемы комбинированной разработки; производственной мощности подземного рудника; порядка развития горных работ во времени и в пространстве; способа и схемы вскрытия; технологии очистной выемки; способа погашения выработанного пространства; схемы и способа транспортирования руды; целесообразности подземного обогащения; схемы и способа утилизации отходов горно-обогатительного производства, направленных на обеспечение максимального экономического эффекта от эксплуатации всех запасов месторождения и экологической безопасности.

Предложены принципы формирования ГС, заключающиеся в: системности

исследований, комплексности цели и задач; оптимальности результатов; императиве «более чистого производства»; комбинировании технологических процессов различных способов добычи и переработки; разработке инновационных геотехнологий [4]. Для формирования и конструирования соответствующих вариантов ГТС разработаны следующие основные положения:

- с целью утилизации в выработанном пространстве отходов добычи и обогащения руды и снижения эксплуатационных затрат использовать ресурсосберегающий способ восходящей камерной выемки с СЗ;

- для существенного (до 2-х раз) повышения производственной мощности подземного рудника ориентироваться на восходяще-нисходящий порядок, обеспечивающий независимую отработку этажей в пределах шага освоения;

- вскрытие осуществлять с учетом схемы комбинированной разработки месторождения: при последовательной автоуклонами из карьера, при параллельной – вертикальными стволами с поверхности;

- при отработке переходной зоны формировать изолирующие массивы (искусственные монолитные или из разрыхленной породы);

- для обеспечения максимальной интенсивности горных работ использовать высокопроизводительное СО и проходческие комбайны.

- устанавливать целесообразность применения подземного обогатительного комплекса (ПОК) с получением концентрата и использованием отходов обогащения в качестве закладки выработанного пространства;

- схемы и способы транспортирования грузов (руда, порода, концентрат, закладка) обосновывать с учетом оптимального расположения ОК под землей или на поверхности. При этом максимально использовать силы гравитации;

- с целью организации замкнутого цикла горно-обогатительного производства и размещения под землей всех отходов, образуемых в рамках ГТС, применять комплексную подземную геотехнологию добычи руды, сочетающую камерную систему с СЗ и восходящей выемкой нижних этажей и системы с обрушением при освоении верхних этажей. Оптимальное соотношение долей применения систем в производственной мощности рудника определять по

условию организации замкнутого цикла;

- в качестве резерва емкостей для размещения отходов добычи и обогащения использовать выработанное пространство карьера.

Разработка и оценка вариантов ГС выполнена на конкретном примере освоения глубоких горизонтов Естюнинского месторождения. В основу положена концепция восполнения выбывающих мощностей Высокогорского ГОКа, где минимальным условием является обеспечение стабильной производственной мощности собственно шахты Естюнинская 2,5 млн. т руды в год, максимальным – мощности ГОКа за счет увеличения мощности шахты Естюнинская до 5 млн. т руды/год. В соответствии с данной концепцией типизированы технологические схемы (табл. 1), соответствующие 5-ти вариантам ГС в шаге освоения (вскрытия и отработки), по признакам: производственная мощность шахты; порядок отработки этажей во времени и в пространстве; система разработки; место расположения обогатительного комплекса (ОК); способ погашения выработанных камер и утилизации отходов горно-обогатительного производства (ГОП). Варианты 1-3 обеспечивают производительность шахты 2,5 млн. т, варианты 4-5 – 5 млн. т.

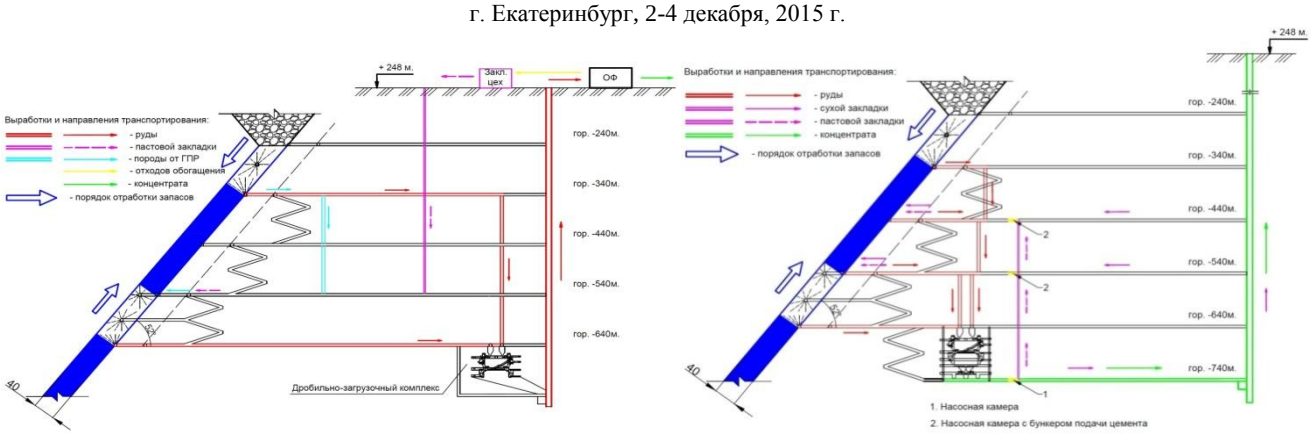
Таблица 1

Технологические схемы, соответствующие вариантам ГС

Вар. ГС	Порядок развития горных работ		Система разработки	Расположение ОК	Отработка запасов шага освоения. Способ погашения и утилизации
1	Последовательный нисходящий		Камерная с последующим обрушением целиков	На земной поверхности	Одноэтажная. Выработанное пространство погашается обрушенными породами. Отходы ГОП размещаются на поверхности
2	Последовательный восходящий		Камерная с закладкой	На земной поверхности	Одноэтажная. Камеры погашаются закладкой: породой от ГПР и отходами ОК, подаваемыми с поверхности
3	Последовательный восходящий		Камерная с закладкой	Под землей	Одноэтажная. Камеры погашаются закладкой: породой от ГПР и отходами ПОК
4	Параллельный. Комбиниров.	Нисходящий	Верхние этажи – камерная с обрушением целиков	На земной поверхности	Многоэтажная. Выработанное пространство верхних этажей погашается обрушенными породами. Камеры нижних этажей погашаются

Вар. ГС	Порядок развития горных работ		Система разработки	Расположение ОК	Отработка запасов шага освоения. Способ погашения и утилизации
		Восходящий	Нижние этажи – камерная с закладкой		закладкой: породой от ГПР и отходами ОК, подаваемыми с поверхности
5	Параллельный. Комбинированный	Нисходящий	Верхние этажи – камерная с обрушением целиков	Под землей	Многоэтажная. Выработанное пространство верхних этажей погашается обрушенными породами. Камеры нижних этажей погашаются закладкой: породой от ГПР и отходами ПОК.
		Восходящий	Нижние этажи – камерная с закладкой		

Определенной новизной обладают варианты 4 и 5 ГС [5]. В варианте 4 ГС этажи отрабатываются параллельно в комбинированном порядке, верхние – в нисходящем системами с обрушением, нижние – в восходящем этажно-камерной системой с закладкой. ОК располагается на земной поверхности. Руда по рудоспускам поступает на концентрационный горизонт и далее локомотивами – до скипового ствола, скипами выдается на поверхность и железнодорожным транспортом перевозится на ОК. Отходы сухой (СМС) и мокрой магнитной сепарации (ММС) направляются на закладочный комплекс (ЗК) и в виде закладки транспортируются до камер по трубам (рис. 1а). В варианте 5 ГС технология и порядок отработки аналогичны варианту 4. ПОК располагается в подземных выработках нижнего этажа. Руда с нижних этажей по автоуклону транспортируется до ПОК автосамосвалами, верхних этажей – по рудоспускам перепускается в ПОК. Отходы СМС и ММС после предварительного обезвоживания в виде сухой (СЗ) или пастовой закладки транспортируются от ПОКа до выработанного пространства. Концентрат – по концентрационному горизонту электровозами до ствола и скипами выдается на поверхность.



а) б)

Рис. 1. Варианты а) 4 и б) 5 ГС освоения Естюнинского месторождения

Для условий восходящей отработки Естюнинского месторождения систематизированы варианты камерной системы разработки с СЗ и самоходным оборудованием (СО) по признакам: порядок отработки камер и целиков, технология очистной выемки, способ создания и сохранения закладочного массива, схема подготовки и конструкция днища. Наиболее эффективным признан вариант выемки трапециевидными камерами с наклонными торцевыми стенками из СЗ, укрепленной укрепляющим раствором (рис. 2). Здесь реализуется двухстадийный камерно-целиковый порядок отработки камер в этаже по схеме 1-2-1-2-1. С целью создания устойчивого закладочного массива в обоих торцевых частях камеры 1 очереди формируется откос путем придания торцевым стенкам камеры наклона (55º-70º). Закладочный массив формируется путем отсыпки слоев СЗ и последующего их укрепления укрепляющим раствором (цемент+вода). В камерах 2 очереди закладочный массив формируется путем отсыпки СЗ из выработок буро-вентиляционного горизонта.

Преимущества подземного размещения ОК заключаются в следующем:

- резкое сокращение площади земель (на 90-95%), занимаемых поверхностными ОК, отвалами и шламохранилищами, соединяющими их дорогами и коммуникациями;

- практически полная ликвидация экологического воздействия на ОС как самого ОК, так и открытых складов продуктов обогащения, отвалов и шламохранилищ, дорог;

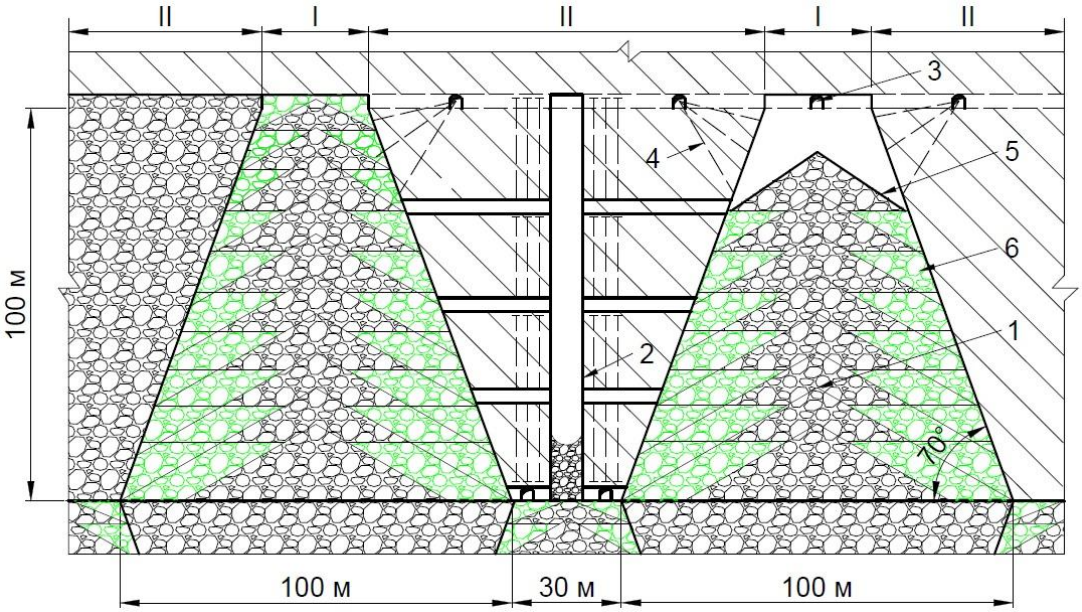


Рис. 2. Вариант выемки трапециевидными камерами с комбинированной закладкой: I, II – порядок отработки, 1 – отсыпка слоев СЗ и их укрепление в камере 1-ой очереди, 2 – закладочные выработки, 3 – отработка камер 2-ой очереди, 4 – закладочные скважины для подачи укрепляющего раствора, 5 – формируемый слой СЗ, 6 – укрепленный откос

- сокращение платежей за земельный отвод, складирование хвостов и экологическое воздействие обогатительного производства, отвалов и шламохранилищ;

- стоимость строительства ПОК не выше, чем строительство аналогичного по производительности ОК на поверхности, а в нашем случае дешевле на 20-35%.

Разработана и запатентована технологическая схема ПОК, позволяющая сократить капитальные затраты на его строительство и повысить эффективность подземного обогащения за счет уменьшения количества выработок и усреднения качества поступающей на обогащение исходной руды [6] (рис. 3). Также предложен способ подземной разработки мощных железорудных месторождений, позволяющий существенно сократить объем дорогостоящих мероприятий по изоляции закладываемых камер для предотвращения прорыва текущих хвостов обогащения в выработки. на который получено решение о выдаче Патента на изобретение (Заявка № 2014120839/03(033497).

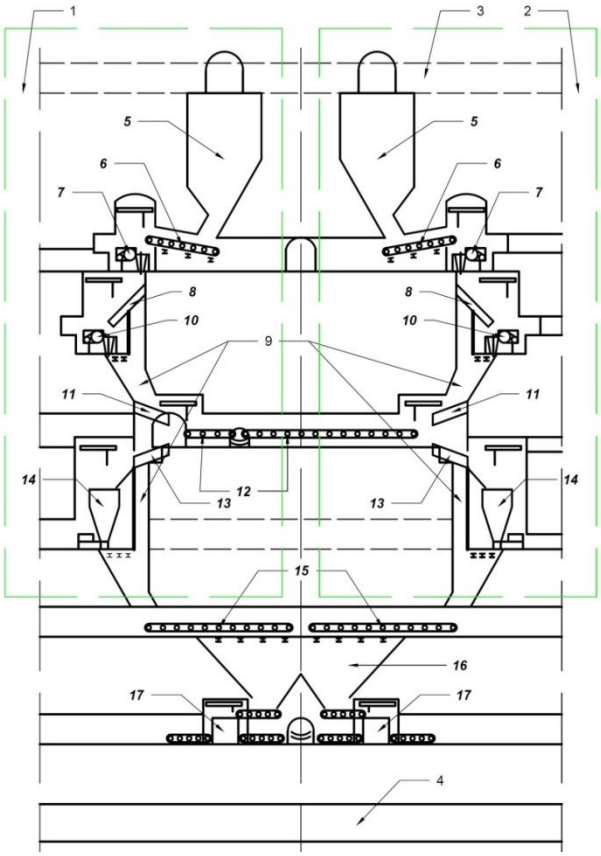


Рис. 3. Подземная обогатительная фабрика

Оценка вариантов ГС в новом шаге освоения с балансовыми запасами $Q_б$ должна учитывать комплекс как производственного, так и социально-экологического эффектов от реализации стратегических решений [7]. С учетом динамики развития ГТС во времени T, целесообразно в качестве критерия оценки принять максимум ЧДД в следующем виде, руб.

$$ЧДД = \frac{\sum_{t=0}^{T} Ц_{it}}{(1+E)^t} - \left(\frac{\sum_{t=0}^{T} K_{it}}{(1+E)^t} + \frac{\sum_{t=0}^{T} Э_{it}}{(1+E)^t} + \frac{\sum_{t=0}^{T} СЭП_{it}}{(1+E)^t} \right) \to \max \quad , \qquad (1)$$

где T – длительность оценки. Равна времени строительства и отработки, лет; $Ц_{it}$ – доход от реализации продукции, получаемый в t-ом году оценки при реализации i-ого варианта ГС, руб./год; K_{it} – капитальные затраты на строительство подземного рудника и ОК в t-ом году оценки при реализации i-ого варианта ГС, руб./год; $Э_{it}$ – эксплуатационные затраты на процессы добычи и обогащения руды в t-ом году оценки при реализации i-ого варианта ГС, руб./год; $СЭП_{it}$ – денежная оценка социально- экологических последствий от реализации i-го варианта ГС,

руб./год; E – норма дисконта, доли ед.

Предложено *степень замкнутости ГТС, соответствующей варианту ГС, оценивать показателем* η*, равным отношению суммарного объема отходов* V^o*, образующихся в рамках ГТС, к максимальному объему пустот* V^n*, образующихся в рамках ГТС*

$$\eta = V^o/V^n \to 1. \quad (2)$$

Если $0 \leq \eta \leq 1$, то ГТС замкнута, если $\eta > 1$, то ГТС не замкнута.

По η можно также определять долю систем разработки с закладкой выработанного пространства в годовой производственной мощности рудника, а по $1-\eta$ – долю систем с обрушением. Использование данного показателя в качестве критерия оценки экологической эффективности ГС в комплексе с ЧДД повысит ее объективность.

По каждому из двух критериев варианту ГС присваивается рейтинг. Более высокий рейтинг получает вариант с минимальным количеством баллов. Для выбора лучшего варианта ГС вводится глобальный критерий принятия компромиссного решения R – комплексный эколого-экономический критерий, рассчитываемый как сумма баллов по каждому критерию с учетом их веса

$$R = k_{ЧДД} r_{ЧДД} + k_\eta r_\eta, \quad (3)$$

$r_{ЧДД}$, r_η – рейтинг по критерию ЧДД и η, соответственно.

$k_{ЧДД}$, k_η – вес критериев ЧДД и η в глобальном критерии, принятый 1.

Разработана блок-схема формирования и компьютерная программа (в приложении *Excel*) выбора ГС, указывающие последовательность установления оптимальных решений по блокам в соответствии с локальными критериями, принятыми для соответствующих подсистем ГТС, и ГТС в целом (рис. 4).

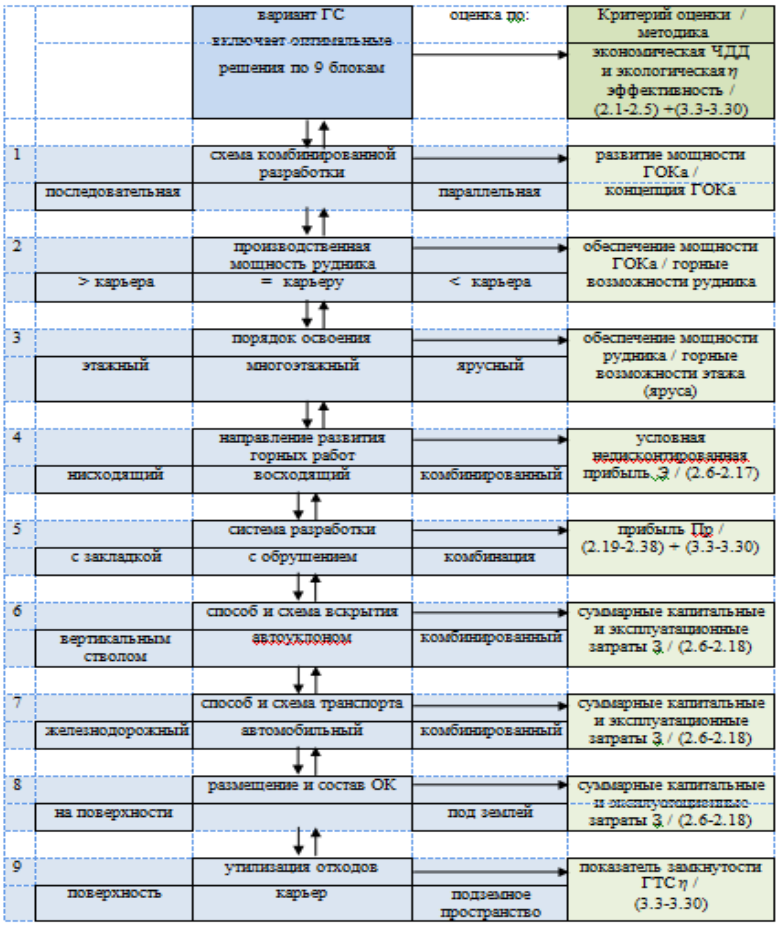


Рис. 4. Блок-схема формирования и оценки варианта ГС

Выполнено экономико-математическое моделирование (ЭММ) вариантов ГС по ЧДД при норме дисконта 12% и базовом содержании железа 29% (рис.5).

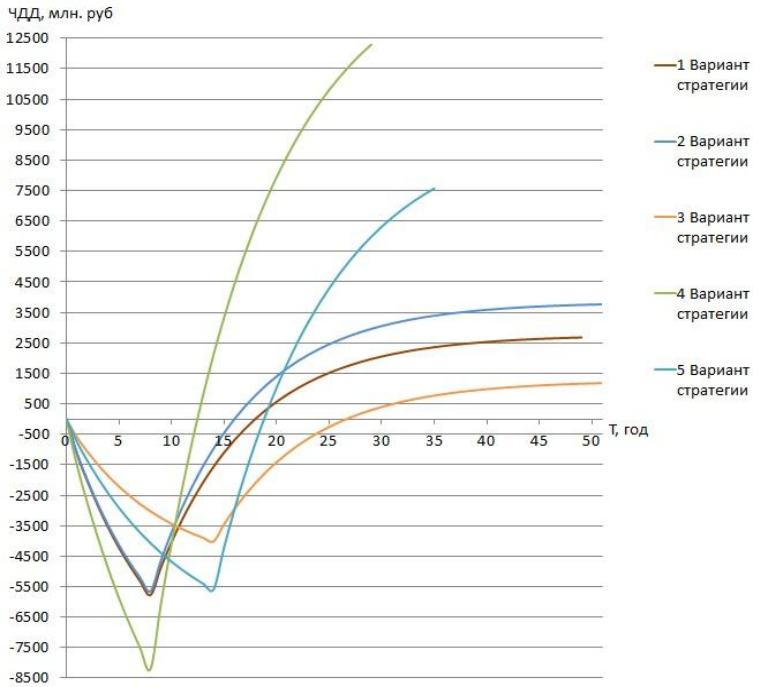


Рисунок 5 – ЧДД по вариантам 1-5 ГС

Результаты ЭММ показали, что ЧДД по варианту 4 ГС больше в 1,6 и 3,6 раза по сравнению с вариантами 5 и 2. Расчет по комплексному эколого-экономическому критерию показал, что при Fe = 29% целесообразен полный переход на системы с закладкой. При этом показатель замкнутости ГТС можно улучшить до η=1,43 (рис. 6).

Рейтинги							
При содержании Fe = 29%							
Показатели	Обозн.	Ед. измер	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Содержание металла в балансовых запасах	c_1	доли ед.	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Показатель замкнутости ГТС	η	доли ед.	15,00	1,43	1,43	1,43	1,43
Место в рейтинге по возможности утилизации	r_η	бал.	5	1	1	1	1
Чистый дисконтированный доход	ЧДД	тыс. руб.	2 678 157	3 766 288	1 180 724	13 609 762	8 344 926
Место в рейтинге по ЧДД	$r_{ЧДД}$	бал.	4	3	5	1	2
Комплексный эколого-экономический критерий	R	бал.	9	4	6	2	3
Итоговое место в рейтинге			**5**	**3**	**4**	**1**	**2**

Рисунок 6 – Рейтинги вариантов ГС

Установлено, что технически возможно добиться замкнутости ГТС при содержании Fe≥43 %, поскольку объем получаемых хвостов становится не более объема, образующихся пустот. При Fe=43% замкнутость ГТС обеспечивается 100% применением систем с закладкой, а при Fe>43 % – оптимальным соотношением систем с закладкой и с обрушением.

Выявлены оптимальные области применения ПОК при увеличении уровня установленных благоприятных факторов – затрат на СЭП или на транспортирование руды от рудника до ОФ. Так, при увеличении норматива платы за отчуждение земель до 3000 руб./м^2 или длины доставки руды до ОФ до 19 км, ЧДД по вариантам 4 и 5 ГС одинаковы.

Перспективы промышленного внедрения разработанной ГС связаны с освоением глубоких горизонтов Ново-Естюнинского и Северо-Гороблагодатского железорудных месторождений, а также Тарыннахско-Горкитского железорудного узла.

Список литературы

1. Каплунов Д. Р. Современное содержание методологии проектирования освоения недр // Недропользование – XXI век. – 2008. – № 1. – С. 32 – 34.

2. Соколов И.В. Оценка эффективности подземной геотехнологии при обосновании стратегии комбинированной разработки рудных месторождений / Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. - №11. – С. 480-493.

3. Яковлев В.Л., Волков Ю.В., Славиковский О.В. О стратегии освоения меднорудных месторождений Урала // Горный журнал. – 2003. – № 9. – С. 3 – 7.

4. Соколов И.В., Гобов Н.В., Смирнов А.А., Медведев А.Н. Комплексная экологоориентированная подземная геотехнология добычи и обогащения железных руд / Экология и промышленность России - 2013.- №6.- С.16-20.

5. Соколов И.В., Смирнов А.А., Гобов Н.В., Антипин Ю.Г. Целесообразность применения подземных обогатительных комплексов на железорудных шахтах / Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - № 6. - С. 197-206.

6. Патент на изобретение № 2565300 «Подземная обогатительная фабрика» от 11.06.2014 г. Смирнов А.А., Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Соломеин Ю.М.

7. Соколов И.В., Гобов Н.В., Антипин Ю.Г. Систематизация и методика оценки вариантов стратегии освоения железорудных месторождений с применением подземных обогатительных комплексов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015.- № 7. – С. 101-109.

Сведения об авторах:
Соколов Игорь Владимирович, зав. лаб. подземной геотехнологии, докт. техн. наук
Антипин Юрий Георгиевич, с.н.с. лаб., канд. техн. наук
Смирнов Алексей Алексеевич, с.н.с. лаб. подземной геотехнологии, канд. техн. наук
620219 г. Екатеринбург, ГСП-219, М-Сибиряка, 58, Институт горного дела УрО РАН (лаб. подземной геотехнологии), тел. (343) 350-71-28, факс 350-71-28, e-mail: geotech@igduran.ru

УДК 622.272/275

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НАКЛОННЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Барановский К.В., Рожков А.А.

На основании анализа теории и практики отработки наклонных рудных месторождений (более 20-ти) установлено, что радикальное снижение потерь

кварца в недрах может быть достигнуто применением комбинированной системы разработки (КСР), сочетающей систему с открытым очистным пространством при выемке основных камерных запасов и систему с обрушением руды и вмещающих пород при выемке междукамерных целиков (МКЦ). Принимая во внимание многообразие возможных технически рациональных вариантов КСР, проведена их систематизация. На ее основе сконструировано 7 рациональных вариантов КСР, различающихся параметрами камер и МКЦ, методами его отбойки и выпуска, способом (принудительным обрушением пород висячего бока или их самообрушением) и порядком (до или после массовой отбойки МКЦ) погашения выработанного пространства, обеспечивающих эффективные показатели извлечения – потери не более 12,6%, разубоживание – не более 13,5%.

На основе принципов нормирования потерь и с учетом факторов влияющих на уровень извлечения разработана методика определения величины потерь и разубоживания кварца при КСР, состоящая из 88-ми аналитических зависимостей, и создана компьютерная программа. Установлено, что наилучшими вариантами КСР, обеспечивающими снижение потерь более чем в 2раза во всем диапазоне изменения горнотехнический условий отработки кварцевой жилы, являются варианты 2, 4 и 5 с потерями 10,7%, 9,9% и 6,4%, соответственно. Они предусматривают ширину камеры $B_к$=26м и трапециевидную форму МКЦ, отрабатываемого под консолью с применением площадного или торцового выпуска руды.

Сведения об авторах:

Соколов Игорь Владимирович, зав. лаб. подземной геотехнологии, докт. техн. наук;

Антипин Юрий Георгиевич, с.н.с. лаб., канд. техн. наук

620219 г. Екатеринбург, ГСП-219, М-Сибиряка, 58, Институт горного дела УрО РАН (лаб. подземной геотехнологии), тел. (343) 350-71-28, факс 350-71-28, e-mail: geotech@igduran.ru

УДК 622.271.3/272

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСВОЕНИЯ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННЫМИ ГЕОТЕХНОЛОГИЯМИ

Соколов И.В., Гобов Н.В., Соломеин Ю.М.

В настоящее время создание экономически и экологически эффективных геотехнологий добычи руды, способствующих бесконфликтности развития техно- и биосферы, представляется весьма актуальной задачей. Признанным подходом к решению подобных задач является разработка новых технологий в соответствии с принципом «более чистого производства» (Cleaner Production), акцентирующим внимание не на очистке и обезвреживании образовавшихся отходов, а на уменьшении объемов их образования и степени опасности в процессе производства. ИГД УрО РАН разработана *замкнутая** технологическая схема инновационной эколого-ориентированной геотехнологии комплексной добычи и переработки железных руд, включающая вскрытие, подготовку, разработку с обрушением верхнего яруса и камерную выемку нижнего яруса, транспортирование хвостов обогащения до погашаемых камер, закладку выработанного пространства, позволяющая весь объем отходов горно-обогатительного производства утилизировать в подземном выработанном пространстве [1]. Эту технологию можно реализовать как с использованием подземного обогатительного комплекса (ПОК), так и без его применения [2].

**Под замкнутой понимаем такую горнотехническую систему (ГТС), за пределы которой выходит только реализуемый продукт, а образующиеся твердые отходы утилизируются внутри данной ГТС.*

Для решения задачи обеспечения замкнутого цикла горно-обогатительного производства целесообразно методом оптимизации установить необходимое соотношение объемов добычи руды системами с обрушением и с закладкой выработанного пространства. При этом факторами, влияющими на обеспечение безотходности горно-обогатительного производства в рамках создаваемой ГТС,

являются: объем образовавшегося и закладываемого выработанного пространства, объем пустой породы подготовительно-нарезных выработок и объем хвостов обогащения (СМС, ММС), используемых в качестве закладочного материала [3, 4].

Исходным моментом для определения данных объемов является установленная на первых этапах формирования геотехнологической стратегии (ГС) годовая производственная мощность рудника. С другой стороны, она складывается из годовой производительности этажей одновременно разрабатываемых системами с обрушением и системами с закладкой

$$A_Г = A^{обр} + A^{зак}, \text{ т/год} \quad (1)$$

где $A^{обр}$, $A^{зак}$ - годовая производительность этажей, разрабатываемых системами с обрушением и системами с закладкой, соответственно, т/год.

Моделирование было выполнено на примере освоения нижних горизонтов Естюнинского месторождения. При этом определение необходимого объема добычи разными системами выполнено в зависимости от содержания железа в балансовых запасах 29% (базовый вариант), 43%, 50% и 60%.

На рисунке 1 изображены графики доли систем разработки в общей годовой производительности рудника в зависимости от доли использования хвостов СМС при полном использовании породы и хвостов ММС в виде пастовой закладки. В таблице 1 показаны доли систем для крайних вариантов технологии – неиспользование ($V_{СМС}$=0%) и полное использование ($V_{СМС}$=100%) хвостов СМС. Красным цветом показаны варианты технологии, характеризующиеся недостатком камерных пустот (избытком отходов горно-обогатительного производства), образующихся в рамках ГТС, зеленым – обеспечивающие замыкание ГТС.

График читается следующим образом. По оси абсцисс откладывается λ доля хвостов СМС, принятых в качестве дополнительной закладки. По оси ординат – η как доля систем с закладкой в общей годовой производительности. Линия по оси абсцисс равная 100% означает полное использование для закладки всех отходов, образующихся в рамках ГТС. Линия по оси ординат равная 1,0 означает

максимально возможную долю погашения объема пустот, образующихся в рамках ГТС. Отрезок по оси ординат от 0 до графика показывает долю применения систем с закладкой, от графика до 1,0 – систем с обрушением, выше 1,0 – дефицит выработанного пространства.

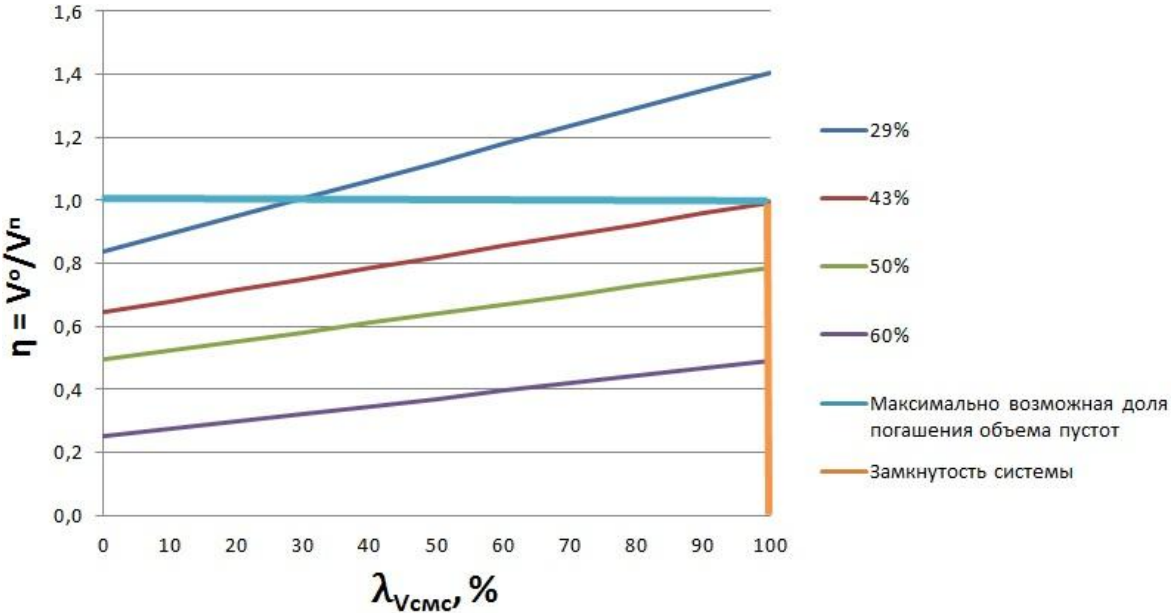


Рис. 1 Доля систем с закладкой в общей годовой производительности в зависимости от доли использования хвостов СМС (ММС в виде пастовой закладки)

Таблица 1

Доли систем при использовании в полном объеме породы и хвостов ММС

$\alpha_{бал}$, %	Доля систем с закладкой / систем с обрушением, %			
	$V_{СМС}$ = 0%		$V_{СМС}$ = 100%	
	при пастовой закладке	при сухой закладке	при пастовой закладке	при сухой закладке
29	83/17	82/18	143/0*	142/0
43	64/36	68/32	100/0**	99/1
50	50/50	49/51	79/21	78/22
60	25/75	25/75	50/50	49/51

*- недостаток пустот или избыток отходов горно-обогатительного производства

**- замыкание ГТС

Далее была написана компьютерная программа «Выбор ГС освоения подземных запасов при комбинированной разработке месторождений» в приложении *Excel* пакета программ *Microsoft Office*, представляющая собой совокупность алгоритма формирования вариантов ГС, методик выбора оптимальных схем и способов вскрытия, систем разработки, размещения подземного обогатительного комплекса, расчета объемов добычи разными

системами, расчета ЧДД, определения рейтинга варианта ГС.

Программа ранжирует варианты ГС по критериям «Показатель замкнутости горнотехнической системы» и «Чистый дисконтированный доход» (рис. 2). По каждому из двух критериев варианту ГС присваивается рейтинг $r_{ЧДД}$ и r_{η}. Более высокий рейтинг (минимальное количество баллов) получает вариант с лучшим значением критерия. Для принятия решения по выбору лучшего варианта ГС введен глобальный критерий принятия компромиссного решения R – комплексный эколого-экономический критерий, рассчитываемый как сумма баллов по каждому критерию с учетом их веса:

$$R = k_{ЧДД} r_{ЧДД} + k_{\eta} r_{\eta}, \qquad (2)$$

$r_{ЧДД}$, r_{η} – рейтинг по критерию ЧДД и η, соответственно.

$k_{ЧДД}$, k_{η} – вес критериев ЧДД и η в глобальном критерии, принятый 1.

Рейтинги

При содержании Fe = 29%							
Показатели	Обозн.	Ед. измер	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Содержание металла в балансовых запасах	c_1	доли ед.	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Показатель отношения объема отходов к объему пустот	η	доли ед.	15,00	1,43	1,43	2,85	2,85
Место в рейтинге по возможности утилизации	r_{η}	бал.	5	1	1	3	3
Чистый дисконтированный доход	ЧДД	тыс. руб.	2 678 157	3 766 288	1 180 724	12 289 475	7 569 821
Место в рейтинге по ЧДД	$r_{ЧДД}$	бал.	4	3	5	1	2
Общее число баллов	R	бал.	9	4	6	4	5
Итоговое место в рейтинге			**5**	**1**	**4**	**1**	**3**

Рис. 2. Рейтинги вариантов ГС

В графике «Общее число баллов» (рис. 3) показано суммарное количество баллов по обоим критериям. Более высокое итоговое место в рейтинге получает вариант ГС с минимальным R. На графике видно, что наиболее эффективными являются *варианты 2, 4 и 5 ГС* с R = 4, 4 и 5.

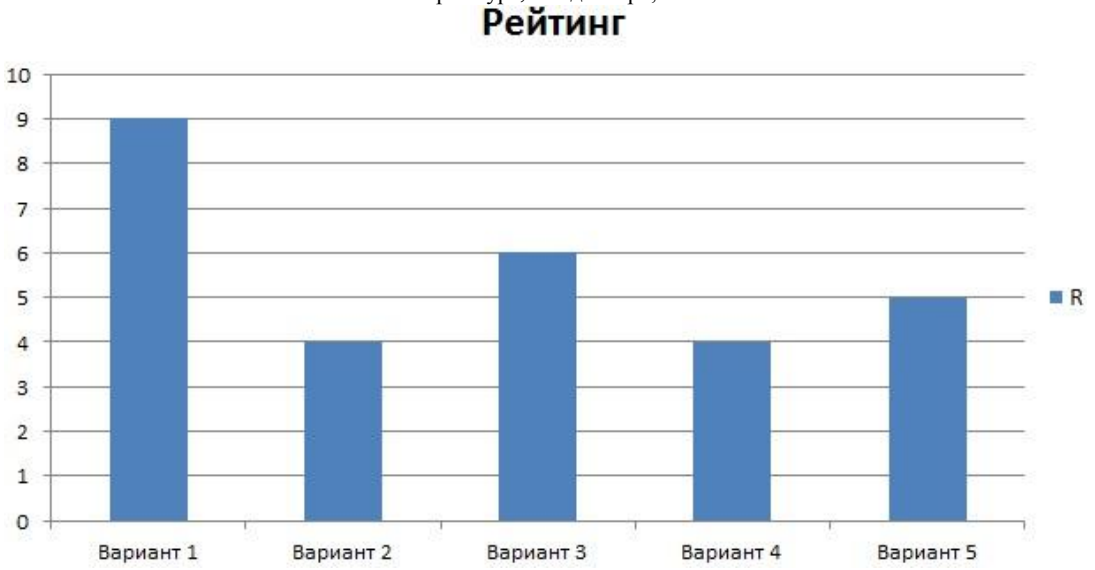


Рис. 3 Рейтинг вариантов ГС по комплексному эколого-экономическому критерию

Далее была проведена *оптимизация*. По результатам ЭММ для установления оптимального варианта выбраны *варианты 2, 4 и 5* ГС с наилучшим рейтингом по комплексному эколого-экономическому критерию. Целью оптимизации является обеспечение максимальной степени замкнутости ГТС по критерию η→1. В данных исследованиях фиксируется весь комплекс исходных данных, не относящихся к определению η: горно-геологические, технологические, экологические и экономические.

Анализ целевой функции показателя экологической эффективности η (3), показывает, что добиться ее оптимума (равенства 1) можно изменяя долю применения систем с закладкой $A^{зак}$ в производственной мощности подземного рудника $А_Г$. При этом изменение $A^{зак}$, связанное с изменением доли систем с обрушением как $A^{зак} = 1 - A^{обр}$, приводит к изменению и целевой функции экономической эффективности ЧДД. Значит, существуют оптимальные значения $A^{зак}$ *и* $A^{обр}$, которые соответствуют максимуму ЧДД и $\eta = 1$. Отыскание таких значений – суть задачи оптимизации.

$$\eta = V^o / V^n \to 1, \qquad (3)$$

где V^o – объем отходов, м^3;

V^n – объем пустот, м^3.

Результаты оптимизации *вариантов 2, 4 и 5* ГС по критерию η показали следующее (рис. 4):

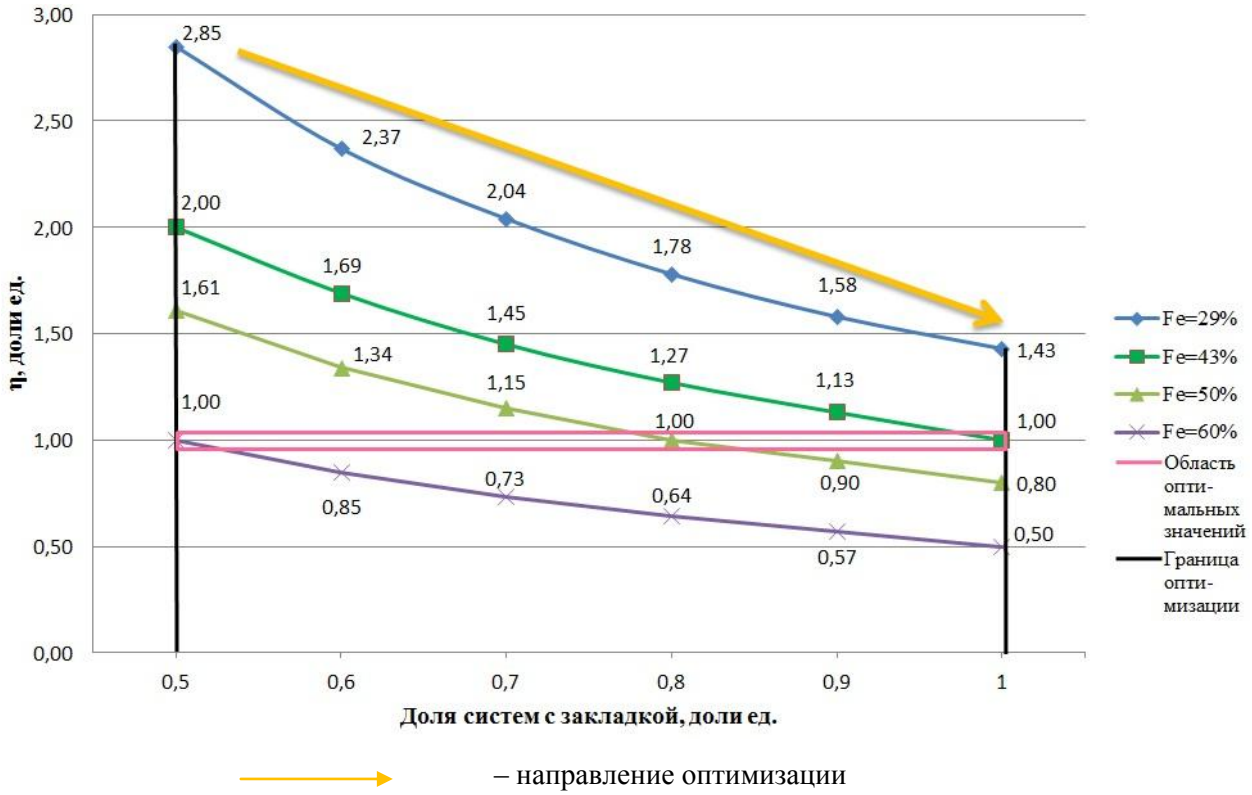


Рис. 4 Зависимость η от доли систем с закладкой при различном содержании Fe

1. При базовом содержании Fe = 29% технически возможен и экономически целесообразен полный переход на системы с закладкой (см. рис. 4, 5). После оптимизации показатель замкнутости ГТС улучшился в 2 раза до η=1,43, при этом излишки хвостов обогащения, складируемых на поверхности, минимальны. ЧДД вырос в *варианте 4* на 10,7%, в *варианте 5* – на 10,2%; при этом ЧДД по *варианту 4* по сравнению *с вариантом 2* больше в 3,6 раза, по сравнению с *вариантом 5* – в 1,6 раза.

Рейтинги							
При содержании Fe = 29%							
Показатели	Обозн.	Ед. измер	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Содержание металла в балансовых запасах	c_1	доли ед.	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Показатель замкнутости ГТС	η	доли ед.	15,00	1,43	1,43	1,43	1,43
Место в рейтинге по возможности утилизации	r_η	бал.	5	1	1	1	1
Чистый дисконтированный доход	ЧДД	тыс. руб.	2 678 157	3 766 288	1 180 724	13 609 762	8 344 926
Место в рейтинге по ЧДД	$r_{ЧДД}$	бал.	4	3	5	1	2
Комплексный эколого-экономический критерий	R	бал.	9	4	6	2	3
Итоговое место в рейтинге			**5**	**3**	**4**	**1**	**2**

Рис. 5. Рейтинги вариантов ГС после оптимизации *вариантов 4 и 5*

2. Аналогичные тенденции просматриваются и при оптимизации *вариантов ГС 4 и 5* при содержании Fe = 43%. Также технически возможен и экономически целесообразен полный переход на системы с закладкой (см. рис. 4). Показатель замкнутости ГТС улучшился в 2 раза до η=1, т.е. все отходы складируются в выработанном пространстве. ЧДД вырос в *варианте 4* на 8,1%, в *варианте 5* – на 8%; при этом ЧДД по *варианту 4* по сравнению *с вариантом 2* больше в 2,9 раза, по сравнению с *вариантом 5* – в 1,7 раза.

3. При содержании Fe = 50 % оптимальная доля систем с закладкой составляет 0,8, при которой η=1; дальнейшее увеличение их доли приводит к избытку пустот. ЧДД растет в *вариантах 4 и 5* на 4,5%. При данном содержании реализация *варианта 2* технически нецелесообразна.

4. При содержании Fe = 60% *варианты 4 и 5* не подлежат заданной оптимизации, поскольку η=1 при соотношении систем с закладкой и с обрушением 0,5/0,5 (см. рис.4).

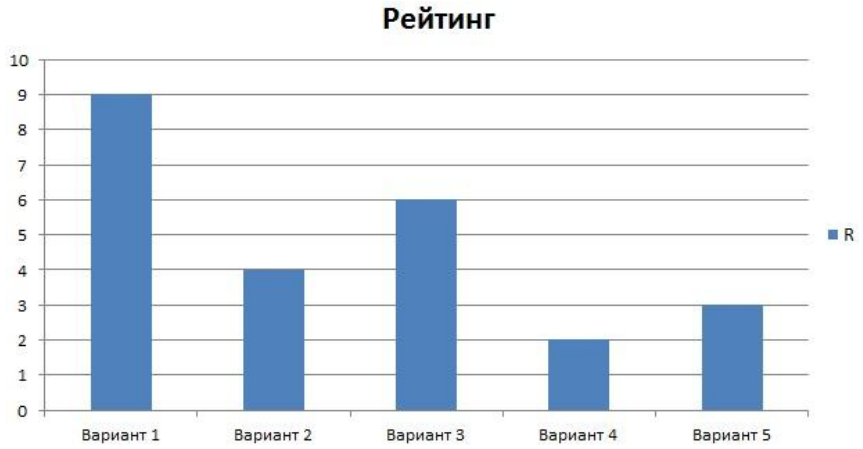


Рис. 6. Рейтинг вариантов ГС по комплексному эколого-экономическому критерию в результате оптимизации *вариантов 4 и 5*

Оптимальным по комплексному эколого-экономическому критерию (рис. 5, 6), учитывающему показатель замкнутости ГС и величину ЧДД, признан вариант 4 ГС, характеризующийся годовой производительностью 5 млн. т/год, применением камерной системы разработки с сухой закладкой в восходящем порядке, систем с обрушением в нисходящем порядке и обогатительной фабрикой на поверхности.

Преимущество *варианта 4* перед *вариантом 5* ГС по критерию ЧДД (во всем диапазоне содержания полезного компонента) может быть нивелировано за счет увеличения затрат на СЭП (приобретение земли по нормативу в зависимости от кадастровой стоимости, плата за перевод в категорию промышленного назначения, налог на землю, плата за размещение отходов на поверхности), что весьма вероятно в ближайшем будущем. Горнотехническим фактором, снижающим преимущество *варианта 4 ГС,* является, например длина транспортирования руды от рудника до ОФ.

Список литературы:

1. Соколов И.В., Гобов Н.В., Смирнов А.А., Медведев А.Н. Комплексная экологоориентированная подземная геотехнология добычи и обогащения железных руд / Экология и промышленность России - 2013.- №6.- С.16-20.

2. Патент на изобретение. № 25343901. Опубликовано 27.11.2014 Способ отработки крутопадающих месторождений. Соколов И.В., Смирнов А.А., Гобов Н.В., Антипин Ю.Г.

3. Соколов И.В., Гобов Н.В. Соломеин Ю.М. Определение параметров экологоориентированной геотехнологии комплексной добычи и переработки железных руд / IV Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 14-15 апреля 2015 г.: сборник докладов. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. – С. 64-68.

4. Исследование геотехнологических факторов и разработка экономико-математической модели стратегии освоения подземных запасов при комбинированной разработке мощных рудных месторождений / Отчет о НИР.

ИГД УрО РАН. Научн. рук. В.Л. Яковлев, С.В. Корнилков. Екатеринбург, 2015. 132с.

Сведения об авторах:

Соколов Игорь Владимирович, докт. техн. наук, зав. лаб. подземной геотехнологии Гобов Николай Васильевич, доцент, с.н.с. лаб. подземной геотехнологии

Соломеин Юрий Михайлович, младший научный сотрудник лаб. подземной геотехнологии

ИГД УрО РАН. 620219 г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58, тел. 8 (343) 350-71-28, факс 350-71-28, geotech@igduran.ru

УДК 622.765

НОВЫЕ СОБИРАТЕЛИ И ИХ СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СМЕСИ ДЛЯ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Чеканова Л.Г., Байгачева Е.В., Лихачева С.В., Манылова К.О.

Несмотря на наличие известных, широко применяемых при флотации руд цветных металлов флотореагентов, продолжаются поиски новых соединений, как в России, так и за рубежом. Это объясняется необходимостью вовлечения в переработку труднообогатимого, низкокачественного сырья. Важной причиной поиска новых реагентов являются также современные требования к экологическим и экономическим факторам, следовательно, применение реагентов с более низкой токсичностью и себестоимостью. При флотации сульфидных руд традиционно используют серосодержащие, преимущественно сульфгидрильные собиратели – ксантогенаты щелочных металлов с различными заместителями и дитиофосфаты (аэрофлоты), а также различные композиции на базе сульфгидрильных собирателей с дополнительными реагентами из широкого круга химических соединений [1, 2].

Существует мнение [3], что собиратели, содержащие донорные атомы азота и кислорода, менее селективны и поэтому не перспективны для флотации сульфидов. В Институте технической химии УрО РАН выполнен цикл исследований по синтезу хелатообразующих органических производных

гидразина (гидразидов, диацилгидразинов, оксиэтиленгидразидов, диалкилгидразидов) – азот-, кислородсодержащих реагентов. Показано, что некоторые из исследуемых соединений обладают выраженными собирательными свойствами и селективностью, эффективны по отношению к сульфидным минералам цветных металлов и могут быть альтернативой сульфгидрильным собирателям. [4 – 7].

После анализа всех требований, предъявляемых к собирателям, и предварительных испытаний по совокупности свойств были выбраны 2 реагента – производных гидразина: Г-18i и ТСГ.

В настоящей работе выполнены исследования флотоактивности при обогащении сульфидных медно-никелевых руд Печенгского промышленного района как индивидуальных соединений Г-18i и ТСГ, так и их комбинации с бутилксантогенатом калия (БКК).

Исследования флотоактивности реагентов осуществляли по коллективной схеме флотации, включающей основную (10 мин.) и контрольную флотацию (15 мин.). Опыты проводились в лабораторной флотомашине 237ФЛ. В качестве пенообразователя использовали бутиловый аэрофлот натрия (Af); в качестве собирателя – Г-18i или ТСГ, либо их композиции с БКК. Г-18i подавали в процесс в виде 1%-го раствора в воде или 0,1 моль/л HCl; ТСГ – в виде 1%-го раствора в 0,1 моль/л HCl или NaOH. Значения pH – 9,0 устанавливали содой (3 кг/т). Продукты флотации анализировали методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Результаты сравнивались с показателями обогащения, полученными при использовании БКК в качестве собирателя (стандартный режим).

Установлено, что реагенты Г-18i и ТСГ обладают выраженными собирательными свойствами и селективностью по отношению к сульфидным минералам меди и никеля.

Показано, что применение Г-18i в качестве собирателя позволяет увеличить извлечение Ni и Cu в черновой концентрат на 2% при равном по сравнению с БКК качестве пенного продукта. При этом, Г-18i – является ПАВ средней силы,

поэтому целесообразно его применение либо с небольшим количеством, либо без добавления дополнительных пенообразователей (табл. 1, №4, 3 соответственно).

Найдено, что применение ТСГ в качестве собирателя улучшает качество чернового концентрата, но уменьшает извлечение как Ni, так и Cu (№ 5, табл.1).

Установлено, что наиболее перспективно применение новых собирателей Г-18i и ТСГ в сочетании с БКК.

В результате изучения зависимости степени извлечения Ni и других цветных металлов и качества чернового концентрата от расхода собирателя и пенообразователя, pH среды, состава композиций Г-18i (ТСГ) – БКК, кинетики флотации, предложены 3 реагентных режима, которые обеспечивают повышение извлечения целевых металлов при равном или лучшем по сравнению с БКК качестве чернового концентрата.

Таблица 1

Результаты коллективной флотации медно-никелевой руды в черновой концентрат с собирателями Г-18i, ТСГ и БКК (стандартный режим)

М,% - Среднее кол-во металла из 3-ех параллельных опытов;

Е,% - Степень извлечения металла; (среднее из 3-ти опытов)

№ 1 – стандартный режим с БКК(Af = 95г/т); № 2 – Г-18i в условиях стандартного режима (Af = 95г/т); № 3 – Г-18i без пенообразователя; № 4 Г-18i (Af = 40г/т)

№ 5 – ТСГ в условиях стандартного режима;

№	Продукт флотации	Выход, %	Ni		Cu		Co		Fe	
			М,%	Е, %	М,%	Е, %	М,%	Е, %	М,%	Е, %
1	Основная	19,96	2,34	68,92	0,953	78,23	0,075	66,26	13,49	27,05
	Контрольная	13,96	0,76	15,22	0,167	9,29	0,028	15,57	13,11	16,34
	Хвосты	66,08	0,17	15,86	0,045	12,48	0,008	22,17	9,55	56,61
	ИТОГО	100	0,68	100	0,25	100	0,024	100	11,12	100
2	Основная	22,13	2,27	78,84	0,784	80,78	0,071	67,13	13,09	29,50
	Контрольная	14,23	0,33	7,48	0,122	8,10	0,018	11,22	9,876	14,31
	Хвосты	63,64	0,14	13,68	0,038	11,12	0,008	21,65	8,668	56,18
	ИТОГО	100	0,64	100	0,21	100	0,023	100	9,82	100
3	Основная	19,75	2,56	74,01	0,912	77,76	0,081	63,90	12,759	25,97
	Контрольная	10,38	0,62	9,38	0,183	8,20	0,027	10,99	11,123	11,90
	Хвосты	69,87	0,16	16,61	0,047	14,05	0,009	25,10	8,627	62,13
	ИТОГО	100	0,68	100	0,23	100	0,025	100	9,7	100
4	Основная	20,57	2,53	77,20	0,985	82,56	0,083	68,56	13,321	29,54

№	Продукт флотации	Выход, %	Ni		Cu		Co		Fe	
			М,%	Е, %	М,%	Е, %	М,%	Е, %	М,%	Е, %
	Контрольная	13,90	0,44	9,06	0,124	7,03	0,019	10,52	9,572	14,34
	Хвосты	65,53	0,14	13,74	0,039	10,41	0,008	20,92	7,946	56,12
	ИТОГО	100	0,67	100	0,25	100	0,025	100	9,28	100
5	Основная	17,98	2,37	63,70	1,029	74,33	0,077	55,84	13,75	22,02
	Контрольная	14,76	0,89	19,65	0,215	12,74	0,033	19,68	14,34	18,87
	Хвосты	67,26	0,17	16,65	0,048	12,93	0,009	24,48	9,86	59,10
	ИТОГО	100	0,67	100	0,25	100	0,026	100	11,07	100

Таблица 2

Основные показатели коллективной флотации медно-никелевой руды с композициями собирателей

Условия опытов	Параметры сравнения		Ni	Cu	Co	Fe	Mg
Базовый с БКК	Выход пенного продукта, % 24,27						
	Качество , %		**2,38**	0,94	0,06	13,88	9,42
	Извлечение, %		**78,18**	79,49	64,98	36,91	16,55
	Качество хвостов, %		**0,21**	0,08	0,011	7,60	15,22
	Металла в руде, %		**0,74**	0,29	0,023	9,12	13,81
БКК:Г-18i=1:1; Г-18i(H_2O) Af 40 г/т .	Выход пенного продукта, % 23,01						
	Качество , %		2,62	1,06	0,07	9,01	10,20
	Извлечение, %		80,09	82,2	71,4	16,7	15,6
	Качество хвостов, %		0,19	0,069	0,008	13,441	16,465
	Металла в руде, %		0,75	0,30	0,021	12,42	15,02
БКК:ТСГ 1:1; ТСГ(NaOH) Af 96 г/т	Выход пенного продукта, % ,62						
	Качество , %		2,25	0,90	0,06	9,71	9,41
	Извлечение, %		81,03	84,06	72,31	21,91	18,58
	Качество хвостов, %		0,20	0,065	0,008	13,441	15,731
	Металла в руде, %		0,77	0,30	0,022	12,24	13,99
БКК:ТСГ 1:1; ТСГ(NaOH) Г18i 95 г/т	Выход пенного продукта, % 4,27						
	Качество , %		2,63	1,03	0,07	16,00	9,16
	Извлечение, %		84,8	82,7	71,1	37,2	17,8
	Качество хвостов, %		0,15	0,070	0,009	8,713	13,608
	Металла в руде, %		0,76	0,30		10,49	12,52

Показано, что с точки зрения улучшения технологических показателей флотации наиболее оптимальным является режим № 3 (БКК:ТСГ 1:1, в качестве пенообразователя Г-18i), позволяющий по сравнению с БКК увеличить степень

извлечения в черновой концентрат на, %: Ni – 6,62; Cu – 3,21; Co – 6,12.

Однако, исходя из доступности новых собирателей, которая в свою очередь зависит от ситуации, сложившейся в данный момент на рынке химических реактивов, авторы предлагают реагентный режим № 1 (БКК:Г-18i=1:1, аэрофлот – 40 г/т), который позволяет увеличить степень извлечения по сравнению с БКК в черновой концентрат на, %: Ni –1,91; Cu – 2,71; Co – 6,42, уменьшить степень извлечения Mg на 0,95%, вдвое сократить расход аэрофлота.

Список литературы

1. Абрамов А.А. Флотация. Реагенты собиратели. – М.: МГГУ, 2012. – 620 с.

2. Хан Г.А., Габриелова Л.И., Власова Н.С. Флотационные реагенты и их применение. – М: Недра, 1986. – 271 с.

3. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Т.3. Кн. 1. Рудоподготовка и Cu, Pb–Cu, Cu–Fe, Mo, Cu–Mo, Cu–Zn руды. М.: МГТУ. 2005. –575 с.

4. Патент РФ № 2375118 . Радушев А.В., Чеканова Л.Г.,Байгачева Е.В., Гусев В.Ю. Реагент для флотации сульфидных медно–молибденовых руд. // БИ. 2009. № 34.

5. Чеканова Л.Г., Радушев А.В., Байгачева Е.В., Чернова Г.В. Новые собиратели для флотации сульфидных руд // Обогащение руд. 2009. № 1. С. 34–36

6. Чеканова Л.Г., Байгачева Е.В., Радушев А.В. и др. Некоторые гидразиды как собиратели при флотации уральских медно-цинковых руд // Обогащение руд. 2010. № 2. С. 25–27.

7. Тимошенко Л.И., Чеканова Л.Г., Маркосян С.М., Байгачева Е.В. Реагенты класса гидразидов для флотационного обогащения вкрапленных медно-никелевых руд // Химическая технология. 2014. № 8. С. 488-492.

Сведения об авторах:

Чеканова Лариса Геннадьевна, к.х.н., доцент, заведующий лабораторией органических комплексообразующих реагентов, (342) 237-82-85; larchek.07@mail.ru

Байгачева Елена Васильевна, к.т.н., н.с., (342) 237-82-46, baylena59@mail.ru

Манылова Ксения Олеговна, аспирант, (342) 237-82-46, ksenimanilova@mail.ru

Институт технической химии УрО РАН, 614013 г. Пермь, ул. Академика Королева, д.3,

614013 г. Пермь, ул. Академика Королева, д.3.

Лихачева Светлана Владимировна, ведущий специалист, Управление научно-технического развития и экологической безопасности, АО «Кольская ГМК», группа компаний ПАО «ГМК «Норильский никель»», 184430 г. Заполярный, Мурманская обл., (81554) 3-58-11, LikhachevaSV@kolagmk.ru

НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ФАКТОРУ РАЗБАВЛЕНИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ПРИ РАБОТЕ МАШИН С ДВС

Фоменко Д.В., Минин И.В., Минин В.В.

Так как до вступления в законную силу Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых" (Зарегистрированных в Минюсте РФ 2 июля 2014 г. Регистрационный N 32935), в расчетах необходимого количества воздуха опирались на нормы подачи воздуха для машин с ДВС и этот фактор существенно завышал потребность в свежем воздухе, то его проверка на достигнутом этапе развития технологии машиностроения для шахт первостепенна.

На сегодняшний день отсутствует единая методическая база для расчета количества свежего воздуха, необходимого для проветривания рудников с работающими ДВС. Специалисты отдела вентиляции горных выработок ОАО «Уралмеханобр», опираясь на многолетние натурные измерения и наблюдения в части загрязнения рудничного воздуха оксидами углерода, углеводородами и, в особенности, оксидами азота от работающего транспорта, предложили собственный метод расчета, по результатам которого можно сделать вывод, что предыдущие нормы подачи воздуха для машин с ДВС были завышены (временами более чем в 2 раза). Данные расчетов подтверждаются исследованием воздуха на содержание вышеуказанных компонентов.

Разработанный метод основан на всех нормативных требованиях, предъявляемых к атмосфере шахты с работающим транспортом. В основе расчета лежат характеристики ДВС, заявляемые производителем, а также нормы ЕЭК ООН.

Расчет выполняется по отдельно взятой машине. Необходимо знать технические характеристики (а именно объем и мощность двигателя, количество оборотов двигателя при максимальной и нормальной работе). Далее выполняется непосредственно расчет количества выделившихся газов покомпонентно (для оксидов углерода, смеси окислов азота (в пересчете на NO_2) и углеводородов СН (метана и его гомологов, нефтепродуктов), твердых дисперсных частиц (сажи). Перечень газов обусловлен требованием ФНиП к их содержанию. На основе полученных результатов рассчитывается количество свежего воздуха, необходимое для приведения в соответствие с требованием ФНиП состава рудничного воздуха по содержанию в нем оксидов углерода, окислов азота, углеводородов, а также поддержанию кислорода на уровне 20%.

Сведения об авторах:
Фоменко Даниил Вячеславович – ведущий инженер fomenko_dv@umbr.ru, 8 (343) 344-27-42 (доб. 2104)
Минин Иван Вадимович - ведущий инженер ОВГВ
Минин Вадим Витальевич – начальник ОВГВ ОАО «Уралмеханобр»
ОАО «Уралмеханобр», 620144, г. Екатеринбург, ул. Хохрякова, д. 87, каб. 310, 8 (343) 344-27-42 (доб. 2104

УДК 553.07; 553.08

МОРФОЛОГИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗОЛОТА ЧЕРНОРЕЧЕНСКОЙ РОССЫПИ

Хусаинова А.Ш., Кузнецова Е.А., Павлов А.В.

Техногенные месторождения благородных металлов и, прежде всего, техногенные россыпи, как объекты промышленной переработки, в последние годы привлекают все больше внимание и подвергаются кардинальной переоценке по причинам появления новых технологий обогащения, позволяющих увеличить извлечение полезного компонента [3]. Проблема геолого-технологической оценки вещества отвалов на месторождениях и перспектива их использования активно решается. Исследования свойств минералов из техногенных отложений и их преобразования слабо изучены. Вопросы изучения вторичных изменений новообразованного золота, в том числе высокопробных оторочек частиц, становятся более актуальными. Анализ особенностей минералогии золота из

техногенных образований может повлиять на выбор технологической схемы извлечения. Поэтому перспективы дальнейшего развития золотодобычи на Урале во многом связаны с промышленной оценкой техногенно-минеральных образований [6, 7].

Целью работы был анализ, обобщение, сравнение материалов по содержанию, гранулометрическому и химическому составу, морфологии золота Чернореченской россыпи и техногенно-минеральных образований гравитационного обогащения руд.

Город Краснотурьинск расположен на севере Свердловской области. Добыча золота из самых богатых групп россыпей Турьинских рудников начата с 1823 года. Чернореченская россыпь расположена на Северном Урале, входит в состав *Чернореченского рудного узла*, находящегося в пределах Краснотурьинской золоторудной зоны. Золотое оруденение впервые обнаружено Т.И. Абрамушкиным и Г.А. Громберг в 1965 г [9]. Площадь приурочена к области сочленения Тагильского и Восточно-Уральского мегаблоков, разделенных Серовско-Маукским глубинным разломом. К зоне его влияния тяготеют породы как ультраосновного состава дунит-гарцбургитовой формации раннесилурийского серовского комплекса, так и интрузивные образования габбро-диорит-гранитовой формации среднедевонского ауэрбаховского комплекса, а также монцодиориты, сиенитпорфиры боровского комплекса среднего карбона. Западнее, субпараллельно Серовско-Маукскому разлому, располагается Чернореченский сдвиго-надвиг. С разновозрастным и полифациальным магматизмом сопряжено проявление метасоматических процессов: скарнового, пропилитизированного, березит-лиственитового. Последний является золотоносным [9]. По данным прогнозно-поисковым работам, проводившимися Геолого-поисковой партией по благородным металлам УГСЭ, оруденение отнесено к прожилково-вкрапленному типу золото-аргиллизитовой формации золото-теллуридного минерального типа. По времени формирования оно отвечает процессам позднепалеозойско-мезозойской тектономагматической активизации или, с современных геотектонических позиций, режиму постколлизионного рифтогенеза.

Изучение вещественного состава минерализованных пород (березитов и лиственитов) проводилось в ЦНИГРИ (ООО «ТехГео-М») Р.А. Амосовым (минералогические исследования) и Н.И. Чистяковой (микрозондовые, рентгенофлуоресцентные и другие виды исследований). В изученной рудной пробе массой 2,5 кг, где содержание золота, по данным нейтронно-активационного анализа, составило 9,2 г/т, данные химического анализа показали, что доминирующее значение имеют компоненты (в масс. %): SiO_2 – 51,88, Al_2O_3 – 14,34, Fe_2O_3 – 9,75, FeO – 4,77. Среди прочих компонентов присутствуют: TiO_2 – 0,57, CaO – 5,21, Na_2O – 2,60, K_2O – 2,20, MgO – 2,56, P_2O_5 – 0,19, MnO – 0,094, $S_{общ.}$ – 2,66, SO_3 – 0,23, CO_2 – 6,29, H_2O – 0,50, ппп – 9,00 (сумма 98,62 %). При рентгенофлюоресцентном исследовании пробы в ней также обнаружены (%): Pb – 0,005, Sb – 0,0075, Cu – 0,1, Zn – 0,014, As < 0,002 [9].

Анализ распределения золота по классам крупности в руде, измельченной до 1 мм, показал, что максимум содержания металла (до 18 г/т) приходится на классы 0,25 + 0,10 и 0,10 + 0,044 мм. Часть рудной пробы (порядка 1 кг) была подвергнута обогащению на центробежном концентраторе Нельсона КС-МД 3, а затем дополнительно доведена на лотке. Из классов концентрата крупнее 0,10 мм отобрано и взвешено свободное самородное золото. Его масса составила: класс +0,50 мм – 3,03 мг (32,16 %); -0,50 + 0,25 мм – 2,80 мг (29,73 %); -0,25 + 0,10 мм – 3,59 мг (38,11 %) [9].

Минераграфическое изучение брикетов, изготовленных из классов крупности -0,10 + 0,044 и -0,044 мм, а также наблюдения в сканирующем электронном микроскопе и данные рентгеноспектрального микроанализа, показали присутствие в пробах частиц мелкого свободного золота и срастаний золота с теллуридами: теллуровисмутит, тетрадимит, калаверит, монтбрайит, колорадоит. Теллуриды нарастают на выделения самородного золота, а в других случаях цементируют его мелкие частицы. Среди сульфидов преобладает пирит [9].

Частицы свободного золота, встреченные в изученной пробе, изменяются по размеру в широком диапазоне – от 20-30 мкм до 1 мм. Большая часть золотин

имеет уплощенную форму. Для мелких зерен характерны интерстициальные обособления. На части золотин наблюдаются коррозионные каймы, в составе которых серебро практически отсутствует. По данным энергодисперсного анализа проба золота в центральной части золотин изменяется в очень узком диапазоне (930-950 ‰). Поверхность золотин имеет сложный микрорельеф, обусловленный особенностями ассоциирующих с золотом минералов, процессами химической коррозии, а также нарастаниями вторичного золота [9].

Чернореченская россыпь полихронная, имеет сложное геологическое строение. Она сформирована за счет эрозионного разрушения рудоносных пород Чернореченского рудного узла и приурочена к протяженной Ивдельско-Тагильской мезозойской эрозионно-структурной депрессии. В разрезе россыпи присутствуют горизонты, отвечающие высокопродуктивным аллювиальным, аллювиально-пролювиальным отложениям лангурской (J_{2-3}), в меньшей степени мысовской (K_2) и наурзумской (N_1) свит, а также четвертичным отложениям в долинах рек Черная и Калья [9].

Самородное золото Чернореченской россыпи характеризуется рядом типоморфных особенностей. По данным ситового анализа на долю металла размерности средних и крупных фракций приходится 77,8%, на долю мелких – 22,2%. Наиболее крупное золото встречено в делювиальных глинистых отложениях (dl Q), а также в базальных горизонтах юрских отложений (al J_{2-3}) [6].

По форме выделений золото в россыпи характеризуется значительным разнообразием [9]. Присутствуют как золотины изометричного очертания (комковидногнездовой, комковидно-угловатый, уплощенно-комковидной формы), так и уплощенные разновидности (пластинчато-таблитчатые, удлиненно-таблитчатые), редко иные (брусковидные, дендритовидные, гемиидиоморфные формы). Внешний контур золотин неровный, извилистый. Рельеф поверхности изменяется от ямчато-бугорчатого до сравнительно ровного с шероховатой (шагреневой) поверхностью. Окатанность золотин разнообразна – от слабой до высокой. Характерны многочисленные расклепанные краевые участки, загнутые выступы, трещины, углубления, борозды. На отдельных зернах отмечены

примазки и пленки гидроксидов железа. Также установлен факт обрастания золотин агрегатом мелкозернистого пирита. Проба золота (по данным химического анализа) изменяется от 836 до 887 и в среднем составляет (по данным четырех определений) 864‰. По результатам изучения химического состава поверхностного слоя золотин (данные шести микрозондовых определений), пробность колеблется от 875 до 929, в среднем составляет 909‰ [1]. Установлено постоянное, по данным спектрального изучения, присутствие таких примесей как Ag, Hg, Bi, Zn, V, Ni и др. элементы [8].

Исходный материал для наших исследований был предоставлен сотрудниками лаборатории осадочных полезных ископаемых (ЛОПИ ПГУ). Свои работы они проводили в 1992 г. с целью улучшения технологии извлечения золота. Пробы отобраны на техногенных отвалах Южно-Заозерского прииска. Полевое обогащение выполнено на установке МЦМ (мелкие ценные минералы), включающей в себя набор сит и систему винтовых аппаратов (сепаратор и шлюз). В лаборатории пробы подвергались магнитной и электромагнитной сепарации, делению в тяжелой жидкости (бромоформе).

Нами были исследованы концентраты из техногенных отвалов гидравлики №5 Южно-Заозерского прииска. Отвалы возникли при извлечении золота из аллювиальных отложений русла и поймы. Часть отвалов представляет собой древние накопления, где уже начались геохимические процессы и преобразования минералов [4]. Технологические условия эксплуатации месторождения базируются на извлечение, прежде всего, крупных частиц благородных металлов.

По данным Лунева Б.С., Наумова В.А. [4] гранулометрический состав золота отвалов исследован в четырех пробах по дробной шкале с выделением 15 фракций крупности от 2-1 до менее 0,05 мм. Исходный вес проб для получения концентратов колебался от 16 до 3456 кг. Основная масса металла сосредоточена в фракциях 0,5-0,08 мм (табл. 1). Для анализа гранулометрического состава был использован металл, полученный после обогащения концентратов винтовых аппаратов на магнитожидкостном сепараторе.

Таблица 1

Гранулометрический состав золота отвалов, %

Фракции	Пробы			
	№23-3	№24	№25	№36
2,0-1,0	**8,4**	-	-	**21,1**
0,8-1,0	2,2	-	-	7,2
0,63-0,8	3	**5,6**	**6,5**	6,0
0,5-0,63	2,5	**17,0**	3,8	**9,3**
0,4-0,5	3,8	**13,3**	**8,1**	6,1
0,315-0,4	**6,1**	6,6	**10,2**	**8,7**
0,25-0,315	**7,2**	**10,3**	**10,8**	**7,9**
0,2-0,25	**9,3**	8,4	**21,1**	**7,3**
0,16-0,2	**10,1**	7,1	**15,9**	5,0
0,125-0,16	**11,2**	**8,5**	**9,8**	4,4
0,1-0,125	**14,6**	**9,8**	**7,5**	**6,6**
0,08-0,1	**10,9**	**6,9**	3,2	5,2
0,063-0,08	**5,9**	3,3	2,0	3,1
0,05-0,063	3,5	3,1	0,9	1,7
-0,05	1,3	0,1	0,2	0,4
Сумма, %	100	100	100	100
Сумма, мг	277,44	58,97	42,4	240,5

Минералогический состав отвалов Чернореченской россыпи был исследован по концентратам из отвалов стола, отсадочной машины и гидравлики. Пробы состоят из 13 минералов, количественное содержание которых переменно, в них преобладают: ильменит, хромит, реже эпидот, магнетит, лимонит и циркон.

Золотоносность отвалов изучалась по пробам разного веса. На Чернореческой россыпи (Гидравлика 5) по трем экспериментам установлено содержание 60-255 мг/м^3 [4].

Нами была изучена морфология золота пробы №34. Отобраны и описаны 582 золотины. Для классов размерностью >0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,125; 0,125-0,08 и <0,08 была осуществлена избирательная выборка, которая составила не менее 50 знаков.

Золотины имеют ярко-желтый, золотисто-желтый цвет. Поверхность частиц – неровная, шероховатая, с ямками и дырками. Некоторые золотины покрыты пленками гидрооксидов железа, марганца, имеют следы ртути, срастания с сульфидами. Края загнутые, рваные, реже относительно ровные, зазубренные. Также присутствовали знаки золота с включениями кварца и магнетита.

Для количественной характеристики морфологических типов золотин осуществлялся замер частиц по трем направлениям: a - длина, b - ширина, c – толщина; и определение массы золотин в каждой узкоразмерной фракции – M_F. Были рассчитаны коэффициенты уплощенности по Н.Б. Вассоевичу ($К_{упл}$), округленности по Рейли ($К_{окр}$), сферичности по Крамбейну ($К_{сф}$) [2], изометричности по К.В. Кистерову ($К_F$) [5].

Коэффициент уплощенности косвенно показывает степень удаленности золотин от коренного источника. Коэффициент округленности может свидетельствовать о длительности переноса частиц золота водными потоками, так как округлая форма может рассматриваться как результат конечного этапа эволюции морфологии золотин при переносе водными потоками. Показатель окатанности также характеризует дальность переноса золотин [10]. Коэффициент изометричности К.В. Кистерова характеризует степень изометричности формы золотин в каждой точке опробования и свидетельствует о близости точки опробования к рудному телу.

Значение *коэффициента уплощенности* относительно пробы №34 меняются в очень широких пределах (от 1,0 до 22,0) при среднем значении коэффициента – 4,63 (Табл. 2). В целом среди золотин уплощенного облика доминируют частицы таблитчатой формы ($2,5<К_{упл}<4$) – 30,08% и прочие формы частиц золота ($К_{упл}<2,5$) - 30,08 %; на долю пластинчатой формы ($4<К_{упл}<8$) приходится 29,55 % и на чешуйчатую форму ($К_{упл}>8$) – 10,29 % (табл. 3). Из таблицы 2 видно, что в среднем по пробе преобладают частицы пластинчатой формы, и для класса размерностью <0,08 – золотины таблитчатой формы.

Таблица 2

Средние значения морфологических показателей для размерных классов частиц золота

Показатель	Класс, мм					Среднее
	>0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	0,125-0,08	<0,08	
$К_{упл}$	4,47	5,82	5,2	4,98	2,7	4,63
$К_{окр}$	0,83	0,82	0,85	0,83	0,82	0,83
$К_{сф}$	0,56	0,50	0,53	0,53	0,61	0,55

Таблица 3

Соотношение частиц золота с разной степенью уплощенности в размерных классах, %

Купл	Класс, мм				
	>0,5	0,5-0,25	0,25-0,125	0,125-0,08	<0,08
1,0-2,5	14,25	2,11	2,90	2,90	7,92
2,5-4,0	10,82	3,69	4,22	3,69	7,65
4,0-8,0	12,93	4,49	6,60	5,28	0,26
>8,0	3,69	3,96	1,32	1,32	-

Коэффициент округленности позволяет оценить степень внешних очертаний золотин приближенных к окружности [2]. Значение меняются в очень широких пределах (от 0,44 до 1,0) при среднем значении коэффициента – 0,83 (табл. 2).

Коэффициент сферичности является показателем степени близости зерна золота к сферической форме[2]. Диапазон значений колеблется (от 0,34 до 1,0) при среднем значении коэффициента – 0,55 (табл. 2).

Физический смысл *коэффициента изометричности по К.В. Кистерову* показывает долю массы, занимаемую средней частицей золота в форме шара той же плотности и крупности, что и частица золота размерной фракции [5]. За плотность золота в расчетах принята величина 18,3 г/см^3. Изометричность частиц золота по размерным фракциям увеличивается от крупных фракций к более мелким (табл. 4). Минимальная изометричность частиц металла для различных объектов является величиной переменной. Повышенные значения коэффициента изометричности характерны для удлиненных, бочонкообразных и таблитчатых частиц, также кубических и октаэдрических кристаллов золота [5].

Таблица 4

Коэффициент изометричности по К.В. Кистерову

Фракции, мм	N_F[1], шт.	M_F[2], мг	$M_{F.N.}$[3], мг	S_F[4], мг	K_F[5]
>0,5	158	9,4	0,06	9,58	0,01
0,5-0,25	54	17,1	0,32	4,04	0,08
0,25-0,125	100	5,7	0,06	0,51	0,11
0,125-0,08	70	0,6	0,01	0,08	0,10
<0,08	200	5,1	0,03	0,04	0,65

Примечание: [1]– N_F - число золотин фракции крупности F, [2]– M_F - масса золота фракции

крупности F; [3]– $M_{F.N.}$ - масса золотины во фракции крупности F; [4] – S_F - теоретическая масса золотого шарика с диаметром, равным среднему размеру ячеек граничных сит фракции крупности F; [5] – K_F - коэффициент изометричности золотин фракции крупности F.

Наряду с близостью гранулометрического, химического состава, морфологии россыпного и техногенного золота Чернореченского рудного узла, золото из техногенных отвалов имеет ряд различий. Они проявляются в том, что для техногенного золота характерно преобладание частиц меньшей крупности. Россыпное и техногенное золото отличается своим разнообразием по форме и вторичным изменениям от коренного.

При обогащении золота в россыпях на наклонных шлюзах уверенно извлекают золото средних и крупных классов. Степень извлечения составляет 70-80%. В хвосты поступает остальная часть золота крупных и тонких классов. Общеизвестны потери частиц мелкого и тонкого золота (класс менее 0,1 мм). Дополнительно в гранулометрическом спектре потерь отмечено крупное золото в сростках с кварцем, магнетитом и другими минералами, пластинчатой формы и пористое золото.

В техногенно-минеральных отвалах накапливается золото, поступившее в отвалы в процессе обогащения и высвободившееся из обломков золоторудных пород. Часть частиц золота изменяет свой состав вследствие взаимодействия первичных золотоносных фаз с ртутью, металлами, водами отвалов. Образуется техногенная составляющая золота [8] в виде наростов на поверхности золотин и разннобразных пленок, в том числе отражающиеся на внутреннем строении золота.

Каждая частица, претерпевшая техногенно-минеральные преобразования, несет в себе информацию о первичном происхождении (первичная часть) и техногенных преобразованиях (техногенная часть частицы золота). В результате изучения золота на электронном микроскопе можно увидит техногенные преобразования: наросты, пленки гидроксидов железа, марганца, сростки с минералами, агрегатные преобразования на первичной части. При детальном изучении можно проследить приращения роста техногенной части частицы золотины. Чем меньше частица затравки, тем больше удельная площадь для роста

нового агрегата, тем быстрее процесс приращения нового золота.

Для техногенного золота Чернореченской россыпи крупноразмерных фракций характерны золотины с пленками гидроксидов железа, марганца, ртути, наросты и включения минералов. В классе >0,5 присутствует пористое золото с агрегатными нарастаниями нового золота; в классе 0,5-0,25 доминируют золотины уплощенного облика; во фракции 0,25-0,125 частицы имеют загнутые извилистые края.

Список литературы

1. Баранников А.Г., Осовецкий Б.М. Морфологические разновидности и нанорельеф поверхности самородного золота разновозрастных россыпей Урала // Литосфера. 2013. №3. С. 89-105.

2. Илалтдинов И.Я., Осовецкий Б.М. Золото юрских отложений Вятско-Камской впадины: монография // Перм. гос. ун-т. Пермь, 2009. С. 230.

3. Кунц Н.А., Наумов В.А. Морфологические типы и особенности минералов платиновой группы техногенных отвалов на примере р. Кытлым (Южнозаозерский прииск) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2010. № 13. С. 126-129.

4. Лунев Б.С., Наумов В.А. Геолого-технологические исследования по комплексной разработке минерального сырья техногенных россыпей // Отчет Пермского государственного университета Естественно-научного института. Пермь, 1993. С. 19.

5. Наумов В.А. Минерагения и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия Урала и Приуралья: монография // Естественнонаучный ин-т Перм. гос. нац. исслед. ун-та. Пермь, 2011. С. 162.

6. Наумов В.А. Минерагения, техногенез и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Пермский государственный университет. Пермь, 2010. С. 42.

7. Наумов В.А., Лунев Б.С., Наумова О.Б. Мелкие ценные минералы россыпей // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия Естественные науки. Ростов-на-Дону, 2010. № 4. С. 123−126.

8. Наумов В.А., Наумова О.Б. Преобразование золота в техногенных россыпях // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 531.

9. Савельева К.П., Баранников А.Г. Золотое оруденение нетрадиционного типа в зоне Серовско-Маукского глубинного разлома на Северном Урале // Литосфера. 2006. №2. С. 157-166.

10. Хусаинова А.Ш. Морфометрические характеристики россыпного золота разных структурно-тектонических позиций // Международный научный форум «Ломоносов-2015». Москва, 2015.

Сведения об авторах:

Хусаинова Альфия Шамилевна, студентка геологического факультета, e-mail: Alfiya061094@gmail.com, 8-9822500520

Кузнецова Екатерина Андреевна, студентка геологического факультета, e-mail: kuznetskatya@mail.ru, 8-9194604961

Павлов Андрей Владимирович, студент 3 курса геологического факультета, e-mail: odinfigraznica@hotmail.com, 8-9638811483

Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), г. Пермь

УДК 622.271.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ НА КАРЬЕРАХ АЗЕРБАЙДЖАНА

Эфендиева З. Дж.

В условиях месторождений Азербайджанской Республики широко развиты открытые горные работы по добыче облицовочного и строительного камня карбонатных пород.

При добыче основного объема блочного камня на карьерах в силу ряда причин применяется недостаточно производительная техника. В связи с этим технико-экономические показатели (ТЭП) каменных карьеров Азербайджана нуждаются в исследовании и улучшении. На этих карьерах основным трудоемким процессом при добыче блоков является подготовка их к выемке. Достаточно

указать, что затраты на этом процессе достигают от 30 до 45% и связаны, главных образом, с тем что при разработке уступов не достаточно учитываются господствующие направления тектонических трещин.

Исследования показали, что в целях повышения эффективности добычи в первую очередь необходимо повышение качества продукции и снижение потерь, которые требуют разработки и внедрения методов, и способов рационального использования природных ресурсов.

В последние годы проведены исследования по созданию и внедрению новых, более прогрессивных технологий по добыче строительного и облицовочного камня. Несмотря на значительный рост объемов производства крупных блоков выявлены ряд недостатков, к которым могут быть отнесены низкий темп роста производительности труда (от 3 до 4% в год), систематическое снижение рентабельности предприятий, низкий выход продукции из массива и недостаточное использование запасов месторождения и др.

В настоящей статье с целью улучшения ТЭП добычи природного камня приводится результаты исследований горно-геологических условий ряда месторождении карбонатных пород Азербайджана и разработаны основные, направления совершенствования технологии распиливания камня.

В республике основные запасы (более 300 млн. $м^3$) пильных известняков сосредоточены на Апшеронском полуострове, в геологическом строении которого преобладают меловые, третичные и четвертичные отложения, представленные, в основном, карбонатными и песчано-глинистыми породами. Мощность известняков изменяется в пределах от 7,0 до 55,0 метров.

В качестве облицовочного и стенового камня в Азербайджане используются также травертиновые отложения таких месторождений как «Шахтахты», «Карабаглар», «Бузгов», и др. Эти отложения имеют мощность, в среднем, от 15 до 20 м и узкой полосой протягиваются в северо-восточном направлении. Над плотными травертинами светло-серого, светло-розового цвета, ввиду эрозии и выветривания, залегают пористые и менее прочные разновидности ($\sigma_{сж}$ равен от 20 МПа до 60МПа) травертинов. [1].

Детальное изучение трещин ряда месторождений позволило установить зависимость потерь при добыче камня от расположения направления добычных уступов по отношении азимута простирания господствующих тектонических трещин.

Изучение тектоники месторождения травертинов показало, что встречающиеся трещины отмечаются большой выдержанностью н протяженностью и рассекают всю толщу в целом, не меняя своей ориентировки. Углы падения, в основном, в пределах от 80^0 до 85°, реже от 65^0 до 70°, азимут простирания от 55^0 до 65° на северо-восток. Сравнительно слабое развитие трещин месторождения «Шахтахты» способствует получению крупных блоков.

Для обоснования выбора направления расположения уступа по отношению к трещинам была изучена площадь на карьере «Шахтахты». Объем потерь от трещины был установлен для случая при угле пересечения трещины с длиной крупного блока от 0° до 90°, через каждые 15°.

Исследования показали, что объем потерь от трещин, при существующем способе добычи, наименьший при расположении длины блоков по направлению трещины, тогда как, наибольший при угле от 60° до 75°. Исходя из вышеизложенного можно констатировать, что при правильном расположении добычных уступов выход крупных блоков увеличивается на от 25% до 35%. Были исследованы параметры применяемых способов увеличения выхода кондиционных блоков и установлено, что комплексное использование запасов природного камня обеспечивает улучшение технико-экономических показателей эксплуатации карьера.

При разработке месторождений травертинов, мрамора, известняков и др. пород средней крепости для отделения монолитов и блоков от массива широко используются камнерезные машины с кольцевыми фрезами, работающие по одностадийной системе, например, СМ-89М, СМ-177А и др. При этой системе добычи, блоки установленного объема отделяются непосредственно от массива. Применяется и вариант когда от массива отделяют монолит, из которого затем получают блоки. [2-4].

С целью увеличения продукции карьера и выхода крупных блоков нами обоснован и предложен комбинированный способ добычи камня, исключающий производство поперечных пропилов (полосовок). При этом способе камнерезной машиной производятся горизонтальные и затыловочные пропилы, а отделение крупных блоков осуществляется бурогидроклиновым оборудованием.

Регулирование параметров эксплуатации карбонатных пород путем использования естественной трещиноватости позволило систематизировать и обработать данные добычи травертинов, а также установить зависимость объемов выхода и потерь камня от параметров трещиноватости.

Учитывая, что при комбинированном способе добычи крупных блоков не остаются прорезы в почве и груде забоя, рекомендуется раскол производить с обеих сторон трещины с учетом углов пересечения (α) и падения (γ) с длиной блоков. В этих случаях необходимо рассмотреть два варианта:

1) углы падения и пересечения трещин с длиной блока являются острыми или тупыми;

2) один из углов является тупым.

Рассмотрим вышеуказанные варианты:

Вариант 1. Отделение трещины и подсчет объема потерь от трещиноватости производятся при случаях: $o < \alpha, \gamma \leq \pi/2$ или $\pi/2 \leq \alpha, \gamma < \pi$.

Объем потерь от трещиноватости V_T при этом варианте определяется по формуле:

$$V_T = lhc$$

где l, c, h - соответственно длина, ширина и высота теряемого блока, м.

Переменная l зависит от ширины, блока и углов пересечения и падения. (рис.1). Как видно из рисунка $l = m + 2\Delta g$

где m - расстояние между перпендикулярными плоскостями, касающихся трещины с обоих сторон, м; Δg - минимальное расстояние от плоскости раскола до трещины, м.

Тогда $V_T = (m + 2\Delta g) \cdot h \cdot c$

Так как $m = \max\{h \cdot ctg\gamma c \cdot ctg\alpha\}$

то получим $V_T = (\max\{h \cdot ctg\gamma c \cdot ctg\alpha\} + 2\Delta g) \cdot h \cdot c$

Необходимо отметить, что если оба угла прямые, то потери практически отсутствуют.

Вариант 2. В этом варианте $m = c \cdot ctg\alpha - h \cdot ctg\gamma$

Подставив значения *m* в формулу подсчета объема потерь от трещиноватости, получим

$$V_T = \left[(c \cdot ctg\alpha - h \cdot ctg\gamma) + 2\Delta g\right] \cdot h \cdot c$$

Следует отметить, что минимальное расстояние (Δg) от плоскости раскола до трещины зависит от большого числа факторов: крепости минерального состава, структуры, текстуры, микротрещиноватости и др. Причем существенное влияние оказывают прочностные характеристики н состояние породы.

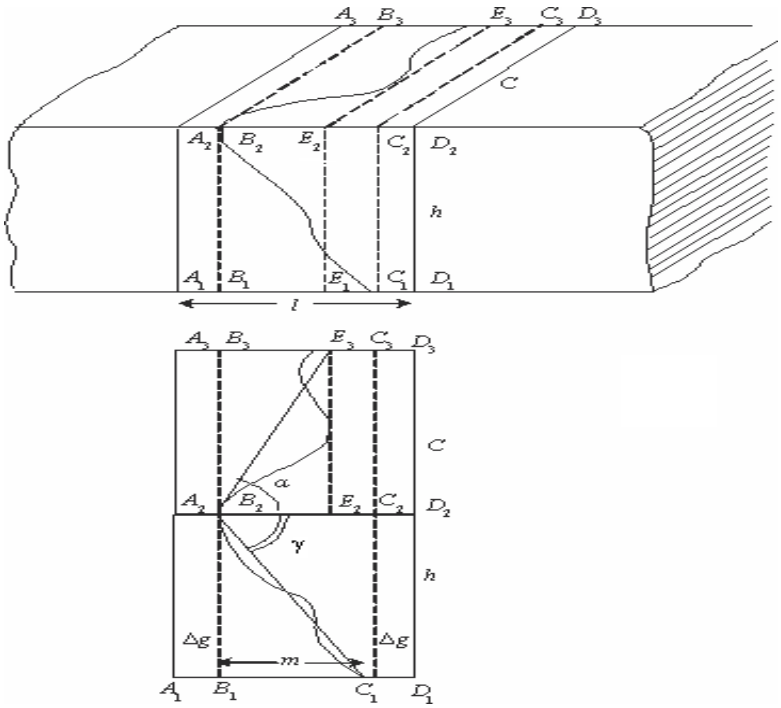


Рис.1.

Для подтверждения эффективности применения системы разработки с отделением трещин были проведены экспериментальные работы на Шахтахтинском карьере травертинов, которые показали, что выход крупных блоков из горной массы при комбинированном способе с отделением трещины увеличивается от 25% до 35% (см. таблицу).

Таблица

Параметры добычи	**Способ добычи**	
	камнерезными машинами	комбинированный
Время на одну полосовку, с	990	800
Размеры блока по длине	ограничены	не ограничены
Выход крупных блоков из массива, %	35-40	45-55
Объем потерь от пропила, $м^3$	0,180	0,148

Проведенные исследования показали, что применение предлагаемого нами комбинированного способа позволит сократить затраты времени и средств на производство поперечных пропилов от18% до 20%, увеличить выход крупных блоков от 25% до 35% а также уменьшить себестоимость продукции. Вместе с тем наблюдается также резкое сокращение потерь от пропила и трещиноватости.

Список литературы

1.Эфендиева З.Дж. Характеристика залежей и физические свойства облицовочных камней месторождений Азербайджана Горный журнал № 8, 46-47с.

2. Рогатин Н.И. Технология и механизация открытых горных работ. М.: Недра, 1982, 277 с.

3. Томаков П.И, Наумов И.К. Технология, механизация и организация открытых горных работ. М. Недра.1992, 464с.

4. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ. М.: Недра, 2001, 332с.

Сведение об авторах

Эфендиева Зарифа Джахангир гызы, доцент, канд. техн. наук, e-mail: efendi2005@ rambler.ru

Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия, 433-36-01, инд. Az 1154

СЕССИЯ II ВОПРОСЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ОЦЕНКИ РИСКОВ

УДК 622.235:271

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ГОРНО-ДОБЫВАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В КРИВОРОЖСКОМ ЖЕЛЕЗОРУДНОМ БАССЕЙНЕ

Губина В.Г, Бастрыгина Т.М., Заборовский В.С.

Разработка железных руд в Криворожском железорудном бассейне ведется 127 лет. За это время тремя государствами было произведено 4,5 млрд. т товарной железной руды (аглоруда + концентрат), при этом из недр извлечено более 6 млрд. м^3 (16 млрд. т) горной массы и получено 12 млрд. т отходов только горного производства.

За последние 40 лет из недр было извлечено 1,8 млрд. т химически чистого железа.

Наиболее интенсивно месторождения эксплуатировались в 1965-1990 гг., когда было произведено 2,6 млрд. т. товарной железной руды (87,2% от всего производства в Украине).

Общие объемы земной коры, втянутые в антропогенные геомеханические процессы в Кривбассе составляют до 20 млрд. м^3. Их масса составляет 50 млрд. т при интенсивности нарушений 117-118 млн. м^3 в год. Интенсивность нарушений может увеличиться на 25-30%.

В результате добычи железной руды в Кривбассе образовались карьерные и шахтные емкости объемом до 6 млрд. м^3, вытянутые в меридиональном направлении с депрессионной воронкой длиной до 80 км и шириной 3-6 км при глубине от 400 до 1300 м.

По данным Госкомстата Украины ежегодно на ГОКах в Кривбассе образовывается порядка 80 млн. т вскрышных пород, из которых порядка 70 млн складируется в отвалах.

В хвостохранилищах заскладировано около 5 млрд. т отходов обогащения,

которые занимают площадь в 7-10 тыс. га. Высота дамб в хвостохранилищах достигает 35-90 м, отметка зеркала воды на 24-75 м превышает рельеф застроенной территории. Ежегодное поступление отходов в хвостохранилищах составляет порядка 100 млн т.

Карьеры и хвостохранилища ежегодно поставляют в атмосферу до одного миллиона тонн загрязняющих веществ. Фильтрация воды из хвостохранилищ составляет 15 млн. $м^3$/год. Ежегодно из хвостохранилищ в реки Ингулец и Саксагань сбрасывается примерно 125 млн. $м^3$ технической воды.

В ходе ведения горных работ нарушено 34 тыс. га городских и близлежащих территорий. Подтоплено более 9 тыс. га городских территорий.

Нарушен гидрологический и геохимический режимы поверхностных и подземных вод на глубину более 1 км, что привело к последующим региональным экологическим проблемам:

- поднятия уровня грунтовых вод;

- грунтовые воды четвертичного горизонта и неогеновых отложений сильно загрязнены, их общая минерализация достигает 10 г/л;

- водоснабжения сельских районов на юг от Кривого Рога находится в зоне техногенного напряжения из-за загрязнения грунтовых вод на площади 400 км;

- р. Ингулец и ее притоки загрязнены нефтепродуктами, фенолами, тяжелыми металлами от истока до устья. Техногенные загрязнители фиксируются в Днепр-Ингулецком канале, а также в каналах Ингулецкой оросительной системы;

- в водохранилищах общая минерализация воды превышает ПДК в 2 раза.

Произошло заболачивание территории на площади 430 $км^2$.

В иловых отложениях бассейна р. Ингулец и водохранилищах накапливаются вредные техногенные элементы. Зафиксировано превышение ПДК по Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Ba, Mn, P, приближаются к ПДК содержания таких элементов как Be, Cd, Co, Sn, Sr, которые относятся к 1 и 2 классу опасности.

Таким образом, на примере Криворожского железорудного бассейна можно

проследить к каким экологическим последствиям приводит интенсивная горнодобывающая деятельность, осуществляемая на незначительной площади. Несомненно, что эти территории требуют не только комплексного экологического мониторинга, но и особого статуса и отношения к ним государства.

Сведения об авторах:

Губина Виктория Георгиевна, ведущий научный сотрудник, канд. геол.-мин. н., e-mail: gubinavg@rambler.ru

Бастрыгина Татьяна Михайловна, научный сотрудник, e-mail: tatyana.bastrygina@gmail.com

Заборовский Виктор Стефанович, научный сотрудник

ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», 03680, Украина, г. Киев-142, пр. Палладина, 34А, тел/факс+380(44)451-02-36, 424-00-60

УДК 553:504.062(063)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОТЕКАЮЩИХ В ТОЛЩЕ ПЕСКОВ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ДЖИДИНСКОГО ГОКА

Дабаева В.В., Плюснин А.М.

Введение

Известно, что отходы добычи и переработки руд оказывают негативное воздействие на природу. В то же время, их следует рассматривать как сложные, поликомпонентные, динамичные системы, представляющие интерес для горнодобывающей промышленности. В связи с этим в последнее время пристальное внимание уделяется проблеме хранения отходов обогащения руд, в том числе миграции металлов и других компонентов внутри и за пределы хвостохранилищ [1,2,3]. Сейчас хвостовые хозяйства ГОКов рассматриваются как новый тип рудных объектов - техногенные месторождения, что связано с возможностью их вторичной переработки [4]. Рентабельность вторичной переработки определяется тем, что породы не требуют дробления, расположены вблизи предприятия, имеют выдержанный минеральный и фациальный состав. Применение более совершенной технологии извлечения полезного компонента позволяет без особых затрат получать высококачественную товарную продукцию.

Однако, как показали опытные работы по вторичной переработке хвостов, возникают проблемы связанные с окислительным преобразованием руды при длительном хранении. В частности, в толще хвостов переработки поровые воды имеют кислую реакцию среды и негативно влияют на состояние технологического оборудования фабрик. Но с другой стороны эти воды представляют собой жидкую руду, они содержат в своем составе значительные концентрации многих химических элементов, включая благородные и редкоземельные. Эти компоненты можно и нужно извлекать из растворов. Вероятно, для этого необходимо изменить идеологию хранения хвостов переработки, а именно не изолировать хвосты от окружающей среды, а высаживать растворенные вещества из поровых вод в проточных реакторах и концентрировать их в определенных местах хвостохранилища.

Целью настоящей работы было выяснение основных процессов, протекающих в толще песков при добавлении к ним в качестве нейтрализующего реагента крошки известняка.

Материал и методы исследований

Для экспериментов были взяты пески из хвостохранилища намывного типа Джидинского ГОКа, которые хранились более 40 лет. Основная масса хвостов представлена несцементированным, плохо отсортированным полевошпат-кварцевым песком. Из породообразующих минералов преобладает кварц, полевой шпат, амфиболы, хлорит, эпидот, мусковит, апатит. Рудные минералы представлены пиритом, гюбнеритом, шеелитом, халькопиритом, гидроокислами железа, галенитом, присутствует сфалерит. При хранении образовались сульфаты, гидрооксиды, карбонаты железа, марганца, кальция магния, алюминия и др. элементов [5]. Химический состав песков, поровых вод этого хвостохранилища приведен в работах [6,7,8]. В качестве нейтрализатора в работе был выбран известняк месторождения Зун-Нарын, который располагается вблизи техногенного месторождения. Нейтрализующий материал дробился и просеивался. В экспериментах использовалась фракция 0,5 – 1 мм.

Загрузку из песка и известняка поместили в контейнер размером 420x320x165. Толщина слоя известняка составляла 2 см, песка – 6 см. Нейтрализатор в толще песков распределяли разными способами (рис. 1). Для сравнения нейтрализующего воздействия известняка один контейнер заполнялся только песком.

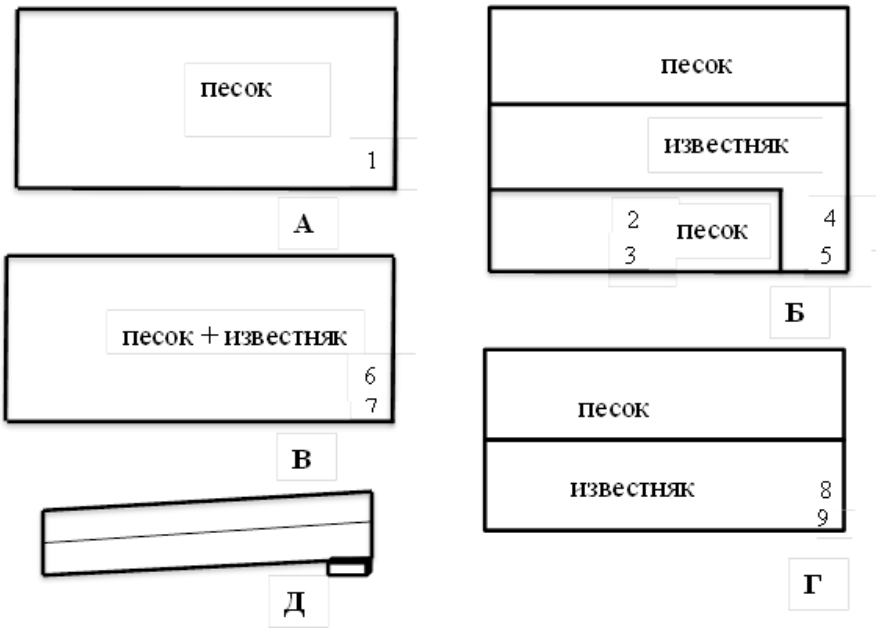


Рис. 1. Способы загрузки контейнеров: А – только песок; Б – сверху песок, в середине слой известняк, внизу слой песка; В – к песку добавлена крошка известняка в количестве 5% по объему, равномерно распределенная по всему объему; Г – сверху песок, внизу слой известняка; Д –положение контейнера на горизонтальной поверхности (один край по длине приподнят на 1 см). Номерами обозначены места отбора проб воды, результаты исследования которых приведены в таблицах.

Через сформированную таким образом толщу пропускалась дистиллированная вода путем распыления сверху на поверхность песков. Вода фильтровалась через пески и известняк, стекала по дну контейнера к наклоненному краю и выводилась через краник в принимающий сосуд. Содержание сульфатных ионов определено турбидиметрическим методом. Для изучения микроэлементного состава фильтрующихся растворов использовался атомно-эмиссионный спектральный анализ с индуктивно-связанной плазмой. Для изучения образовавшихся в процессе эксперимента минералов под бинокуляром отбирались измененные зерна известняка и тонкая фракция рыхлых новообразований, которая накапливалась на дне контейнера и в слое известняка.

Качественный анализ проводился с помощью электронного сканирующего микроскопа LEO 1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания). Образцы были смонтированы на двухстороннем скотче на стеклянной подложке для исследования в режиме VP вакуумной системы микроскопа. При этом в области электронной пушки высокий вакуум (~10-5 – 10-6 мм рт. ст.), а в камере образцов форвакуум (~10-2 – 3 мм рт. ст.). Ошибка анализа на сумму достигает 2-4 масс. %. Исследования выполнены в аналитическом центре ГИН СО РАН.

Результаты и обсуждение

При фильтрации поровых вод через толщу песка и нейтрализатора формируются растворы с широким спектром содержания химических элементов и значением pH. В фильтрате фиксируются высокие содержания сульфат-иона. Концентрация этого иона в фильтрующемся растворе возрастает быстро, в течение нескольких минут, пока вода проходит через экспериментальную установку. По нашему мнению происходит растворение сульфатных, гидросульфатных солей разных металлов – продуктов разложения сульфидных минералов, которые накопились в толще хвостов переработки за длительное время хранения песков в окислительной обстановке. В результате реакции гидролиза этих солей (в основном сульфата железа) формируется кислая среда, образуются гидроокислы металлов и в растворе накапливается сульфат-ион (табл.1).

Таблица 1

Значение pH и содержание сульфат-иона в экспериментальном растворе

Шифр пробы		pH	Концентрация, мг/дм^3
А	1	2,56	3284,57
Б	2	2,8	3128,2
	3	3,51	1788
	4	6,55	2039,9
	5	7,1	1993,8
В	6	5,61	1582,2
	7	7,18	1574
Г	8	5,31	2642,5
	9	6,68	1641,5

Рудные элементы переходят в раствор, их концентрация приведена в таблицах 2 – 7. В дальнейшем, часть из них осаждается на щелочном, карбонатном барьерах, образуя экзогенные минералы.

Таблица 2.

Содержание рудных элементов в фильтратах, мкг/дм^3

*Шифр пробы	А1	Б2	Б3	Г8	Г9	Б5	В6	В7	Б4
pH	2,61	2,77	3,50	5,35	6,50	7,09	5,65	6,69	7,21
Cu	3350	7020	17	273	30	1260	11	8	16
Zn	32830	57770	9710	19640	9880	20170	81	31	2600
Pb	190	170	<30	<30	<30	81	<30	<30	<30
Fe	104910	660	1270	10090	5310	23360	47	34	66
Ni	660	1270	285	510	320	505	10	<5	116
Co	1080	1910	461	674	458	805	7.0	<5	210
Cr	30	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5

*Примечание А1, Б2, Б3 – в фильтратах прошедших через экспериментальную толщу техногенных песков, Г8, Г9, Б5 – в растворах после фильтрации через пески со слоем известняка, В6, В7, Б4 – в растворах после фильтрации через смесь песка с известняком

Таблица 3.

Содержание редкоземельных элементов, мкг/дм^3

Шифр пробы	А1	Б2	Б3	Г8	Г9	Б5	В6	В7	Б4
La	69	66	6	32	7	<5	<5	<5	<5
Ce	145	130	-	52	<10	<10	<10	<10	<10
Nd	83	75	-	25	<5	<5	<5	<5	<5
Sm	22	20	-	10	<10	<10	<10	<10	<10
Eu	8	8	-	3	<10	<10	<10	<10	<10
Gd	29	28	-	9	<5	<5	<5	<5	<5
Dy	28	26	-	9,8	<5	<5	<5	<5	<5
Ho	7	6	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Er	16	13	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Tm	2	2	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Yb	23	19	-	6	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Lu	-	-	-	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Y	280	230	-	75	<10	<10	<10	<10	<10

По данным атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой фильтрат с низким значением pH содержит значительные концентрации железа, меди, цинка. При взаимодействии раствора с известняком фиксируется снижение концентрации ряда элементов, которые частично связываются в минеральные фазы. Наиболее интенсивно из раствора удаляется железо.

При добавлении к пескам известняка происходит высаживание из раствора различных минералов. Как показали исследования на электронном микроскопе, преобладающей формой минералов, ассоциирующих на поверхности карбоната, являются сульфаты. Из раствора при взаимодействии с кальцитом, на его поверхности интенсивно кристаллизуется ангидрит с размером зерен до 70 мкм, который окружен оксидами железа и включениями портландита. Здесь же в микрокристаллической массе среди гидрокислов кальция отмечается пирит, поверхность которого размыта (рис.1 А). Вероятно, он вымыт током движущегося раствора из песков.

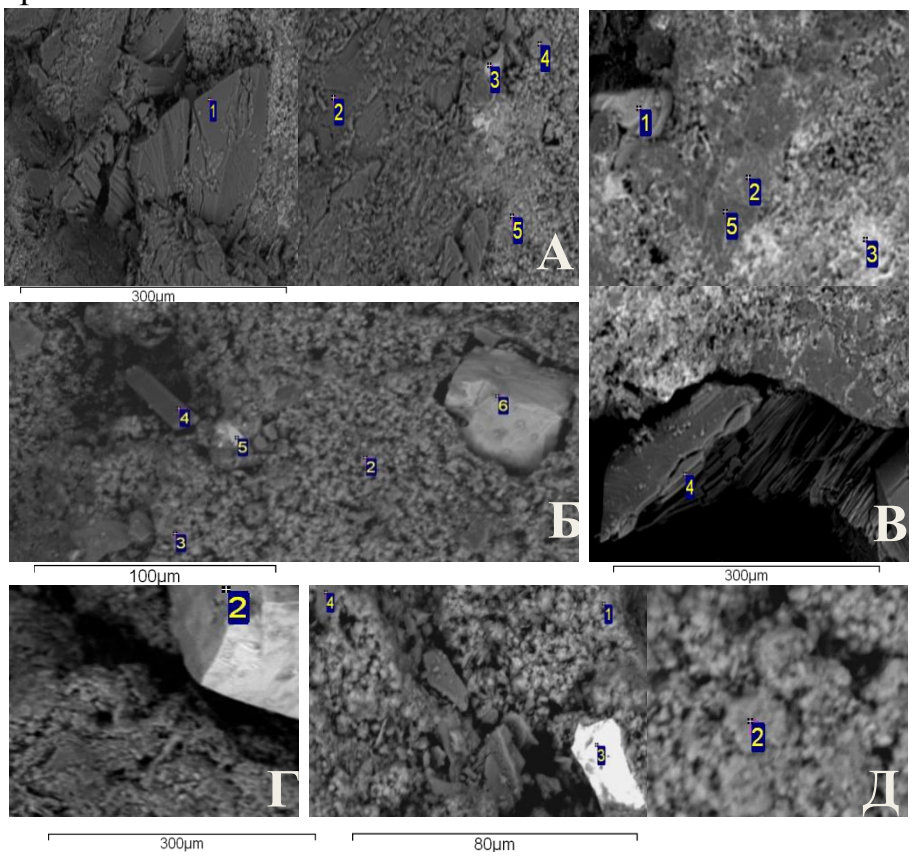


Рис. 2. Новообразования в частицах известняка из эксперимента с равномерным распределением их в толще песка. А: 1,2 – ангидрит, 3 – пирит, 4 – портландит, 5 – оксид железа с примесью кремния, алюминия, титана; Б: 2,3 – сернокислое железо с примесью кремния, алюминия, титана, натрия, калия, 4 – гипс, 5 – шеелит, 6 – пирит; С1 3 В: 1 – флюорит, 2 – оксид железа, 3 – оксид железа с примесью свинца, 4 – гипс, 5 – фенакит; Г: 2 – пирит; Д: 1,2 – фториды железа с примесями натрия и калия, 3 – шеелит, 4 –фторид железа (номера на рисунках соответствуют участкам, где произведен микроанализ)

На поверхности частично преобразованного зерна кальцита выделяется образование гипса, представленное прозрачным удлиненным кристалликом

размером 4 мкм, который окружен шеелитом. Кальций в этом новообразовании частично замещается железом. Примесными компонентами являются алюминий (Al - 0,91%), калий (K - 0,35%). Среди рыхлой массы на поверхности частично прореагировавшего с раствором известняка выделяется пирит с размером зерна 6 мкм (рис. 1 Б).

Новообразования, представленные тонкой взвесью, содержат пластинчатый гипс трещиноватой текстуры, флюорит размером 5 мкм, здесь встречается фенакит в виде тонкослойной пленки, окруженной сернокислым железом с примесями свинца (Pb - 6,45 %) (рис. 1 В). Среди рыхлой аморфной массы выделяется кристалл пирита (рис. 1 Г), шеелита с примесью рения (Re - 3,26), фтора (F - 5,92).

При взаимодействии с кислой поровой водой на поверхности зерен карбоната формируются сульфаты железа, гидроксид кальция (портландит), что обусловлено процессом кристаллизации их при нейтрализации раствора вблизи поверхности.

Результаты эксперимента показали, что при увеличении интенсивности потока фильтрации поровых вод происходит вымывание из техногенных песков кристаллов таких минералов, как пирит, флюорит, шеелит, фенакит. Благодаря эффективному pH-буферирующему потенциалу известняка катионы металлов частично из растворов переходят в твердую фазу, связываясь с ионами кальция. На поверхности карбонатного барьера формируются микровключения разного компонентного состава (табл.8). В частности встречаются ангидрит, гипс, портландит, железистые соединения (рис.2,3).

Таблица 4.

Химический состав основных микровключений, представленных на рис. 2, %

Минерал	Si	Ti	Al	Fe	Ca	K	F	W	S	O
Ангидрит	0,55		0,27	1,88	21,96				18,02	61,61
Ангидрит	0,83		0,29	1,55	23,12				20,4	96,99
Пирит				43,37					51,22	
Портландит				4,89	45,98					47,5
Гипс	1,69		0,63	2,44	21,33	0,35			18,59	100,62
Шеелит			0,91	3,77	13,41	0,41		57,92	2,04	31,99
Флюорит	3,51		0,49	1,53	50,04		69,33			

В случае добавления в песок известняка в виде слоя кальцит после взаимодействия с кислыми поровыми водами имеет более неровную аморфную поверхность, что не позволяет уверено диагностировать микровключения. Реже встречаются сульфидные соединения, возможно, обусловлено тем, что основной формой связывания микроэлементов являются гидрокарбонаты. Кальций частично замещается железом. Среди примесных компонентов чаще встречается магний.

Зерна известняка представлены микрокристаллической массой кальцита, выполненным аморфным агрегатом, связанным с железом (рис.3). Химический состав характеризуется преобладанием в соединении кальция, железа с примесью алюминия и магния (O – 70,36; Ca – 36,34; Fe – 24,31; Al – 0,33; Mg – 0,28, ∑107,31, %%).

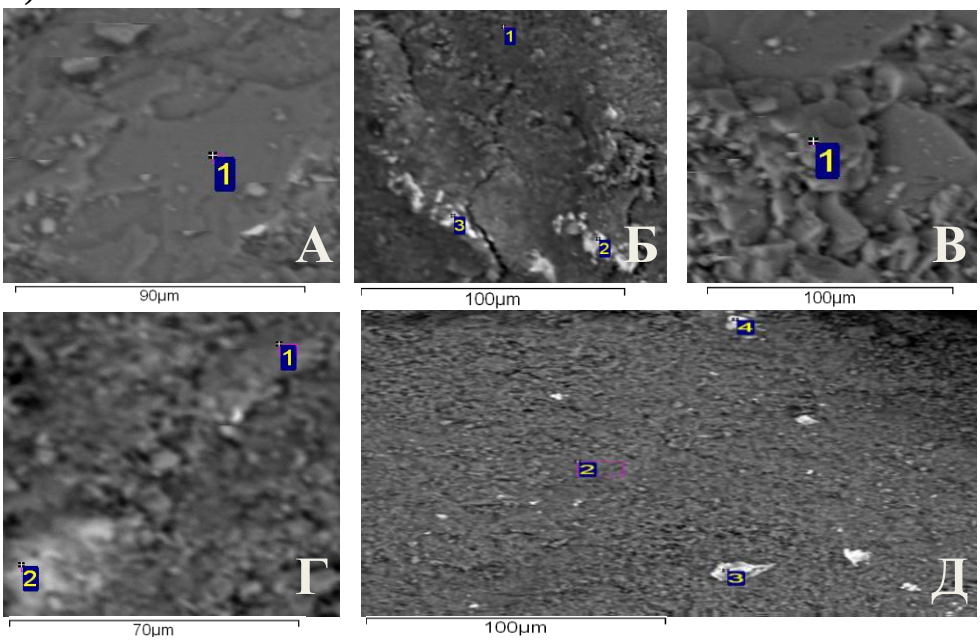


Рис. 3 Микровключения карбонатных зерен, отобранных из слоя известняка А: 1 – кальцит с примесью железа; Б: 1 – оксид кальция с примесью фтора, 2,3 – окислы меди; В: оксид кальция, связанный с медью, с примесью магния; Г: 1 – пироксен, 2 – оксид железа и цинка; Д: 2 – оксид кальция с примесью магния, алюминия, кремния, 3,4 – кристаллы, состоящие в основном из железа, с высоким содержанием диспрозия (~ 1,8%).

Следует отметить, что поверхность зерна представлена тонкокристаллической пленкой. На поверхности осаждается медь в виде окислов.

Среди тонкокристаллической массы кальцита выделяется зерно пироксена в

окружении аморфных образований, содержащих цинк (химический состав представлен, %: O – 79,67; Ca – 15,64; Fe – 6,11; Si – 27,04; Zn – 1,4; Al – 0,33; Mg – 0,28, $\sum 144{,}95$). Здесь также фиксируется аморфный агрегат, характеризующийся сложным составом, % - (O – 0,69; Fe – 45,62; Zn – 58,13; Ca – 7,07; Al – 2,46; Si – 1,33; S – 0,59, $\sum 124{,}62$).

Таблица 5

Химический состав микровключений представленных на рис.3

Проба	№ и.уч.	Компоненты								
А	1	Mg	Ca	Cu	O					
		0,51	36,76	36,34	57,78					
Б	1	Si	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	S		
		0,21					36,53	33		
	2	0,32	0,74			0,34	38,75	50,66		
	3	6,41	1,47	66,28	0,42		12,39	23,21		
В	1	Mg	Ca	Cu	O					
		0,51	36,76	36,34	57,78					
Г	1	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Ca	Zn	S	O
		27,04	0,43	3,95	6,11	10,59	15,64	1,4		79,67
	2	1,33		2,46	45,62		7,07	58,13	0,59	0,69
Д	2	Si	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na		
		0,93	1,59	0,41		0,26	37,37			
	3	5,91	2,28	78,82	0,44		6,95	0,69		
	4	3,84	1,87	76,38	0,56		6,85			

В целом, на участках преобразования кальцита аморфные фазы соединений металлов представлены чаще всего окислами железа. Среди микрокристаллической массы кальцита формируются агрегаты размером до 7 мкм, состоящие в основном из железа (~84%) с примесью марганца (~0,6%). Основными примесями в микровключениях являются Na, K, Mg, Ti. Следует отметить, что в отобранных зернах кальцита, распределенного по всей толще песка, встречается включения с примесями фтора (~8,3%).

Выводы

В толще техногенных песков происходит мобилизация в поровое пространство, подготовленного выветриванием подвижного материала. В кислых растворах находятся высокие содержания рудных, редкоземельных элементов. Использование в качестве нейтрализатора небольшого количества известняка

приводит к изменению миграционной способности некоторых компонентов - тяжелых металлов, редкоземельных элементов, происходит образование микрофаз на карбонатном барьере. Среди новообразований обнаруживаются минеральные формы сульфатов, оксидов, карбонатов разных металлов сложного химического состава. В аморфных образованиях отмечается повышенное содержание тяжелых металлов железа, меди, цинк, реже свинца, щелочноземельных элементов, примесей натрия, калия, магния, среди редкоземельных элементов в осадках отмечается диспрозий. Отмечаются различия в миграционной способности тяжелых, редкоземельных металлов при нейтрализации растворов, которые необходимо изучать.

Список литературы

1 Алампиева Е. В., Панова Е. Г. Поведение токсикантов в хвостах горно-обогатительного производства на медноколчеданном месторождении // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2012. № 147. С. 144-151

2 Дампилова Б.В., Смирнова О.К., Плюснин А.М. Исследование нейтрализации кислых отходов обогащения сульфидно-вольфрамовых руд при их вторичной переработке // Экология и промышленность России. 2015. - Т.19, №2 - с. 56-59.

3. Попов Ю.В., Цицуашвили Р.А. Роль современного минералообразования в миграции элементов в природно-технической системе горных выработок барит-полиметаллического месторождения // Экология и защита окружающей среды: сб. тез. Докл. Междунар. науч.-практ. конф., 19-20 марта 2014 г. – Минск, 2014. – С. 296-298.

4. Плюснин А.М., Гунин В.И. Природные гидрогеологические системы, формирование химического состава и реакция на техногенное воздействие (на примере Забайкалья). Улан-Удэ: Изд. БНЦ СО РАН, 2001, 137с.

5. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Шахтные воды затопленных медноколчеданных рудников Урала: техногенные месторождения или жидкие

отходы? Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. Материалы XIII Международной конференции. М.: РУДН, 2014. С. 33-35.

6. Плюснин А.М., Жамбалова Д.И., Дабаева В.В. Миграция токсичных элементов в толще намывного хвостохранилища Джидинского ГОКа // V Всероссийский симпозиум «Минералогия и геохимия ландшафтов горнорудных территорий» и XII Всероссийские чтения памяти академика А.Е. Ферсмана по проблемам: «Рациональное природопользование» и «Современное минералообразование», 2014, Чита, ИПРЭК СО РАН, с. 54-60.

7. Смирнова О.К., Плюснин А.М. Джидинский рудный район (проблемы состояния окружающей среды). Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. 181с.

8. Плюснин А.М., Дампилова Б.В., Жамбалова Д.И. Проблемы хранения и переработки отходов разработки рудных месторождений//Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. Материалы XIII Международной конференции. М.: РУДН, 2014. С. 28-30.

Сведения об авторах:
Дабаева Виктория Валерьевна, аспирант, dv.viktoriya@mail.ru)
Плюснин Алексей Максимович, докт. геол.-минерал. наук, зам. директора по научной работе, зав. лабораторией гидрогеологии и геоэкологии, plyusnin@gin.bscnet.ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а. Тел. (3012) 433955 Факс: (3012) 433024. E-mail: gin@gin.bscnet.ru, Web: geo.stbur.ru

УДК 502.53

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГЕОЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Домаренко В.А., Павлов И.В., Перегудина Е.В.

Человек (и человечество в целом) не может жить без окружающей среды, без взаимодействия с ней, без ее использования в своих целях. Он не может подняться над окружающей средой и понаблюдать, как природа процветает без его губительного или, по меньшей мере, неблагоприятного воздействия. По

большому счету любое взаимодействие человека с окружающей средой является неблагоприятным, даже такое как, например, дыхание, без которого, как известно, не проживешь. Во время дыхания из атмосферы поглощается кислород, а выделяется углекислый газ, и то, и другое оказывает негативное воздействие на окружающую среду, а если учесть, что для жизнедеятельности человека необходимо тепло, получаемое, главным образом, сжигания органического топлива, то это воздействие увеличивается во много-много раз. Из этих самых простых рассуждений вытекает главная концепция экологии не как охраны окружающей среды, а как рационального использования природы, т.е. получения всего необходимого для жизнедеятельности и развития человечества при наименьших вредных воздействиях. Ибо охрана подразумевает применение запретительных мер на все, что оказывает воздействие на окружающую среду, а поскольку человек не может жить без такого воздействия, то охрана в строгом смысле этого слова означает уничтожение человечества или, по меньшей мере, возвращение к первобытнообщинному строю.

Почему-то именно запретительная (охранная) концепция является наиболее процветающей в настоящее время. Ее еще можно назвать прямолинейной. Типичным примером такой прямолинейности в мировом масштабе является запрет на использование в промышленности фреона. В упрощенном виде логический ход имеет следующий вид: фреон разрушает молекулы озона, накапливаясь в атмосфере, разрушает ее озоновый слой, наносит существенный вред природе, поэтому запретить его применение. Однако, как показали ученые Московского Государственного Университета при изучении Антарктических льдов, озоновые дыры существовали и несколько миллионов лет назад, когда не только промышленности, но и человечества-то не было.

Другим примером может служить существенное ограничение выбросов CO_2 в атмосферу, поскольку накопление диоксида углерода по заключению ученых приводит к потеплению климата на планете, как следствие к таянью льдов, угрозе затопления и т.п. Не возражая в принципе против ограничения выбросов

продуктов сгорания органического топлива, которые наряду с диоксидом углерода содержат значительное количество вредных примесей, таких как пыль, оксиды тяжелых металлов, серы, углерода, оказывающих прямое отравляющее влияние на человека и других обитателей природы, хотелось бы отметить, что по геологическим данным в истории развития Земли периоды потепления и похолодания существовали много раз, в том числе, и в последний миллион лет без какого-либо антропогенного влияния.

Именно концепция запретов (охраны) положена в основу деятельности Комитетов по охране окружающей среды всех уровней, что отражено в самом их названии. Создание и содержание заповедников рассматриваются лишь как участки первозданной (заброшенной) природы, доступной лишь природоохранникам и высокопоставленным браконьерам. Исключением в Красноярском крае кажется лишь заповедник «Столбы», и то лишь потому, что он с давних пор является излюбленным местом отдыха красноярцев и никакие запреты не могут остановить потока любителей природы. Во всем мире заповедники используются в качестве образцов бережного отношения к природе, рационального ее использования. Так знаменитый Йеллоустонский парк в США посещается туристами всего мира, по нему можно прогуляться или проехать на машине. В Северной Австралии в пределах заповедника разрабатываются месторождения урановых руд и туристам, и посетителям показывают методы безопасной и рациональной добычи урановой руды и рекультивации после проведения добычных работ. В нашем же Красноярском крае в пределах предполагаемого в будущем заповедника служба охраны природы запрещает даже проведение поисково-оценочных работ на флюоритовое сырье, так необходимое краевой промышленности.

Или взять проблему целлюлозно-бумажного комбината на оз. Байкал. По имеющимся публикациям, доказывающим губительное его воздействие на уникальное пресноводное озеро, создается впечатление, что если бы все усилия ученых, затраченные на поиск этих доказательств, были направлены на создание

и совершенствование системы очистных сооружений, то в оз. Байкал поступала бы практически дистиллированная вода. Во всяком случае, считать достижением ученых Сибирского отделения РАН обоснование необходимости закрытия комбината никак нельзя, достижением было бы создание эффективной системы очистки производственных стоков.

Подобная ситуация возникает и в отношении атомной энергетики, главным образом из-за Чернобыльской аварии. Но Чернобыльская авария — это чрезвычайное происшествие, обусловленное целым рядом причин, требующее тщательного анализа с целью предотвращения подобных происшествий, а отнюдь не необходимый технологический процесс. Ведь оттого, что при авариях падают самолеты, тонут корабли, никто не требует их полного запрещения. В то же время при авариях на автотранспорте ежегодно гибнет больше людей, чем погибло их при Чернобыльской катастрофе. Таким образом, Чернобыльская авария используется как «жупел», как фактор устрашения для всего человечества. Да и как может быть иначе, если глава российских экологов академик А.Б. Яблоков, когда встал вопрос о направлении атомного корабля для энергоснабжения одного из поселков на северном побережье Тихого океана, позволил высказывание о том, что в этом случае может произойти очередная катастрофа, аналогичная Чернобыльской и СМИ это сообщили всем гражданам России.

Сидя в теплой московской квартире можно порассуждать о возможных катастрофических последствиях такого мероприятия, но ведь это означает, что пусть лучше жители этого поселка экологически чисто замерзнут, чем для их обогрева будет использована атомная энергия корабля.

А ведь использование малогабаритных корабельных атомных установок, разумеется, с соответствующим оборудованием, для энергоснабжения населенных пунктов на севере страны позволило бы существенно сократить проблему северного завоза, который более чем на 50 % состоит из топливно-энергетического сырья.

Ядерная энергетика является по своей сути одним из самых чистых видов

технологий, поскольку не выбрасывает никаких отходов в атмосферу, продукты отработки представляют твердые и жидкие вещества, необходимо лишь организовать их правильное и безопасное хранение.

В то же время на ядерную энергетику и ядерную промышленность вообще стало в последнее время модно списывать все наши экологические беды. Например, на совещании по использованию плутония, прошедшем в этом году в Красноярске, был приведен анализ заболеваемости раком легких и верхних дыхательных путей по Западной Сибири. Высокая заболеваемость в некоторых регионах связывалась с зараженностью территорий плутонием, который выпадал при ядерных испытаниях на Семипалатинском и других полигонах [2]. Во-первых, необходимо отметить, что плутоний не образуется при атомных и ядерных взрывах, а аварий, подобных Чернобыльской в Западной Сибири не было. Во-вторых, самая высокая заболеваемость этими видами рака отмечается у жителей Кемеровской области и наименьшая – в Алтайском крае, ближе всего расположенном к Семипалатинскому полигону. Скорее всего, это объясняется сильнейшей загазованностью Кемеровской области, обусловленной широким использованием Кузбасских углей, как для отопления, так и в коксохимической промышленности.

Отмечено также при изучении загрязнений почв тяжелыми металлами в Барабинском районе Новосибирской области, что повышенные содержания урана в почвах (пока не превышающих ПДК для почв) на отдельных участках связаны с выбросами котельных, работающих на угле, а вовсе не с ядерными испытаниями.

Известно, что радиоактивные металлы, содержащиеся в угле даже в незначительных количествах, накапливаются в продуктах сгорания и своей большей частью улетают в трубу. На урано-угольных месторождениях, при их разработке, применяют специальные технологии сжигания для накопления урана в золе.

Представляется, что подобное изучение загрязненности почв тяжелыми (в т.ч. радиоактивными) металлами необходимо проводить и в пределах

Красноярского края с выделением участков природного и техногенного характера.

В то же время известно, что радиоактивность в малых дозах не только не вредит, но полезна и обладает лечебными свойствами, при этом не имеется в виду лечение раковых опухолей значительными дозами радиоактивности, а благотворное влияние природных радоновых вод на организм человека и животных. На месторождениях радоновых вод работают санаторно-курортные комплексы во всем мире. У нас в России это существующий более 50 лет знаменитый курорт «Белокуриха» на Алтае.

Однако изучение подобных радоновых вод в Красноярском крае с целью создания подобного курорта неожиданно натолкнулись на препятствие в лице «Енисейрыбвода», специалисты которого посчитали, что даже оценка их запасов (с проведением откачек) может оказать катастрофическое воздействие на рыбное хозяйство. Источники этих радоновых вод расположены в самых верховьях одного из ручьев – притока р. Солонечная и существуют давно. Животные создали на месте этих источников «солонец» и принимают там радоновые ванны, но рыбам они, видимо, сильно вредны, хотя по их же заключению р. Солонечная и р. Тубиль, в которую она впадает, являются важными для рыбоводства [1].

Возможно, что все эти недоразумения созданы «синдромом радиации», вызванным, с одной стороны, Чернобыльской катастрофой и Фуксимой [3], а с другой, нагнетанием напряженности со стороны, как средств массовой информации, так и научных публикаций далеко не всегда точных и справедливых.

Список литературы:

1. Домаренко В.А., Кузьмин В.В. Радиогеохимические особенности вод юга Красноярского края и республики Хакасия //Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II Международной конференции - Томск, 18-22 октября 2004. - Томск: Тандем-Арт, 2004. - с. 192-195

2. Рихванов Л.П. К геохимии техногенеза//Актуальные проблемы геохимической экологии: Материалы V Международной биогеохимической школы, Семипалатинский государственный педагогический институт, 8-11 сентября 2005 года. – Семипалатинск, 2005 г.стр. 48-52

3. Рихванов Л.П. Об одном из слабо изученных и оценённых факторов радиационного воздействия. // Актуальные проблемы урановой промышленности. Сборник докладов III Международной научно-практической конференции. 6-9 июля 2004 г. – Алматы: издательство «Бастау», 2005. – стр. 408- 409.

Сведения об авторах:
Домаренко Виктор Алексеевич, к.г.-м.н., доцент, тел: 8(3822) 41-89-10, e-mail: domarenkova@tpu.ru
Павлова Инна Владимировна, тел: 8(3822) 60-63-38, e-mail: pavlovaiv@ignd.tpu.ru
Перегудина Елена Владимировна, ассистент, тел: 8(3822) 41-89-10, e-mail: pere-elena@mail.ru
Томский политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

УДК 504.61:622.775

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ УСТАНОВОК КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И МОДЕРНИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЕЛОВОЕ» (СЕВЕРНАЯ ХАКАСИЯ)

Максиков С.В., Дьячкова А. В.

Кучное выщелачивание позволяет вовлекать в промышленное производство бедные руды с низким содержанием полезных компонентов, рентабельно эксплуатировать небольшие по запасам и размерам рудные месторождения, расположенные в отдаленных районах. Метод впервые применен в конце 1960-х годов компанией "Карлин" и получил широкое распространение в мировой золотодобывающей промышленности [1, 2].

Применение установок кучного выщелачивания обусловлено короткими сроками освоения новых месторождений, невысокими капиталовложениями и эксплуатационными затратами, высокой производительностью при функционировании нескольких секций единовременно. К недостаткам метода относятся увеличение площади нарушенных земель для строительства секций

промышленных установок, большая степень заполнения ландшафтов твердыми отходами с остаточным содержанием вредных веществ и недоизвлеченного ценного компонента, а также орошение секций выщелачивания цианистым раствором, что является неорганизованным источником выбросов цианидов [3].

В настоящее время на долю кучного выщелачивания приходится более 40 % мировой добычи золота. Экологические проблемы развития и внедрения данной технологии нашли отражение в работах ученых различных стран [4].

В России первая установка была запущена в начале 90-х годов прошлого века; к 2005 году технология кучного выщелачивания в промышленном и опытно-промышленном масштабе применялась при переработке золото-серебряных руд на месторождениях Западно-Озерское (Башкирия), «Майское», «Чазы-Гол» (Хакасия), Сафьяновское, Воронцовское (Свердловская область), Любавинское (Читинская область), Эльдорадо (Северо–Енисейский район) и других [1].

ЗДК «Золотая звезда» первая в стране стала использовать кучное выщелачивание золота, которое позволяет добывать руду в бедных и малодоступных месторождениях. Компания входит в список 25 крупнейших российских производителей золота, с ежегодной добычей металла на уровне 1 тонна и разрабатывает золоторудные месторождения «Майское», «Чазы-Гол», «Еловое», расположенные в Республике Хакасия, а также месторождения Бабушкина Гора и Боголюбовское, расположенные в Красноярском крае. Одним из самых перспективных участков в Северной Хакасии является участок «Кварцевый» месторождения «Еловое» [5].

Месторождение «Еловое» расположено на восточном склоне Кузнецкого Алатау, в северной части Саралинского золотоносного района в пределах Юзикского рудного поля и характеризуются среднегорным расчлененным рельефом. Климат района резко континентальный с холодной продолжительной зимой и коротким дождливым летом. По данным метеостанции п. Приисковый минимальные температуры в январе –47^0 С, максимальные – в июле +35° С. Административно территория входит в Орджоникидзевский район Республики

Хакасия. Площадь участка 29,1 км^2 [6].

Цель работы: оценить воздействие установок кучного выщелачивания на окружающую среду и модернизировать разработки золоторудного месторождения «Еловое» (Северная Хакасия)

Успешное развитие золотодобычи методом цианидного кучного выщелачивания обеспечивается эффективным решением экологических проблем с использованием результатов научно-исследовательских работ по предотвращению загрязнения и мониторинга состояния окружающей среды. Пуск и эксплуатация опытно-промышленной установки на разрабатываемом участке сопровождается экологическим мониторингом, который проводится по договору с аккредитованной лабораторией охраны окружающей среды ОАО «Иргиредмет». При этом определяется воздействие производства на близлежащие природные комплексы, в частности, на почвенный покров, подземные и поверхностные воды, атмосферу [7].

Главные технологические объекты (рудные штабеля, пруды-накопители) расположены на открытых площадках и подвержены воздействию атмосферных явлений. При испарении возможно загрязнение атмосферного воздуха синильной кислотой, где она достаточно быстро разрушается под действием ультрафиолетового излучения. Интенсивность улетучивания кислоты зависит от таких параметров, как pH растворов, их температуры, скорости ветра и атмосферного давления. Для снижения возможности образования синильной кислоты в цианидные растворы добавляют щелочи (до pH = 11) [8].

Наиболее распространены следующие схемы подачи растворов при выщелачивании – точечная подача, капельное орошение, равномерное разбрызгивание и прудковое смачивание. Особый интерес представляют прудковое орошение и капельное, как наиболее экологичные методы орошения. Главным требованием к системе орошения является соблюдение равномерной смачиваемости частиц руды в штабеле, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях.

Для цианирования рудного штабеля на месторождении «Еловое» применяют прудковый способ орошения руды, которое осуществляется через оросительные полости (канавы, траншеи и прудки), сооруженные на верхнем основании штабеля. Прудки периодически заполняются раствором, который дренирует по всей массе рудного штабеля (рисунок 1).

Условия применения прудкового орошения:

- не используется в жарких климатических условиях вследствие повышенного испарения;
- можно использовать лишь при низкой проницаемости рудного штабеля, ограничивающей фильтрацию. Из-за быстрой фильтрации и связанного с этим подъема уровня растворов в пределах штабеля, может привести к его неустойчивости или размытию стенок штабеля [9].

Рис. 1. Прудковое орошение рудного штабеля (фото автора)

Равномерность расходов подачи раствора в каждую точку достигается применением капельного орошения (рисунок 2). Сущность этого способа состоит в применении капельных устройств, установленных по длине раствороподающих шлангов. При капельном орошении излив раствора осуществляется с минимальным расходом.

Капельное орошение можно применять и в зимнее время, разместив под небольшим слоем руды на глубину 20–25 см, что является достоинством метода.

Погруженные эмиттеры позволяют поддерживать более широкие пределы скоростей орошения по сравнению с другими оросителями, это также является важным преимуществом. Необычно низкие интенсивности орошения могут быть получены посредством обратного дросселирования (сдавливания) линии распределения потока, которое уменьшает падение давления в каждом погруженном эмиттере. Эта операция особенно полезна, когда цикл выщелачивания завершается, и скорость извлечения золота из штабеля существенно уменьшается. Снижение скорости потока препятствует падению содержания золота [9].

Рис. 2. Капельное орошение рудного штабеля [9]

Основное преимущество использования эмиттеров, помимо приведенных ранее, заключается в том, что система обеспечивает непрерывное капание раствора с минимальной силой падения и тем самым препятствует перемещению зерен и каналообразованию. В результате такого орошения штабель смачивается по горизонтали и вертикали вследствие капиллярного эффекта.

В настоящее время локализации растворов цианида натрия осуществляется путем организации многослойных противофильтрационных экранов из утрамбованной глиняной подушки и специального гидроизоляционного

пленочного экрана. Кроме того, технология должна обязательно предусматривать организацию замкнутого цикла водоснабжения, который позволяет исключить масштабное образование сточных вод. Необходимо учитывать, что основной применяемый реагент для растворения золота – цианид натрия [10].

В процессе кучного выщелачивания возможны дренажные потери цианидосодержащих технологических растворов при повреждениях противофильтрационных экранов под рудными штабелями и в прудах-отстойниках или промыв стенки рудного штабеля. Как следствие, подземные воды при этом являются наиболее уязвимым компонентом окружающей среды.

Для оценки влияния установки кучного выщелачивания на окружающую среду месторождения «Еловое» были проанализированы доступные данные экологического мониторинга, в том числе воздействие на почвенный покров, подземные и поверхностные воды, атмосферу. С этой целью отбирались и изучались пробы по стандартным методикам, адаптированным к золотодобывающим объектам.

Контроль состояния атмосферного воздуха проводился путем анализа на содержание пыли и паров синильной кислоты. Фоновая концентрация цианистого водорода принимается равной нулю. Замеры были выполнены в 4 точках. Три точки предназначены для контроля атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны, четвертая точка – на площадке кучного выщелачивания для отбора проб воздуха, сдуваемого с рудных штабелей (подфакельная проба).

Результаты опробования атмосферного воздуха показали, что концентрация синильной кислоты в пределах рабочей зоны (с подветренной стороны рудного штабеля, а также в помещениях цеха переработки продуктивных растворов концентрация цианистого водорода) не превышала 0,17 мг/м^3 (средняя концентрация – 0,09 мг/м^3), что существенно ниже установленных норм ПДК (0,3 мг/м^3). На границе санитарно-защитной зоны синильной кислоты в воздухе не обнаружено [7].

Снеговой покров отбирался ежегодно, один раз в год. По результатам

исследования вредоносные компоненты не превышают норм ПДК.

При наблюдении динамики микроэлементного состава (Ca, Mg, Cl, Cu, Fe, Zn, As, Pb, сульфаты, нитраты, нитриты, аммоний, цианиды, тиоцианаты) поверхностных и грунтовых вод контрольных объектов не выявлено существенного влияния опытно-промышленной эксплуатации установки кучного выщелачивания на гидросферу района. Концентрация всех проанализированных веществ в ручьях, а также в водах наблюдательных скважин не превышала соответствующих установленных норм ПДК или природных фоновых концентраций. В сравнении с концентрациями веществ, определенных до пуска предприятия и принятых в качестве фоновых, химический состав природных поверхностных и подземных вод практически не изменился. По химическому составу воды гидрокарбонатные натри-кальциевые, без цвета, запаха и вкуса, с минерализацией от 0,05 до 0,1 г/л.

В отобранных пробах почвы производился контроль содержания подвижных форм меди, цинка и свинца. Результаты отбора проб почв также свидетельствуют о том, что концентрация подвижных форм металлов ниже установленных норм ПДК, их кумулятивного накапливания не обнаружено [7].

В целом по результатам экологических наблюдений на месторождении «Еловое» можно судить об отсутствии заметного техногенного влияния на окружающую среду района расположения опытно-промышленной установки кучного выщелачивания. По данным полевых наблюдений (июнь–август 2015 года) у рудного штабеля месторождения «Еловое» были обнаружены 2 канала размытия стенок, что может нанести ущерб экологии района и финансовые убытки предприятию за счет потери ценного компонента. В результате проведенных теоретических и практических исследований предложено оценить последствия замены используемого на месторождении прудкового орошения на капельное, что позволит повысить эффективность добычи золота за счет следующих факторов: возможность проведения работ в зимнее время, уменьшение потерь растворов на испарение, исключение разрушения

поверхности штабеля за счет отсутствие каналообразования.

Список литературы

1. Антонинова Н.Ю., Борисков Ф.Ф. Методологические основы реабилитации территорий установок кучного выщелачивания золота // Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья с извлечением благородных металлов: Труды межд. конф. – Екатеринбург, 2002. – № 3. – С. 3–6.

2. Яшкин И.А. Повышение эффективности и экологической безопасности технологии кучного выщелачивания руд // Молодежь Забайкалья: творчество и прогресс. Международная молодежная научная конференция. – Чита, 2004. – С. 68–71.

3. Брагин А.А. Применение инновационных методов золотодобычи // Материалы XIX международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий». Новосибирский национальный исследовательский государственный университет. – Новосибирск, 2014. – С. 242.

4. Пашкевич М.А., Акименко Д.О. Разработка технологии изоляции при подготовке площадок кучного выщелачивания // Записки Горного института, т. 203 «Проблемы рационального природопользования». – СПб.: Горный университет, 2013. – С. 75–78.

5. ЗАО «ЗДК Золотая звезда» [Электронный ресурс]. – http://goldstar.kristel.ru/Company.html (дата обращения 05.10.2015)

6. Дьячкова А.В. Месторождение «Еловое» участка «Кварцевый» Саралинского золотоносного района как типовой объект Карлинского оруденения (Северна Хакасия) // «Науки о Земле. Современное состояние». III Всероссийская молодежная научно-практическая школа-конференция (31 июля – 7 августа 2015 г.): материалы конференции. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015. – С. 117–119.

7. Кузнецов В.П. Пояснительная записка к плану развития горных работ по ЗАО Золотодобывающая компания "Золотая звезда". – Минусинск: Росгеолфонд, ФГУ ТФИ, ЗАО ЗДК "Золотая звезда", 2015. – С. 77.

8. Тусупова Б.Х., Байгурин Ж.Д. Анализ воздействия горных работ и установок кучного выщелачивания золота на окружающую среду // Вестник КазНТУ. – 2013. – № 4. – С. 110.

9. Схемы орошения [Электронный ресурс]. – http://www.life-prog.ru/1_29399_shemi-orosheniya.html (дата обращения 05.10.2015)

10. Петров В.Ф., Петров С.В., Мурашов Н.М. Экологическая оценка установок кучного выщелачивания золота // Горный журнал. – 2001. – № 5. – С. 56–58.

Сведения об авторах:

Максиков Сергей Владимирович, канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры палеонтологии и исторической геологии

Дьячкова Алена Владимировна, магистр, lady_geology@sibmail.com, alena_sidlyarova@mail.ru

Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

УДК 622.838

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Еременко В.А., Есина Е.Н.

Аннотация: предложена методика мониторинга техногенной трещиноватости пород вблизи горных выработок, позволяющая оперативно прогнозировать места развития наибольших деформаций и уточнять механизмы разрушения пород при разработке структурно нарушенных и удароопасных горных массивов.

Освоение структурно нарушенных и удароопасных массивов горных пород на больших глубинах связано с ростом затрат на ведение горных работ. Вызвана данная тенденция ухудшающими горно-геологическими и геомеханическими условиями разработки месторождений на больших глубинах [1, 2]. Геологическая и техногенная нарушенность горных пород усложняет условия ведения горных

работ. Достоверный оперативный мониторинг техногенной трещиноватости массива представляет актуальную задачу для обеспечения безопасного и в то же время эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. Объективная оценка геомеханической ситуации и прогноз ее изменения на всех стадиях ведения горных работ позволяет обосновать рациональный комплекс способов и средств управления состоянием горного массива [3, 4].

В ИПКОН РАН разработан способ оценки структурно нарушенных и удароопасных массивов горных пород, позволяющий повысить безопасность и эффективность ведения горных работ путем оценки состояния массива горных пород по наблюдениям за гипсовым слоем, нанесенным на контур сечения выработки, и по визуальному отображению картируемых с помощью видеоэндоскопа скважин, отбуренных в радиальных направлениях [5-7]. Для оперативной оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород на Абаканском железорудном месторождении заложена гипсово-скважинная станция на гор. - 200 м в разведочном штреке №1 вблизи рудного тела №4 [7].

По контуру сечения выработки с помощью специального приспособления нанесен гипсовый слой (рис. 1). После перераспределения напряжений в массиве, гипсовый слой при еще незначительных деформациях начинает разрушаться в зонах концентрации напряжений на контуре выработки, что указывает на развитие во времени процессов деформирования массива горных пород [8]. Выявление местоположения зон разрушения гипсового слоя позволяет определить направление действия главных нормальных напряжений σ_1. Слой нанесен на борта выработки и кровлю, в гипсовом слое закреплены наблюдательные маячки. Одновременно с нанесением гипсового слоя на расстоянии 1-2 метра от него отбурены скважины по контуру сечения выработки в радиальных направлениях глубиной более 20 м, необходимой для определения зоны влияния выработки.

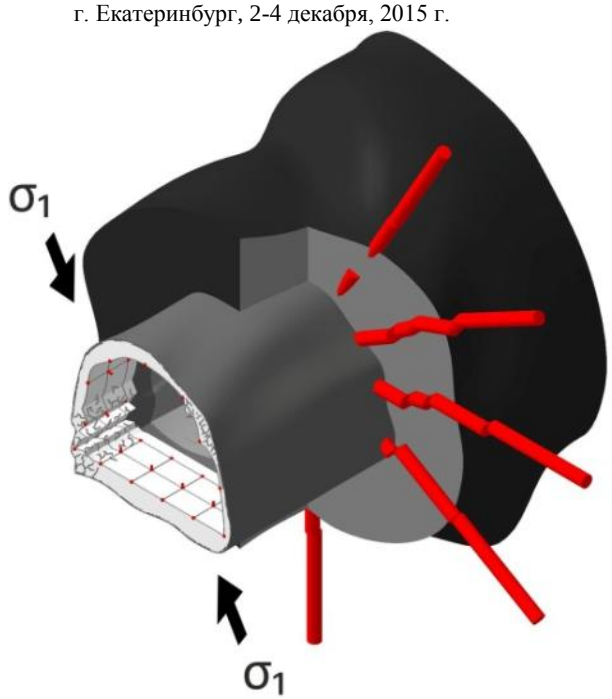


Рис. 1. Схема наблюдательной станции и механизм деформирования горной выработки.

Произведено несколько циклов измерения конвергенции выработки, путем измерения сечения гипсового слоя относительно установленных съемных наблюдательных маячков, расположенных в гипсовом слое (рис. 1, 2). Результаты измерения конвергенции гипсового слоя представлены на рисунке 3.

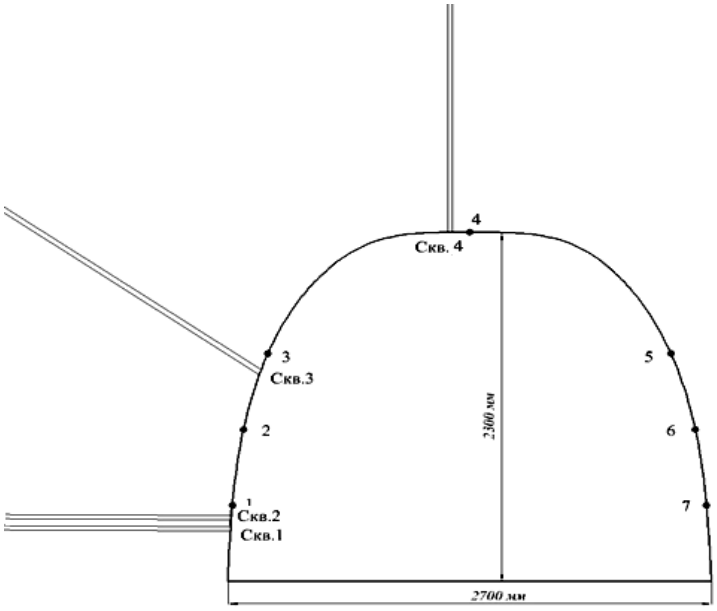


Рис. 2. Схема проведения эксперимента. 1-7 – съемные маячки.

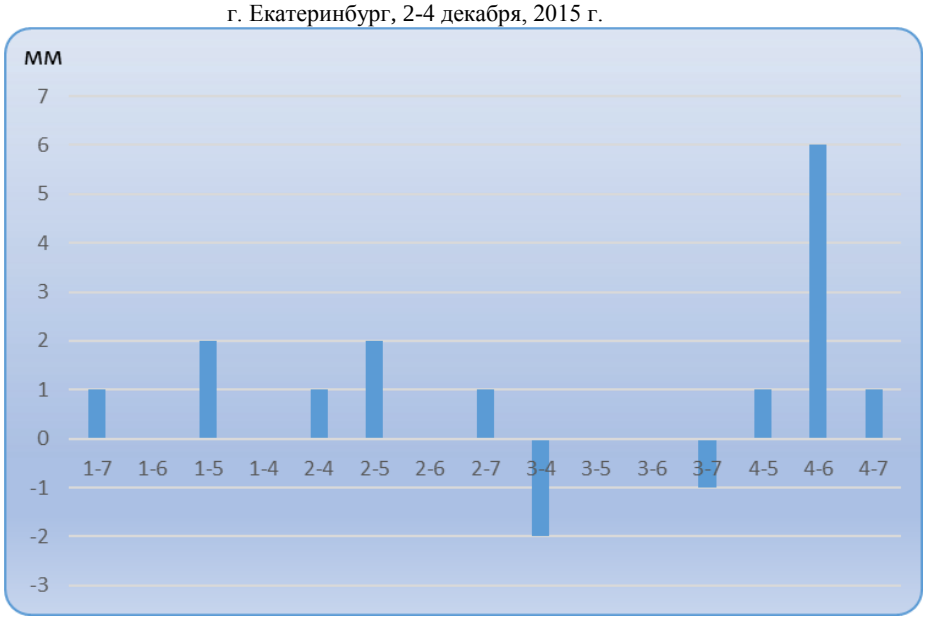


Рис. 3. Результаты измерения конвергенции выработки по реперным линиям: 1-7÷4-7.

Анализ результатов наблюдений показывает, что в наибольшей степени деформируется выработка в направлении реперной линии 4-6, что свидетельствует о характере распределения главных нормальных напряжений.

По отбуренным наблюдательным скважинам выполнено картирование массива с помощью специального оборудования (табл. 1) [7].

Таблица 1

Результаты картирования скважин

Наименование скважины	**Расстояние от устья скважины до трещин, м**	**Примечание**
Скважина 1 горизонтальная	0-0,3	Трещины техногенного характера (влияние взрыва) Скважина обводнена
Скважина 2 горизонтальная	0-0,4	Трещины техногенного характера (влияние взрыва)
Скважина 3 наклонная	0-0,45	Трещины техногенного характера (влияние взрыва)
	1,7	Одиночная трещина
	3,70	Зона нарушенности пород
	3,90	
	4,20	
	7,10	Зона нарушенности пород
	7,20	

Наименование скважины	Расстояние от устья скважины до трещин, м	Примечание
	7,50	
Скважина 4 вертикальная	1,40	Зона нарушенности пород
	2,00	
	2,50	

Измерены параметры техногенных трещин. Оборудование размещается в скважине, при обнаружении трещины, фиксируется ее местоположение, вводится измерительный щуп через устье обнаруженной трещины (рис. 4) [7].

Рис. 4. Измерение ширины раскрытия трещины.

Установлена эмпирическая зависимость конвергенции выработки от ширины раскрытия трещин в массиве в приконтурной зоне для условий Абаканского месторождения:

$$x = k \cdot \sum_{i=1}^{n} l_{i,Tp} \ ,$$

где x – конвергенция горной выработки, мм

$l_{i,Tp}$ – ширина раскрытия i-ой трещины, мм

k – коэффициент, учитывающий степень деформирования массива горных пород без разрыва сплошности, изменяется в пределах 1,1 ÷1,5 в зависимости от физико-механических свойств пород.

Таким образом, данная методика мониторинга техногенной трещиноватости пород вблизи горных выработок позволяет оперативно прогнозировать места

развития наибольших деформаций и уточнять механизмы разрушения массива в районе ведения горных работ.

Установление механизмов разрушения является необходимым элементом проектирования упрочняющих систем (крепи) позволяющих обеспечить безопасность горных работ. Мониторинг сдвиговых деформаций, осевых (продольных) смещений помогает понять механизм воздействия, например, на функциональные способности анкеров. При этом смещения могут продолжаться в течение длительного периода времени. Контроль и понимание механизмов сильного деформирования позволяет разрабатывать комбинированные упрочняющие системы, а также порядок их установки.

Исследования выполнены при поддержке гранта НШ-2918.2014.5 «Создание методологии обоснования масштабов техногенного преобразования недр Земли для устойчивого функционирования горнотехнических систем» под руководством академика К.Н. Трубецкого

Список литературы

1. Бронников Д.М., Замесов Н.Ф., Богданов Г.И. Разработка руд на больших глубинах. - М.: Недра, 1982. – 292 с.

2. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. М.: Недра, 1999. – 288 с.

3. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. и др. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. Выпуск 2. — Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — № 2. — 2015. — С. 318-319.

4. Рыльникова М.В., Еременко В.А., Есина Е.Н. Условия формирования зон концентрации энергии горного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Научная монография (специальный выпуск) — М.: Издательство «Горная книга» — 2014. — № 12.— 180 с.

5. Пат. 2566885 РФ. Способ оценки структурно нарушенных и удароопасных массивов горных пород. / М.В. Рыльникова, В.А. Еременко, Е.Н. Есина, В.Н. Лушников, Е.Н. Семенякин // Приоритет 28 ноября 2015 г. Зарегистрирован в государственном реестре изобретений РФ 01 октября 2015 г.

6. Еременко В. А., Есина Е.Н., Семенякин Е.Н. Технология оперативного мониторинга напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива горных пород // Горн. журнал. — 2015. — № 8. — С. 42-47.

7. Еременко В.А. Гипсово-скважинная станция контроля напряженно-деформированного состояния структурно нарушенного и удароопасного массива горных пород Абаканского месторождения. — ГИАБ. — № 3. — 2015. — С. 5-13.

8. Одноралов В.Н. Скульптура и скульптурные материалы. — М.: Изобразительное искусство, 1982. — 224 с.

Сведения об авторах:

Еременко Виталий Андреевич, докт. техн. наук, вед. научный сотрудник, тел. +7 926 279-39-08, e-mail: eremenko@ngs.ru.

Есина Екатерина Николаевна, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, тел. тел. +7 926 373-46-48, e-mail: esina555@list.ru

ИПКОН РАН, 111020, г. Москва, Крюковский тупик, д.4,

УДК 581.5; 632.15

ОПЫТ РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЮ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ САТКИНСКОГО ПРОМУЗЛА

Завьялов К.Е., Менщиков С.Л.

Воздействие хронического аэротехногенного загрязнения вблизи крупных промышленных центров приводит к гибели или сильному повреждению зелёных насаждений, в то время как насаждения выполняют не только важные эстетические функции, но и функцию эффективного фитофильтра и оказывают значительное положительное влияние на экологическую обстановку в городских и пригородных районах. В настоящее время создание экологически благоприятной среды в крупных промышленных центрах является важной задачей. Насаждения в промышленных центрах очищают воздух, улучшают микроклимат, локализуют и обезвреживают токсичные выбросы [1, 2]. В условиях хронических аэротехногенных загрязнений проблемой становиться лесовосстановление нарушенных земель и создание устойчивых к

аэротехногенным выбросам насаждений, восстановление их защитных и эстатических функций.

Одним из мощных источников аэротехногенного загрязнения в Саткинском районе Челябинской области является Саткинский комбинат «Магнезит». Основным компонентом аэротехногенных отходов, попадающих в атмосферу, является магнезитовая пыль, имеющая сильнощелочную реакцию (pH≈10), состоящая в основном из окиси магния. Окись магния хорошо гидратируется, образуя при соединении с водой слабую щелочь $Mg(OH)_2$ [3]. Загрязнение в данном районе относиться к щелочному типу загрязнения. В этих условиях возникла необходимость лесовосстановления нарушенных земель для создания зелёной зоны вокруг Саткинского промузла.

Наши исследования проводились (2010 г.) в окрестностях г. Сатка Челябинской области на ОУ в зоне сильного загрязнения - ОУ №2, среднего загрязнения – ОУ №5-6, слабого загрязнения – ОУ №3 и очень слабого загрязнения – ОУ №4 (условно контрольный участок). Все ОУ находятся в сходных лесорастительных условиях, кроме ОУ № 3 и 6, где отмечается повышенное плодородие почв [4]. Район г. Сатка расположен в центральной части подзоны хвойно-широколиственных и южно-таежных хвойных лесов лесной зоны Южного Урала [5]. Объекты наших исследований – опытные лесные культуры сосны обыкновенной (*Pínus sylvéstris L.*), лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii D y l.*) и березы повислой (*Betula Pendula Roth*), созданные рядовой посадкой в 1980-1983 гг. Уральской лесной опытной станцией ВНИИЛМ с целью исследования пригодности почв для лесовосстановления в различных зонах магнезитового загрязнения. При закладке опытных участков использовали следующие мелиоранты: торф слоем 12 см, торф слоем 2см, азотно-фосфорно-калийные удобрения, слабый раствор серной кислоты (для снижения показателя pH почвы). Для обработки почвы использовали специальные способы: снятие почвы на ОУ №2-4 плугом ПЛП-135 с последующим фрезерованием фрезой ФЛУ-0,8 (после внесения мелиорантов), на ОУ №5-6 глубокую вспашку плугом

ПЛН-3-35 с последующим фрезерованием, а также фрезерование без вспашки. Все обследованные участки размещены на северо-восток от источника выбросов и, согласно розе ветров, находятся в зоне основного сноса пыли [6].

В ходе обследования опытных культур установлено, что через 30 лет после посадки в зонах среднего и слабого загрязнения сохранились все виды культур. В зоне сильного загрязнения (ОУ 2) культуры большинства вариантов погибли, в некоторых вариантах сохранились отдельные экземпляры культур и только вариант березы повислой с торфом слоем 12 см в качестве мелиоранта можно считать успешным. Торф слоем 12 см в качестве мелиоранта использовался только для посадки березы повислой. Сосна обыкновенная и лиственница Сукачева в зоне сильного загрязнения (ОУ 2) сохранились отдельными экземплярами: сосна в варианте с торфом слоем 2 см, а лиственница в варианте со слабым раствором кислоты. В дальнейшем мы называем его вариант с кислотой.

С увеличением техногенной нагрузки у всех видов опытных культур снижаются показатели роста, но в разной степени (таблица). Лиственница Сукачева в условиях магнезитового загрязнения показывает лучшие показатели роста, по сравнению с берёзой повислой и сосной обыкновенной. В зоне сильного загрязнения (ОУ №2) хвойные виды в сохранившихся вариантах проявляют лучший рост, чем береза. В контроле (ОУ №4) и в зоне слабого загрязнения (ОУ №3) берёза повислая также уступает хвойным видам, кроме зоны среднего загрязнения (ОУ № 5-6), где берёзе повислой уступает сосна обыкновенная. Опытные культуры в меньшей степени снижают рост с увеличением магнезитового загрязнения в вариантах с торфом, и чем больше слой торфа, тем меньше снижается рост. Следует отметить, также влияние плодородия на рост опытных культур в условиях аэротехногенных выбросов магнезитового производства. Опытные виды культур показали разную отзывчивость на плодородие почвы в условиях загрязнения.

Таблица

Показатели древостоя на опытных участках по вариантам опыта

№ ОУ/ расстояние до источника выбросов, км	Порода	Мелиорант	Индекс повреждения	Срок жизни хвои	Дефолиация	Диаметр, см	Высота, м
Зона сильного загрязнения							
2/1	Сосна	Торф 2 см	3,75±0,10	2,4±0,08	72±3,1	9,7±0,50	5,9±0,26
	Лиственница	Кислота	1,94±0,06	-	-	7,7±0,70	5,3±0,36
	Береза	Без мелиоранта	3,48±0,13	-	60±3,25	3,3±0,35	3,6±0,25
	Береза	Торф 2 см	3,54±0,08	-	61±2,52	5,7±0,36	4,9±0,24
	Береза	Торф 12 см	3,26±0,11	-	50±2,01	9,2±0,44	7,6±0,26
	Береза	Кислота	-	-	-	4,1±0,36	4,3±0,28
	Береза	Удобрение	-	-	-	6,0±0,62	5,2±0,37
Зона среднего загрязнения							
5/3	Сосна	Без мелиоранта	2,66±0,08	3,4±0,07	45±2,04	7,2±0,33	6,9±0,20
	Лиственница	- || -	1,03±0,03	-	-	9,4±0,52	8,1±0,34
	Береза	- || -	2,37±0,06	-	36±1,04	7,1±0,25	9,4±0,58
6/3	Сосна	Без мелиоранта	3,13±0,18	2,8±0,11	47±4,72	9,7±0,75	7,2±0,49
	Лиственница	- || -	1,38±0,07	-	-	9,6±0,34	9,7±0,29
	Береза	- || -	2,23±0,06	-	32±1,19	9,0±0,34	9,9±0,27
Зона слабого загрязнения							
3/5	Сосна	Без мелиоранта	1,2±0,11	3,9±0,18	15±1,63	19,4±0,53	12,8±0,20
	Лиственница	- || -	1,02±0,01	-	-	15,7±0,54	12,3±0,30
	Береза	- || -	1,1±0,07	-	11±1,29	11,4±0,92	10,6±0,29
Контроль							
4/10	Сосна	Без мелиоранта	1,13±0,06	4,0±0,14	10±1,71	16,1±0,52	12,7±0,27
	Лиственница	- || -	1,00±0,01	-	-	20,2±0,60	13,7±0,28
	Береза	- || -	1,21±0,09	-	12±0,76	9,6±0,53	10,1±0,41

По отзывчивоти культур к плодородию в условиях загрязнения можно выстроить следующий ряд по мере уменьшения: берёза → сосна → лиственница. С изменением степени загрязнения установлено изменение индекса повреждения древостоя и величина средней дефолиация, характеризующие степень повреждения древостоя. Наиболее поврежденны культуры, приближенные к источнику выбросов (таблица). С увеличением степени загрязнения идёт возрастание среднего индекса повреждения древостоя и величины средней дефолиации. Наименьшая степень повреждения отмечена у лиственницы, а наибольшая у сосны. Анализ показал, что внесение торфа в почву при посадке культур березы повислой снизило степень повреждения древостоя. С увеличением загрязнения отмечено уменьшение срока жизни хвои сосны обыкновенной. В результате наших исследований мы установили, что в зоне сильного загрязнения можно создавать культуры, применяя при посадке торф в достаточных количествах (например, низинный торф слоем не менее 12 см). Создание культур в зонах среднего и слабого загрязнения возможно из любых исследуемых видов без каких-либо специальных мелиорантов.

Список литературы

1. Григорьев В.П., Юргенсон Н.А. Адсорбционная способность соснового насаждения и его устойчивость к промышленным эмиссиям // Экология. 1982. № 6. С. 14-21.

2. Харитонов Л.П. Роль кроны в перехвате промышленных выбросов // Влияние промышленного загрязнения на лесные экосистемы и мероприятия по повышению их устойчивости: Тезисы докладов к всесоюзному научно-практическому совещанию. Каунас: “Райде”, 1984. С. 110-111.

3. Носырев В.И. Вредное воздействие магнезитовой пыли на древесную растительность // Лесное хозяйство. 1962. № 1. С. 18-21.

4. Менщиков С.Л., Кузьмина Н. А., Мохначев П.Е. Воздействие атмосферных выбросов магнезитового производства на почвы и снеговой покров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. № 5(37) 2012. С. 221-224.

5. Колесников Б.П. Леса Челябинской области // Леса СССР. М., 1969. Т. 4. С. 125-157.

6. Менщиков С.Л. Исследование экологических особенностей роста и обоснование агротехники создания культур хвойных пород в условиях магнезитовых запылений: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. Свердловск, 1985. 20 с.

Сведения об авторах:

Завьялов Константин Евгеньевич, канд. сельск. наук, научный сотрудник, тел. 89068125245, факс: 8(343)322-56-47, zavyalov.k@mail.ru

Менщиков Сергей Леонидович, докт. сельск. наук, зав. лаб. экологии техногенных растительных сообществ, тел. 8(343)322-56-47, факс 8(343)322-56-47, msl@botgard.uran.ru

Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург ул. Билимбаевская 32[a]

УДК 519.711.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Зобнин Б.Б., Макаров В.В., Вожегов А.В.

В настоящее время отсутствует научная постановка и методы решения эколого-технологических задач освоения минеральных ресурсов в условиях неопределенности. Эколого-технологические проблемы возникают в процессе функционирования горных предприятий как природно-технологических комплексов. Например, к основным экологически неблагоприятным факторам при утилизации углей относятся следующие:

– выбросы газа метана, сопутствующего углям при их добыче;

– образование в огромных количествах твердых отходов при добыче, обогащении и использовании углей;

– нарушение целостности земной поверхности и недр.

Природно-технологические комплексы относятся к сложным объектам, для которых необходимо одновременно решать несколько проблем: проверять достоверность данных, оценивать состояние диагностируемого объекта, проводить аналитические исследования и имитационное моделирование ситуаций, оптимизировать параметры технологического процесса и обеспечивать

согласованное взаимодействие многочисленных участников производства. Решаемые проблемы относятся к слабо формализованным задачам с неявной логикой.

Иерархическая концептуальная модель нестационарного природно-технического комплекса, состоящая из трех множеств элементов - объектов, процессов и ресурсов (данных), - на которых определены связи и отношения. Модель включает иерархию объектов (составных частей объекта исследования), отражающую их организационные взаимоотношения. Каждому объекту может приписываться набор процессов, имитирующих преобразование некоторого набора входных ресурсов в выходные. Ресурсы атрибутированы списками допустимых значений, что позволяет проводить анализ и расчет ресурсов элементов модели, а также осуществить контроль адекватности, логической корректности и разрешимости модели с детальностью вплоть до отдельных ресурсов. Модель специализирована на применение экспертных знаний и ГИС-технологии.

Так, техногенные минеральные образования (ТМО) классифицированы по принадлежности к предприятиям, образовавшим отходы (горнодобывающие, обогатительные, металлургические, ….), по типам образования ТМО (отвалы забалансовых руд, вскрышных и вмещающих пород, шламохранилища, шлакохранилища) по количеству накопленных отходов, по состоянию геолого-технологической изученности объектов, степень промышленного использования, генезис ТМО, особенности строения ТМО, химический состав ТМО, физико-механические свойства, запасы ТМО, технология переработки ТМО, экологические характеристики отходов, потребление отходов).

Процедура применения знаний для комплексного оценивания риска сценариев разрешения проблемной ситуации включает в себя следующие этапы [1]:

- построение продукционной модели знаний;
- построение структурной модели знаний;
- построение возможных сценариев разрешения проблемной ситуации;

- оценка вероятностей реализации сценариев;
- комплексная оценка риска.

Кроме того, использование разработанной когнитивной модели позволяет производить:

1) Обнаружение разладки процесса;

2) Определение состояния объекта;

3) Разрешение конфликтных ситуаций, связанных с определением разладки процесса различными методами, в том числе, методы отбраковки аномальных измерений;

4) Прогнозирование состояния объекта;

5) Адаптация системы к изменениям объекта (не только параметрическим, но и структурным).

Гибкость разрабатываемой системы реализуется за счет поддержки четырех типов моделей:

1) Модель «Скрипт» – осуществляется на скриптовом языке MVEL в режиме выполнения приложения;

2) Модель «Подготовленная» – это заранее подготовленная к исполнению написанная на языке Java и предоставленная в качестве jar пакета. Модель должна реализовывать интерфейс типа IModel;

3) Модель «Автопостроения» – реализует основные методы построения моделей по экспериментальным данным. Данные могут поступать из различных источников: БД, файла или могут быть введены вручную. Методы построения зависят от конкретных требований и от возможностей входящих в систему WEKA (нейронные сети, регрессия, кластеризация, деревья решений, ассоциации) и от встроенных возможностей системы (нечеткая кластеризация, нейро-нечеткие сети).

4)Модель «Нечеткого вывода» – позволяет включать в систему нечеткие модели, построенные на основе знаний конкретного человека (Например, технолога, руководителя). Таким образом, для расширения возможностей системы пользователь имеет в своем распоряжении, как инструментарий самой

среды, так и инструментарий системы WEKA.

С позиций динамики изменения запасов техногенного сырья, в ТМО различаются четыре основных сценария развития ТМО. Сценарий развития ТМО характеризуется долей запасов, вовлеченных в переработку, стоимостью товарной продукции, полученной в результате переработки, связанными с этим затратами и уровнем риска экономических потерь.

При первом сценарии ТМО сформировано, и движения запасов нет. Во втором случае запасы ТМО растут. В третьем – происходит его отработка, и запасы убывают. В четвертом – одновременно существуют прирост и выбытие запасов. Последний сценарий является наиболее общим, а первые три могут быть рассмотрены как частные случаи. Сценарии, относящиеся к четвертой группе, могут отличаться годовой производительностью.

Ущербы, связанные с наличием ТМО, при первом сценарии остаются постоянными при условии неизменности ставок платы за отходы и отсутствия перехода в состояние S_2. Под ущербом понимается, как экологические платежи, так и другие затраты на содержание ТМО.

Запасы техногенного сырья в ТМО и масса j-го компонента в конце i-го интервала времени G_{ji} удовлетворяют балансовым соотношениям:

$$V_{i+1}= V_i + P_{i+1}- F_{i+1}, \qquad (1)$$

$$G_{j,i+1}= Gj_i + m_{j,i+1}- f_{j,i+1},$$

где P_{i+1}, $m_{j,i+1}$- объем сырья и масса j-го компонента, поступившие в ТМО в течение (i+1)- интервала времени;

F_{i+1}, $f_{j,i+1}$- объем сырья и масса j-го компонента, израсходованные из запаса, находящегося в ТМО, в течение (i+1)- интервала времени.

При переработке техногенного сырья расход F_{i+1} ограничен снизу показателем рентабельности переработки:

$$F_{i+1}> F_н \qquad (0.1)$$

Линеаризованное выражение для содержания j-го компонента в запасе имеет вид:

$$\alpha_{ji} = Gj_i/ V_i \approx\alpha_0+ 1/ V_0 (Gj_i- \alpha_0* V_i), \qquad (3)$$

где α_0 – планируемое среднее содержание j-го полезного компонента в рудной шихте;

V_0 – средний переходящий уровень запаса техногенного сырья, который может быть использован для подшихтовки.

В общем случае прирост доли запасов в (k+1)-ом году, по сравнению с предыдущим, описывается соотношением /2/**:**

$$\Delta M_k = M_{k+1} - M_k = g_k (1 - M_k) - f_k * M_k, \; g \geq 0, \; f \geq 0, \qquad (4)$$

где g_k – доля запасов, вовлеченных в переработку в k –м году;

f_k – доля выбывших запасов в k-м году;

k = 0,1,2,…

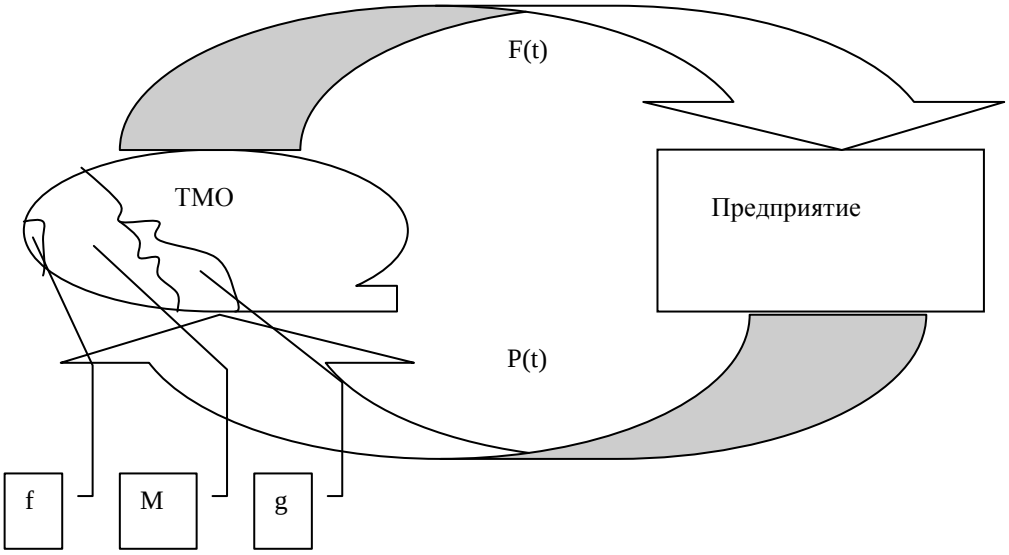


Рис. 1 Схема материальных потоков, характеризующих обращение отходов на действующем предприятии

Доля запаса, дополнительно вовлеченного в переработку в течение k-го интервала, является функцией определяющих факторов, таких, как цены продукции на мировом рынке, дефицит обогащаемой руды при использовании техногенного сырья для подшихтовки в технологической схеме, являющейся источником отходов и т.д.

Выбытие запасов может быть обусловлено аварийными ситуациями, связанными, например, с прорывом дамбы шламохранилища, а также процессами гипергенеза, происходящими в ТМО.

Доля запасов, вовлеченная в переработку в (k+1)-ом году, связана с долей запасов, вовлеченных в переработку в k-ом году, соотношением:

$M_{k+1}=g*(1-M_k)-f*M_k=a_{1k}*M_k+g_k$, (5)

где a1k=gk+fk,

что соответствует линейному разностному уравнению первого порядка с переменными коэффициентами.

Из выражения (5) следует, что путем последовательных вычислений можно определить все Mk при k=1,2,…:

$M_1=a_{10}M_0+g_0$,

$M_2=a_{11}M_1+g_1=a_{11}a_{10}M_0+a_{11}g_0+g_1$.

где M0 – начальное значение доли общего запаса, вовлеченного в переработку.

Пусть в начальный момент времени M0 =0.1, g0=0.02, f0=0.01. Тогда, в соответствии с (5), имеем следующий убывающий ряд: 0.1, 0.013, 0.0104, 0.0103,…

Для определения точки равновесия, когда доля общего запаса, вовлеченного в переработку в течение некоторого отрезка времени не меняется, подставляя условие Mi+1=Mi в уравнение (5) имеем:

$g*(1-M°)-f*M*=0$. (6)

Следовательно, $M^*=\frac{g}{g+f}$.

Для уравнения (6) состояние равновесия вычисляется по формуле:

$M*=a_0/(1-a_1)$. (7)

В зависимости от значения коэффициента a_1 возможны четыре ситуации: монотонная сходимость к состоянию равновесия; осциллирующая сходимость; монотонная расходимость и осциллирующая расходимость.

Динамика материальных потоков при различных сценариях развития иллюстрируется рисунком1. На правой оси ординат отложены значения, соответствующие общим запасам ТМО в тысячах тонн, на левой оси – скорости изменения запасов в тысячах тонн в год. Цена деления по оси абсцисс соответствует одному году.

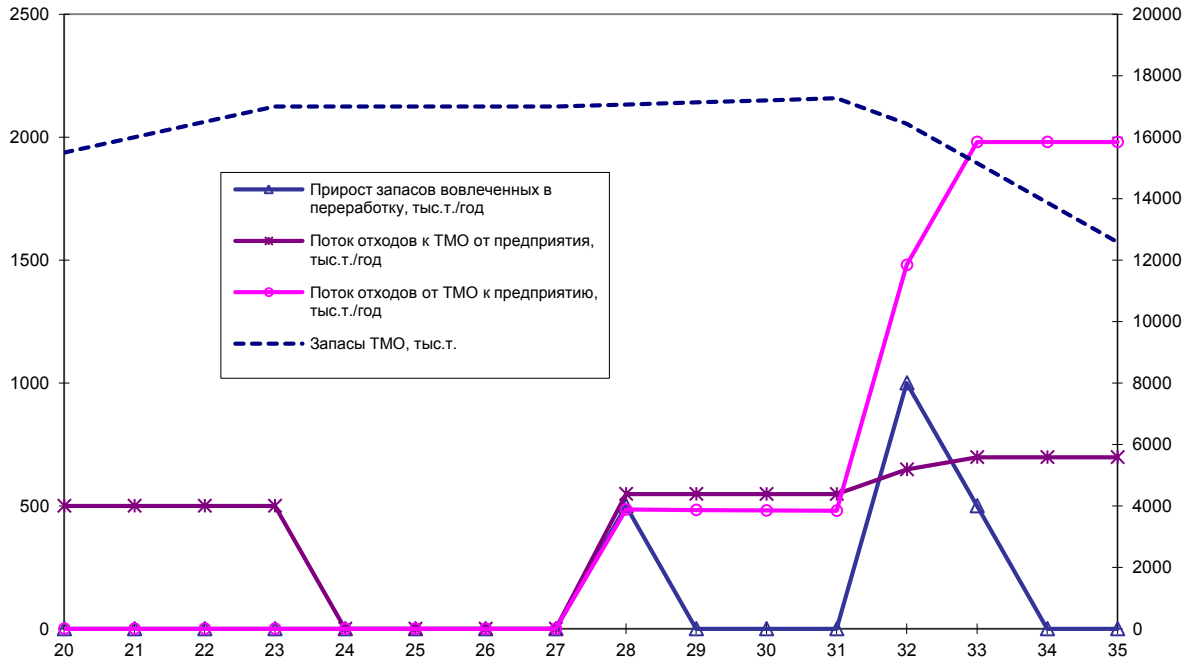


Рис. 2. Динамика материальных потоков ТМО при различных сценариях развития

Список литературы

1. Б.Б. Зобнин, С.В. Ендияров Проектирование подсистемы когнитивного моделирования// Актуальные проблемы современной науки, техники, образования, Магнитогорск, МГТУ, 2011, т.2

2. С .И. Мормиль, В.Л. Сальников, Л.А. Амосов, Г.Г. Хасанова, А.И. Семячков , Б.Б. Зобнин, А.В. Бурмистренко Техногенные месторождения Среднего Ур + ала и оценка их воздействия на окружающую среду. М.: НИА – Природа, 20+02, 206 с.

3. В.Г. Лисиенко, О.Г. Дружинина, Б.Б. Зобнин, В.И. Рогович, А.Ф.Никифоров, В.И. Уткин Энерго-экологический анализ, программное обеспечение и снижение эколого-экономического ущерба. ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ» Екатеринбург, 2005, 309 с.

4. Б.Б. Зобнин Эволюция техногенных минеральных образований как источников экономического и экологического рисков. Известия Уральского

государственного горного университета. Серия: горное дело, 2005, вып.21,С.138-143

Сведения об авторах:
Макаров Владимир Валериевич, к.т.н., УГГУ
Зобнин Борис Борисович, д.т.н., проф., УГГУ
Вожегов Артем Владимирович, магистр, УГГУ

УДК 504.05

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫЛ-ТАШТЫГ (ВОСТОЧНАЯ ТУВА)

Кальная О. И., Аюнова О. Д., Прудников С.Г., Кенден О. А.

В настоящее время в Туве происходит интенсивное освоение месторождений полезных ископаемых. Вместе с тем, любая разработка месторождений неизбежно приводит к возникновению экологических рисков. В данной статье рассматриваются основные экологические проблемы и пути их решения в период освоения Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения.

Кызыл-Таштыгское сульфидное колчеданно-полиметаллическое месторождение расположено в центральной части хребта Академика Обручева в 190 км к северо-востоку от г. Кызыла. Горный отвод и прилегающая территория месторождения принадлежат водосборному бассейну реки Большой Енисей. Главная рудная залежь приурочена к верховьям реки Ак-Хем.

Освоение Кызыл-Таштыгского месторождения проводится китайской компанией «Лунсин». Проектный срок эксплуатации предприятия при производственной мощности комбината по добыче и переработке руды в количестве 1 млн. тонн/год составляет 14 лет. Разработка месторождения осуществляется комбинированным способом: в течение первых 6 лет – открытым способом в карьере; в последующие годы – подземным способом. Способ переработки руды – флотационный, селективный с выпуском цинковых, медных и свинцовых концентратов. В июне 2015 года Кызыл-Таштыгский ГОК введен в

эксплуатацию. Производственная мощность комбината пока не достигла проектной.

В течение 2008-2015 гг. на территории Кызыл-Таштыгского месторождения проводились следующие виды работ: вскрытие месторождения карьером с перемещением вскрышных пород во внешние отвалы, формирование отвала вскрышных пород; планировка рельефа для строительства: обогатительной фабрики, промышленной площадки, хвостохранилища, склада ВМ, поселка и объектов инфраструктуры; дорожная планировка, строительство дорог, строительство мостов, строительство отводных канав, подрезание склонов при строительстве дорог и отводных канав; бурение скважин под взрыв на карьере; строительство жилого поселка, обогатительной фабрики, котельной, производственно-административного здания и других объектов ГОКа.

Проведение этих работ привело к техногенному преобразованию рельефа и изменению активности экзогенных геологических процессов.

По характеру воздействия горно-обогатительного комбината как фактора нарушения природных ландшафтов, выделяются прямое и косвенное его влияние на окружающую природную среду и все ее компоненты.

Прямое его влияние состоит в разрушении и преобразовании ландшафтов процессами техногенной денудации и аккумуляции, происходящими непосредственно при работе горнодобывающего производства, и опосредовано, при организации и эксплуатации компонентов инфраструктуры, обеспечивающей горное производство. Последняя включает в себя комплекс энергетических объектов, предприятий и сетей транспорта и связи, объектов водоснабжения и водоотведения, включая сооружения водоочистки, рабочий поселок, иные объекты, необходимость которых диктуется особенностями технологии горного производства, первичного передела сырьевых материалов, обеспечения работающих на ГОКе необходимыми продуктами питания и другими материальными благами.

Косвенное воздействие горнодобывающего предприятия состоит в загрязнении природных объектов токсичными выбросами и выпусками,

загрязнителями, рассеивающимися при дефляции отвалов, эксплуатации энергетических объектов, бытовыми отходами.

Общая площадь воздействия на природные почвенно-растительные компоненты ландшафта оценивается в 100 км^2.

Согласно «Требований к мониторингу…, 2000» [1] установлены три зоны воздействия (Рисунок 1).

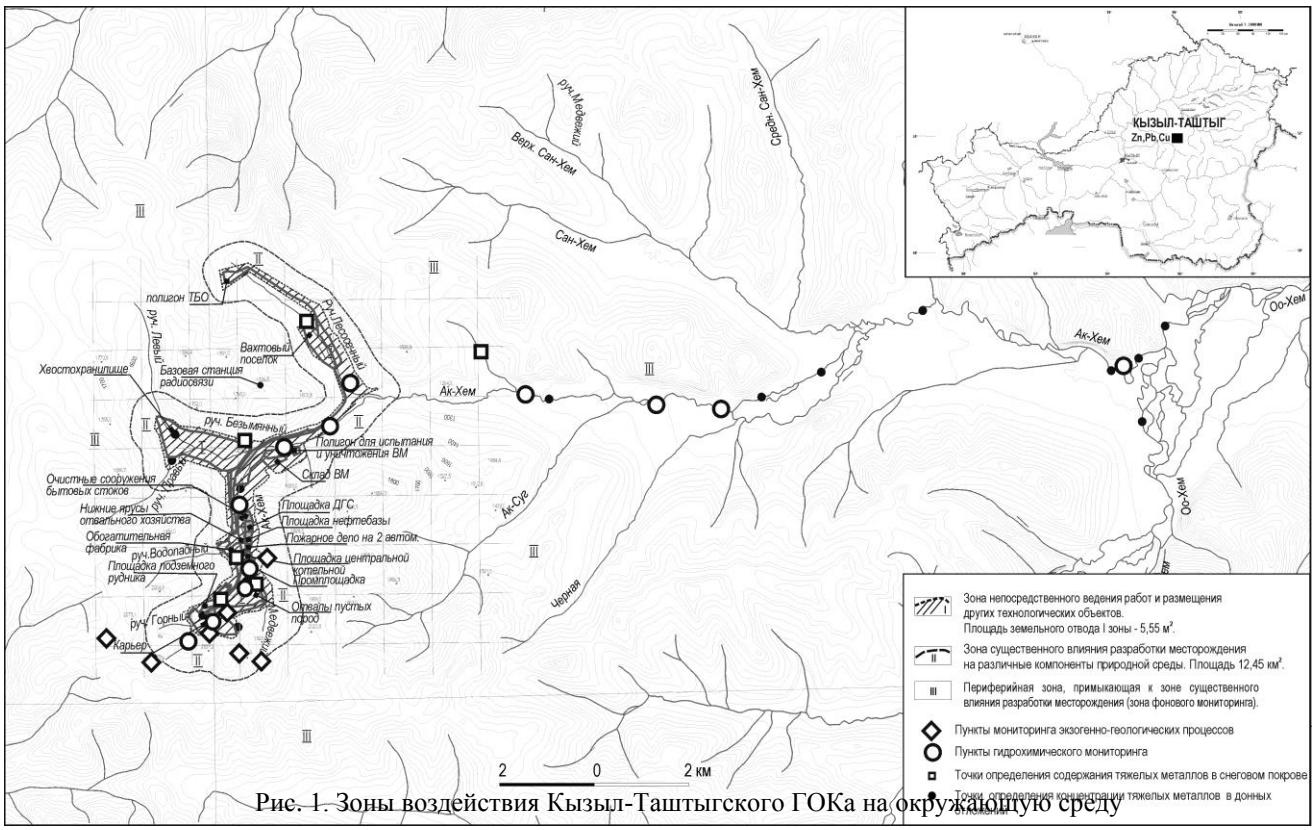


Рис. 1. Зоны воздействия Кызыл-Таштыгского ГОКа на окружающую среду

Зона I - непосредственного ведения горных работ и размещения других технологических объектов, влияющих на изменение состояния недр в пределах границ земельного отвода (прямого наибольшего техногенного воздействия). Площадь зоны 4,285 км^2 (428,5 га).

Зона II – существенного влияния разработки месторождения на различные компоненты природной среды, устанавливается по распространению участков (площадей) активизации опасных геологических процессов под влиянием добычи полезного ископаемого. Площадь 18 км^2.

Зона III – периферийная зона, примыкающая к зоне существенного влияния разработки месторождения (зона фонового мониторинга).

Охватывает весь бассейн верхнего течения р. Ак-Хем, площадь 78 км^2.

Границы зоны III и ее площадь принимаются таким образом, чтобы в процессе мониторинга можно было проследить фоновые изменения состояния геологической среды, сравнить их с изменениями в зоне II и выделить те из них, которые связаны с разработкой месторождения и те, которые определяются другими факторами.

С целью предотвращения вредных воздействий Кызыл-Таштыгского горно-обогатительного комбината на окружающую среду Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (г. Кызыл) по договору с ООО «Лунсин», начиная с 2008 года, проводит мониторинг состояния окружающей среды в пределах горного отвода ГОКа и прилегающей территории.

В настоящее время в пределах ГОКа существует ряд экологических проблем, которые рассмотрим покомпонентно:

Геологическая среда. *Эндогенные геологические процессы***.** Месторождение Кызыл-Таштыг расположено в зоне разломов, которые относятся к категории «активных», нуждающихся в дополнительном изучении и постоянном длительном наблюдении (Рисунок 2).

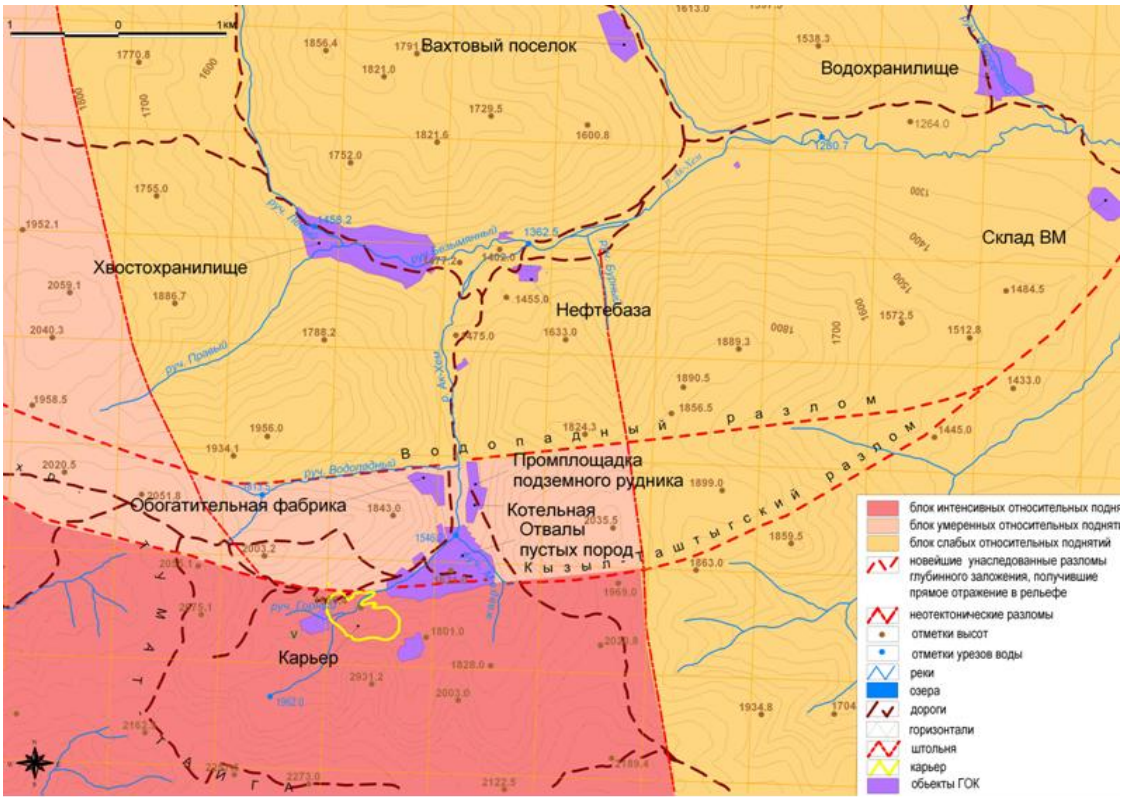


Рисунок 2. Схема новейшей тектоники района Кызыл-Таштыгского месторождения

В ходе разработки месторождения в радиусе 50-ти километровой зоны ожидаются землетрясения с энергетическим классом до 11-12. Этот класс землетрясений может вызвать обвалы отвесных бортов карьера, легкие повреждения зданий, коммуникаций, объектов инфраструктуры Кызыл-Таштыгского горно-обогатительного комбината и представляет угрозу для жизни людей.***Экзогенные геологические процессы.*** Интенсивное освоение месторождения привело к активизации экзогенных геологических процессов. Техногенное воздействие вызвало усиление обвальных и осыпных, оползневых, эрозионных процессов и лавинообразование. *Масштабы этих явлений ограничены локальным распространением в пределах зон непосредственных нарушений рельефа, но могут представлять опасность для людей и техники.* На Рисунке 1 отмечены места наиболее активного проявления экзогенно-геологических процессов.

Состояние поверхностных вод. В целом, до 2014 года, загрязнение реки Ак-Хем тяжёлыми металлами (превышение предельно-допустимых концентраций рудообразующих тяжелых металлов и железа общего) носило преимущественно природный характер. Максимальные содержания тяжелых металлов отмечались, как правило, весной, в паводковый период. На текущий момент ситуация изменилась. Выявлено, что в результате не качественного водоотведения ручья Медвежьего (Рисунок 1), правого притока реки Ак-Хем, происходит интенсивное окисление обломков руды, содержащихся в отвалах, которые складируются в русле выше названного ручья. В ходе окисления в воду ручья поступает огромное количество рудообразующих тяжелых металлов. В июле 2014 года отмечено следующее превышение ПДК тяжелых металлов для вод рыбохозяйственных водоемов (2):

Цинк – 12,7769 мг/л (1277,69 ПДК);

Медь – 0,1598 мг/л (159,8 ПДК);

Кадмий – 0,0832 мг/л (16,64 ПДК);

Марганец – 1,990 мг/л (19,9 ПДК);

Кобальт – 0,0101 мг/л (1,01 ПДК).

Теоретически содержание ТМ должно уменьшаться вниз по потоку от месторождения, что и отмечалось при анализе фонового состояния природной среды. В настоящее время достаточно высокое содержание ТМ прослеживается на всем протяжении реки Ак-Хем вплоть до её устьевой части, до слияния с рекой О-Хем (гидропост № 13), что ранее не фиксировалось:

Цинк – 0,1930 мг/л (19,30 ПДК);

Медь – 0,0073 мг/л (7,3 ПДК);

Марганец – 0,0101 мг/л (1,01 ПДК).

Таким образом, техногенное вмешательство наложило свой отпечаток на увеличение мутности потока и на содержание ТМ и железа общего в воде реки Ак-Хем и ниже по потоку.

Кроме этого, в связи с неготовностью к эксплуатации полигона по захоронению твердых бытовых отходов комбината, складирование последних производилось в отвалы вскрышных пород, что привело к интенсивному загрязнению поверхностных водотоков азотсодержащими компонентами. С мая 2014 года отмечается интенсивное аммонийное загрязнение поверхностных вод – практически на всех гидропостах фиксируется повышенное содержание аммоний-иона от 1,14 ПДК до 4,54 ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов. В июле отмечается повышенное содержание аммоний-иона в ручье Медвежьем – 3,56 ПДК.

Повышенная концентрация ионов аммония может быть использована в качестве индикаторного показателя, отражающего ухудшение санитарного состояния водного объекта, процесса загрязнения поверхностных вод бытовыми стоками.

Положительным фактором является отсутствие загрязнения поверхностных вод компонентами техногенного характера: нефтепродуктами, фенолами и АПАВ во все периоды обследования.

Состояние почвенного покрова. В зоне прямого воздействия почвенно-экологическая обстановка характеризуется как кризисная (Рисунок 1). В зоне

косвенного воздействия обстановка характеризуется неоднородностью: в районе хвостохранилища и карьера – опасная, в других районах – напряженная.

Состояние растительного покрова**:** в результате строительных работ на растительный покров оказано воздействие в следующих видах: в зоне прямого и частично косвенного воздействия – вырубка леса при строительстве жилого поселка, карьера и разработке месторождения, хвостохранилища; вырубка леса и нарушение растительности при строительстве подъездных путей и дорог нефтебазы, производственных площадок; загрязнение растительности нефтепродуктами, золой, шлаками и сажей происходит от дизельной станции, работающего автотранспорта, взрывных работ и т.д.

Состояние животного мира. По результатам мониторинга животного мира с 2014 г. складывается однозначный вывод о продолжающемся нарушении среды обитания, как в ближайших, так и в дальних окрестностях территории строительства комбината и его инфраструктуры. Это, прежде всего, загрязнение р. Ак-Хем материалом из карьера и с отвалов, свалками бытового мусора и пищевыми отходами. Значительную роль в обеднении окружающей фауны вносит неконтролируемое посещение работниками комбината и приезжими расположенной в окрестностях территории с целью сбора трав, даров леса, рыбалки и охоты, а также отлова ценных диких животных зачастую браконьерскими методами. Следы нахождения людей (порубки, кострища) обнаруживаются за десятки километров от комбината. Большой вред наносит и беспривязное содержание собак. Не являясь естественным элементом распространенной в районе комбината экосистемы, собаки, даже в одиночку наносят катастрофический урон фауне птиц, мелких грызунов и зайцеобразных, а также некрупных хищников семейства куньих и мелких копытных на больших территориях вокруг своих мест обитания.

Основные экологические проблемы Кызыл-Таштыгского ГОКа на текущий момент:

1. Некачественное водоотведение ручья Медвежьего, что приводит к техногенному загрязнению реки Ак-Хем тяжелыми металлами.

2. Складирование бытовых отходов комбината в отвалы горных пород в связи с отсутствием полигона ТБО, что приводит к азотному загрязнению р. Ак-Хем в пределах ГОКа и ниже по течению.

Для минимизации вредных воздействий Кызыл-Таштыгского ГОКа на окружающую среду, а также улучшения экологической обстановки в районе предприятия рекомендовано следующее:

- Горные работы по проведению траншей, разработке уступов, отсыпке отвалов должны вестись с учетом инженерно-геологических условий и применяемого оборудования в соответствии с утвержденными техническим руководителем организации локальными проектами производства работ (паспортами).
- В паспорте указываются допустимые размеры рабочих площадок, берм, углов откоса, высоты уступа, призмы обрушения, расстояний от горного и транспортного оборудования до бровок уступа или отвала. Запрещается ведение горных работ без утвержденного паспорта, а также с отступлением от него.
- На объектах открытых горных работ необходимо осуществлять постоянный контроль над состоянием их бортов, траншей, уступов, откосов и отвалов.
- Соорудить водоотведение ручья Медвежьего в соответствии с проектом (по бетонному лотку) во избежание интенсивного окисления обломков руды и загрязнения реки Ак-Хем тяжелыми металлами.
- Установить все приобретенные очистные сооружения. Оборудовать места стока вод из очистных сооружений для удобного отбора проб воды на химический и бактериологический анализы (рабочий контроль).
- В 2016 году организовать регулярное опробование сточных вод (химический и бактериологический анализы) на соответствие их требованиям, предъявляемым к сбрасываемым сточным водам.
- Ввести в эксплуатацию полигон по захоронению твердых бытовых отходов.

- Учитывая большую значимость р. Ак-Хем как входящей в систему притоков р. Верхний Енисей – нерестового бассейна ценных пород рыбы – необходимо принять срочные меры по устранению загрязнения реки и недопущения его вновь.
- Настоятельно рекомендуется избегать нецелесообразного сведения растительного покрова, засорения продуктами вырубки, несанкционированного складирования и сброса бытового мусора и стоков.
- Для сохранения существующей фауны необходимо: строго придерживаться щадящего режима эксплуатации природных ресурсов (сохранности лесов, чистоты водоёмов, минимума вторжения дорогами, площадками, производственными объектами и персоналом в естественные угодья).
- Настоятельно рекомендуется запретить содержание собак в пределах территории комбината или перевести их на строгое вольерное содержание.

Список литературы

1. Требования к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых. М. 2000. (согласованы с Госгортехнадзором, утверждены МПР РФ 04.08.2000 г.).

2. Правила охраны поверхностных вод (Типовые положения) – утв. Госкомприроды СССР 21.02.1991. – М., 1991.

Сведения об авторах:
Кальная Ольга Ивановна, канд. геогр. наук, с.н.с., e-mail: kalnaja@mail.ru
Аюнова Ольга Дмитриевна, н.с., e-mail: tikopr@tuva.ru
Прудников Сергей Григорьевич, канд. геол.-минер .наук, с.н.с., e-mail:tikopr@tuva.ru
Кенден Олеся Александровна, аспирант, e-mail: tikopr@tuva.ru
Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (ТувИКОПР СО РАН), 667007, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Интернациональная, д. 117а
Телефон-факс 8 (39422) 66218, телефон – 8 (39422) 66214, 8 (39422) 66232

УДК 553.41:553.065

ECOLOGICAL ASPECTS OF THE KOUPOL GOLD DEPOSIT FIELD DEVELOPMENT (ASSESSMENT OF DEGREE OF TOXIC POLLUTION OF SURROUNDING HYDROSPHERE)

Raisa A. Kemkina, Igor' V. Kemkin, Anastasiya A. Borisenko

Abstract.

Mineralogical-geochemical research of the Koupol deposit ores have shown that they are represented by the large variety of ore minerals containing a wide spectrum of chemical elements many of which are toxic. The results of modeling of physicochemical processes of ore minerals transformation under conditions of hypergenesis show that interaction of these minerals with natural oxidants resulted in their dissolution, oxidation and, partially, new mineral phases formation. However, the largest part of them passes into aqueous solution in a form of different ions and by means of drainage waters migrates into local surface watercourses, causing high concentration of toxic elements in them.

Introduction

Any natural materials, including ore minerals represents potential sources of environment pollution and ecological hazard in case the concentration of toxic chemical elements in them exceeds the clarke. Obviously, that the impact degree of toxic elements on the environment is in direct proportion of their concentration in water, air, soil and food, and the last (i.e., concentration) depends from rate of mobilization of these elements. On the other hand, rate of mobilization of chemical elements is depends from physical and chemical stability of mineral phases containing them, as well as a form of their occurrence into the crystal lattices of ore minerals (e.g., mineral-forming or isomorphic). In this connection, the data on mineralogical and geochemical composition of primary ores may serve as a direct indicator of range of potential toxicants polluting the environment. This information is very important because not all ore mass mined turn into marketable product (only 10-20% of all volume of extracted ore mass [1]). More than 4/5 of ore mined is accumulated in form of waste of ore-dressing in special facility called tailings dam, where this unclaimed ore mass undergoes oxidation, dissolution, hydration and hydrolysis by means of interaction with rain water, atmospheric oxygen and carbon dioxide, bacteria, etc. As a result of hypergenic processes high-mineralized aqueous solutions, containing different ionic

forms of toxic elements are formed, which penetrate to local hydrosphere by means of drainage waters.

Using of method of mathematical modeling of physicochemical processes of disintegration and transformation of the primary ore minerals that based on thermodynamic calculations of mineral-forming processes in hypergene conditions is useful tool for quantitative assessment of ecological hazard of the unclaimed ore mass. This method allows find out which toxic elements and in which ionic forms and amounts will migrate from tailings dam into environment. Correspondingly, this knowledge allow more correctly develop the complex of nature-conservative measures for any ore deposit, as well as select more safe and effective technologies of extraction and ore-dressing treatment for the purpose of reduction of degree of ecological hazard caused by mining industry for surrounding hydrosphere.

Methods

The modeling of processes of hypergenic disintegration of ore minerals onto chemical elements various ionic forms that enrich poral aqueous solution, from which new mineral phases are partially crystallized was carried out by means of the software «Selector-Windows». The main essence of computer modeling of natural mineral formation including formation of minerals as a result of chemical reactions in the system water (solution) - rock (mineral), is based on representation of the Gibbs free energy change (ΔG) and its desire to minimize [2, 3]. The Gibbs energy (ΔG) is a thermodynamic function of a system state, which is a criterion of its equilibrium and chemical reactions direction and which is determined by changes of isobaric-isothermal potential (i.e., integral functions of the enthalpy - H, entropy - S and temperature - T). Thermodynamic calculations of chemical reactions of mineral formation are based on using pre-calculated values of change of standard isobaric-isothermal potential of formation of chemical compounds that are determined as reactions of simple substances. The software "Selector-Windows» does not calculate chemical reactions. It finds the global minimum of a thermodynamic potential (i.e., minimum of the Gibbs free energy) and determines the mineral paragenesis on this basis.

Thus, skipping details of methodological and mathematical description of

principle of the ΔG minimizing, it should be noted that using of the software «Selector-Windows» allow us find out physical-chemical features of irreversible processes of mineral transformation at different conditions including hypergenic zone.

The following thermo-barometric conditions were chosen for modeling: T=25^{0}C, P = 1 atm., annual rainfall = 800 mm. Composition of rainwater was adopted in accordance with [2] - N_3^-, N_2^-, NH_4^-, NH_4N_3, HNO_2, NH_4NO_3, NH_4OH, NH_4NO_2, NH_3, H_2CO_3, HCO_3^-, CO_3^{2-}, $C_2O_4^{2-}$, CH_4, O_2, H_2, N_2, Ar, He, Kr, Ne, OH^-, H^+, H_2O, NO_3, HNO_3, pH = 5.66. Atmosphere composition according Horne [4] is as following – N - 53.9478, O - 14.4847, C - 0.0104, Ar - 0.3209 (mol/kg).

Result and discussion

The Kupol deposit ores belong to the gold-sulfosalt mineral type of the gold-silver formation. Mineralogical and chemical composition study of the ores shows that they are characterized by wide variety of the ore minerals which are mainly represented by native gold and silver, intermetalloids, selenides (fishesserite, naumannite, aguilarite), sulfides (pyrite, marcasite, chalcopyrite, sphalerite, galena, acanthite, utenbogaardite, stromeyerite, sternbergite, arsenopyrite) and sulfosalts of silver and copper (pyrargyrite, proustite, stephanite, pearceite, polybasite, billingsleite, freibergite, tennantite, tetrahedrite). For many of these minerals a several generations have been established that testify the multiphase process of ore formation. The ores are characterized by colloform-barded, frame-platy, crustified, and cockade globular structures, which are typical for volcanogenic gold-silver deposits that have been formed at surface-close conditions. Besides that, granular, metacolloidal, corrosions and properly crystalloblastic structures are also occur.

Based on X-ray spectrum analyses, a number of toxic elements were established in the Kupol deposit ores. They are Cu, Pb, Cd, Zn, Fe, Sb, As, Te, Bi, Se and Hg, concentrations of which are considerably vary in different ore minerals. Concentrations of these elements are directly dependent on the form of their occurrence in the crystal lattice of ore minerals. Their contents are as following (in wt %): As - 0.96-42.29, Pb - 0.02-85.11, Cd - 0.01-1.71, Zn - 0.04-65.80, Cu - 0.79-40.80, Fe - 0.38-33.94, Se - 1.58-24.87, Sb - 0.89-25.50, Bi - 0.02-0.19, Te - 0.07-0.77, Hg - 0.11-1.27.

For the purpose of qualitative and quantitative assessment of potential ecological pollution of area adjacent to the Koupol deposit modeling of physical and chemical processes of transformation for most common ore minerals was done. For example, interaction of 1 g of silver-copper-containing galena ($Pb_{0.87}Cu_{0.08}Ag_{0.10}S_{0.89}Se_{0.06}$) with 100 liters of rain water in equilibrium with atmosphere is resulted in crystallization of 1.1077 g of anglesite ($PbSO_4$) and enrichment of aqueous solution by cations $PbOH^+$, PbO, $AgNO_3$, AgOH, CuO, $CuOH^{+1}$ and anions HSO_4^-, SO_4^{-2}, $HSeO_3^-$, $HSeO_4^-$, SeO_4^{-2}, the total concentration of which makes up 1.144 for cations and 0.514 for anions mg/liter of water. The pH of solution is reduced to 5.0549. The greatest number of ions in the aqueous solution are represented by $AgNO_3$ (0.726 mg/liter of water) and $CuOH^{+1}$ (0.275 mg/liter of water).

Modeling of processes of oxidation and dissolution of 1 g of cadmium-copper-iron-containing sphalerite ($Zn_{1.01}Fe_{0.03}Cu_{0.02}Cd_{0.02}S_{0.92}$) in interaction with 100 liters of water contained in equilibrium with the atmosphere shows that this mineral is completely dissolved forming 0.6128 g of the new mineral phases, which are represented by sulphates - kornelite $Fe_2(SO_4)(H_2O)_7$, antlerite $Cu_3SO_4(OH)_4$, broshantite $Cu_4SO_4(OH)_6$, chalcanthite $CuSO_4(H_2O)_5$, biankite $ZnSO_4(H_2O)_6$, goslarite $ZnSO_4(H_2O)_7$, and gunningite $ZnSO_4(H_2O)$. The remaining portion of primary mineral (about 50 %) transforms into cations Cd^{+2}, $CdOH^+$, CuO, $CuOH^+$, $Fe(OH)_4^-$, ZnO^+, $ZnOH^+$ and anions HSO_4^-, SO_4^{-2} and proceeds into solution, pH of which is reduced to 1.1611, that is caused by high concentration of sulfuric acid anions (9.5762 mg/kg H_2O or mg/liter of water). Cadmium, copper and zinc ions amount in the resulting solution makes up respectively 0.295, 0.123 and 9.364 mg/liter.

However, degree of toxic impact on the environment increases by several orders, if all natural association of ore minerals is undergone by hypergenic processes. For example, modeling of process of simultaneous oxidation and dissolution of all ore minerals of the Koupol deposit shows that interaction of 647.599 g (1 mole of all mineral mixture) with 100 liters of rain water equilibrated with the atmosphere results in crystallization of 241.881 g of new mineral phases – kornelite (13.3003 g of $Fe_2(SO_4)(H_2O)_7$), feldspar (119.2533 g of $K(AlSi_3)O_8$), mirabilite (31,9974 g of

$Na_2SO_4(H_2O)_{10}$), montmorillonite (70,3346), rutile (4.2445 g of TiO_2), senarmontite (0.1335 g of Sb_2O_3), which make up about 40 % of primary amount. The remaining 60 % of primary mineral mixture comes into aqueous solution in the form of various ions, total concentration of which is 100476.3047 mg/liter of water. These ions are $AgNO_3$, AgOH, $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)_3$, $AlH_2AsO_4^{+2}$, $AlH_3SiO_4^{+2}$, $AlHAsO^{4+}$, $AlOH^{+2}$, $AlSO_4^+$, $Ca(HSiO_3)^+$, $CaAsO_4^-$, $CaCO_3^+$, $CaH_2AsO_4^+$, $CaHAsO_4^+$, $CaHCO_3^+$, $CaOH^+$, $CaSO_4^+$, Cd^{+2}, $CdOH^+$, CuO, $CuOH^+$, $CuAsO_4^-$, $CuH_2AsO_4^+$, $CuHAsO_4^+$, $Fe(OH)_4^-$, $H_2SeO_3^+$, $H_3AsO_4^+$, $HAsO_4^-$, HSO_4^-, $HSbO_2^+$, $HSeO_3^-$, $HSeO_4^-$, $KAsO_4^{-2}$, $KH_2AsO_4^+$, $KHAsO_4^-$, $KHSO_4^+$, KOH^+, KSO_4^-, $NaAl(OH)_4^+$, $NaAsO_4^{-2}$, $NaH_2AsO_4^+$, $NaHAsO_4^-$, $NaHSiO_3^+$, $NaOH^+$, $NaSO_4^-$, $PbH_2AsO_4^+$, $PbHAsO_4^+$, PbO^+, $PbOH^+$, SO_4^{-2}, $Sb(OH)_3^+$, SbO_2^-, SeO_4^{-2}, $Ti(OH)_4^+$, $ZnAsO_4^-$, $ZnH_2AsO_4^+$, $ZnHAsO_4^+$, ZnO+, $ZnOH^{+1}$. The greatest amounts among these ions fall on (in mg/l) Al^{+3} (176.01), $AgNO_3$ (52.967), $CuOH^{+1}$ (75.01), KH_2AsO_4 (28.083), KSO_4^- (194.17), и $ZnOH^{+1}$ (21.969). Somewhat lesser amounts of ecological hazardous elements are contained in such compounds as Cd^{+2} (0.45), $CaH_2AsO_4^+$ (3.24), $HSbO_2$ (2.025), $Sb(OH)_3$ (1.973), $PbOH^+$ (0.523) и $HSeO_4^-$ (0.356).

Results of computer modeling show that concentrations of toxic elements in drainage water exceeds maximum concentration limit (MPC– maximum permitted concentration) of natural waters in hundreds and thousands times. For example, $CuOH^{+1}$ concentration is 75.01 mg/liter. In terms of pure copper it will be 59.07 mg/liter (Cu makes 78.75% of $CuOH^{+1}$) that exceeds the MPC 5907 times. Arsenic makes about 42 % of KH_2AsO_4 (28,083 mg/liter), i.e., 11.76 mg/liter that exceeds the MPC 235 times. Content of other toxic elements similarly calculated show that Ag exceeds MPC 667 times, Sb - 60, Pb - 500, Se – 220 and Cd – 90 times. The concentration of SO4-2 calculated from anions CaSO4, KHSO4, KSO4 и NaSO4 makes up 136 mg/liter of water, that reduce the pH of aqueous solution to 1.2281 (strongly acidic solution).

Summary

The results of computer modeling of physicochemical processes of transformation of ore minerals in the zone of hypergenesis show that the extracted and accumulated into tailing dam unclaimed ore mass represents a greatest ecological threat.

Hence, for purpose to minimize risk of ecological hazard for hydrosphere and

biosphere it is necessary to apply such technologies of mining operations and ore-dressing, which will provide a comprehensive extraction of all ore minerals.

Acknowledgements

This study was financially supported by Grant of the President of the Russian Federation (No. 1159.2014.5) and Grant of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (No. 15-1-2-013-2).

References

1. Trubetskoy K.N., Galchenko Y.P. Nature and man: the contradiction and ways to overcome them. Vestnik RAS, 2002, no 2. [in Russian].

2. Jushkin N.P., Pavlishin V.I. Mineralogical problems of ecology. Mineralogical Magazine, 1991, no 2, 36-45. [in Russian].

3. Karpov I.K. Physico-chemical computer modeling in geochemistry. Nauka, Novosibirsk, 1981. [in Russian].

4. Karpov I.K., Kiselev A.I., Letnikov F.A. Modeling natural mineral on the computer. Nedra, Moscow, 1976. [in Russian].

Сведения об авторах:

Кемкина Раиса Анатольевна, доцент, канд. геол.-мин. наук, e-mai: rkemkina@yandex.ru
Кемкин Игорь Владимирович, профессор, докт. геол.-мин. наук, e-mail: kemkin@fegi.ru
Борисенко Анастасия Андреевна, студентка, e-mail: rkemkina@yandex.ru
Дальневосточный Федеральный Университет, 690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, Приморский край, Россия

УДК 553.41:553.065

ASSESSMENT AND PREDICTION OF POTENTIAL TOXIC POLLUTION OF ENVIRONMENT BY MINING INDUSTRY OBJECTS (ON AN EXAMPLE OF PRASOLOVKA ORE DEPOSIT)

Raisa A. Kemkina, Igor' V. Kemkin, Lidiya A. Sal'nikova

Abstract.

The article discusses questions related to the integrated use of mineralogo-geochemical research methods of ore deposits under exploration and mathematical modeling of behavior of ore minerals in the hypergene zone for qualitative and quantitative assessment of potential ecological threat of pollution by toxic elements, that is one of aspects of risk reducing of technogenic disasters related to the mining activities of human.

Introduction. The specificity of mining of ore deposits is that the final

(marketable) product when extracting three or four useful components takes about 10-20% of all volume of the mined ore mass [1]. Larger part of the mined ore material with significant concentrations of various ore-forming chemical elements, including toxic, are accumulated in the form of waste of ore-dressing (so-called "tails") placed in special facility called tailings dam. Obviously, that the unclaimed portion of the ore material being extracted to the earth surface as a result of hypergene processes (weathering) undergoes oxidation, dissolution, transformation to other mineral forms and aqueous solutions that significantly affects the environment in the mine adjacent areas [2]. This is due to at least two reasons. Firstly, the extraction and warehousing at the ground surface the fine-crushed ore-rock mass increases the natural oxidants access to the ore minerals (e.g. water, oxygen, carbon dioxide, bacteria, etc.). Secondly, in the tailings dam, the area of interaction of oxidants with ore minerals is much higher than in natural ore bodies. All these together significantly accelerates processes of oxidation, dissolution, hydration of the ore-rock mass and promote carryover into the environment in the form of aqueous solutions a large number of different chemical elements including toxic ones. In this connection, the studies on evaluation and prediction of potential ecological threat of warehoused wastes of ore-dressing are highly relevant because ultimately aimed at the preservation of ecological balance in Nature and the creation of safe living conditions.

Methods. Undoubtedly that the mineralogical investigations (i.e. detailed study of the material constitution of ores) even at the early stages of study of ore deposit may help to identify the most important quality characteristics and technological parameters of ores (which is important for the choice of mining operations technology and ore-dressing), as well as the range of potential toxic elements contained in them. Thus, having executed complex of mineralogical and geochemical research of ore material, even at the stage of ore deposit exploration (before passing it to commercial development) it is possible to determine composition of potential ecologically hazardous elements contained in its ores. Knowing the main industrial component of ores, it is possible qualitatively estimated which toxic elements will be concentrated in the tailings dam.

For the quantitative assessment of ecological hazard of the unclaimed ore mass it is necessary to clarify the geochemical behavior of ore minerals in the hypergene setting in compliance with those climate conditions where tails are warehoused. If ore deposits under development, and waste of ores processing are located in the tailings dam, this problem can be solved by detailed mineralogical and geochemical investigations of hypergene (secondary) minerals that form in the tails bulk. The further comparison of the data of chemical compositions of hypogene (primary) and hypergene minerals will show which chemical elements have migrated from technogenic system into the environment. In addition, geochemical analysis of drainage water stemming from the dumps and tailings dam forming technogenic system allows us establish the composition, ionic forms and concentration of toxic elements migrating to the environment. Taking into account the climatic features of the area of warehousing of unclaimed ore material (mainly annual rainfall) it is easy to determine the amount of toxic elements passing into the environment and to assess the extent and degree of ecological threat.

For ore deposits that are in the exploration stage, this problem can be successfully solved using mathematical modeling of physical and chemical processes of transformation of the primary ore minerals and formation of new mineral phases based on the thermodynamic calculations of mineral-forming processes in subsurface (zone of hypergenesis) system, tending to physical-chemical equilibrium. It is known that during formation of ore bodies within the rock masses an isolated equilibrium system is formed in which all chemical elements are bounded into mineral phases, i.e., their mobility is extremely low. However, equilibrium of the system is impaired when ore-rock mass is moved to the hypergene zone where it undergo oxidation, dissolution, hydration and hydrolysis as a result of interaction with atmosphere, water, microorganisms, and some other oxidants. In this case, the system tends to equilibrium again due to transition of some elements into aqueous solution in the form of various ions, and crystallization of new mineral phases.

One means of mathematical modeling is the computer software "Selector-Windows» (developers I.K. Karpov, K.V. Chudnenko, V.A. Bychinskii [3, 4]). The

software "Selector-Windows» does not calculate chemical reactions. It finds the global minimum of a thermodynamic potential (i.e., minimum of the Gibbs free energy) and determines on this basis the mineral paragenesis. The Gibbs energy minimization method implies both the equilibrium aqueous solution with its components and minerals falling out of it, and the equilibrium of aqueous solution and its components and minerals with a primary rock-mineral mass. This method does not require additional costs because clarification of mineral and chemical composition of ores is an essential part of studying of any ore deposit that is needed for calculation of useful mineral reserves, and for choice of mining technology, ore-dressing, and etc. Using of this method will allow us define a productive technologies of ore extraction and ore-dressing before starting commercial production of deposit and also competently develop a set of effective environmental protection measures reducing the degree of negative impact on the environment. Efficiency of this method can be demonstrated on an example of the Prasolovka gold deposit.

Result and discussion. According to the data of mineralogical and geochemical study [5], the Prasolovka gold deposit ores are represented by native metalls and intermetallic, tellurides, selenides, sulfides and sulfosalts of Cu, Pb, Ag, Bi. The main ore minerals are as following: native gold, silver, tellurium, pyrite, marcasite, chalcopyrite, galena, acanthite, proustite, calaverite, krennerite, sylvanite, clausthallite, naumannite, roquesite, different-composition tennantite-tetrahedrite-goldfieldite fahlores and others, total amount of which comes nearer to 50. These minerals comprise 15 chemical elements of the periodic system - Zn, Pb, Cu, Mo, Fe, As, Sb, In, Bi, Cd, Te, Se, S, Ag, Au, and only 2 of them (Ag and Au) are not toxic. Concentrations of these elements vary considerably in different mineral classes (Table 1), that is caused by form of their occurrence into the crystal lattices of various ore minerals - mineral-forming or isomorphic.

However, according to the technical and economic requirements, the total content of each of the above elements are not sufficient for integrated mining operations. Therefore, the main industrial components for the Prasolovka deposit are only minerals and mineral phases of Au and Ag. It is naturally that the ore minerals not containing

these elements will fall into the tailings dam. Obviously, that unclaimed portion of the ore material which have been extracted and located at the ground surface will represent a serious ecological threat to local hydrosphere and the environment as a whole.

Table 1

Limits of content fluctuations of toxic elements in the different mineral classes of the Prasolovka gold deposits (wt %).

Elements	**Mineral classes**				
	Native metalls and intermetallic	**Sulfides**	**Selenides**	**Tellurides**	**Sulfosalts**
As	0.18-0.82 (2)	0.13-2.15 (7)	0.37-3.58 (17)	0.31-3.24 (3)	1.17-18.00 (66)
Pb	-	0.09-84.43 (11)	2.88-79.95 (23)	-	0.12-2.53 (4)
In		48.24 (1)	-	-	-
Cd	-	0.01-0.42 (8)	-	-	-
Te	0.01-99.85 (7)	0.01-2.84 (9)	0.08-28.44 (17)	0.07-62.59 (50)	0.06-25.91 (60)
Cu	0.06-4.78 (5)	0.01-77.45 (31)	0.46-35.67(12)	0.10-8.84 (6)	1.13-47.42 (68)
Fe	0.05-0.22 (2)	0.07-46.48 (18)	0.20-0.33 (3)	0.05-0.86 (4)	0.05-6.70 (48)
Se	0.19-1.16 (2)	0.01-5.58 (18)	19.85-50.04 (22)	0.20-7.47 (11)	0.12-7.49 (39)
Sb	1.29 (1)	0.01-2.26 (8)	0.41-1.78 (5)	3.32 (1)	0.26-25.32 (62)
Bi	-	0.18 (1)	0.02-18.40 (11)	52.83 (1)	0.13-40.42 (8)
Zn	0.23 (1)	0.01-64.77 (16)	0.12-0.67 (8)	0.28 (1)	0.04-7.68 (57)

Note: "-" – the element was not detected; in parentheses - the number of samples.

For the purpose of qualitative and quantitative assessment of potential ecological pollution of area adjacent to the Prasolovka deposit modeling of physical and chemical processes of transformation for most common ore minerals was done. Two variants of tasks were considered during modeling - geochemical behavior of an individual mineral in interaction with natural waters and atmosphere, as well as their totality in order to determine the potential ecological hazard of an individual mineral and, accordingly, their natural association. All models were chosen uniform thermo-barometric conditions - T = 25^0C and P = 1 atm. The composition of rainwater is adopted in accordance with [3] - N_3^-, N_2^-, NH_4^-, NH_4N_3, HNO_2, NH_4NO_3, NH_4OH, NH_4NO_2, NH_3, H_2CO_3, HCO_3^-, CO_3^{2-}, $C_2O_4^{2-}$, CH_4, O_2, H_2, N_2, Ar, He, Kr, Ne, OH^-, H^+, H_2O, NO_3, HNO_3, pH = 5.66. Atmosphere composition according Horne [6] is as following – N - 53.9478, O - 14.4847, C - 0.0104, Ar - 0.3209 (mol/kg).

The results of modeling show that in both variants (is it one mineral or mineral association) a large amount of toxic metals comes into aqueous solution. In case of oxidation of sulfides, for example, 1 mole of cadmium-containing sphalerite (97 g of $Zn_{0.96}Cu_{0.01}Cd_{0.01}S_{1.03}$) in 1 ton of water, contained in equilibrium with the atmosphere, this mineral is completely dissolved forming 258.76 g of the new mineral phase $ZnSO_4(H_2O)_6$ (biankite). The remaining portion of the original mineral transforms into cations Cd^{+2}, CdO, $CdOH^+$, Cu^{+2}, CuO, $CuOH^+$ and anions HSO_4^-, SO_4^{-2} and proceeds in the solution, pH of which is reduced to 4.0078 that is caused by high concentration of sulfuric acid anions (6.7259 mg/kg H_2O or mg/liter of water). Cadmium and copper ions amount in the resulting solution makes up respectively 1.125 and 0.635 mg/liter.

Interaction of 1 mole of galena (239.27 g of PbS) with 1 ton of water in equilibrium with air resulting in crystallization of 265.40 g anglesite ($PbSO_4$) and enrichment of aqueous solution by cations of Pb^{+2}, $PbOH^+$, PbO and anions of $HPbO_2^-$, HSO_4^-, SO_4^{-2}, the total concentration of which makes up 38.004 mg/liter of water. The pH of solution is reduced to 5.0549. The greatest number of ions in the aqueous solution are represented by Pb^{+2} (24.116 mg/liter of water) and $PbOH^+$ (1.896 mg/liter of water).

Much more ions (both in quantitative and qualitative terms) of toxic metal to aqueous solution produce selenides and tellurides.

For example, computer modeling of the oxidation of 1 mole tellurium-contained selenide of lead and bismuth (i.e., 652 g of the mineral phase $Ag_{0.3}Cu_{0.7}Pb_{0.5}Bi_{0.5}As_{0.5}Sb_{0.48}Te_{0,02}Se_3S_{1,0}$) with 1 ton of water equilibrated with the atmosphere shows that as a result of this interaction 114.38 g of Bi_2O_3 (bismite), 140.67 g of $PbSO_4$ (anglesite) and 80.87 g of Sb_2O_5 (antimony oxide) are crystallized. But about half of primary mineral moves into an aqueous solution in form of following ions - $AgCO_3^-$, Ag^+, $AgNO_3$, AgOH, AsO_4^{-3}, Bi^{+3}, BiO^+, BiO_2^-, $BiOH^{+2}$, Cu^+, Cu^{+2}, CuO, $CuOH^+$, $H_2AsO_4^-$, $HSeO_3$, H_3AsO_4, $HAsO_4^{-2}$, $HBiO_2$, HSO_4^-, $HSeO_4^-$, Pb^{+2}, PbO, $PbOH^+$, SO_4^{-2}, SeO_4^{-2}, the total concentration of which is 610.26 mg/liter of water. About 2/3 from these ions are anions of selenous, selenium, arsenic and sulfuric acid, which causes an increase of acidity of the resulting solution to pH = 4.1323.

The toxic metal ions maximum concentrations (mg/liter) fall on Cu^{+2} (44.479),

Pb^{+2} (7.432), BiO^{+} (1.726 or 1.61 translated on Bi^{+3}), $H_2AsO_4^{-}$(69.38 or 37.46 translated on As_3^{+}), $HSeO_3$ (383.92 or 238.03 translated on Se^{+6}). Taking in to account the values of maximum concentration limit (MPC) for natural waters, it is clearly visible that Cu concentration exceed MPC of 4447.9 times, Pb - 7432, Bi - 3.22, As - 749, and Se - 238030 times.

Thus, the results of computer modeling clearly show potential ecological hazard of hypergenic transformation of each ore mineral. However, degree of toxic impact on the environment increases by several orders, if all natural association of ore minerals is undergone hypergenic processes. The results of modeling of process of simultaneous hypergenic transformation of all ore minerals of the Prasolovka deposit are good evidence for this. As a result of interaction of all ore minerals with 1 ton water equilibrated with the atmosphere, a little over half of the primary mineral mixture (approximately 55% of 11282 g) are transformed into the secondary minerals - bismuth sulfate (2108.92 g of $Bi_2(SO_4)_3$), hematite (229.15 g of Fe_2O_3), anglesite (1831.51 g of $PbSO_4$), biankite (1261.47 g of $ZnSO_4(H_2O)_6$), antimony oxide (1365.15 g of Sb_2O_5) and hlorargirit (143.25 g of AgCl). The remaining part of mineral mixture comes into aqueous solution in the form of various ions, total concentration of which is 10291.74 mg/liter of water. These ions are $AgCO_3^{-}$, Ag^{+}, AgCl, $AgCl_2^{-}$, $AgNO_3$, AgOH, AsO_4^{-3}, Bi^{+3}, BiO^{+}, $BiOH^{+2}$, Cd^{+2}, $CdCl^{+}$, $CdCl_2$, $CdOH^{+}$, Cl^{-}, Cu^{+}, Cu^{+2}, $CuCl^{+}$, $CuCl_2$, CuO, $CuOH^{+}$, Fe^{+2}, Fe^{+3}, $FeCl^{+2}$, FeO^{+}, $FeOH^{+2}$, $H_2AsO_4^{-}$, $HSeO_3$, H_3AsO_4, $HAsO_4^{-2}$, $HBiO_2$, HCl, $HFeO_2$, HSO_4^{-}, $HSeO_4^{-}$, Pb^{+2}, $PbCl^{+}$, $PbCl_2$, $PbOH^{+}$, SO_4^{-2}, SeO_4^{-2}. The greatest amounts among these ions fall on (in mg/l) Ag^{+} (130.28), $AgNO_3$ (224.96), Cd^{+2} (1.13), Cu^{+2} (2951.41), $H_2AsO_4^{-}$ (920.02), $HSeO_3$ (1074.59), H_3AsO_4 (324.77), HSO_4^{-} (612.65), Pb^{+2} (0.14) и SO_4^{-2} (4012.23). Concentrations of ions Ag^{+}, Cd^{+2}, Cu^{+2} и Pb^{+2} exceed MPC (maximum concentration limit) of natural waters respectively of 2606, 226, 295141 and 140 times, and ions of arsenic and selenium translated onto As^{+3} и Se^{+6} respectively 666246 and 13195 times (Fig. 1). It should be noted that high concentrations of anions of selenous, arsenic and sulfuric acids reduce pH of the aqueous solution to 2.6939, turning it into strongly acidic solution.

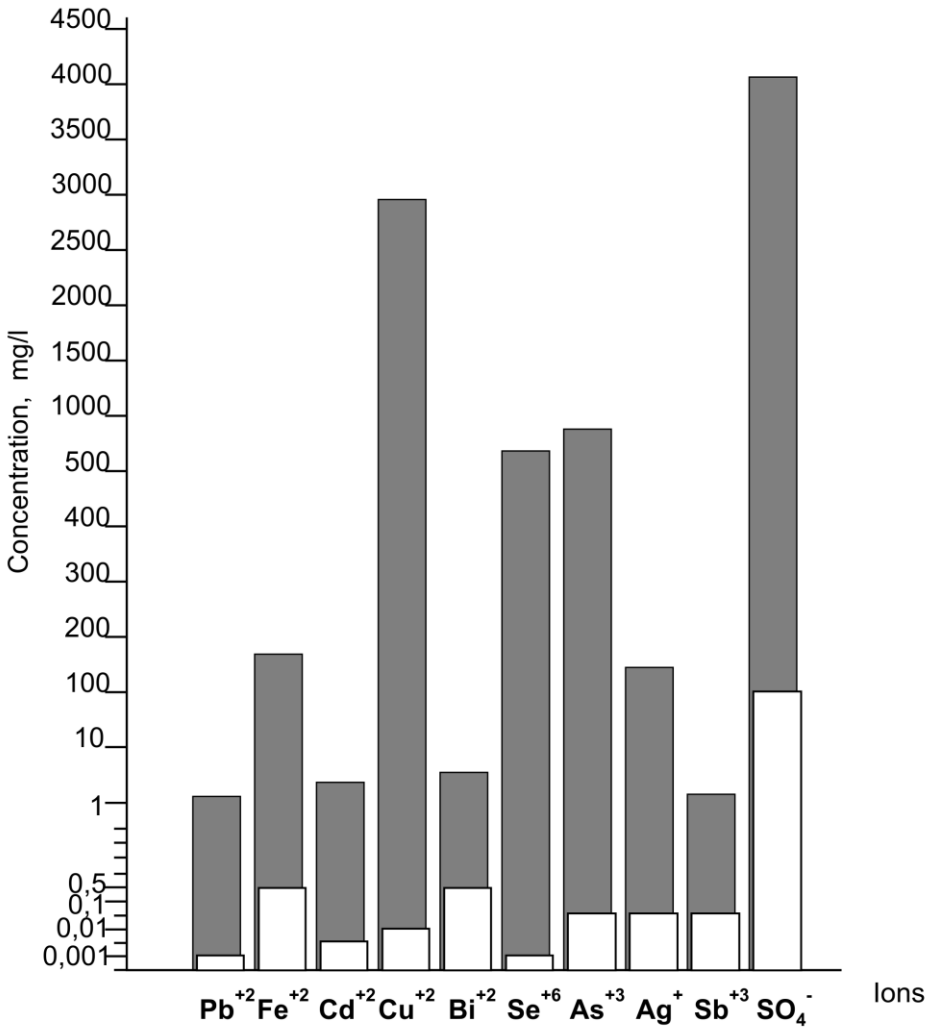


Fig. 1. Concentrations of different toxic elements ions

White rectangle – maximum concentration limit (MPC – maximum permitted concentration), grey rectangle – calculated concentration of the toxic elements ions in aqueous solution.

The degree of ecological hazard can be illustrated more tellingly by amounts of toxic elements (in kg) that penetrate into the local hydrosphere for the year as a result of spontaneous migration from technogenic objects. For example, the content of $H_2AsO_4^-$ according to the computer modeling is 920.02 mg/l, or 0.920 kg/ton of water. Taking into account the annual rainfall in the deposit area (1000-1300 mm) and average area of tailings dam (60000 m2, i.e. 200x300 m) it is easy to calculate that amount of rain water which will fall on this area equal to 60000 tons. Correspondingly, the $H_2AsO_4^-$ amount, which will be dissolved and take out by this volume of water will be about 55.2 tons. In terms of pure arsenic it will be 29.26 tons (arsenic makes 53% of $H_2AsO_4^-$). Predictable amounts of other toxic elements that will penetrate into the local hydrosphere during the year are calculated in the same way (see Table 2).

Table 2

Predictable amounts of toxic elements (kg/year)

Elements	**Pb**	**Fe**	**Cd**	**Cu**	**Bi**	**Se**	**As**	**Sb**	**H_2SO_4**
Amount	81	9630	130	177085	302	39972	48945	85	240734

The results of realized modeling of physical-chemical processes of transformation of the Prasolovka deposit ore minerals are fully verified by the data of geo-ecological research (hydrochemical study of drainage water and surface water) in the areas of concentration of mining and tailings dams [7-11, etc.].

Summary. Thus, the results of computer modeling show that the extracted and accumulated in tailing dam unclaimed ore mass represents a greatest ecological threat. Due to oxidation and dissolution of low quality ore mass accumulated in mining dumps and tailings dam, some part of it are transformed into a new mineral phases forming so-called secondary enrichment ore. However, about half of the primary ore mass, according to the results of modeling, dislocate into aqueous solution and in form of drainage water penetrate into local hydrosphere causing high concentrations of toxic elements in surface water. Getting into surface water, toxic metals are included in the trophic chain from plankton to zoobenthos and free-floating organisms and create a serious ecological threat to biosphere.

Acknowledgements. This study was financially supported by Grant of the President of the Russian Federation (No. 1159.2014.5) and Grant of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (No. 15-1-2-013-2).

References

1. Trubetskoy K.N., Galchenko Y.P. Nature and man: the contradiction and ways to overcome them. Vestnik RAS, 2002, no 2. [in Russian].

2. Jushkin N.P., Pavlishin V.I. Mineralogical problems of ecology. Mineralogical Magazine, 1991, no 2, 36-45. [in Russian].

3. Karpov I.K. Physico-chemical computer modeling in geochemistry. Nauka, Novosibirsk, 1981. [in Russian].

4. Karpov I.K., Kiselev A.I., Letnikov F.A. Modeling natural mineral on the computer. Nedra, Moscow, 1976. [in Russian].

5. Kemkina R.A., Kemkin I.V. Chemical composition of ores and mineralogo-

geochemical methods of assessment of potential environmental contamination by toxic elements. Dal'nauka, Vladivostok, 2007. [in Russian].

6. Horne R. Marine Chemistry. Mir, Moscow, 1972. [in Russian].

7. Ivashov P.V. Chemical composition of mineralization as a factor of potential environmental contamination by heavy metals in the vicinity of the facility "Mnogovershinnyi mine", in: Biochemical and ecological studies of natural and manmade ecosystems Far East. Dal'nauka, Vladivostok, 1996. pp. 3-22. [in Russian].

8. Sotnikov V.I. Effect of ore deposits and mining on the environment. Soros Educational Journal, 1997, no 5, 62-65. [in Russian].

9. Kalabin G.V. Ekodinamika technogenic provinces of the North. KSC, Apatity, 2000. [in Russian].

10. Tarasenko I.A., Zinkov A.V. Ecological effects of mineralogical and geochemical transformations tailings Sn-Ag-Pb-Zn ore. Dal'nauka, Vladivostok, 2001. [in Russian].

11. Bozhedomova S.A. Environmental impact of mining on the environment of the East Kazakhstan region. The Electronic Journal of Research and Educational "Polysphere", 2005, no 3 (http://www// polysphere.freenet.kg / / news / / print.php ? id = 69). [in Russian].

Сведения об авторах:
Кемкина Раиса Анатольевна, доцент, канд. геол.-мин. наук, e-mail: rkemkina@yandex.ru
Кемкин Игорь Владимирович, профессор, докт. геол.-мин. наук, e-mail: kemkin@fegi.ru
Сальникова Лидия Александровна, студентка, e-mail: rkemkina@yandex.ru
Дальневосточный Федеральный Университет,690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8, Приморский край, Россия

УДК 574.57:579.64 (271.17)

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ГИДРООТВАЛА УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ИНЯ (КУЗБАСС)

Кириллов В.В., Жоров В.А., Безматерных Д.М., Бурмистрова О.С., Винокурова Г.В., Долматова Л.А., Дьяченко А.В., Зарубина Е.Ю., Котовщиков А.В., Крылова Е.Н., Соколова М.И., Трошкова И.А. Эйрих А.Н., Эйрих С.С.

Введение

Экологическое воздействие строительства плотин на речные экосистемы изучено достаточно хорошо. Значительно меньше исследованы экологические последствия, связанных с ликвидацией искусственных водоемов. Спуск водохранилищ производится, чаще всего, в случае истечения срока эксплуатации плотины, как следствие ее износа и нахождения в аварийном состоянии, а также в связи с тем, что финансовые средства, необходимые для ремонта плотины и ее содержания, могут намного превышать стоимость спуска водоема и демонтажа плотины [1]. Но, при спуске водохранилища возникает множество вопросов, связанных, в первую очередь, с возможными негативными экологическими последствиями осушения значительных по объему и разнообразных по химическому составу, включая токсические вещества, донных отложений.

Цель данной работы - оценка современного экологического состояния и возможности безопасной ликвидации водохранилища на реке Черновой Уроп, расположенном в бассейне р. Иня в Беловском районе Кемеровской области.

Объект и методы исследований

Река Черновой Уроп длиной 22 км берет начало на южном склоне Тарадановского увала, в 1,5 км юго-восточнее г. Елбан на отметках 400 м, течет на юг, впадает с левого берега в р. Уроп – правый приток р. Иня (нижняя). Для ведения на разрезе «Колмогоровский» открытых горных работ по вскрыше угольных пластов гидромеханизированным способом в 1971 г. был создан гидроотвал на р. Черновой Уроп, образованный двумя дамбами. Основная дамба расположена поперек русла реки и предназначалась для создания емкости гидроотвала. Ограждающая дамба расположена вдоль русла реки и предназначалась для создания емкости гидроотвала, секций пруда-отстойника, а

также для защиты водосбросного канала. С 1998 г. все работы на гидроотвале прекращены, технологическое оборудование систем гидротранспорта и оборотного водоснабжения демонтировано. С западной стороны гидроотвала расположен водосбросной канал, предназначенный для отвода осветленных и паводковых вод. В устье канала был расположен трубчатый водосброс для регулирования уровня воды в гидроотвале. В настоящее время сооружения водосброса полностью демонтированы. Максимальная пропускная способность канала составляет 79,5 $м^3/с$, глубина по дну до 20 м, ширина по дну 6,0 м, заложения откосов 1:2.

Емкость гидроотвала не используется для сбросов пульпы уже более 16 лет. В настоящее время большая ее часть занята заросшими сухими участками, образовавшимися из осажденных отложений вскрышных грунтов. Пруд-отстойник, водная поверхность которого осталась лишь в верховьях гидроотвала, расположен в 10 км от устья реки и используется в целях рекреации и рыборазведения. В июле-августе 2014 г. на месте расположения гидроотвала были проведены натурные гидрологические работы по оценке современного состояния гидрографической сети, включая батиметрическую съемку водохранилища на месте бывшего гидроотвала. Морфометрические характеристики водохранилища в период исследований: емкость – 2,153 млн. $м^3$; площадь зеркала – 1,75 $км^2$; средняя глубина – 1,2 м; максимальная глубина – 4,0 м. Поскольку в настоящее время никакой производственной деятельности в данном районе не ведется, произошедшие изменения в водном режиме и гидрографической структуре можно считать установившимися. Очертания современной гидрографической сети показаны на рисунке 1.

Физические, химические и биологические характеристики воды и донных отложений водохранилища были исследованы 22 июля 2014 г. на шести экологически различных участках (рис. 2). Пробы воды для определения содержания кислорода, биогенных и органических веществ состава и количества планктона, отбирали батометром из поверхностного слоя. Пробы донных отложений для исследования гранулометрических и химического составов,

определения состава и количества зообентоса отбирали дночерпателем Петерсена. Отбор проб и их последующая обработка, описание макрофитов выполнены в соответствии со стандартными методами [2, 3].

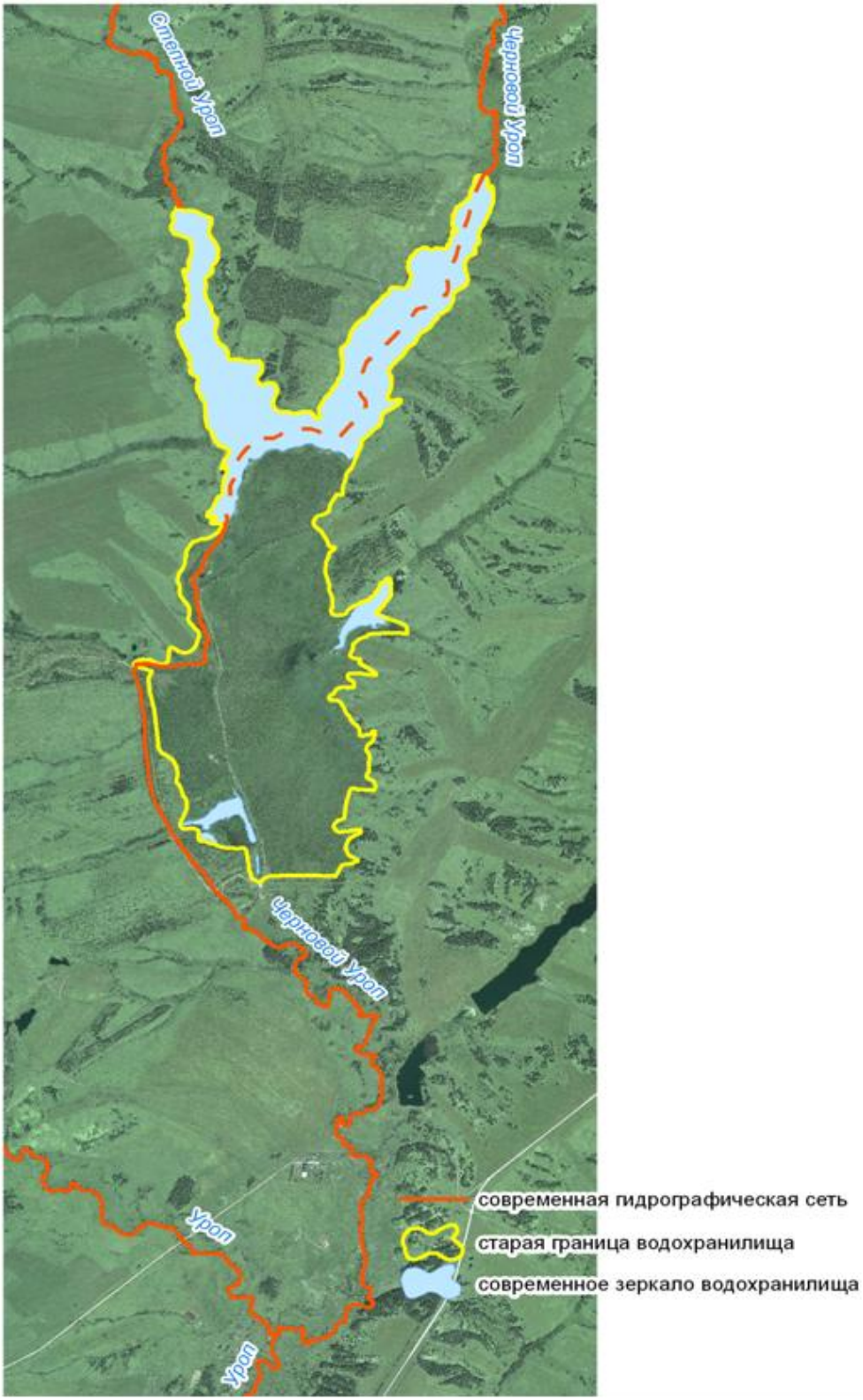


Рис. 1 Современная гидрографическая сеть

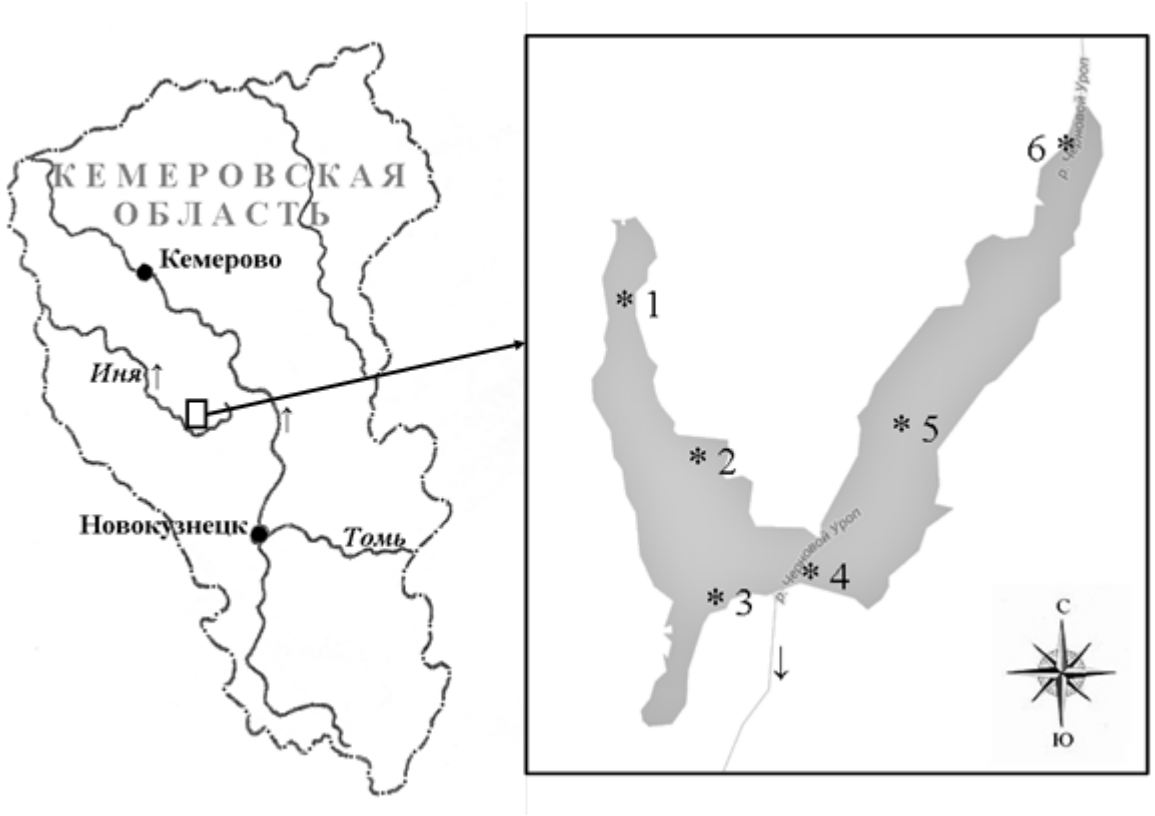


Рис. 2 Карта-схема расположения пунктов отбора проб

Результаты исследований

Гидрохимия. Активная реакция воды водохранилища является щелочной (pH в интервале 8,70–8,85), концентрация растворенного кислорода 11,2–14,9 мг/дм^3, процент насыщения 141–187 %.

В воде водохранилища содержится значительное количество растворенного органического вещества: значения БПК$_5$ - 2,37–3,17 мг O_2/дм^3, перманганатной окисляемости (ПО) – (4,27–5,29 мг О/дм^3). Количество биогенных веществ низкое - концентрации нитритов и нитратов находятся ниже предела обнаружения использованных аналитических методик, содержание фосфатов составляет 0,04–0,08 мг/дм^3, ионов аммония – 0,06–0,14 мг/дм^3, По величине минерализации [4] вода водохранилища относится к альфа–гипогалинным пресным водам (155–225 мг/дм^3), по ионному составу [5] -принадлежит к гидрокарбонатно–кальциевым водам I типа (гидрокарбонатные ионы преобладают над жесткостью). Жесткость воды составляет 1,65–2,35 ммоль/дм^3, что характерно для мягких вод.

По содержанию механических элементов донные отложения водохранилища на всех исследованных участках относятся к глинам (ГОСТ

12538-79). Доля фракций с размерами частиц менее 0,01 мм (в % на воздушно-сухую почву, по фракциям по классификации Н.А. Качинского) составляет от 44 % в центральной части водохранилища (т. 4) до 90 % на участке прилегающем к наиболее заиленной части (т. 3). Такой состав соответствует почвенному покрову побережья водохранилища, но, в случае его спуска, потребует дополнительных мер по рекультивации осушенной территории. Смыв донных отложений в речную сеть ниже водохранилища изменит морфометрию реки и изменит условия обитания гидробионтов, включая рыб, до, возможно, полного их исчезновения.

В пробах донных отложений были определено *содержание подвижных (водорастворимых) форм* 10 элементов (табл. 1). Анализы выполнены в аккредитованной лаборатории Химико-аналитического центра ИВЭП СО РАН в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-2002 и МУК 4.1.1471-03.

Таблица 1

Содержание подвижных (водорастворимых) форм тяжелых металлов в донных отложениях водохранилища на реке Черновой Уроп (мкг/кг)

№ пункта	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Co	Ni	As	Hg
1	46143	600±120	30±9	91±27	23±7	менее 1	14±4	44±13	58	0,05±0,02
2	53399	1182±236	38±11	96±29	36±11	менее 1	7±2	55±16	16	менее 0,02
3	42248	610±122	26±8	65±20	28±8	менее 1	14±4	44±13	11	менее 0,02
4	33853	587±117	19±6	52±16	19±6	менее 1	13±4	35±10	17	менее 0,02
5	61892	1040±208	39±12	95±28	33±10	менее 1	15±4	44±13	16	0,03±0,1
6	57182	2598±520	19±6	76±23	15±4	менее 1	13±4	38±11	44	0,04±0,02
Класс опасности										
	-	3	2	1	1	1	2	2	1	1
ПДК (СанПиН 2007)										
	-	-	-	23	6	Фон 0,01	5	4	-	-

Установленные концентрации соединений тяжелых металлов при значительном превышение ПДК для элементов 1 и 2 классов опасности являются основанием для отнесения донных отложений к категории «опасный» и «чрезвычайно опасный» (СанПиН, 2007). И в случае спуска водохранилища зона осушения, с учетом перспективы возможного последующего использования донных отложений в качестве почвообразующих пород, должна быть отнесена к «зоне экологической катастрофы» [6]. Исключают возможность спуска водоема и отрицательные экологические последствия перераспределения донных отложений

вниз по течению реки и атмосферного переноса токсикантов на прилегающие территории.

В фитопланктоне водохранилища отмечено 90 видов водорослей из шести отделов. Зеленые (34,4 %), диатомовые (25,6 %) и синезеленые (22,2 %) водоросли являются основными по видовому разнообразию, при существенной роли эвгленовых водорослей (11,1 %) в таксономическом составе. По всей акватории водохранилища доминирующими по численности являются синезеленые водоросли *Anabaena flos-aquae, A. contorta, A. variabilis, A. spiroides f. woronichiniana, Aphanizomenom flos-aquae*. Но по биомассе доминируют крупноклеточные *Ceratium hirundinella, Peridinium willei* (динофитовые) и *Cosmarium obtusatum*, колонии *Dictiosphaerium granulatum* (зеленые).

Общая численность водорослей находилась в пределах 93,7-845,9 тыс.кл./л, биомасса – 85,0-1201,7 мг/м^3. По биомассе водорослей водохранилище является мезотрофным водоемом, трофический статус его южной оконечности выше – мезоэвтрофная зона.

Концентрация Хл а в фитопланктоне поверхностного слоя воды водохранилища изменялась на различных участках от 2,1 до 8,8 мг/м^3 при средней по акватории 5,1±0,9 мг/м^3, что индицирует умеренное развитие фитопланктона в водохранилище, а сам водоем характеризует как мезотрофный. Высокое относительное содержание Хл *а* в сумме всех хлорофиллов (95–99 %)указывает на значительный вклад в количество фитопланктона синезеленых водорослей, что соответствует альгологическим данным, представленным выше.

Во флоре водохранилища отмечено 24 вида *макрофитов* из 19 родов, 14 семейств и 2 отделов. По числу видов преобладают цветковые (Magnoliophyta) – 23 вида, отдел хвощевые (Equisetophyta) представлен 1 видом. По видовому разнообразию доминируют семейства рдестовых (Potamogetonaceae), водокрасовых (Hydrocharitaceae), осоковых (Cyperaceae) и рясковых (Lemnaceae), по три вида в каждом [7].

Для водохранилища характерен массивно-зарослевый тип зарастания. Растительность занимает значительную часть акватории, и суммарные площади

зарастания достигают 60-75 %. Однако, при общем значительном обилии растительности, сохраняется четкая зональность в ее распределении по водоему. Сообщества надводных растений окаймляют озера почти со всех сторон, подводные и с плавающими листьями растения распространяются мозаично по всей акватории, прерываясь небольшими плесами чистой воды. В настоящее время водохранилище находится в стадии устойчивого состояния водной растительности, которая характеризуется постоянством доминирующих видов, интенсивным зарастанием с выраженной поясностью.

В составе *зоопланктона* водохранилища обнаружено 39 видов и форм при наибольшем разнообразии Rotifera – 18 видов. Cladocera отмечено 13 видов, Copepoda – 8. По численности доминировали Rotifera (до 69% от общей численности) - *Keratella c. f. cochlearis, Polyarthra dolychoptera* и *Polyarthra vulgaris*. Самое низкое значение численности зоопланктона (212,1 тыс.экз./м^3) отмечено в юго-западной части между зарослями роголистника и телореза. Максимальное значение численности зоопланктона (595,9 тыс. экз./м^3) выявлено в северо-западной части водохранилища над зарослями роголистника.

По биомассе в зоопланктоне водохранилища доминировали Copepoda (до 93% от общей биомассы) - ювенильные стадии Copepoda, *Bosmina longirosris* и *Simocephalus mixtus*. Самое низкое значение биомассы зоопланктона (1,78 г/м^3), как и численности, отмечено в юго-западной части между зарослями роголистника и телореза. Максимальное значение биомассы зоопланктона (9,668 г/м^3), зафиксировано в восточной части водохранилища, свободной от зарослей макрофитов (здесь обнаружено большее количество крупных форм Cladocera).

В *зообентосе* водохранилища выявлено 50 видов донных беспозвоночных, включая: нематод – 2 вида, олигохет – 6, пиявок – 4, двустворчатых моллюсков – 3, брюхоногих – 12, клещей – 1, ручейников – 1, стрекоз – 3, поденок – 2, клопов – 2, двукрылых – 14 (среди них 3 – мокрецов и 11 – хирономид). Многие из обнаруженных видов являются лимнофильными и фитофильными, что характерно для мелких зарастающих водоемов [8]. По частоте встречаемости в пробах доминировали малощетинковые черви *Limnodrilus hoffmeisteri* и личинки

хирономид *Tanytarsus* gr. *mendax*. В среднем по всем пунктам исследования в водохранилище биомасса зообентоса составила 11,4±7,6 г/м^2, что соответствует повышенному классу продуктивности по шкале трофности С.П. Китаева [9] – альфа-эвтрофному типу водоемов.

В точке 2 отмечена высокая численность нематод, которая обычно наблюдается в полисапробных водоемах [10]. Большое количество олигохет семейства Tubificidae также является показателем высокого содержания органических веществ в водоеме. При подсчете индекса Пареле было выявлено, что водохранилище практически на всех участках является «сильно загрязненным». При подсчете биоиндикационных индексов, выявлено, что водохранилище имеет сильную степень загрязнённости органическими веществами. Это соответствует V классу качества вод по шкале Росгидромета.

В состав ихтиоценоза водоема входят щука, окунь, карп, карась, сазан, ерш, плотва, елец. Начиная с 1981 года производилось дополнительное зарыбление водоема карпом и толстолобиком. Водохранилище является рыбопромысловым участком № 53 - «пруд Сартаковский» по Перечню рыбопромысловых участков Кемеровской области и передано Беловской районной общественной организации охотников и рыболовов для организации любительского и спортивного рыболовства. Рыбопродуктивность водоема, согласно Паспорта водоема, составляет 60 кг/га. По данным учета уловов, представленных пользователем, на водохранилище ежегодно вылавливается от 50 до 80 ц рыбы.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлены необратимые антропогенные изменения гидрографической сети и гидрологического режима вследствие образования на реке проточного водоема антропогенного происхождения на месте бывшего гидроотвала. Характер уровенного режима водохранилища, состояние поймы и нового русла на месте обводного канала, морфометрия водоема, существование гидрографической системы в течение длительного периода, позволяют утверждать об ее устойчивости. Плотина в настоящее время находится на территории осушенной части гидроотвала.

Возникновение чрезвычайной ситуации вследствие ее прорыва полностью исключено.

Результаты натурных исследований водохранилища в конце июля 2014 г., в период максимального уровня развития биоценозов, а также архивные данные, свидетельствуют, что в соответствии с существующими классификациями, водохранилище на реке Уроп по составу и уровню развития фитопланктона и зоопланктона соответствует мезотрофным водоемам, макрофитов и зообентоса – слабоэвтрофным, по уровню рыбопродуктивности – среднепродуктивным. При этом, в автотрофном звене наблюдается доминирующая роль высшей водной растительности и фитоперифитона, по сравнению с фитопланктоном. В гетеротрофной части зообентос преобладает над зоопланктоном. При таком соотношении планктонного и детритного звеньев экосистемы водоем относится к типу «макрофитный», что является основанием для предварительных рекомендаций по зарыблению его растительноядными видами рыб, например, белым амуром.

В целом, экосистема водохранилища на реке Уроп в настоящее время является полной по составу, сбалансированной по структуре и средней по уровню биологической продуктивности с высоким потенциалом саморегулирования. Современное экологическое состояние водохранилища аналогично таковому для искусственных водных объектов со значительным вкладом антропогенных факторов в их формирование в течение длительного времени. Это соответствует истории данного водоема, который использовался в качестве гидроотвала угольного разреза с 1971 по 1998 год (27 лет). Учитывая современные гидрологические, гидрохимические и гидробиологические характеристики водохранилища, можно заключить, что за последующие 16 лет произошла стабилизация его экосистемы и в настоящее время оно перешло из категории природно-технических систем в категорию лимнических систем искусственного происхождения.

В течение длительного периода использования водохранилища в качестве гидроотвала загрязняющие вещества, такие как тяжелые металлы,

присутствовавшие в воде в растворенном состоянии, попадая в водохранилище выпадали из раствора в осадок, адсорбируясь на тонкодисперсных взвешенных частицах и осаждались вместе с ними. В настоящее время эти загрязняющие вещества надежно захоронены в толще донных отложений. Ликвидация водохранилища приведет к неблагоприятным экологическим последствиям для реки Черновой Уроп и прилегающих территорий в связи с поступлением большого объема донных отложений, содержащих повышенную концентрацию токсических веществ в речную систему верхнего течения реки Иня и далее в Беловское водохранилище. Установленные концентрации соединений тяжелых металлов при значительном превышение ПДК для элементов 1 и 2 классов опасности являются основанием для отнесения донных отложений к категории «опасный» и «чрезвычайно опасный». И в случае спуска водоема зона осушения должна быть отнесена к «зоне экологической катастрофы», так как с нее возможен воздушный перенос токсикантов на прилегающие территории, включая населенные пункты.

В непосредственной близости от гидроотвала в пойме р. Черновой Уроп расположены 5 артезианских скважин Уропского водозабора с общим дебитом 350 $м^3$/час. При ликвидации водоема возможно резкое сокращение производительности скважин вплоть до их полного истощения.

Учитывая высокую вероятность загрязнения гидросферы, атмосферы и почвенного покрова, риск потери подземных источников питьевого водоснабжения в случае ликвидации водохранилища, а также его актуальную социально-экономическую значимость для рекреационного и рыбохозяйственного использования, целесообразно признать достаточной рекультивацию «водным зеркалом» территории бывшего гидроотвала. Водохранилище необходимо включить в реестр водных объектов региона.

Список литературы

1. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Малые водохранилища: экология и безопасность. Перм. Гос. Нац. Исслед. Ун-т.- Пермь. 2012. – 256 с.

2. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных

экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 318 с.

3. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 1. / Под ред. Л.В. Боевой. – Ростов–на–Дону: «НОК», 2009. – 1044 с.

4. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П. Оксиюк [и др.] // Гидробиол. журн. 1993. № 29 (4). 62–76.

5. Алекин, О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. - 444 с..

6. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Утв. ГНТУ МООСПР РФ 30.11.1992. М., 1992.

7. Соколова М.И. Особенности зарастания малого равнинного водохранилища бассейна реки Иня (Кемеровская область) // Материалы XV-й конференции молодых учёных ИВЭП СО РАН «ШАГ В НАУКУ», Барнаул, 5 февраля 2015 г. – Барнаул: Изд-во «Пять плюс», 2015. - С. 67-75.

8. Безматерных Д.М., Крылова Е.Н. Макрозообентос водохранилища на р. Черновой Уроп (Кемеровская область) // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2014. – Вып. 35. – С. 63-68.

9. Китаев С.П. О соотношении некоторых трофических уровней и «шкалах трофности» озер разных природных зон // V съезд Всерос. гидроб. об-ва.: тез. докл. Ч. 2. – Куйбышев, 1986. – С. 254-255.

10. Гагарин В.Г. Свободноживущие нематоды пресных вод России и сопредельных территорий: фауна и пути ее формирования, экология, таксономия, филогения. – М.: Наука, 2001. – 170 с.

Сведения об авторах:

Кириллов Владимир Викторович заведующий лабораторией водной экологии, доцент, канд. биол. наук, e-mail: vkirillov@iwep.ru

Безматерных Дмитрий Михайлович, зам. директора по научной работе, доцент, канд. биол. наук, e-mail: bezmater@iwep.ru

Бурмистрова Ольга Сергеевна, н.с, канд. биол. наук

Винокурова Галина Владимировна, м.н.с, канд. биол. наук

Долматова Людмила Анатольевна, с.н.с, канд. хим. наук

Дьяченко Александр Владимирович, м.н.с.

Зарубина Евгения Юрьевна, с.н.с, канд. биол. наук

Котовщиков Антон Викторович, н.с, канд. биол. наук

Крылова Евгения Николаевна, м.н.с.

Соколова Мария Ивановна, м.н.с.

Трошкова Ирина Александровна, м.н.с.

Эйрих Алла Николаевна, н.с, канд. техн. наук

Эйрих Стелла Сергеевна –с.н.с., канд. хим. ннаук, Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656038, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, телефон: (3852) 66-64-60, факс: (3852) 24-03-96 , e-mail: iwep@iwep.ru

Жоров Виктор Алексеевич, Главный инженер, канд. г. наук., телефон: (3852) 38-35-85, факс: (3852) 38-36-00, e-mail: cit.barnaul@gmail.com, ООО «Центр инженерных технологий»,656031, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Папанинцев, 129

УДК 004.04

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ MODIS И ГИС

Ковалёв А.В.

Введение

На территории нефтедобычи Западной Сибири происходит систематическое нарушение растительного покрова в результате механических повреждений поверхности при строительстве объектов инфраструктуры нефтедобывающих месторождений, из-за аварийных разливов нефти и нефтебуровых растворов, пожаров, а также из-за воздействия загрязнения атмосферы на растительность при сжигании попутного газа в факелах.

В настоящее время, наряду с традиционными наземными методами наблюдения за состоянием растительного покрова территорий, подвергающихся постоянным интенсивным техногенным нагрузкам, используются данные спутникового мониторинга, которые позволяют оперативно отслеживать изменения состояния и структуры растительного покрова на обширных территориях, в том числе труднодоступных для наземных исследований вследствие высокой заболоченности. В [1] показано, что результаты дистанционной оценки изменения состояния лесной растительности на основе вегетационных индексов [2] в достаточной мере соответствуют данным биоиндикационных наземных исследований.

Целью данной работы является оценка изменения состояния растительности на территории нефтедобывающих месторождений на основе нормализованного вегетационного индекса (NDVI) с использованием данных, получаемых сканером

MODIS.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на 5 участках нефтедобычи: в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО) – Усть-балыкское, Приобское, Самотлорское, Лянторское месторождения и в Томской области на территории Васюганской группы месторождений (Первомайское, Ломовое, Оленье, Катыльгинское, Лонтыньяхское). В качестве фонового участка выбран фрагмент Юганского заповедника, являющегося особо охраняемой природной территорией ХМАО. Заповедник был создан в 1982 г. для сохранения и изучения практически не нарушенных экосистем Среднего Приобья. Юганский заповедник находится в сходных климато-экологических условиях с территорией выбранных месторождений. Схема изучаемых участков приведена на рис. 1, где черными жирными линиями показаны границы этих участков, уточненные по космическим снимкам Landsat с пространственным разрешением 30 м, на которых хорошо определяется инфраструктура месторождений.

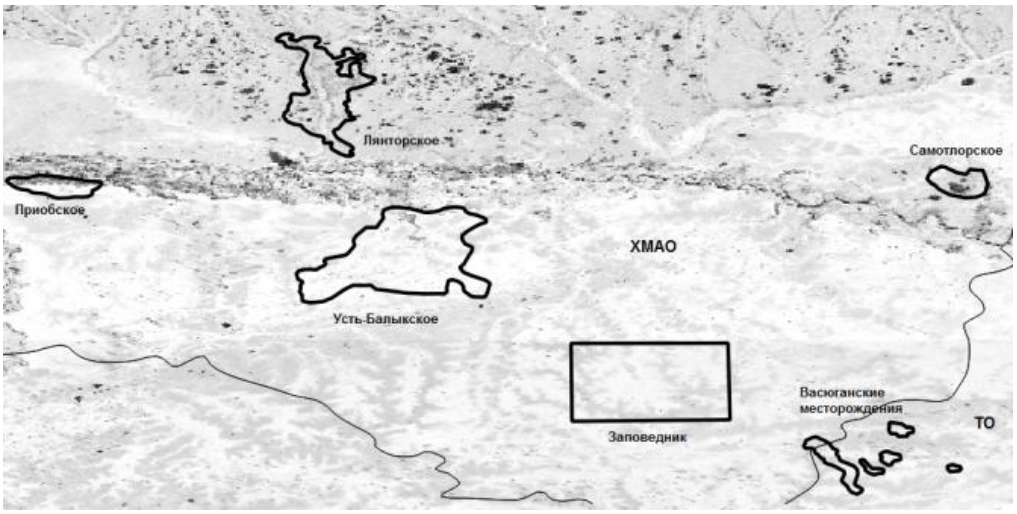


Рис. 1. Схема расположения исследуемых участков. Обозначения: ХМАО – Ханты-Мансийский автономный округ, ТО – Томская область

В качестве показателя, характеризующего состояние растительности, выбран вегетационный индекс NDVI [2, 3], так как он имеет хорошую чувствительность к изменениям биомассы растительности и подходит для того, чтобы оценивать её с количественной точки зрения. Ниже приведена формула для расчета используемого индекса:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{Pnir - Pred}{Pnir + Pred},$$

где *Pnir* – значения спектральной яркости пикселя в ближнем инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра; *Pred* – в красном диапазоне спектра [2].

Для объектов, не связанных с растительностью, индекс имеет фиксированные значения. Так, густой растительности соответствуют значения NDVI равные или большие 0,7, разряженной растительности – значения в диапазоне от 0,3 до 0,5, открытой почве – 0,025, облакам – 0, снегу и льду – -0,05, воде – -0,25, искусственным материалам (бетон, асфальт) – -0,5.

В работе использованы тематические продукты MODIS MOD13Q1 Vegetation Indices 16-Day Global 500m, содержащие значения NDVI, усреднённые за 16 дней, предоставляемые онлайн-архивом NASA EOSDIS. Изучаемые области находятся на снимках с номерами (21,02) и (21,03) согласно схеме расположения фрагментов MODIS.

В качестве основного метода исследования выбран метод пространственного анализа данных в ГИС с целью оценки характеристик изучаемых областей, основанных на значениях NDVI. Пространственный анализ проводился с использованием инструментария QGIS и состоял из следующих этапов:

1. Выбор областей для изучения (участков территории в границах нефтяных месторождений) и их представление в виде полигонов тематического слоя векторной цифровой карты.
2. Подбор КС, охватывающих выбранные области.
3. Приведение данных к единой системе координат.
4. Расчет средних значений NDVI в пределах каждой изучаемой области.

Для корректного перевода файлов, содержащих значения NDVI, из формата hdf в формат tif, была использована программа Modis Reprojection Tool, позволяющая переводить продукты MODIS с выбором выходной проекции, размера пикселей и необходимых слоев.

Результаты исследования

Для изучения динамики состояния растительного покрова в пределах каждой исследуемой области рассчитано среднее значение NDVI по годам за период с 2010 по 2015 г. с интервалом в один год на основе тематических данных MODIS, полученных по снимкам с датами съемки 10.06-25.06, 12.07-27.07 и 13.08-28.08. В результате проведения пространственного анализа на указанных территориях, в представленные выше даты получили значения нормализованного разностного вегетационного индекса, представленные в таблицах 1-3.

Таблица 1

Полученные значения NDVI за июнь

Область/год	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Усть-Балыкское	0,717827	0,776141	0,750473	0,683894	0,734334	0,774817
Васюганская группа	0,705063	0,763254	0,736294	0,691847	0,696069	0,763691
Лянторское	0,536116	0,585791	0,56737	0,580559	0,590093	0,621531
Приобское	0,610963	0,719501	0,677857	0,556113	0,654957	0,659094
Самотлорское	0,505706	0,630337	0,610391	0,473535	0,54778	0,642289
Заповедник	0,719642	0,777556	0,729665	0,688561	0,680031	0,774644

Таблица 2

Полученные значения NDVI за июль

Область/год	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Усть-Балыкское	0,790724	0,798613	0,769732	0,766733	0,782779	0,780509
Васюганская группа	0,767049	0,763345	0,729587	0,758512	0,782	0,775088
Лянторское	0,621251	0,5922	0,568759	0,628785	0,631431	0,639892
Приобское	0,76043	0,766349	0,697634	0,68699	0,701078	0,626849
Самотлорское	0,624859	0,602905	0,591761	0,620396	0,641721	0,647788
Заповедник	0,785741	0,780038	0,752129	0,749496	0,770003	0,779115

Таблица 3

Полученные значения NDVI за август

Область/год	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Усть-Балыкское	0,751756	0,754887	0,746777	0,761211	0,779328	0,75886
Васюганская группа	0,752058	0,715878	0,703798	0,750232	0,76106	0,706333
Лянторское	0,609978	0,549175	0,582205	0,593185	0,635994	0,607464
Приобское	0,756266	0,737971	0,693894	0,739531	0,785754	0,710129
Самотлорское	0,61094	0,58025	0,627437	0,62371	0,640092	0,538287
Заповедник	0,745808	0,73138	0,725575	0,745828	0,773612	0,733841

Для большей наглядности, полученные средние значения NDVI по годам представлены на графиках, на основе которых построены линии трендов, отображающие характер изменения вегетационного индекса для каждой исследуемой области (рис. 2 - 4).

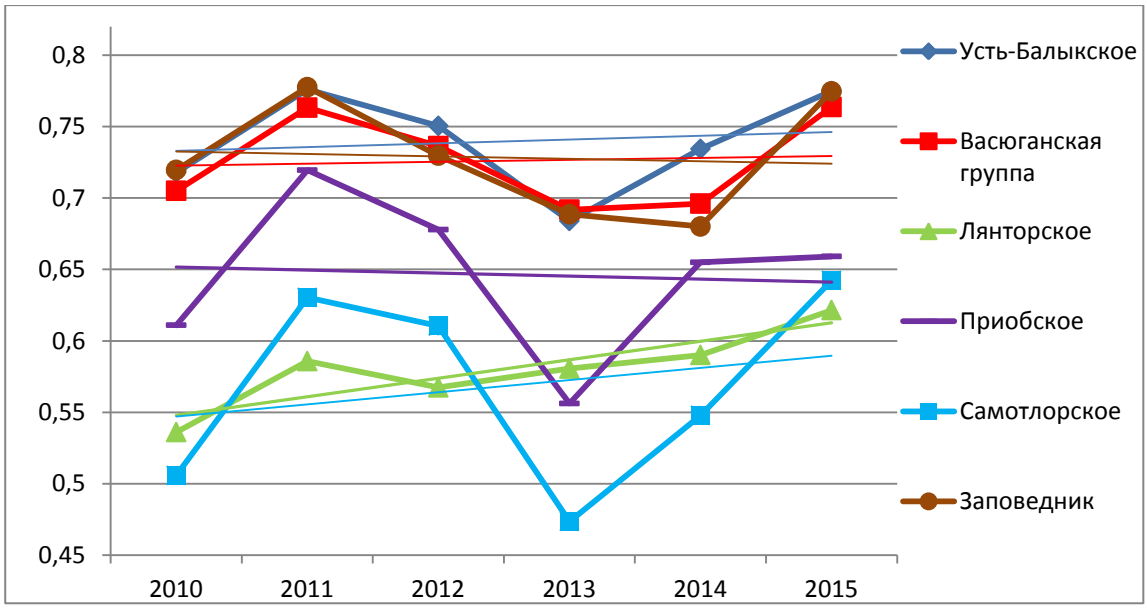


Рис. 2. Изменение средних значений NDVI по годам (даты съемки 10.06-25.06)

Как видно из рис. 2, ход большинства графиков имеет сходный характер, который обуславливается сходными погодными условиями. Наклон линий трендов значительно не отличается для заповедника, Усть-Балыкского, Приобского, и Васюганской группы месторождений. На территории Лянторского и Самотлорского месторождений угол наклона трендов показывает положительную динамику в состоянии растительного покрова, что может быть связано с проводимыми здесь рекультивационными работами, так как

месторождения являются далеко не новыми. Тренды для Юганского заповедника идут параллельно оси x, что говорит о достаточно стабильном состоянии растительного покрова, и это неудивительно, ведь данная территория является охраняемой, и антропогенные воздействия на неё сведены к минимуму.

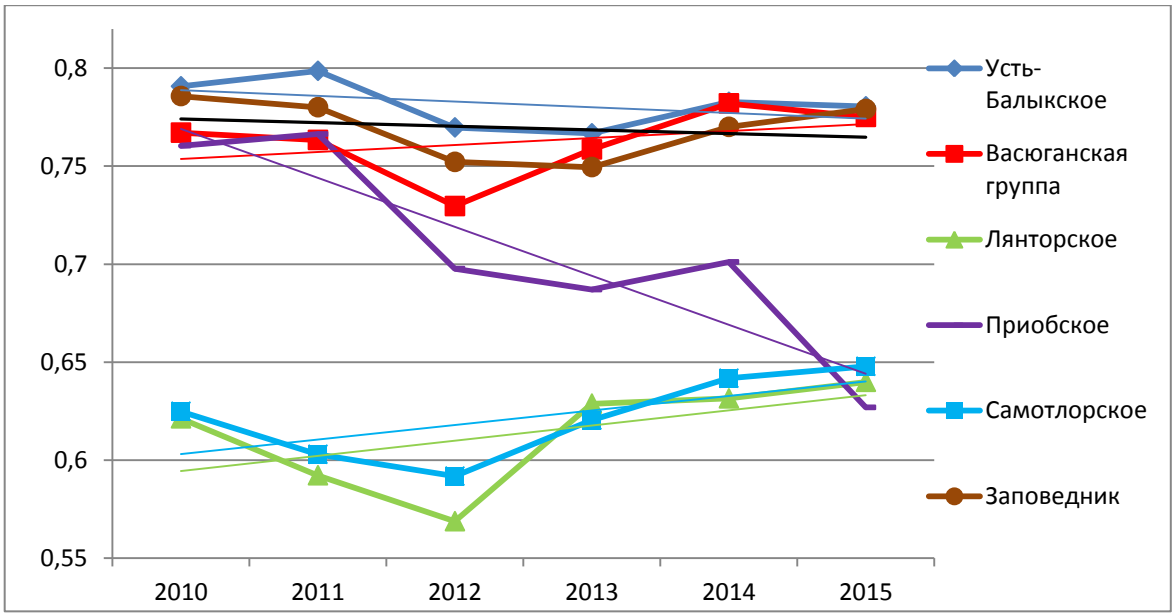


Рис. 3. Изменение средних значений NDVI по годам (даты съемки 12.07-27.07)

На рис. 3 заметно увеличение значений NDVI, связанное с изменением вегетационного периода, однако на некоторых участках значения индекса в июле того же года снижаются. Так, например, в 2015 г. на Приобском месторождении в июле происходит значительное снижение значения NDVI по сравнению со значениями, полученными в июне. На Усть-Балыкском месторождении практически не произошло увеличения NDVI. Данная ситуация связана с высоким уровнем паводковых вод в июле 2015 г. В конце июня 2015 г. на территории Усть-Балыкского месторождения произошла авария на нефтепроводе, однако основная часть нефти попала в реку [3]. Стоит отметить, что сильное отличие значений NDVI для Лянторского и Самотлорского месторождений от остальных вызвано наличием множества болот в составе их общей площади (около 1000 км^2 для Самотлорского), а как указано выше, значение NDVI для воды низкое. На Самотлорском месторождении происходит небольшое возрастание индекса, что связано с

проводимой на данном месторождении рекультивацией земель (так как месторождение является довольно старым). Тренд Лянторского месторождения показывает, что значение NDVI увеличивается. В данный момент на Лянторском месторождении нефтедобыча довольно сильно упала, в результате чего возникают процессы самовосстановления земель и, соответственно, растительного покрова.

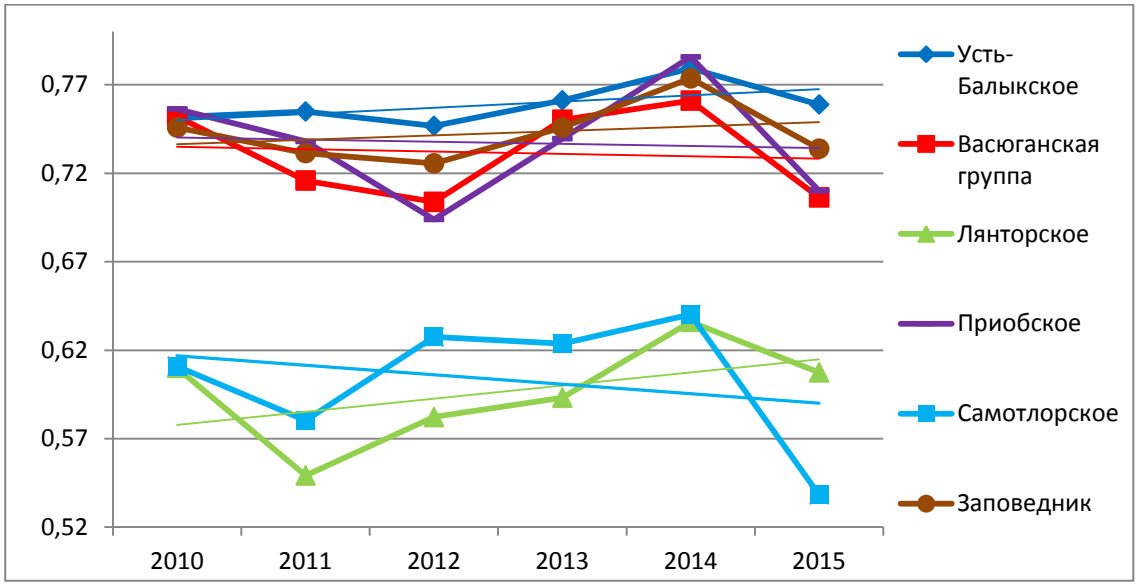


Рис. 4. Изменение средних значений NDVI по годам (даты съемки 13.07-28.07)

Заключение

В заключение хотелось бы сказать, что Западная Сибирь является одним из наиболее крупных районов России для нефтедобычи, крупнейшим нефтегазовым бассейном мира и основная часть нефти в России формируется именно в данном районе. Однако нефтедобывающая промышленность способна оказывать пагубное влияние на окружающую среду, поэтому проблема её охраны и контроля должна стать государственной проблемой в каждой стране, иначе растительность и другие показатели могут снизиться до критического уровня.

Список литературы

1. Токарева О.С., Полищук Ю.М. Сравнительный анализ результатов дистанционного определения вегетационных индексов и данных биоиндикационных исследований в задачах экологического мониторинга //

Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 2. С. 81–87.

2. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. № 2. С. 98–102.

3. Под Нефтеюганском произошел крупный разлив нефти [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.rbc.ru/society/29/06/2015/559131c99a7947453f430141, свободный

Сведения об авторе:
Ковалёв Антон Владимирович, студент, e-mail: Optimist93@sibmail.com, НИ Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УЕЗДЕ ЧОДОНЕ, ПРОВИНЦИИ БАККАН, ВЬЕТНАМ

Нгуен Ван Луен, Куач Дык Тинь, Чан Дык Хиеу

Уезд Чодонь расположен на западе провинции Баккан, на Севере Вьетнама и обладает значительными запасами минеральных ресурсов, таких как железо, свинец, цинк, строительные материалы и др. В связи с этим уезд обладает значительным потенциалом для развития горнодобывающего комплекса. Однако, рост добычи полезных ископаемых и недостатки в управлении природными ресурсами ведут к истощению ресурсов и загрязнению окружающей среды, что приводит в целом к разрушению региональных экосистем.

Результаты исследования Для оценки гидрогеохимических характеристик подземных вод в исследуемой зоне, были проведены соответствующие изыскания. Отбор проб производился из водоносного горизонта, используемого в целях питьевого водоснабжения. Результаты анализа подземных вод в районе показали общую минерализацию (TDS) от 3 до 867 мг/л, pH от 5,1 до 8,4, т.е. от слабой кислоты до щелочной среды. Из 35 отобранных проб 3 характеризуются превышением содержания As (>0,01), допустимым для питьевого водоснабжения.

Местоположение, где обнаружено самое высокое содержание As (0,031 мг/л), является мелководным подземным горизонтом глубиной до 3м в Биньчай, городок Банглунг. Одной из причин увеличения содержания природного As в подземных водах может являться гидрологические особенности территории и близкая расположенность к местам добычи руды.

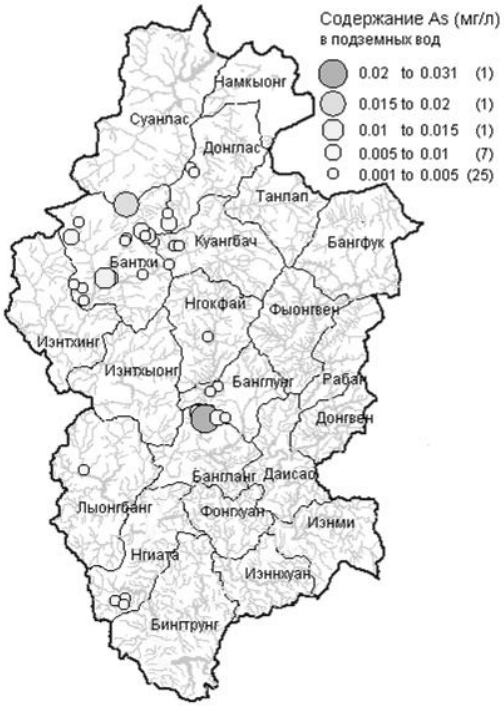


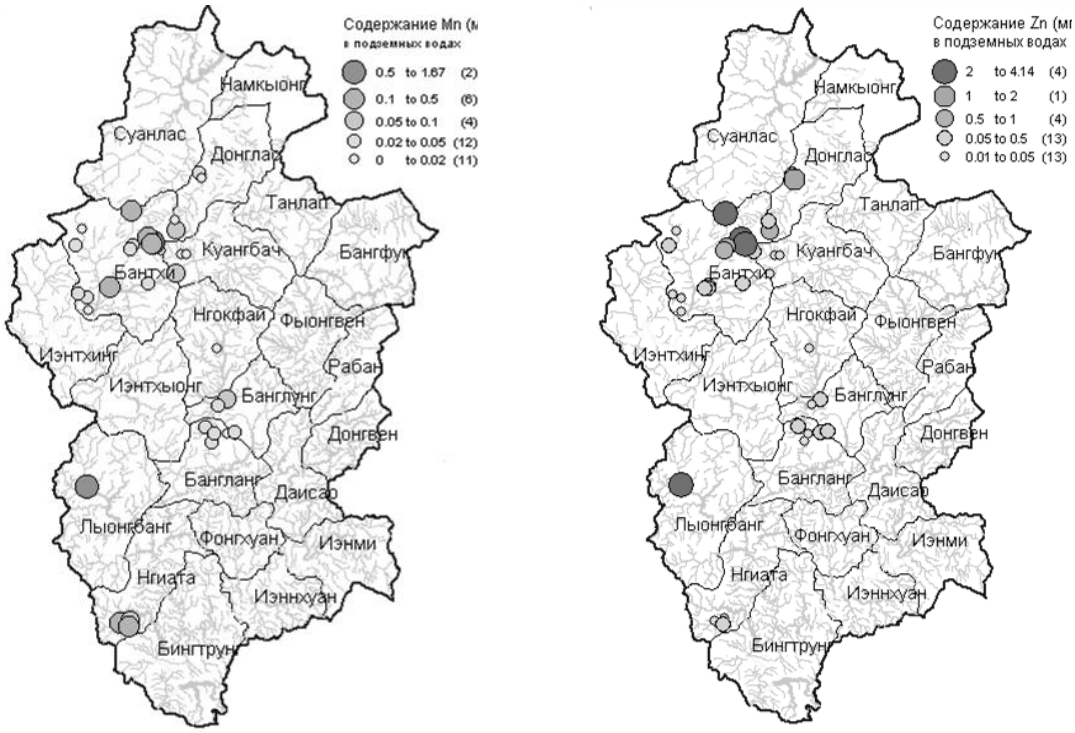
Рис 1. Схема распространения As в грунтовых водах

Пункты, где обнаружены содержания As 0,01 мг/л и 0,016 мг/л, являются питьевым колодцем, одной семьи в селении Хоптиен, общины Бантхи, и источником питьевого водоснабжения, используемой рабочими месторождения Бан Чаи, общины Каунгбач. Эти пункты находятся вблизи горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки, таким образом, подземные выработки способствуют миграции мышьяка в подземные воды.

Содержание марганца (Mn).

В исследуемом районе, скважины и колодцы используются для питьевого водоснабжения, в связи с чем существенно возрастает риск здоровью населения с повышенным потреблением марганца. Результаты исследования и анализ содержания марганца показаны на Рис 2.а.

В общем и целом, хотя содержание марганца подземных водах в исследуемом районе не слишком высоко, однако в общине Лыонгбанг в зоне деятельности подземного рудника наблюдается, очень высокое содержание, до 1,67 мг/л. Такое содержание в 16 раз выше, чем содержание марганца в поверхностных водах на данной территории и в 3 раза выше, чем допустимые нормы для качества грунтовых вод (0,5 мг/л) [5].



а *б*

Рис 2. Схема распространения Mn (а) и Zn (б) в подземных водах

Таким образом, на основании проведенного анализа проб был сделан вывод, что причиной увеличения содержания Mn в подземных водах в исследуемом районе является горнодобывающее предприятие, в связи с выносом марганца в водоносные горизонты.

Содержание цинка (Zn).

Цинк является ключевым элементом минерализации в сочетании элементов (свинец - цинк), при этом его природное содержание в районе ведения горных работ достаточно высокое.

Из-за технологических особенностей добычи полезных ископаемых в зоне ведения горных работ на территории общины Лыонгбанг содержание Zn очень высокое по сравнению с его содержанием в поверхностных водах

Анализ проб подземных вод в общине Бантхи также показал довольно высокое содержание Zn (*Рис 2*, b). Стоит обратить внимание именно на эти точки формирующие условия для выноса Zn в подземные воды в районе.

Содержание свинца и кадмия как в поверхностных, так и в подземных водах очень низкое. По результатам анализа 38 проб, выявлено содержание свинца

<0,0001 мг/л и кадмия <0,0001 мг/л. В связи с чем, анализ его распределения в подземных водах в исследуемом районе не требуется.

Заключение

Результаты исследований показали относительно высокое содержание As, Mn, Zn в подземных водах. Причиной увеличения содержания загрязняющих веществ является гидрогеологическая особенность района и повышенная концентрация этих химических элементов, в связи с чем рост добычи минеральных ресурсов оказывает существенное воздействие на вынос этих элементов в окружающую среду.

Все это обосновывает актуальность проведение последующих исследований, поскольку наличие высоких концентраций вышеперечисленных химических элементов в водной среде может отрицательно воздействовать на экосистемы в целом, и на здоровье населения в частности. Последующие исследования необходимо сосредоточить на выявлении причин накопления элементов в гидрогеохимической среде, а также предложить решения для ограничения их поступления в экосистемы района. Наличие низкого содержания Pb в подземных водах (основной элемент минерализации) также нуждается в уточнении.

Список литературы

1. До Ван Фи и др., Первые результаты использования метода геохимической модели в исследовании свинцово – цинковой зоне на юге общины Чо Дон // Институт геологических наук и минеральных ресурсов – 2000. - Том 7: - С.235-250.

2. Нгуен Кинь Куок, Нгуен Кинь Ань. Предварительная оценка содержания мышьяка и прогнозирование районированной аномалии As, связанной с геологическими образованиями во Вьетнаме, имеющими возможность загрязнения окружающей среды. // Сборник текущего состояния загрязнения Мышьяка во Вьетнаме. Департамент геологии и минеральных ресурсов. -2001. – С.168-175.

3. Нгуен Хонг Куанг др., Оценка текущего состояния окружающей

среды в горнодобывающей промышленности в Северо-Восточной районе (Вьетнам) // Институт геологических наук и минеральных ресурсов – 2011. – С. 71-86.

4. Чан Туан Ань. Исследование сопутствующих элементов в минерализациях основных металлов и редких драгоценных металлов в Северном Вьетнаме в целях повышения эффективности добычи и переработки полезных ископаемых и охраны среда // Филиал института геологии, Институт науки и технологий Вьетнама - 2010 г - Тема ***КС 08.24/06-10*** – с.122-138.

5. ГОСТ Вьетнама 09: 2008 BTNMT. Национальный технический стандарт (Вьетнам) на качество подземных вод.

Сведения об авторах:

Нгуен Ван Луен, Вьетнамский институт геологических наук и полезных ископаемых, 84 Chua Lang, Dong Da, Hanoi, Vietnam, Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Куач Дык Тинь, Главное управление геологии и полезных ископаемых Вьетнама

Чан Дык Хиеу, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, пр. Ленина, 30, тел. 8(3822)563443, Факс: 8(3822)563443

УДК 5744:504.1

ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ЛЕСОТУНДРОВЫЕ И ТАЕЖНЫЕ ЛЕСА

Менщиков С. Л.

В ряде регионов нашей страны вследствие высокой концентрации промышленного производства и недостаточной очистки отходов возникла проблема загрязнения окружающей среды аэротехногенными выбросами. Особенно большой ущерб природным комплексам наносят горно-добывающая и металлургическая отрасли, а также сопутствующие им предприятия энергетики. Развитие и концентрация металлургического производства на Урале, например, за три столетия породили множество экологических проблем и наложили свой отпечаток на природные комплексы региона, в том числе на закономерности лесообразовательного процесса и на развитие лесного хозяйства.

В Сибири и на Урале расположены основные массивы бореальных лесов

России и здесь же сосредоточены крупные промышленные центры - источники аэротехногенных выбросов, загрязняющих природную среду. Особенно негативные последствия может вызвать гибель предтундровых лесов, которые на северном пределе распространения лесной растительности имеют большое защитное и климаторегулирующее значение. Наблюдаемые в районе Норильска масштабы повреждения лесотундровых экосистем от аэротехногенного загрязнения можно отнести к экологической катастрофе регионального уровня.

Анализ литературных источников показал что, основные закономерности изменения состояния лесных экосистем под воздействием аэротехногенного загрязнения исследованы многими авторами. Повреждение лесной растительности в очагах загрязнения определяется сложным комплексом абиотических и биотических факторов. Основные из них: количественный и качественный состав выбросов, длительность воздействия и его интенсивность, направление преобладающих ветров, климатические и погодные условия региона, лесоводственно-таксационные особенности лесных насаждений (возраст и состав древостоев, тип леса и др.); фаза фенологического развития растений.

На Среднем Урале исследования проводились в 1990-2014 гг в окрестностях 6 городов, входящих в десятку наиболее загрязнённых городов Свердловской области (по суммарному показателю загрязнения атмосферного воздуха). Районы исследований расположены в зонах действия крупных источников аэротехногенных загрязнений: Красноуральского медеплавильного комбината (КМК), Рефтинской ГРЭС (РГРЭС), Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК), Каменск-Уральского алюминиевого завода (КАЗ), Полевского криолитового завода (ПКЗ). Выбор данных объектов для исследований объясняется наличием в них достаточно выраженных очагов поражения лесов и сформировавшейся пространственно-временной структурой повреждения древостоев. На севере Средней Сибири исследования проводились в зоне действия Норильского горно-металлургического комбината (НГМК) в 1986-1990 гг. и частично в 2002, 2010 гг.

В очагах повреждения лесных насаждений, расположенных в зонах

воздействия аэротехногенных загрязнений, организованы полигоны с сетью постоянных пробных площадей (ППП). Пробные площади закладывались в модальных лесных насаждениях с учётом степени повреждения древостоев и розы ветров. ППП закладывались в соответствии с общепринятыми в лесной таксации методами с наличием не менее 150 - 200 деревьев основного элемента леса и размером не менее 0,2 га. На ППП был произведен полный перечет растущих и сухостойных деревьев, сделаны геоботанические описания, изучены лесорастительные свойства почв. Все учётные деревья нумеровались масляной краской, и периодически оценивалось их состояние. Оценка состояния древостоев приводилась по двум шкалам - шестибалльной общепринятой в нашей стране и пятибалльной (методика ЕЭК) по дефолиации кроны. Для изучения динамики состояния древостоев проводились повторные оценки состояния: в регионе Среднего Урала в течение 12-24 - летнего периода, в районе Норильска на севере Средней Сибири -5-ти и 16-летний периоды.

Исследования динамики состояния древостоев на ППП в районе Красноуральска показали, что за период наблюдений с 1990 по 2002 гг. состояние сосновых древостоев ухудшилось в радиусе 7-15 км на восток, в 10 км - на север и в 7 км - на юг от КМК. На удаление 7 км на восток от КМК древостои перешли в категорию сильно повреждённых (т.е. произошли качественные изменения) – в 2002 году индекс повреждения составил 4,1 на ППП В-7. На остальных обследованных ППП (кроме контроля) также наблюдается увеличение степени повреждения древостоев, но не столь значительное. Состояние ели, пихты и, особенно, лиственницы там, где они присутствуют в составе древостоев, лучше, чем сосны по всем изученным показателям. Ежегодный отпад деревьев сосны в наиболее повреждённых древостоях составил от 1,5 до 2%.

Изучение состояния и динамики повреждения древостоев в 6 локальных очагах аэротехногенного загрязнения в регионе Среднего Урала показало, что в большей степени повреждены сосновые древостои в районах Красноуральска и в Ревдинско-Первоуральском. Здесь имеются зоны сильно повреждённых (усыхающих) древостоев. В 4 других районах такой степени деградации

древостоевне наблюдается. Ранжируя очаги поражения лесов по масштабу повреждений древостоев от большего к меньшему можно построить следующий ряд районов: Ревдинско-Первоуральский, Красноуральский, Рефтинско-Асбестовский, Нижнетагильский, Каменск-Уральский, Полевской. С учётом динамики повреждения древостоев за 10 лет на первое место следует поставить район Красноуральска. Высоковозрастные сосновые древостои, примыкающие к промузлам, при типе выбросов кислые газы + тяжелые металлы, из категории средне поврежденных переходят в сильно поврежденные за 7-10 лет. В условиях типа загрязнения кислые газы + щелочная зола процесс дигрессии идет медленнее.

Основные массивы повреждённых аэротехногенными выбросами древостоев расположены на юг и на северо-восток от г. Норильска. Изучение состояния древостоев на ППП и пространственно-временная структура их повреждений показали, что лиственничные и берёзовые древостои повреждаются за 4-летний период наблюдений, как правило, на 1 класс: средне повреждённые переходят в сильно повреждённые и т. д. За 15-16 летний период степень повреждения древостоев местами увеличилась даже на 2 класса – слабо повреждённые перешли в категорию сильно повреждённых. Темпы дигрессии увеличиваются на завершающих этапах повреждения древостоя. Процессы дигрессии еловых древостоев идут более медленными темпами, чем лиственничных и берёзовых.

Изучение динамики отпада в регионе севера Средней Сибири показало, что в период исследований (1986-1990 гг.), под воздействием аэротехногенных выбросов НГМК, в предтундровых лиственничных лесах в среднем усыхает от 1 до 10% деревьев в год (в зависимости от стадии деградации древостоя). Данный фактор анализировался с учётом того, что здесь (как показали исследования) в результате естественного отпада в фоновых древостоях может накапливаться сухостойных деревьев до 20 -27% в равнинной части и около 50% в горной части. Для установления причинно-следственных связей отпада с аэротехногенным загрязнением в данном регионе необходимо изучение динамики усыхания

древостоев и выявление старого, накопившегося до 1970 г., сухостоя с помощью денрохронологических методов.

Сравнительная оценка темпов усыхания древостоев под воздействием аэротехногенного загрязнения в двух природно-климатических зонах показала, что в предтундровых лесах севера Средней Сибири темпы усыхания древостоев в среднем, в 3-8 раз выше, чем на Среднем Урале. Это объясняется более жёсткими лесорастительными условиями в первом случае.

Исследования закономерностей трансформации бореальных лесов под воздействием аэротехногенного фактора в условиях двух природно-климатических зон показали, что физико-географические условия регионов играют значительную роль в специфике ответной реакции лесной среды на загрязнение. В более жёстких природно-климатических условиях Субарктики на севере Средней Сибири в районе Норильска масштабы и глубина дигрессии лесной растительности под воздействием аэротехногенного фактора значительно больше, чем в регионе Среднего Урала. Темпы дигрессии лесных насаждений в районе Норильска в 3-8 раз выше, чем на Среднем Урале.

Полученные материалы показывают, что часто газоустойчивость лесообразующей породы, не является решающим фактором “выживаемости” её древостоев в локальных очагах аэротехногенного загрязнения того или иного региона. Совокупность всех параметров, характеризующих устойчивость и формирующих экологическую пластичность лесообразующей породы, определяет в целом и стратегию выживания и распространения лесных насаждений в конкретных условиях произрастания. Весьма важную роль в сравнительной оценке и характеристике устойчивости лесообразующих пород к аэротехногенным выбросам играет временной интервал (период, за который оценивается устойчивость древостоя – вегетационный сезон, несколько лет, по классам возраста, на протяжении нескольких поколений, устойчивость популяции в целом).

В развитие ранее принятых научных положений дана классификация очагов поражения и определены параметры диагностики изменения состояния лесных

насаждений с учётом природно-климатических условий регионов, а также локальных и региональных уровней загрязнения.

Исследованиями установлено, что в зонах действия крупных промузлов на Среднем Урале очаги поражения лесов уже сформировались. Здесь зона полной гибели древостоев в локальных очагах аэротехногенного загрязнения значительно меньше, чем в районе Норильска, они не превышают 0,5-3 км от источников выбросов (в районе Норильска – до 80-120 км), а повреждённых в различной степени 20-30 км. Исследованиями на ППП установлена зависимость снижения прироста стволов в высоковозрастных древостоях от жизненного состояния деревьев. Предложены чёткие критерии и параметры оценки жизнеспособности древостоев, адаптированные для условий региона, а экономический ущерб оценивается ресурсным показателем – потерей прироста стволов по запасу. Этот показатель устанавливается с достаточной точностью, а потери других полезностей леса могут быть выражены в долях от ущерба по запасу.

В методическом плане для диагностики повреждений лесных насаждений в условиях аэротехногенного загрязнения предлагается использовать метод масштабированных приближений к объекту исследований (конкретизируя и последовательно меняя параметры по мере приближения к непосредственному объекту оценки) от более высокого уровня биологической интеграции к более низкому (ландшафт – экосистема – популяция – организм – ткани – клетки). Чем ниже уровень биологической интеграции, тем “тоньше” должны быть используемые методы оценки - от таксационных до физиолого-биохимических.

Для обоснования критических уровней загрязнения лесных насаждений необходимо базироваться на ретроспективном анализе экологической ситуации в конкретных очагах поражения и в регионе. При этом необходимо учитывать факторы текущего и накопленного воздействия.

Сведения об авторе:

Менщиков Сергей Леонидович, доктор с.-хоз. наук, зав. лаб., Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202, т. 8(343) 2103859, e-mail: msl@botgard.uran.ru

УДК 556.314:525.215

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ

Ролдугин О.Г.

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела (РАНИМИ) разрабатывает проекты энергосбережения, рационального природопользования и утилизации вторичных ресурсов. Разработка таких проектов является одним из приоритетных направлений деятельности института.

Эффективное использование вторичных ресурсов в виде отходов производства – основа экономного расходования природных богатств, снижения энергетических затрат и себестоимости продукции [1]. Горнодобывающая промышленность ухудшает состояния недр, грунтов, атмосферы, поверхностных и подземных вод. Добыча угля сопровождается наличием:

- твердых складированных отходов (в виде отвалов или терриконов);
- жидких отходов (в виде откачиваемых шахтных вод и технологических сбросов воды обогатительных фабрик);
- газообразных отходов (в виде отработанной воздушной массы после проветривания забоев и выработок шахт).

Отходы от проведения и ремонта горных выработок, содержащие до 20% угля, складируются, образуя отвалы, каждый из которых занимает территорию в десятки гектаров и имеет объем до 3 млн. м^3. Угли отвалов самоокисляются, самонагреваются и самовоспламеняются. Температура в очагах горения достигает 1200° С, что вызывает загрязнение атмосферы выбросами оксида серы и окиси углерода. Тепло от горения складированных отходов не используется, но уже начата разработка способов и технических средств отбора и частичного использования техногенного тепла.

Жидкие отходы угольного производства – шахтные воды в Донбассе откачивают с глубины 700-1200 м; их температура достигает 20-30° С и более. Ни одна шахта до сих пор не использовала тепловые насосы для отбора

низкотемпературного тепла сбрасываемых шахтных вод, не смотря на то, что технология отбора тепла достаточно апробирована.

В составе газообразных отходов вентиляционных струй шахт может содержаться до 0,5 % метана, который может быть извлечен и использован в виде топлива или сырья для химической промышленности [2]. Технологии отбора метана апробированы в лабораторных и промышленных условиях. Однако на практике этот ресурс почти не используется угольными шахтами, так же как и тепло выбрасываемого в атмосферу отработанного воздуха от проветривания шахт и энергия струи вентиляторов главного проветривания.

Для разработки способа извлечения тепла из самовозгорающихся складированных отходов угледобычи проведены теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия физико-химических и тепловых процессов при самоокислении, самонагревании и самовозгорании углей и складированных отходов угледобычи. Установлено, что процесс окисления угля происходит при температурах 35-40° С. Начиная с температуры 100-150° С скорость окисления увеличивается, а при температуре более 400° С – кислород перестает удерживаться углем и весь переходит в летучие продукты окисления при интенсивном самонагревании угля. Скорость расходования кислорода на внешней поверхности кусочков угля становится больше скорости притока кислорода из окружающей среды и происходит воспламенение.

Для изучения закономерностей переноса теплового потока в водонасыщенных грунтах и горных породах проведены экспериментальные исследования состояния подземной воды в массиве грунтов и горных пород и ее массопереноса при высоких температурах и давлениях. Получены величины всасывающих давлений при массопереносе в различных грунтах в ненасыщенном и насыщенном состоянии. Установлено, что высокая температура, просачивающаяся в массив грунта от источника тепла, изменяет состояние водного раствора, находящегося в грунте и содействует массопереносу в конвективном и диффузионном виде, как жидкого водного раствора, так и влаги в парообразном виде. При высоких температурах установлены зависимости

массопереноса влаги для различных грунтов и горных пород от всасывающих давлений. Полученные экспериментальные данные о движении теплового потока в сухом и водонасыщенном грунте, могут служить в качестве исходных характеристик эталонных грунтов и пород для расчетов массопереноса подземных вод с учетом теплопроводности и конвекции исследуемых материалов, математического моделирования температурного поля в массиве грунтов от очагового источника тепла.

При наличии данных геотермических замеров, зная температуру, расход и скорость фильтрации воды в водоносном горизонте, по можно составить уравнения теплового баланса в любом водоносном пласте и определить перепад температуры для любой точки водонасыщенного массива.

Предложен способ и устройство для извлечения тепла из очагового источника тепловыделения [3], заключающийся в установлении теплового поля и закономерностей генерации тепла от очагового источника тепловыделения; проведения на безопасном расстоянии под очагом тепла горных выработок, закрепленных специальной крепью с отверстиями, через которые задавливаются приборы-теплоуловители в направлении очага тепловыделения, соединенные с напорным трубопроводом, по которому подается вода, нагревающаяся в теплоуловителе и направляемая к потребителю рис.1.

Поскольку материал, из которого изготавливаются приборы-теплоуловители, должен быть жаропрочным, предложен состав для его изготовления. Приборы-теплоуловители подсоединяются к напорному трубопроводу по параллельной или последовательной схемам в зависимости от температуры массива на глубине задавливания и требований потребителя. Данная схема извлечения тепла предназначена для горящих терриконов действующих шахт. При новом шахтном строительстве может быть предусмотрена предварительная укладка приборов-теплоуловителей под будущий очаг тепловыделения, что избавит от расходов на горные работы и процесс задавливания приборов-теплоуловителей.

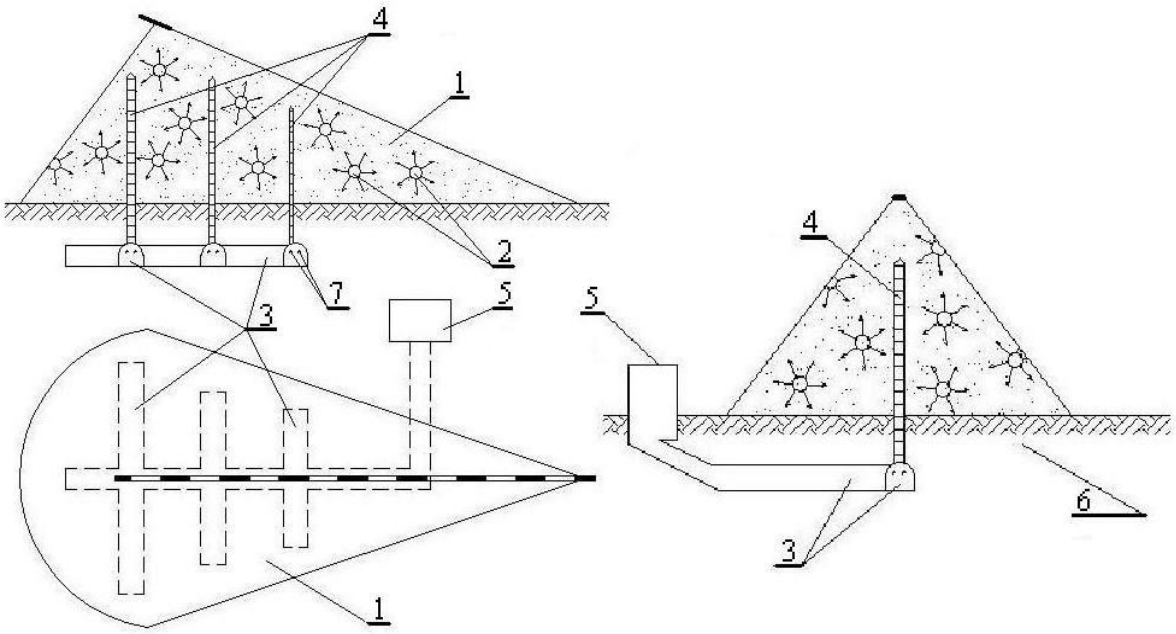


Рис. 1. Технология извлечения тепловой энергии из самовозгорающегося массива:
1 - самовозгорающийся массив, 2 - очаг тепловыделения, 3 - горные выработки, 4 - колонны теплоуловителей, 5 - машинный зал, 6 - грунты и горные породы в подошве массива, 7 - трубопроводы горячей и холодной воды.

Поскольку материал, из которого изготавливаются приборы-теплоуловители, должен быть жаропрочным, предложен состав для его изготовления. Приборы-теплоуловители подсоединяются к напорному трубопроводу по параллельной или последовательной схемам в зависимости от температуры массива на глубине задавливания и требований потребителя. Данная схема извлечения тепла предназначена для горящих терриконов действующих шахт. При новом шахтном строительстве может быть предусмотрена предварительная укладка приборов-теплоуловителей под будущий очаг тепловыделения, что избавит от расходов на горные работы и процесс задавливания приборов-теплоуловителей.

Значительное количество отходов угледобычи, вред, наносимый ими окружающей среде, ущерб экономике угледобывающих регионов от неполного использования энергетических ресурсов угледобычи, тревожит научную общественность. Имеется много разработанных и апробированных способов и технических средств извлечения энергии из твердых складированных, жидких и газообразных отходов угледобычи, которые, к сожалению, не имеют широкого распространения и внедрения в практику угольного производства. В настоящее

время, когда энергетические кризисы затрагивают практически все государства, а более полное использование природных богатств, становится весьма важным показателем цивилизованного развития общества, необходима разработка комплексных региональных и общегосударственных программ максимального извлечения энергии из отходов угольного производства. РАНИМИ принимает непосредственное участие в разработке таких программ. Эти программы актуальны не только для Донецкой Народной Республики, но и для всех угледобывающих стран.

Список литературы

1. Марова С.Ф. Ресурсосбережение и утилизация отходов: учебное пособие / Донецк: ДонГУУ, 2008. – 91 с.

2. Антипов І. В. Державна програма утилізації шахтного метану в Донецькій області // Інновації в державному управлінні та місцевому самоврядуванні: зб. наук. праць / ДонДУУ. – Донецьк, 2007. – Т. VIII. – С. 5-10.

3. Антипов И. В., Лебедев Н.В. Генерация тепла в массиве грунта или горных пород от очагового источника тепла // "Физико-технические проблемы горного производства", вып. 7.- Донецк: ИФГП НАН Украины, 2004.- С. 91-99.

Сведения об авторе:

Ролдугин Олег Геннадиевич, техник 2 категории, Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), 83004, г. Донецк, ул. Челюскинцев, 291, e-mail: rolduginoleg@mail.ru, тел. +380 (63) 107-32-17

УДК 622.268.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ПОДВИГАНИЯ ЛАВЫ НА СДВИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Савенко А.В.

Выемка угля современными технологиями со скоростями подвигания очистных забоев до 200 м/мес. сопровождается техногенными воздействиями на всю геологическую толщу горных пород, находящаяся над вынимаемым пластом и частично под пластом. Видимым проявлением этого является сдвижение земной

поверхности и горное давление. Теоретическое представление сдвижения горного массива и земной поверхности, наиболее соответствующее реально происходящему процессу, позволяет описать, объяснить и предвидеть явления, которые могут возникнуть при подземной выемке угля.

Сдвижения земной поверхности, которые происходят вследствие выемки угля и опускания всего массива горных пород, достаточно хорошо изучено. Однако, методы расчета величин оседания земной поверхности, разработанные для охраны подрабатываемых объектов, ограничены и предназначены для глубин отработки до 800 м и скоростей подвигания лавы до 80 м/мес. Современные скорости подвигания очистных забоев влияют на перераспределение напряжений и продолжительность развития деформаций растяжения и сжатия в динамической мульде сдвижения и, соответственно, на параметры оседания земной поверхности.

Поэтому представляет интерес изучение процессов сдвижения массива горных пород и земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости ведения очистных работ.

При подземной добыче угля массив горных пород находятся в динамическом состоянии. В 1997 году специалистами ДонГТУ под руководством Гавриленко Ю.Н. были выполнены инструментальные наблюдения смещений массива горных пород и земной поверхности на территории шахтного поля АП «Шахта им. А.Ф.Засядько» [1]. Исследования проводились одновременно с началом работ в 13 западной лаве пл. m_3.

Выбор объекта исследования обоснован большой глубиной ведения работ и высокой скоростью подвигания очистного забоя. Работы в лаве велись на глубине 1195 м. Мощность пласта достигала 2,1-2,3 м. Длинна лавы 250 м, а длинна столба – 1800 м. Лава была оборудована механизированным комплексом 3КД90 и комбайном 1ГШ68. Отработка столба велась обратным ходом по сплошной системе отработки без оставления целиков. Способ управления кровлей – полное обрушение.

На основании инструментальных наблюдений в работе [1] сделан вывод,

что скорость оседания земной поверхности при глубине ведения работ 1200 м и скорости подвигания очистного забоя до 100 м/мес. достигает 50-60 мм/мес. Продолжительность сдвижений в этих условиях оценивается от 17 до 20 месяцев. В источнике [2], на основании материалов [1], приведен расчёт параметров оседания поверхности, однако время сдвижений оценивается в 20 месяцев. Расхождения в оценке результатов исследования не велики и говорят о различиях в подходе к решению этой задачи.

Из материалов исследований [1] видно, что процессы деформации земной поверхности происходят с различной скоростью в разные периоды времени. Неоднородность скоростей опускания земной поверхности, вследствие ведения горных работ, указывает на наличие ускорения (замедления) в процессе развития деформационных процессов в толще горных пород и на поверхности земли. Очевидно, что изменение скорости развития деформационных процессов в породном массиве связано изменением напряжённо-деформированного состояния массива горных пород от очистного забоя до дневной поверхности.

Для построения математической модели процессов сдвижения к применению принят метод группового учёта аргументов.

К анализу приняты материалы нормативного документа [3] и исследований приведенных в [1].

В таблице 1 приведены скорости развития деформаций и продолжительность процесса деформаций для конкретных скоростей подвигания очистного забоя и глубин разработки [3].

Таблица 1

Исходные данные для моделирования скорости развития деформаций в горном массиве

Глубина разработки, м.	Продолжительность процесса сдвижений, мес. / Скорость развития деформаций по плоскости сдвижения, м/сут.		
	Скорость подвигания очистного забоя, м/мес.		
	30	50	70
100	5/2	4/2,5	3/3,3
300	13/2,3	8/3,8	6/5
500	22/2,3	18/2,8	10/5
700	30/2,3	19/3,7	13/5,4
1000	44/2,3	20/5	19/5,3

Массив данных из источника [3] обработан при помощи МГУА. В результате обработки получена эмпирическая зависимость скорости деформаций от глубины разработки, скорости подвигания очистного забоя и продолжительности процесса сдвижений (1):

$$V_Д = -6{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot t^3{}_Д - 0{,}004 \cdot t_Д + 1{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot v_{ОЗ}^3 - \\ - 0{,}0002 \cdot v_{ОЗ}^2 + 0{,}0014 \cdot H_Р + 1{,}6, \qquad м/мес, \tag{1}$$

где $V_д$ – скорость развития деформаций по плоскости сдвижения, м/сут.;

$v_{оз}$ – скорость подвигания очистного забоя, м/мес. ($30<v_{оз}<150$);

$H_р$ – глубина разработки, м ($300<H_р<1500$);

$t_д$ – продолжительность процесса сдвижений, мес. ($0<t_д<50$).

Относительная ошибка в поле исходных данных для зависимости (1) составляет менее 10%, что является достаточной точностью для решения задач в горном деле.

В результате многочисленных инструментальных наблюдений в разные годы установлено, что скорость оседания земной поверхности не одинакова в течение всего периода оседания [4, 5]. Максимальное значение скорости деформации земной поверхности разделяет зоны деформаций растяжения и сжатия [2, 6, 7, 8, 9]. Однако по изменению скорости оседания поверхности земли определить время смены напряжений затруднительно. Наиболее точно выявить

время чередования напряжений возможно при вычислении значений ускорения смещений, поскольку значения ускорения в это время должны принимать нулевые значения.

По результатам маркшейдерских наблюдений оседания поверхности сделан вывод, что процесс смещения поверхности состоит из трёх фаз: начальной, активной и стадии затухания [1]

Начальный этап сдвижений, для данных горно-геологических условий, длиться более 3-х месяцев. На этом этапе смещения не велики, однако их скорость быстро увеличивается.

Этап активных деформаций - характеризуется интенсивными оседаниями массива горных пород. Согласно [2, 6, 7] в течение этого периода времени происходит основная часть всех смещений. Скорость оседаний принимает максимальные значения. Интенсивные опускания массива горных пород обуславливают рост напряжений растяжения в толще вмещающих пород. В этот промежуток времени происходит расслоение массива горных пород и разрушение слоёв. В дальнейшем, после разрушения сплошности геологической толщи, происходит смена напряжений растяжения на напряжения сжатия. Это приводит к снижению интенсивности смещений в массиве горных пород и уменьшению скорости оседания поверхности.

На завершающем этапе происходит затухание процесса сдвижений в массиве горных пород и, как следствие, оседания поверхности прекращается.

Исходя из того, что максимальные смещения происходят в течение активной фазы, целесообразно исследовать именно этот период времени. Данные инструментальных наблюдений, соответствующие активной фазе оседания, проанализированы при помощи метода группового учёта аргументов. В результате получена зависимость (2) смещений поверхности от времени.

$$h = 7{,}543 \cdot 10^{-6} \cdot t^3 - 0{,}007 \cdot t^2 + 709{,}311, \text{ мм}, \qquad (2)$$

где h – оседание земной поверхности, мм;

t – продолжительность процесса оседания, сутки.

Для дальнейшего анализа уравнение (2) продифференцировано по времени

и получено выражение (3) скорости оседаний земной поверхности от времени для данных горногеологических и горнотехнических условий и выражение (4) ускорения процессов оседания земной поверхности.

$$v_{OC} = 2{,}263 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 0{,}014 \cdot t, \text{ мм/сут.,} \quad (3)$$

где v_{oc} – скорость оседания земной поверхности, мм/сутки.

По результатам расчетов по формуле (3) построен график зависимости скорости смещения земной поверхности от времени (рис 1).

Анализ результатов расчёта и графика показал, что параметры скорости оседания земной поверхности, вычисленные по формуле (3) и приведенные в [1] близки по значению. Максимальные значения скорости, вычисленные по предложенной зависимости (3), – 64 мм/мес. Выводы, сделанные в источнике [1], указывают на значения максимальной скорости 60 мм/мес. Относительная ошибка в поле исходных данных для формулы (2) составляет не более 7%.

$$a = 4{,}526 \cdot 10^{-5} \cdot t - 0{,}014, \text{ мм/сут}^2. \quad (4)$$

По зависимости (4) рассчитаны значения ускорения смещений поверхности и построена кривая (Рис 1) для условий АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» приведенных в [1].

Из графика видно, что ускорение оседания поверхности принимает максимальные значение в начальный и конечный период фазы активных деформаций. Наиболее важным является изменение знака ускорения. Время, при котором ускорение меняет знак, указывает момент смены напряжений растяжения и сжатия при оседании земной поверхности.

Для дальнейшего анализа полученных результатов проведен расчет значений скорости развития деформационных процессов в массиве горных пород по установленной зависимости (1). К расчёту принимаем глубину разработки, скорость подвигания забоя, время процесса активной стадии оседания в соответствии с [1]. По результатам расчёта построен совмещённый график (рис. 1).

Анализ графика (рис. 1) показал, что скорость развития деформаций в горном массиве по плоскости сдвижения не одинакова.

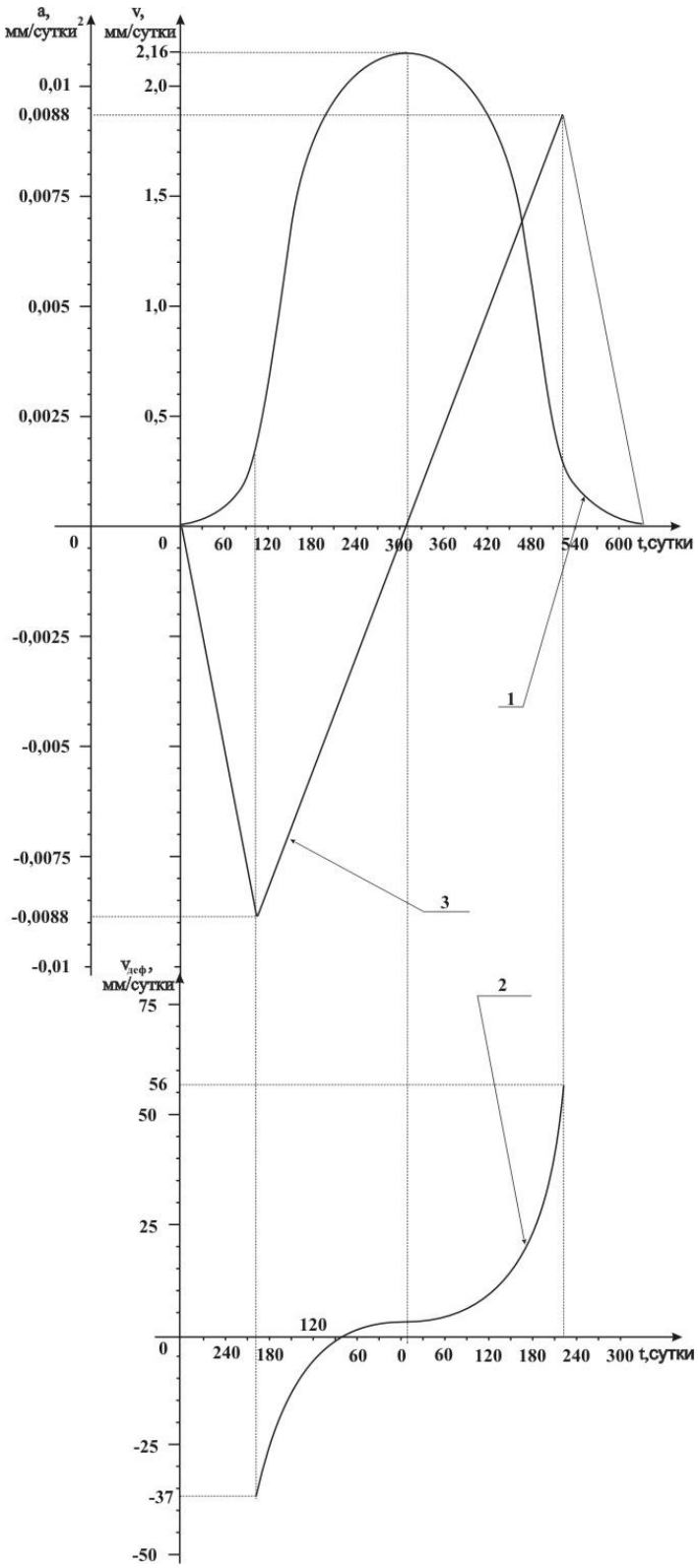


Рис. 1. Совмещённые графики скорости и ускорения оседания поверхности земли и скорости деформации массива горных пород по плоскости сдвижения:
1 – скорости оседания поверхности земли; 2 – скорости деформации массива горных пород по плоскости сдвижения; 3 – ускорения оседания поверхности земли.

Время, при котором скорость принимает нулевое значение, указывает на

смену напряжений растяжения и сжатия в массиве горных пород. Разница между временем, когда ускорение оседания поверхности земли и скорость развития деформаций в массиве горных пород принимают нулевые значения, равна 78 суткам.

Этот период времени отличается от расчётного [2] и полученному в ходе маркшейдерских измерений запаздыванию между началом оседания реперов 1 и 8 на поверхности [1] на 8,2 %, что подтверждает работоспособность зависимости (1). Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Оседание земной поверхности, вследствие подземной разработки угольных пластов, происходит со знакопеременным ускорением, причём, время изменения знака указывает на смену напряжений растяжения на напряжения сжатия в динамической мульде сдвижений.

2. Скорость развития деформационных процессов в массиве горных пород изменяется в течение всего времени развития деформаций. Время, при котором скорость деформаций принимает нулевое значение, указывает на смену растягивающих напряжений сжимающими в массиве горных пород.

Кроме того, получена новая эмпирическая зависимость, позволяющая прогнозировать скорости развития деформации для глубин разработки до 1500 м и скоростей подвигания лавы до 150 м/мес с относительной ошибкой в поле исходных данных до 9%.

Список литературы

1. Динамика оседаний земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости подвигания забоя / Гавриленко Ю.Н., Папазов Н.М., Морозова Т.В. // Проблеми гірського тиску: Зб. наук. праць – 2004. – №4 – Донецьк: Донецький національний технічний університет – с. 108–119

2. Теория сдвижений массива горных пород и управление деформационными процессами при подземной выемке угля / Четверик М.С. Андрощук Е.В. – Днепропетровск: РИА "Днепр–VAL", 2004. – 148с.

3. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях. Утв. Минуглепром СССР. М.: Недра, 1981. – 288 с.

4. Исследование скорости распространения процесса сдвижения в подрабатываемом массиве горных пород / Кулибаба С.Б. // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2004. – №1. – С. 78–82.

5. Расчет сдвижений и деформаций толщи горных пород при подземной разработке угольных месторождений / Кулибаба С.Б. // Геологія і геохімія горючих копалин, – 1998. – №4. – С. 98 – 100.

6. Сдвижение земной поверхности и геомеханические процессы в подработанном массиве при разработке пологих пластов угля / Четверик М.С., Озеров И.Ф. // Геотехническая механика. Межвед. сб. науч. трудов, – 1998. – №9. – С.64–70.

7. Геомеханическая модель сдвижения геологической толщи и земной поверхности при выемке угля / Четверик М.С., Озеров И.Ф. //Сб. науч. трудов горной академии Украины, – 2000. – №9. – том 2. – С. 3–7.

8. Петрук Е.Г. Управление деформационными процессами в динамической мульде сдвижения при подземной разработке пологих угольных пластов: Автореф. дис... д-ра техн. наук. – Днепропетровск, 1994. – 38 с.

9. Особенности формирования динамической и статической мульды сдвижения при разработке Никопольского марганцевого месторождения / Гаврюк Г.Ф., Антипенко Г.А. // Сб. науч. тр. горной академии Украины, – 2000. – №10. - С.147–151.

Сведения об авторе:

Савенко Андрей Владимирович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, e-mail: savenko-miner@mail.ru ; +38 (066) 557-41-52

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), ул. Челюскинцев, 291, г. Донецк, Украина, 83004;

УДК 631.618

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОСВОЕНИЯ РУСЛА Р. ПЫШМЫ (БЕРЁЗОВСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДАЕНИЕ, СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Старицына И.А., Старицына Н.А.

История Берёзовского золота началась с находки Ерофея Маркова, который в 1745 году нашёл коренное золото. Это уникальный случай в мировой геологической истории. Источник коренного золота найти всегда труднее, а россыпное буквально лежит на поверхности. Однако, до открытия россыпей Львом Ивановичем Брусницыным в 1814 году прошло ещё 70 лет [1]. Содержание золота в шахте 3-5 г/тонн, а в россыпях намного выше. Стоимость добычи золота шахтным способом дороже. Поэтому, так успешно, и почти без перерывов добывают россыпное золото в г. Берёзовском.

Россыпные месторождения — доступный источник золота, платины, алмазов. В Намибии на реке Нигер открытым способом из морских отложений извлекают алмазы. В России на реке Вишере также добывают алмазы, на других уральских реках из россыпей извлекают платину [2,3]. Многие реки России испытывают последствия открытого способа добычи полезных ископаемых. Особенно это касается рек Урала, Сибири и Дальнего Востока.

Свыше 60% золота России добывается из россыпей. Благодаря неглубокому (в среднем 15-30 м) залеганию и малой (0,6-2,0 м) мощности продуктивных пластов рассыпные месторождения быстро вовлекаются в эксплуатацию и требуют для своего горно-промышленного освоения меньше издержек, чем рудные. Однако, добыча полезного ископаемого таким способом сопровождается нарушением значительных площадей земель, надолго изымаемых из сельскохозяйственного и другого использования, ухудшении качества водных и лесных ресурсов и весьма ощутимом ущербе ихтиофауне [4].

На реках Пышма и Берёзовка работает золотопромывальная драга. Методика добычи простая. Со дна и берегов реки специальными ковшами зачерпывается песок аллювиальных отложений. Внутри драги песок промывается,

пропускается под струёй воды по резиновым коврикам, на которых осаждаются частички золота.

Драга осуществляет полный комплекс действий по разработке россыпного месторождения: добыча золотоносного песка, доставка его на поверхность, извлечение полезного ископаемого, удаление отходов. Управление драгой осуществляют всего несколько человек (5-9 человек). Раньше такую производительность могли обеспечить 12 000 старателей-золотодобытчиков при помощи самодельных лотков [5].

Проблема реки Пышмы в том, что драга проходила по реке неоднократно. Отработав отложения в одном направлении, драга возвращалась назад, и начинала прорабатывать участок реки вновь. Экосистема реки не успевает восстановиться и снова подвергается воздействию драги. Открытый способ отработки россыпей оказывает негативное влияние на экосистему реки Пышмы. Нарушается почвенный покров [6], гибнут растения, меняется биоценоз. На восстановление экосистемы требуется много времени. В реки сбрасываются валунно-галечные и песчано-глинистые фракции, образующие отвалы высотой несколько метров. С целью поддержания необходимого уровня воды для плавучих драг на реках сооружаются плотины. Драга разделяет реку на систему замкнутых или полузамкнутых непроточных водоёмов. Эти водоёмы мелководные, они быстро зарастают камышами по берегам и заболачиваются, образуются старицы, которые со временем пересыхают [7]. Течение реки меняется, оно уже не прямолинейное, а разделенное на отдельные «субтечения». Когда река развивается по естественному сценарию, на дне формируется система плёсов и перекатов. Самое глубокое место в реке находится посередине, там течение самое стремительное и мощное, там же река ведёт разрушительную работу, стремясь достичь уровня локального базиса эрозии.

После работы драги естественная система плёсов-перекатов нарушается, и реке нужно время, чтобы выработать на дне новый профиль равновесия, вернуть прежнюю скорость течения. Чем выше будет скорость течения, тем выше работа реки, тем быстрее река сможет восстановить донный рельеф, а значит, вернуться к

естественному состоянию.

Протяжённость реки Пышмы 603 км, она берёт своё начало севернее г. Верхняя Пышма, вытекает из озера Ключи. Площадь водосборного бассейна реки 19700 км^2. Расход воды составляет 39 м^3/с. Относится к водной системе Карского моря. Река Пышма - правый приток Туры. Бассейн рек: Тура – Тобол – Иртыш – Обь. Восьмая по протяженности река Свердловской области [8]. В верховьях берега покрыты лесом, есть заболоченные участки. На всём протяжении этой реки находятся 14 населённых пунктов, каждый из них вносит свою лепту в техногенное загрязнение этой реки [9].

Кроме механического повреждения, которое наносит драга, река Пышма испытывает геохимическое загрязнение. В верховьях реки находится металлургический комбинат «Уралэлектромедь» УГМК-холдинг, Уральский завод химических реактивов, Опытный завод «Гиредмет», и хотя там качественно очищают сточные воды, 100 % очистки сточных вод не существует, а это значит, в реку могут попасть отходы металлургии.

Ниже по течению находятся Северные очистные сооружения г. Екатеринбурга, и хотя их объём, по сравнению с Южными очистными сооружениями невелик, они тоже вносят свою лепту в загрязнение реки. Южные очистные сооружения сливают очищенные сточные воды в р. Исеть. Северные очистные сооружения сливают очищенные стоки в р. Камышенку, которая является притоком р. Пышмы. Таким образом, в реку может попасть биологическое загрязнение. Экологическая обстановка в верховьях реки остаётся напряженной, в неё сбрасываются хозяйственно-бытовые и промышленные воды городов Верхняя Пышма, Екатеринбург, Березовский.

В пределах Берёзовского городского округа, на берегу реки Пышмы находится хвостохранилище. Это отходы работы обогатительной фабрики. На фабрике производится обогащение золотоносной породы. Методов экологически безопасного обогащения и 100 % извлечения полезных компонентов практически не существует. Поэтому, часть вредных веществ может загрязнять акваторию реки. Руды Берёзовского месторождения кроме золота, содержат Ag, As, Sb, Co,

Pb, Zn, Cu, Ni, Te, Se [1]. Все эти химические элементы, вместе с отработанной породой, попадают в реку, и также загрязняют почву. Химические реагенты, применявшиеся для извлечения золота из породы, также могут являться загрязнителями воды в реке.

Для того, чтобы отвал не «расползался» по территории, с одного из его бортов проведена рекультивация – высажены кусты облепихи. В верхнюю часть отвала поступает пульпа – смесь отработанного песка и воды. Образуется «пульповое» озеро, смесь отстаивается на открытом воздухе, песок оседает, часть воды просачивается внутрь отвала и дальше в почву, часть воды испаряется. Расстояние от отвала до берега р. Пышмы в некоторых участках небольшое. Отвал сложен частичками кварца. В ясный солнечный день песчинки переливаются на солнце, и очень хорошо видно, что «песчаный» след от отвала уходит прямо в реку. То есть, отходы золотодобывающего производства попадают в реку Пышму. Данный песок не считают вредным, его используют для строительных нужд. Часть песка используют в шахте для закладки старых горных выработок. Роза ветров направлена таким образом, что ветер преимущественно дует в северо-западном направлении, от реки к отвалу, а не наоборот, что могло привести к большему загрязнению.

В течении своей жизни река проходит три стадии развития: стадии молодости, стадия зрелости, стадия старости. На стадии старости река в плане становится извилистой, появляется большое количество меандров, изгибов реки. Фрагмент реки Пышмы в пределах Берёзовского района выглядит так, как будто это стадия старости реки – русло изогнуто, большое количество ответвлений и стариц. Если бы река достигла стадии «старости» естественным путём, то её вид на всём протяжении был бы одинаковым, а это не так. Участки реки до и после г. Берёзовского прямолинейные. Чем ниже скорость течения реки, тем меньше вероятность её самовосстановления.

Участки земли на берегу р. Пышмы очень востребованы жителями города Берёзовского, ещё в советские годы там были организованы садовые товарищества. Аллювиальные отложения издавна используются в сельском

хозяйстве, ещё со времён Древнего Египта можно вспомнить разливы Нила.

Экологические последствия горных работ обусловлены генетической связью рассыпного месторождения с речной сетью и особенностями технологии добычных работ, заключающиеся в извлечении тяжелой фракции посредством промывки рыхлой вмещающей породы водой в месте ее залегания. Промывка россыпи - один из наиболее водоемких технологических процессов горных работ [3]. В результате промывки золотоносного песка река претерпевает следующие изменения:

- естественный русловый рельеф сменяется техногенным,
- исчезают песчаные откосы и отмели,
- нарушается естественная слоистость речных отложений,
- разрушаются речные террасы, над созданием которых природа работала веками,
- уничтожается растительность, как придонная, так и береговая,
- нарушается течение жизни речных обитателей, частично гибнет рыба.

Список литературы

1. Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А. Месторождения золота Урала. – Екатеринбург: Издательство УГГГА, 1999.

2. Максимович Н.Г., Макарова О.В. Техногенно-геохимические процессы при разработке месторождений золота бассейна р. Вишеры (Северный Урал) // IV объед. симпоз. по проблемам прикладной геохимии, посвященный памяти академика Л.В. Таусона: Тез. докл.,-Иркутск,1994.-Т.2.-С.68-69.

3. Наумов В.А., Максимович Н.Г., Макарова О.В. Условия формирования и прогнозирование изменения золотоносности техногенных россыпей (на примере Вишерского района) // Прогнозирование и методика геолого-геофизических исследований месторождений полезных ископаемых на Западном Урале: Тез. докл. науч. конф.-Пермь,1994.-С.22-23.

4. Maximovich N.G., Blinov S.M. Hydrosphere transformation in the diamond placers mining area in the Vishera river basin, the Urals // Engineering Geology and the Environment. Rotterdam, Brookfield,1997.-V.3.-P.2467-2469.

5. Геоэкологические исследования при разведке и освоении россыпей/ В.Н. Новиков, Г.А. Жукова, С.А. Буланов. - М. 1992. - 52 с. - (Геоэкологические обследования и охрана недр) Обзор / МГП "Геоинформмарк"

6. Бычинский В.А., Вашукевич Н.В. Экологическая геохимия. Тяжелые металлы в почвах в зоне влияния промышленного города. Уч. пос. Иркутск: Изд-во Иркутск. гос. Ун-та, 2008. 189 с.

7. Старицына И.А, Старицына Н.А, Экологические последствия освоения человеком русла реки Берёзовки (Свердловская область, Средний Урал). //Материалы международной научно-практической конференции «Водный транспорт России: инновационный путь развития». СПб: СПГУВК, 2011, с. 81-85.

8.Государственный водный реестр РФ: Пышма. Архивировано из первоисточника 19 октября 2015.

9.Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Вып.2. Тобол/ Под ред. В. В. Николаенко. — Л.: Гидрометеоиздат, 1965. — 240 с.

Сведения об авторах:

Старицына Ирина Анатольевна канд. геол.-минер. наук, доцент, ФГБОУ ВО Уральский Государственный Аграрный Университет, Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42, e-mail: i-staritsina@yandex.ru

Старицына Наталья Анатольевна, преподаватель, ГОУ СПО СО "Уральский государственный колледж имени И.И. Ползунова", 620014, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 28, e-mail: i-staritsina@yandex.ru

УДК 622.271.326

КАРЬЕРЫ БЕЗ ОТХОДОВ

Сысоев А.А., Ермолаев В.А., Литвин Я.О., Селюков А.В.

Перспектива дальнейшего увеличения добычи угля в Кузбассе связана с развитием открытых горных работ. Основным недостатком открытого способа добычи угля в регионе является высокая экологическая нагрузка на окружающую среду и, главное, землеемкость горных работ. Внешние отвалы пород вскрыши и остаточные открытые горные выработки (рис.1) занимают большие пространства, что при высокой концентрации предприятий ведет к сплошному нарушению

земель на значительной территории площадью сотен квадратных километров.

Рис.1. Источники нарушения площадей земной поверхности при открытой угледобыче.

При высокой угленасыщенности границы территорий под выработки горных отводов разрезов, промплощадки, транспортные коммуникации горных предприятий часто непосредственно смыкаются между собой и не оставляют достаточно свободного близко расположенного от горных участков места для размещения внешних отвалов пород вскрыши. Это является серьезным препятствием для дальнейшего развития открытой угледобычи и повышения ее экономической эффективности. При критике открытого способа добычи угля часто звучат пожелания заставить открытчиков освободить землю от внешних отвалов и складировать вскрышные породы в остаточных открытых горных выработках, вернуть рельефу земной поверхности прежний вид. И это желание только отчасти справедливо, поскольку изымаемые земли часто представлены природными или техногенными нарушениями, малопригодными в хозяйственном отношении территориями, требующими санации.

Причиной такого положения дел в отрасли открытой угледобычи Кузбасса является продолжающееся применение на практике предусмотренных проектами продольных углубочных и сплошных систем разработки с подвиганием фронта горных работ разрезов вкрест простирания пластов от выхода их на поверхность в глубину. При применении таких систем разработки возможности внутреннего отвалообразования ограничены пластами горизонтального и пологого падения и полностью отсутствуют при наклонном и крутом падении пластов, которое является в Кузбассе преобладающим. В этом случае только треть пород вскрыши

на действующих разрезах, возможно, разместить во внутренних отвалах, тогда как основная часть вскрыши перемещаться во внешние отвалы по транспортной технологии на значительные расстояния. Даже применение в последние годы блочной отработки месторождений по продольным системам разработки лишь частично увеличивает возможности внутреннего отвалообразования и сокращает расстояние транспортирования пород вскрыши. В результате открытые горные выработки разрезов продолжают оставаться не заполненными, а внешние отвалы пород вскрыши занимают значительные площади и увеличивают землеемкость открытых горных работ практически в несколько раз (рис.2).

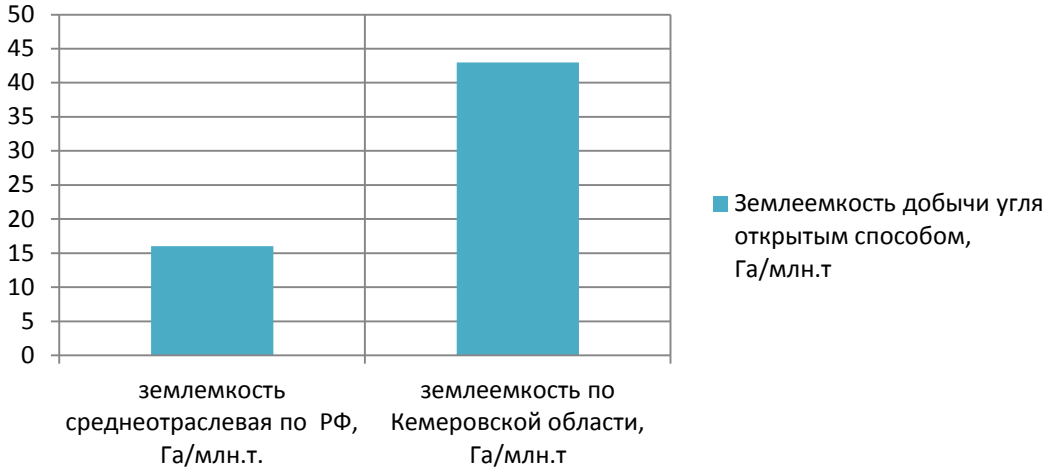


Рис .2. Текущая землеемкость открытой угледобычи

Целесообразность применения на разрезах Кузбасса поперечных систем разработки, обеспечивающих более полное внутреннее отвалообразование, обоснована более пятидесяти лет назад доктором технических наук П. И. Томаковым [1]. За прошедшее время эффективность поперечных систем разработки подтверждена исследованиями многих авторов [2, 4, 5, 6].

Продолжающееся широкое применение продольных систем разработки для новых разрезов можно объяснить только низким качеством проектных решений, поверхностной экспертизой проектов, высокой доступностью земель и ориентацией заказчиков проектов на получение быстрого относительно кратковременного эффекта с формальным отнесением затрат на более поздние периоды.

Как правило, урезая затраты на проектирование, не заказывая предварительных исследований, ограничивая количество рассматриваемых проектом вариантов развития горных работ недропользователи получают выполненные по шаблонам прошлых лет дорогостоящие в производстве, не рассчитанные на долгосрочную перспективу экономически и экологически далеко не совершенные проектные решения.

На кафедре «Отрытые горные работы» ГУ КузГТУ проводились поисковые решения по модернизации поперечных систем разработки, в результате которых основополагающими моментами развития таких систем разработки обозначены три главных направления (рис. 3):

I - санация прилегающей территории карьерного поля породами вскрыши;

II - временный внутренний отвал с последующим перемещением пород в постоянный внутренний отвал;

III - создание пологой торцевой части карьерного поля для устойчивого внутреннего отвала, минимизация размеров карьера первой очереди, потребности во временном отвалообразовании.

Организационные решения изложены далее. Как следует из рисунка 3 на первом этапе происходит санация исходного рельефа поверхности прилегающих территорий карьера вскрышными породами при создании начальной выработки под постоянный внутренний отвал (формирование равнинной поверхности). Первоначальная выработка с пологим бортом служит в дальнейшем основой для размещения вскрыши в выработанном пространстве карьерного поля. На втором этапе происходит формирование временного отвала вскрышных пород внутри перспективных контуров горного отвода и одновременно формируется промежуточный переходный контур отсыпки отвала от внешнего к внутреннему. Затем на третьем этапе формируется постоянный внутренний отвал, и вскрышные породы складируются в выработанном пространстве карьера.

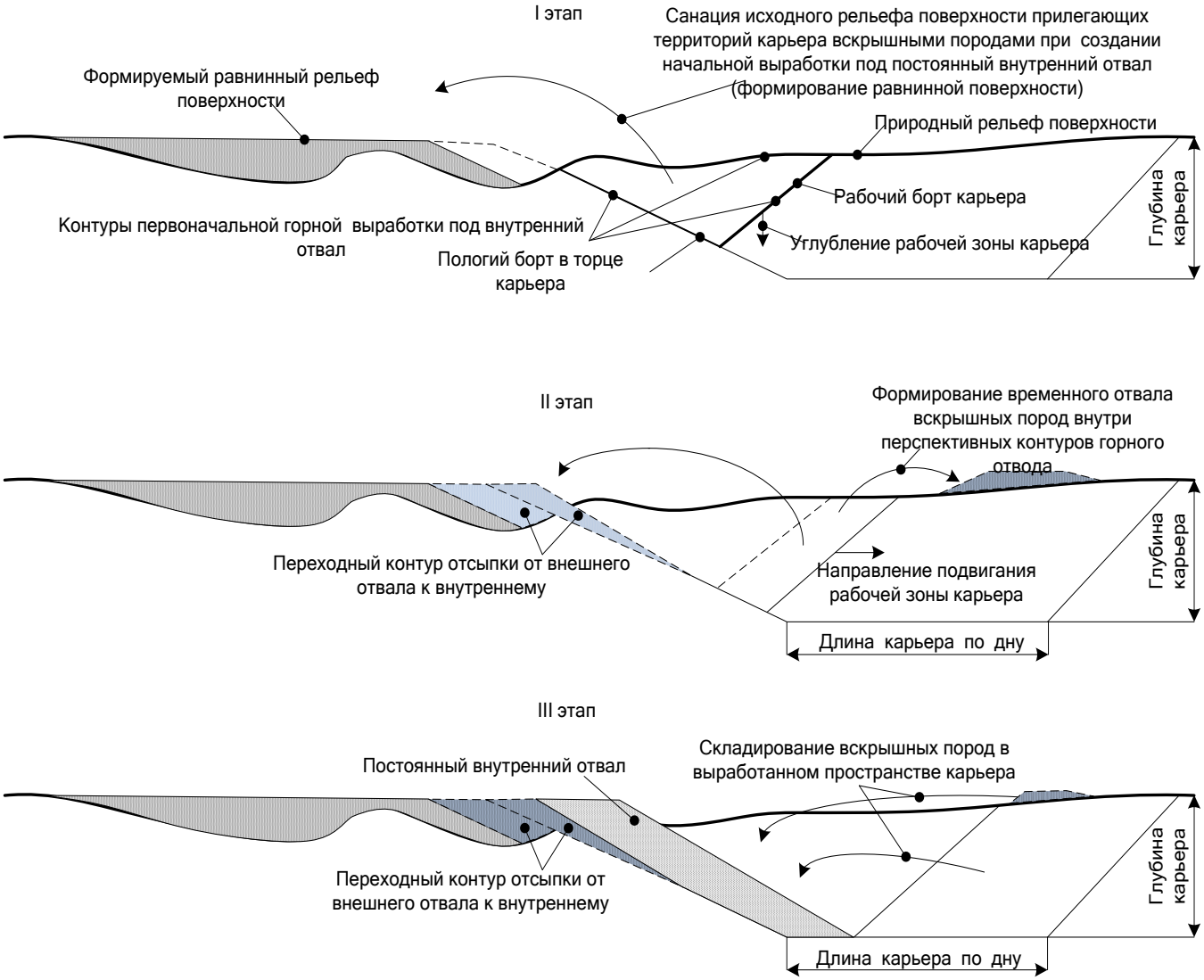


Рис. 3. Поэтапная отработка месторождения по поперечной углубочно-сплошной системе разработки с геоморфологическим преобразованием естественного и техногенного рельефа поверхности (I-III этапы разработки месторождения).

Практическая реализация теоретических предпосылок позволит обеспечить производство открытых горных работ по добыче угля без внешних отвалов вообще, т.е. без отходов. При конкретном проектировании необходимо в обязательном порядке рассматривать вариант разработки с применением поперечной системы, как альтернативный традиционной продольной системы, с уточнением ее деталей. Только по результатам такого сравнения можно в последующем решать вопрос о предоставлении разрезу земель под размещение внешних отвалов породы вскрыши.

Список литературы

1. Томаков П. И., Барабанов В. Ф., Дергачев И. И. Разработка крутых и наклонных пластов открытым способом с размещением пустых пород в выработанном пространстве. -М.: Уголь. 1959. -№12 -С. 9-10.

2. Хохряков В. С. Проектирование карьеров. М., Недра, 1980. - 336 с.

3. Пилипенко А. Н., Протасов А. И., Баснак И. К., Калинин А. В. Опыт работы Томь-Усинского карьера № 3-4 // Открытая добыча угля в Кузбассе. - Кемерово. Кемеровское кн. изд-во, 1968. -С. 43-62.

4. Ермолаев В. А., Федотенко С. М., Демченко А. В. Поэтапно-углубочная технология интенсивной отработки угольных пластов для условий разреза «Краснобродский». -М.: Уголь. 1997. -№1 -С. 21-22.

5. Ческидов В. И. Очередность разработки пологих и наклонных угольных пластов с размещением вскрышных пород во внутренних отвалах: Дис. в форме научного доклада на соискание уч. ст. канд. техн. наук. Новосибирск, 1999. 52 с.

6. Селюков А.В. Поэтапный переход действующего разреза с углубочной продольной на поперечную систему разработки / Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Сб. науч. статей. Межд. науч.-практ. конф «Уголь России и Майнинг 2010». Новокузнецк. -С.155-162.

Сведения об авторах:
Сысоев Андрей Александрович, доктор техн. наук профессор
Ермолаев Вячеслав Андреевич, доктор техн. наук,
Литвин Ярослав Олегович, кандидат техн. наук, доцент
Селюков Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева», 650099, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел. +7 (3842) 396368 e-mail:alex-sav@rambler.ru

УДК 502.55:622(571.6)

ТИПИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНАХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Усиков В.И., Озарян Ю.А., Бубнова М.Б., Липина Л.Н.

Каждое месторождение, эксплуатируемое предприятием, является уникальным природным объектом: в природе нет двух месторождений полностью идентичных друг другу. Однако, для практического использования их приходится классифицировать, выделяя наиболее существенные свойства (признаки). Набор этих свойств зависит от характера решаемой задачи: одни из них могут иметь значение для регионального прогноза, другие для поисков, третьи для геолого-экономической оценки и т. д.

После ввода в эксплуатацию горнодобывающими предприятиями месторождения становятся объектами, оказывающими существенное воздействие на среду обитания. Одним из основных видов такого воздействия является распространение ее загрязнения. При этом уникальность объектов никуда не может исчезнуть, но имеющие важное значение на предыдущих стадиях освоения свойства, например, геолого-структурные, генетические и пр. отходят на задний план, а на передний выдвигаются другие. Тем не менее, для успешного решения задач охраны окружающей среды (ОС), в частности, организации системы контроля и мониторинга, оценки экологических рисков, прогноза развития экологических ситуаций необходима классификация объектов воздействия с точки зрения его интенсивности и характера последствий.

При разработке структуры типизации горнорудных месторождений по источникам загрязнения за основу была взята классификация техногенных месторождений, разработанная К.Н. Трубецким и др. [1].

Источники загрязнения ОС в горнопромышленных районах естественно разделить на три большие группы: рудные, нерудные (включая угольные) и россыпные. Первые содержат основной полезный компонент, который зачастую является поллютантом и сопутствующие примеси элементов-загрязнителей в концентрациях значительно превышающих фоновые в неизмененных породах, характерных для данного региона. При освоении коренных рудных месторождений образуется четыре основных вида твердых отходов, которые влияют на окружающую среду. К ним относятся: отвалы вскрышных, рудовмещающих пород и некондиционных руд, твердая фаза отходов обогащения, стоки жидких насыщенных растворов, газовые эманации и выбросы. Технологические процессы, почти всегда включают в себя стадию обогащения, что определяет необходимость использования хвостохранилищ, а также дополнительных химических реагентов, применяемых на этой стадии, которые могут вносить свой вклад в загрязнение. Отвалы и хвосты обогащения являются одновременно и источниками загрязнения и потенциальными или даже реальными техногенными месторождениями [2]. Исследованиями ИГД показано, что на протекание гипергенных процессов, и, как следствие, характер миграции и накопления загрязнителей в поверхностных условиях существенную роль играют сульфиды [2]. Оказываясь в зоне гумидного гипергенеза с избытком кислорода и других газов, растворенных в дождевой воде, сульфиды, окисляясь, преобразуются в поверхностных условиях в минералы: сульфаты, карбонаты и оксиды (гидроксиды). Сульфатная стадия при обилии дождевых вод, активно растворяется и подвержена химической миграции в растворенной форме, которые выходят с дренажными потоками в поверхностные водотоки или подземные водные горизонты [3]. Поэтому, учитывая, что руды сульфидной формации являются, как правило, полиминеральными, в качестве индикатора токсичности

руд принято разделение их на многосульфидные (содержание сульфидов более 5%)и малосульфидные (ниже 5%) [4].

Одними из наиболее характерных показателей загрязнения ОС горнопромышленными предприятиями являются показатели экологического состояния природных сред. Почвы депонируют различные виды загрязнения, в том числе тяжелые металлы (ТМ) и другие химические загрязняющие вещества. Уровень химического загрязнения почв характеризует степень неблагоприятного воздействия экзогенных химических веществ на здоровье населения. Показателями уровня загрязненности почв являются коэффициент концентрации химического вещества (Кci) и суммарный показатель загрязнения (Zc), который характеризует эффект воздействия ассоциации химических элементов при полиэлементном загрязнении.

Коэффициент концентрации, $К_{ci}$, и суммарный показатель загрязнения, Zc, рассчитываются по формулам:

$$Kci = \frac{Ci}{C_{фон}} \qquad (1)$$

Где C_i – концентрация металла, i - элемента в пробах почвы, мг/к

Суммарный показатель загрязнения (Zc):

$$Zc = \sum_{i=1}^{n} Kc_i - (n-1) \qquad (2)$$

По суммарной величине Zc определяется категория загрязнения почв: допустимая - величина менее16; умеренно опасная – величина от 16 до 32; опасная – величина от 32 до 128; чрезвычайно опасная – величина от 128 и более [5].

На нерудных месторождениях, извлекаемая из недр горная масса чаще используется полностью, особенно это касается стройматериалов. Иногда разделяется по сортам, которые могут временно складироваться раздельно, как например на месторождениях магнезиальных пород. Поэтому в основном скапливаются отвалы вскрышных пород. Сопутствующие элементы-загрязнители, содержатся в акцессорных минералах и их концентрации, как правило, не превышают фоновые для данного региона. Однако локальные геохимические

фоновые содержания, для разных пород, могут отличаться весьма существенно. Так граниты или бурые угли могут содержать повышенные количества радиоактивных и редких элементов. Сульфиды для нерудных месторождений не типичны.

Нерудные объекты, содержащие горнохимическое сырье, по своим технологиям разработки и характеру вредного воздействия ближе к рудным. Например, боросиликатные месторождения Дальнегорского района, где основной элемент — бор относится к первому классу по опасности [6], а при разработке требуется стадия обогащения и, соответственно, хвостохранилища. Поэтому данный объект целесообразно отнести к рудным.

В ДВ регионе до 90-х гг. XX века активно разрабатывались россыпные месторождения драгоценных металлов и некоторых других видов минерального сырья — олова, вольфрама. Сейчас их значение снизилось, но пока остается весомым. Эти техногенные объекты имеют свойства аналогичные с рудными и нерудными, а также ряд своих отличий. В связи с этим, отнесены в отдельную группу. В настоящее время образуется большой объем отходов горных масс в виде галечных и эфельных отвалов, а нередко и вскрышных пород. Часть из них становятся техногенными месторождениями. Это сближает россыпные месторождения с рудными. Еще одним фактором является наличие сопутствующих минералов, часто сульфидных. В первичном залегании, ниже уровня грунтовых вод они пассивны и разлагаются медленно. После отработки россыпей сульфиды попадают в условия промывки аэрированными водами и все процессы резко активируются. Важным загрязняющим компонентом является ртуть, применяемая при добыче с амальгамированием. В настоящее время такая технология запрещена, но в регионе имеется большое количество отработанных объектов, где она в прошлом активно использовалась. Большое значение имеет загрязнение вод взвесями. В настоящее время запрещена добыча ценных компонентов из россыпей без принятия мер по охране вод. Это может случаться при аварийных сбросах технологической воды через защитные дамбы.

Выделенные группы горнотехнических объектов предлагается подразделить на три подгруппы по способу добычи: открытая, подземная и комбинированная отработка. Прежде всего, это относится к группе рудных месторождений. Из нерудных подземным способом отрабатываются только угли. Возможна добыча таким способом слюд и драгоценных камней. Россыпные месторождения подземным способом разрабатываются исключительно редко.

Далее устанавливаются градации по интенсивности воздействия на ОС. Для отвалов и хвостохранилищ таким критерием является площадь, для рудовозных дорог — их суммарная длина на единицу площади.

При оценке воздействия загрязнения на человеческую популяцию предполагается учет социальной структуры общества:

Группа А: персонал, непосредственно занятый на производстве, это люди имеющие прямой контакт с поллютантами в процессе своей трудовой деятельности и подвергающиеся постоянному воздействию вредных агентов.

Группа Б: лица, работающие на сопутствующих производствах и подвергающиеся прямому вредному воздействию периодически.

Группа В: основное население, проживающее на территории горнорудных районов и не связанное с вредными производствами.

Полная типизация источников загрязнения ОС приведена в таблице.

Для примера, по предлагаемой типизации описано несколько месторождений: рудные, разрабатываемые открытым, подземный и комбинированным способом- Солнечное, Дальнегорское; нерудные- месторождение строительного камня Корфовское и Бикинское буроугольное, гдеведется открытая отработка.

Месторождения, разрабатываемые Солнечным горно-обогатительным комбинатом, относятся к оловорудными, здесь применялся комбинированный способ добычи. Два самых крупных месторождения Фестивальное и Перевальное (суммарные запасы более 80 % от общих) являются сульфидсодержащими, поэтому весь горнорудный район следует отнести к типу Б. В связи с тем, что основные мощности предприятия на данный момент не эксплуатируются,

техногенному воздействию подвергаются группы населения А и В. Источниками загрязнения являются: три хвостохранилища общей площадью 136,7 га; породные отвалы – 16,2 га; карьер Солнечной обогатительной фабрики 36,7 га; на предприятии функционировало две обогатительные фабрики - Центральная и Солнечная; отстойники общей площадью 13,6 га; протяженность рудовозных дорог не менее 36 км.

Дальнегорское боросиликатное месторождение относится к группе рудных разрабатываемых открытым способом. В связи с тем, что предприятие фактически расположено в г. Дальнегорск, техногенному воздействию подвергаются все три группы населения. Добыча ведется в руднике открытого типа (площадь). Предприятием эксплуатируется два хвостохранилища общей площадью 110 га. Содержание сульфидов низкое, бор относится к элементам первого класса опасности.

Таблица

Основные источники загрязнения и их воздействие на окружающую среду

Группа			**Источники загрязнения**					
Рудные (Р)								
Подгруппа. Способ добычи	Тип	Подтип (по уровню загрязнения)	Хвосто-храни-лище/ S, га	Отвалы/ S,га	Карьер S, га/ шахта/ штольня	Обогатительная фабрика	Отстойник	Рудо-ые дороги, протяженность
Открытый (О) Подземный (П) Комбини-рованный (К)	**Тип А.** Содержание сульфидов < 5 % **Тип Б.** Содержание сульфидов > 5 %	**а: низкий** (Zc 8-16); **б:средний** (Zc 16-32); **в. высокий** (Zc 32-128); **г. очень** высокий (Zc >128);	**I**.< 10 га **II**. 10-50 га **III**.>50 га	**1**.Рудные **2.**Породные	< 10 10-50 >50	+ имеется - отсутсвует	+ имеется - отсутсвует	до 5 км 5-10 км 10 и более
Нерудные (Н)								
Подгруппа. Способ добычи	Тип	Подтип	Дробильно-сортировочный участок	Отвалы/ S,га	Карьер S, га/ шахта/ штольня	Обогатительная фабрика	Отстойник	Карьер-ные дороги, протяжен ность
Открытый (О) Подземный (П) Комбини-рованный (К)	**Тип А.** Содержание минералов радиоактивных элементов < 0,1 % **Тип Б.** Содержание минералов	**а: низкий** (Zc 8-16); **б:средний** (Zc 16-32); **в. высокий** (Zc 32-128); **г. очень** высокий	+ имеется - отсутсвует	**1**.Рудные **2.**Породные	< 10 10-50 >50	+ имеется - отсутсвует	+ имеется - отсутсвует	до 5 км 5-10 км 10 и более

Группа			**Источники загрязнения**					
	радиоактивных элементов > 0,1 %	(Zc >128						
Золотые россыпи (ЗР)								
Hg+: с применением амальгамирования; **Hg-:** без амальгамирования	**Тип А.** Содержание сульфидов < 5 % **Тип Б.** Содержание сульфидов > 5 %	**а: низкий** (Zc 8-16); **б:средний** (Zc 16-32); **в. высокий** (Zc 32-128); **г. очень** высокий (Zc >128	Сезонный объем переработки горной массы		Отвалу песков и эфелей		Пригодность отработанных песков к повторной переработке	

Дальнегорское боросиликатное месторождение относится к группе рудных разрабатываемых открытым способом. В связи с тем, что предприятие фактически расположено в г. Дальнегорск, техногенному воздействию подвергаются все три группы населения. Добыча ведется в руднике открытого типа. Предприятием эксплуатируется два хвостохранилища общей площадью 110 га. Содержание сульфидов низкое, бор относится к элементам первого класса опасности.

Самое крупное месторождение рудного золота в Хабаровском крае, разрабатываемые Многовершинным горно-обогатительным комбинатом относятся к золото-адуляр-халцедон-кварцевой или убогосульфидной формации, золото-галенит-сфалерит-халькопиритовому минеральному типу. Многовершинное месторождение относится к группе рудных, добыча производится комбинированным способом. Хвосты золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ) складируются в хвостохранилище, рассчитанном на 20 лет работы предприятия. Основные источники загрязнения: хвостохранилище, площадь которого составляет 59,8 га; карьеры общей площадью 838 га; протяженность рудовозных дорог менее 30 км, а также шахтные воды. Содержание сульфидов низкое до 5%. Воздействию загрязняющих веществ подвергаются не все группы населения, т.к. основные источники расположены в долине реки Лев. Ул вблизи пос. Многовершинный и не имеющий природных препятствий.

Корфовское месторождение гранодиоритов: группа Н, подгруппа О, тип А, подтип а (суммарный показатель загрязнения почв-12,48). На предприятии функционирует дробильно-сортировочный участок, общая площадь отвалов 21 га,

протяженность карьерных дорог 10 км.

Разработка Бикинского буроугольного месторождения осуществляется двумя угольными разрезами, в состав которых входят пять эксплуатационных участков: «Восточный», «Западный», №2, «Северо-Западный» и участок «Центральный». Добыча угля ведется открытым способом. Общая площадь отведенных земель составляет порядка 5400 га. Отвалообразование внешнее, из общего объема вскрыши примерно 1/3 размещается во внутренние отвалы на горизонт нижнего отрабатываемого угольного пласта, а остальная часть вывозится на внешние отвалы. Площадь занятая породными отвалами на Бикинском буроугольном месторождение, составила 1454 га, под угольными карьерами занято 1234 га, а золоотвалами – 844 га, километраж углевывозящих дорог составил 88,87 км. Общая площадь нарушенных земель - 3532 га, что составляет 65% от земельного отвода [7].

В дальнейшем планируется расширить количество параметров для типизации и классифицировать все изучаемые нами месторождения.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин Н.Б. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия / Горный журнал. 1989, № 12. С. 6 — 9.

2. Грехнев Н.И., Усиков В.И. Региональные экономические и экологические проблемы, связанные с с минеральными отходами горных производств. // Региональные проблемы. 2011. Том14 №1 С. 21 – 25.

3. Грехнев Н.И., Липина Л.Н. Особенности геохимических реакций окисления в зоне гипергенеза в климатических условиях юга дальнего Востока / ФРТПИ. 2014 – №4, с.183-188.

4. Грехнев Н.И., Липина Л.Н., Лапекина С.И.Опыт многофакторного моделирования зон экологического риска в горнопромышленных районахюга Дальнего Востока / ГИАБ,2014. – С. 215-220.

5. Сает Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин [и др.]. – М: Мысль,1990. – 335 с.

6. Иванов В.В. Экологическая геохимия: справочник. В 6 т./ В.В. Иванов.- М.:Экология, 1997.

7. Бубнова М.Б., Озарян Ю.А. Геоэкологическая оценка региональных природно-горнотехнических систем на юге Дальнего Востока // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 5. С. 189-196

Сведения об авторах:

Усиков Виталий Игнатьевич, канд. эконом. наук, и.о. зав. лаб. экологических проблем освоения минеральных ресурсов, e-mail: v-i-usikov@yandex.ru

Озарян Юлия Александровна, канд. техн. наук, н.с., e-mail: ozaryanigd@gmail.com

Бубнова Марина Борисовна, канд. техн. наук, с.н.с., e-mail: 138_marina@mail.ru

Липина Любовь Николаевна, канд. техн. наук, н.с., e-mail: GEO-LIPINA@rambler.ru

Институт горного дела ДВО РАН, 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева 51, тел. (4212) 32-79-27

УДК 539.3

МОДЕЛИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕАБИЛИТАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Хаустов А.П., Редина М.М.

Углеводородное загрязнение геологической среды – приоритетная экологическая проблема для многих регионов России и соседних стран. Эта проблема касается не только регионов нефтедобычи: загрязнения геологической среды отмечаются практически повсеместно, особенно ярко проявляясь в зонах влияния объектов добычи, хранения, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов (НП). Острота проблемы требует поиска новых решений, которые позволили бы максимально эффективно провести ремедиацию загрязненной геологической среды и снизить нагрузку на сопредельные компоненты природных систем.

В качестве такого решения предложено создание специализированной экологической экспертной системы по реабилитации геологической среды загрязненной углеводородами [5]. Проект *«Разработка экспертной системы реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, на основе*

принципов самоорганизации для территорий государств − участников СНГ», реализуется в сотрудничестве научных коллективов России, Беларуси и Казахстана. С российской стороны участником проекта стал коллектив кафедры прикладной экологии РУДН.

Необходимость анализа сложных ситуаций и принятия решений в сжатые сроки в критических условиях требует привлечения экспертов, мнения которых могут быть необъективными в силу недостаточной информированности. Это обусловливает необходимость разработки *специализированных экологических экспертных систем* по оценке последствий нефтяных загрязнений и поддержке принятия соответствующих управленческих природоохранных решений. Их применение в случае аварий с разливом нефтепродуктов является ключевым условием эффективности их локализации и ликвидации последствий. Экологические экспертные системы обеспечивают оперативность получения необходимой информации в необходимых формах с учетом уровней реагирования и изменяющейся ситуации.

Экспертная система представляет собой компьютерную программу, которая использует знания и логику рассуждений эксперта с целью выработки рекомендаций или решения проблем. Экспертные системы эффективно содействуют получению обоснованной оценки характера аварийной ситуации и возможных перспектив ее развития, включая отдаленные последствия [3, 5].

В настоящее время созданы и применяются программные продукты для анализа последствий аварийных событий, однако практически все они имеет узкую направленность – оценка количества излившегося НП, оценка риска аварии, расчеты ущерба либо медико-социальных последствий по стандартным методикам на основе ограниченного набора информации. В отличие от них применение экспертных систем предполагает решение целого комплекса вопросов, для выработки оптимального с экологической и с экономической точек зрения решений по минимизации последствий аварий. Это *принципиально новый программный продукт*, отвечающей требованиям наукоемкости, возможности эволюции, гибкости, объектной ориентированности, модульности и др. [3]. Опыт

применения экспертных систем в других отраслях показывает их высокую эффективность. Применение создаваемой экспертной системы предполагается широчайшим кругом пользователей – от руководителей конкретных объектов, где ведется обращение с нефтяными УВ и возникает загрязнение, до руководителей соответствующих ведомств (МЧС, охраны природы, нефтегазовый комплекс и др.).

Аварийные загрязнения – не единственный случай, когда необходимо применение специализированных экспертных систем. Чрезвычайные ситуации, требующие использования экологических экспертных систем, возникают не только при аварийном разливе НП, но и в случае достижения фронтальной части латентно распространяющегося в подземной гидросфере НП-загрязнения участка природного или искусственного дренирования грунтовых вод [6].

Одно из наиболее эффективных приложений экспертных систем в защите окружающей среды и промышленной безопасности – разработка планов реагирования на чрезвычайные ситуации и аварии. Это могут быть экспертные системы, ориентированные на создание Планов ликвидации аварийных ситуаций для химически опасных объектов, а также Планов ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Подготовка данных документов требует сбора и детального анализа значительных объемов информации. Работы по прогнозу возможных аварийных событий проводятся по заранее определенным алгоритмам и зависимостям. Таким образом, возникает возможность «автоматизации» процессов обработки первичных данных с тем, чтобы в итоге были разработаны в достаточной степени точные оценки и прогнозы аварийных событий и алгоритмы ликвидации последствий аварий. Однако на практике большая часть собранных первичных данных анализируется недостаточно и остается «мертвым грузом», создавая своими объемами дополнительные сложности специалистам. В тоже время отдача от данной информации должна быть гораздо более ощутимой, что и необходимо реализовать в создаваемых экологических экспертных систем.

Особенность предлагаемого подхода заключается в том, что экспертная система по реабилитации геологической среды создается на основе принципов самоорганизации [2, 4]. Это позволяет обосновывать принятие оптимальных

управленческих решений по минимизации экологических и социально-экономических рисков в случае загрязнения геологической среды.

В основу блоков экспертной системы положены модели для реализации прогнозных расчеты, определения объемов свободных и защемленных углеводородов, контуров и мощности линз свободных НП, положения водонефтяного контакта, а также изменения параметров во времени. Для этих целей применяются различные модели вертикальной и горизонтальной миграции углеводородов с калибровкой моделей в зависимости от фильтрационных параметров и выбора технологий очистки [1 и др.].

В настоящее время существует более 250 программных продуктов, моделирующих поведение и массоперенос НП в ГС. Они имеют специфическое назначение и не универсальны по отношению к загрязняемым объектам. Наибольшее признание получила программа TOUGH2.v2 (T2VOC), моделирующая одновременно движение и массоперенос несмешивающихся с водой жидкостей. Актуально также моделирование биодеградации. Применение таких продуктов необходимо на всех стадиях оценки и ремедиации геологической среды.

Анализ действующих моделей и программных комплексов для прогноза миграции нефти и НП позволил определить возможности их использования в экспертной системе. Отметим, что широко распространенные в настоящее время модели поведения НП в окружающей среде в ряде случаев не учитывают все многообразие природных процессов трансформации, аккумуляции и миграции веществ. Так, отмечается недоучет детального компонентного состава и процессов трансформации углеводородов, излишнее упрощение моделей их миграции; недоучет процессов самоорганизации в загрязненной геологической среды; недостаточная точность методов химического анализа загрязнения сред (в частности экстракции); разрозненность и недостаточное обоснование нормативов содержания НП в почвах и грунтах. Значительные проблемы создает также несовершенство методической базы оценки эколого-экономических ущербов при загрязнении геологической среды: это затрудняет оценку эффективности

ремедиационных мероприятий.

В связи с этим предложен ряд инновационных подходов к моделированию. В частности, это учет процессов биодеградации углеводородов, в том числе – с образованием особо токсичных веществ как продуктов трансформации исходных нефти и НП. Кроме того, значительное внимание уделяется процессам формирования геохимической зональности при загрязнении геологической среды углеводородами. Данному направлению уделяется незаслуженно мало внимания, однако эти процессы способны внести серьезные «коррективы» в результаты расчетов, получаемые по упрощенным моделям.

Выбор моделей загрязнения геологической среды для стран-участников осуществляется с учетом специфики их территорий (ландшафтные особенности) и источников загрязнения – модельных объектов.

Для создания рабочих схем, а также моделирования распространения загрязнения геологической среды проведена систематизация следующих характеристик на примере модельных объектов:

- характеристика загрязняемых водоносных горизонтов, включая информацию о генезисе, геологическом индексе, литологии, мощности слоев и отложений, минерализации в естественных условиях и после загрязнения, фоновых уровнях подземных вод и уровнях после загрязнения.

- характеристика зоны аэрации, включая описание возраста (период, эпоха, век), мощности зоны аэрации до и после загрязнения, геолого-литологического разреза, зоны аэрации, мощности прослойков, коэффициент фильтрации.

- характеристика подстилающих пород, с указанием возраста (период, эпоха, век), литологического состава и мощности

- интенсивность загрязнения, включая общую жесткость, перманганатную окисляемость, температуру подземных вод внутри очага загрязнения, определяющее загрязняющее вещество и его содержание в подземных водах, класс опасности загрязняющего вещества, интенсивность загрязнения в единицах ПДК, степень концентрации определяющего загрязняющего вещества, скорость перемещения границ загрязнения.

Возможности широкого практического применения создаваемой ЭЭС обусловлены выбором модельных объектов, для которых должны быть разработаны рабочие схемы, модели, сценарии и прогнозы загрязнения геологической среды нефтепродуктами: объекты хранения нефтепродуктов; объекты добычи углеводородного сырья; объекты транспорта нефти и нефтепродуктов (трубопроводные системы); объекты перевалки нефтепродуктов.

Материал подготовлен при финансировании Минобрнауки России в рамках работ по проекту ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» «Разработка экспертной системы реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, на основе принципов самоорганизации для территорий государств-участников СНГ» (идентификатор проекта RFMEFI58414X0011).

Список литературы

1. Огняник Н.С., Парамонова Н.К., Брикс А.Л. и др. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. Киев: [А.П.Н.], 2006. 278 с.

2. Хаустов А.П. Техногенные системы как феномен самоорганизации материи (на примере загрязнения среды углеводородами)// Литосфера, 2014, №1. С. 105-116.

3. Хаустов А.П. Применение экспертных систем для решения задач оценки качества питьевых вод/ В кн.: «Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии». Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. 18-22.04.2011 г.). Часть 2. Моск. обл., п. Зеленый: ВСЕГИНГЕО, 2011. С. 239-250.

4. Хаустов А.П., Редина М.М. Трансформация нефтепродуктов в геологической среде при изменении их битумоидного статуса// Геоэкология. Инженерная геология. Геокриология, 2013, №6. С. 502-515.

5. Хаустов А.П., Редина М.М. Экологическая экспертная система для реабилитации геологической среды от последствий нефтезагрязнений на основе принципов самоорганизации// Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2013,№6. С. 44-50

6. Хаустов А.П., Редина М.М., Черепанский М.М. и др. Проблемы

идентификации и количественной оценки загрязнения геологической среды нефтепродуктами. – [Электронный документ]. – Режим доступа: www.belisa.org.by/ppt/2013/Haustov_conf_ecol.ppt. – Проверено 10.07.2014.

Сведения об авторах:

Хаустов Александр Петрович, профессор доктор геол.-мин. наук, e-mail akhaustov@yandex.ru

Редина Маргарита Михайловна, доцент, доктор экон. наук, заведующая кафедрой, e-mail redina@yandex.ru,

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», прикладной экологии; 115093 Москва, Подольское ш., 8/5, Экологический факультет, к. 326, тел. +7 495 787 38 03 * 3413; факс +7 495 952 89 01;*

ОСОБЕННОСТИ ЦИАНИСТОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ФЛОТАЦИОННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ БЕРЕЗОВСКОГО РУДНИКА

Лобанов В. Г., Набиуллин Ф.М., Начаров В.Б., Русских А.А., Филонов Н.А., Миков С.В., Тимофеев Е.И., Замотин П.А.

Для переработки флотоконцентрата предложена и 2010 г пущена в эксплуатацию технология чанового цианистого выщелачивания золота из флотоконцентрата с элементами аппаратной активации пульпы. Золото из продуктивных растворов осаждают цементацией.

Основными минеральными составляющими флотоконцентрата являются пирит (до 80%), талькарбонаты (до 50%), халькопирит (до 2%) и галенит (до 1 %); крупность - 0,4 мм. По ряду признаков, подтвержденных инструментальными методами идентификации, флотоконцентрат может содержать незначительное количество (до 100 г/т) углистых веществ. Исследователи неоднократно находили в березовской руде теллурид золота (калаверит). В силу крайне невысокого содержания в концентрате этот минерал идентифицировать не удается. Руду, поступающую на обогатительную фабрику с трех шахт, перерабатывают без усреднения, поэтому содержание золота в флотоконцентрате колеблется в широких пределах (15-40 г/т). Серебро представлено преимущественно сульфидной формой при содержании 30-50 г/т. Многочисленные исследования показали, что золото в концентрате

преимущественно свободное.

Переработка флотоконцентрата заключается в перемешивание пульпы в крепком цианистом растворе при Ж:Т= 4÷6:1 в чанах с механическими мешалками. Процесс ведут в периодическом режиме в течение 5-10 часов, после чего золотосодержащий раствор отделяют на пресс-фильтре, а кек промывают обеззолоченным раствором и с влажностью 8-10% отправляют на спецплощадку для временного хранения. В оптимальных условиях цианирования без дополнительного измельчения извлечение золота в раствор достигает 90-95% при содержании в хвостах 0,5-2 г/т.

По результатам 3-х лет работы фактическое извлечение золота в раствор из флотоконцентрата составляет в среднем 93-95%. С учетом невысоких передельных затрат используемая технология переработки концентрата оказалась весьма эффективной. Вместе с тем, относительно высокое остаточное содержание золота в хвостах цианирования (2-4 г/т) делает необходимым поиск путей повышения извлечения.

Существенные колебания остаточного содержания золота в хвостах цианирования могут быть связаны, прежде всего, с периодическим проявлением признаков упорности исходного концентрата. В числе возможных форм нахождения золота в хвостах цианирования рассматриваются:

- золото, вкрапленное в зерна концентрата и не вскрытое при данной крупности помола;
- крупные «золотинки», для растворения которых требуется значительно больше времени;
- золото, перешедшее в раствор, но сорбированное углистыми и другими сорбционно- активными компонентами концентрата;
- природные соединения золота, прежде всего теллурид, растворение которых затруднено и требует особого подхода.

По ряду косвенных факторов наиболее вероятными являются две последние причины.

Изучена возможность повышения эффективности цианирования и степени

извлечения золота при использованием реагентов – активаторов. Проведены исследования особенностей цианирования в присутствии дополнительного окислителя, в качестве которого использовали различные реагенты. Потенциометрическими измерениями активного золотого и инертного платинового электродов оценены термодинамические свойства системы. С использованием методики вращающегося золотого диска изучены кинетические показатели растворения золота в растворах с повышенным ОВП.

Последующие опыты по научно – исследовательской работе были направлены на изучение кинетики растворения золота в соответствующих условиях при добавлении реагента-активатора. Для этого был изготовлен золотой диск и при помощи миксера проводилось перемешивание раствора. На миксере была возможность устанавливать необходимый временной интервал и скорость перемешивания. После растворения диска раствор анализировался методом атомной адсорбции. Полученные результаты обрабатывались и анализировались.

По полученным результатам наилучшие показатели цианирования были достигнуты с применением в качестве окислителя бромата калия. При использовании данного реагента удается интенсифицировать процесс цианистого выщелачивания золота и повысить степень извлечения данного металла. В наилучших опытах удавалось ускорить процесс выщелачивания на 40-50% и снизить содержание золота в отвальных хвостах цианирования до 1 г/т.

Положительные результаты лабораторных опытов послужили основой для проведения полупромышленных испытаний. Для этих задач использовали типовые бетономешалки объемом 160 л. Положительное действие реагента-активатора бромата калия было подтверждено. При применении бромата калия извлечение золота в раствор превышает 97-98 %. Отмечено, что в любых режимах, даже при добавке активаторов, извлечение серебра в раствор при цианировании не превышало 30%. Представлена технологическая схема с применением реагента-активатора в промышленных условиях на участке чанового выщелачивания предприятия (рисунок 1).

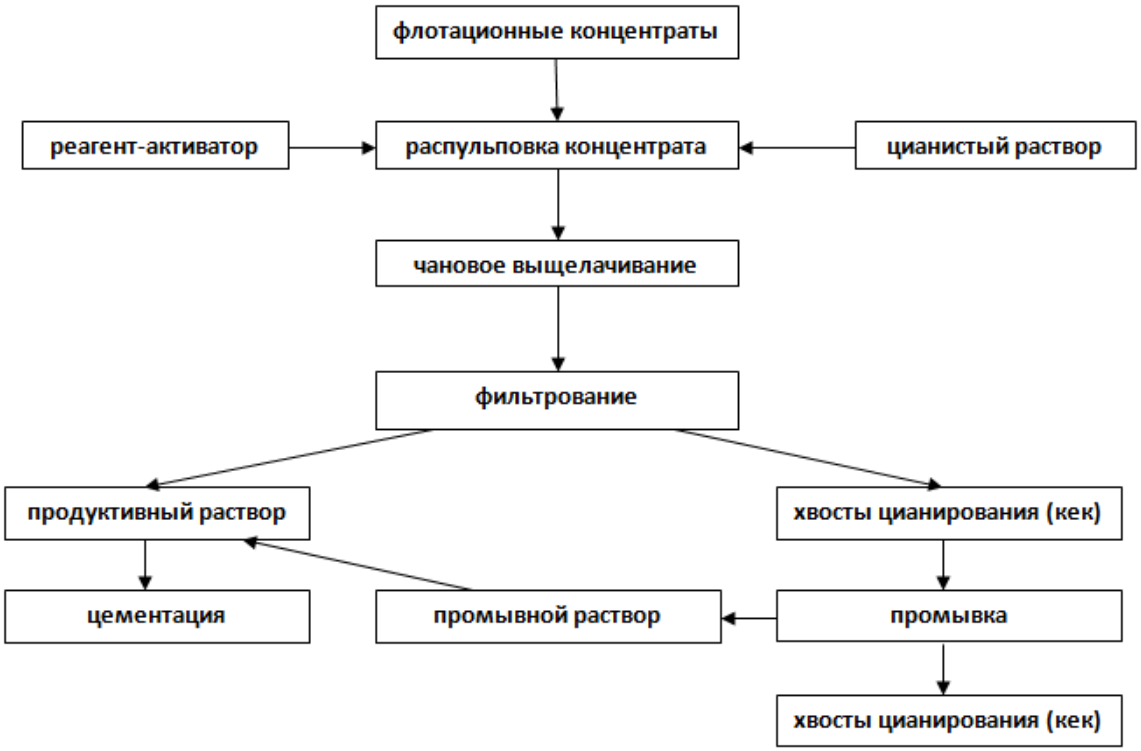


Рис 1. Технологическая схема чанового цианистого выщелачивания золота с применением реагента-активатора

УДК 622.83:004.421

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Николаевич Д.А., Аргимбаев К.Р.

Современные гигантские масштабы горнодобывающего и перерабатывающего производства вызывают глобальные нарушения установившихся веками равновесных геохимических связей.

Ущерб, наносимый только отвалами и хвостохранилищами, складывается из огромных потерь от изъятия пригодных для использования земель, нарушения экологического равновесия и затрат на содержание отвалов. Оптимальный путь снижения экологического давления таких отходов – их максимально полная утилизация, включение в замкнутые циклы промышленного использования ресурсов.

Складируемые отходы горного и обогатительного производства являются потенциальным источником полезных ископаемых. В отходах горного производства сконцентрированы громадные запасы полезных компонентов, представляющих большую ценность для восстановления минерально-сырьевого

комплекса. Разработка промышленных отходов сопровождается сложными горнотехническими и гидрогеологическими условиями.

В настоящее время мощность хвостов, заскладированных в железосодержащих хвостохранилищах, изменяется до 40 м и более. Их разработка экскаватором «прямая лопата» характеризуется высокими энергозатратами при его установке на поверхности хвостохранилища [1]. Но, зачастую в водонасыщенных лежалых железных хвостах также наблюдаются явления внезапных обрушений уступов даже при их высоте менее 10 м. При этом экскаватор не успевал отойти на безопасное расстояние и происходило заваливание хвостами рабочего оборудования и гусеничной тележки. Это приводило к длительным простоям в работе из-за сложности ликвидации последствий заваливания. Поэтому применение экскаваторов «прямая лопата» для разработки железосодержащих хвостохранилищ нецелесообразно.

Появление объемного гидропривода позволило создать новые схемы рабочего оборудования выемочной машины, напоминающей теперь не механическую лопату, а механическую руку. Возможности экскаватора расширились в значительной степени. Выемочно-погрузочное оборудование «обратная лопата» устанавливается на верхней площадке, что снимает необходимость применения дополнительных мероприятий по увеличению устойчивости на поверхности, но не решает проблему оползней в добычном забое. На основе этого была создана компьютерная модель, отражающая процессы, происходящие при ведении горных работ в добычном забое (рис.1).

Существуют многочисленные способы построения поверхностей скольжения, которые являются трудоемкими и не всегда надежными. Наиболее приемлемой для решения поставленной задачи является метод проф. Г.Л.Фисенко, основанный на построении кривой скольжения с использованием теории сыпучей среды и широко распространенный для исследования откосов уступов, сложенных мягкими породами [2,3].

Особенность железосодержащих хвостов определяет необходимость использования для оценки коэффициента запаса устойчивости откосов рабочих

уступов экскаватора «обратная лопата» формулы проф. Г.Л.Фисенко, учитывающей их гидростатическое взвешивание [2,3].

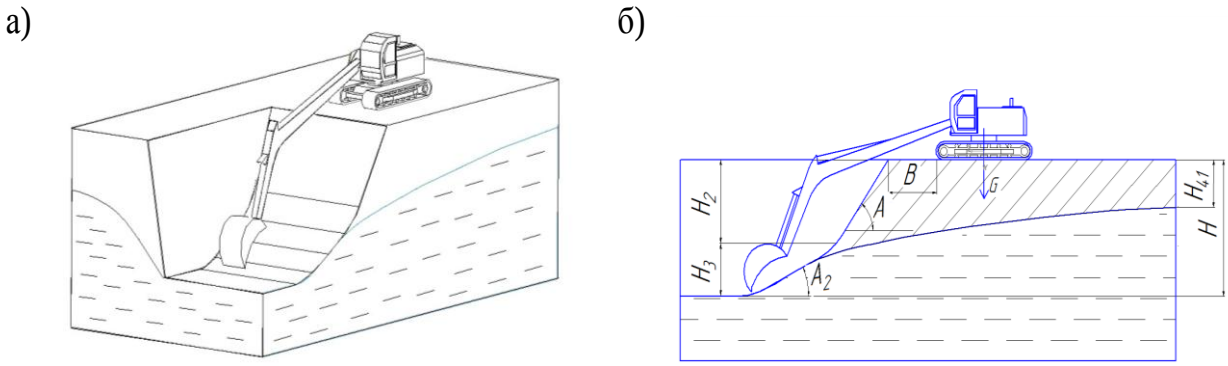


Рис. 1. Компьютерное моделирование процессов, происходящих в добычном забое, при ведении горных работ экскаватором «обратная лопата»: а) 3D-модель; б) 2D-модель.

H – безопасная высота добычного уступа, м; H_2 – высота верхнего уступа, м; H_3 – высота развала хвостов, м; H_{41} – глубина обводненности хвостов, м; A – угол откоса верхнего уступа, град.; A_2 – угол откоса развала хвостов, град.; B – ширина бермы безопасности, м; G – вес выемочно-погрузочного оборудования, т.В этой связи, в настоящей статье решается задача по исследованию устойчивости откоса и выбору оптимальной высоты забоя экскаватора «обратная лопата», установленного на верхней площадке.

На основе компьютерного моделирования и учета гидростатического взвешивания была разработана математическая модель, учитывающая все особенности физико-механических свойств лежалых железосодержащих хвостов, а также вес выемочно-погрузочного оборудования, расположенного на верхней площадке. Начальный этап задачи при разработке математической модели сводится к определению ширины призмы возможного обрушения.

В результате полученной математической модели, написана программа на языке QBasic, позволяющая производить расчет коэффициента запаса устойчивости откоса рабочего уступа (N) и ширины призмы возможного обрушения. Программа на языке QBasic представлена на рис.2.

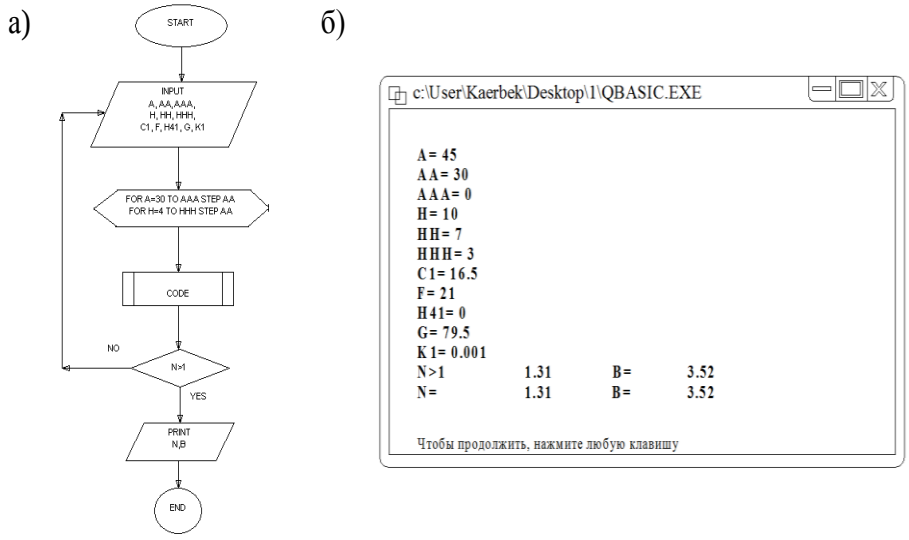


Рис. 2 - Программа на языке QBasic:

а) алгоритм программы «блок-схема»; б) окно ввода и вывода данных. $K1$ – коэффициент фильтрации, м/сут; F – угол внутреннего трения, град; $C1$ – сцепление хвостов, кПа; $H, H_2, H_3 = H, HH, HHH,$ м; $A, A_2 = A, AA,$ град.

С целью проверки работоспособности данной программы были взяты результаты ранних проведенных исследований [4] физико-механических свойств лежалых железосодержащих хвостов ЮГОКа (рис. 3). Лабораторные исследования, направленные на определение физико-механических свойств лежалых хвостов, заскладированных на железосодержащих хвостохранилищах, были выполнены в лаборатории «Физико-механических свойств и разрушения горных пород» Санкт-Петербургского государственного горного института (технического университета).

При этом глубину обводненности железосодержащих хвостов приняли равной нулю, а разработку предполагалось производить экскаватором «обратная лопата» фирмы Hitachi ZX 850-3 с емкостью ковша 4,5 м^3.

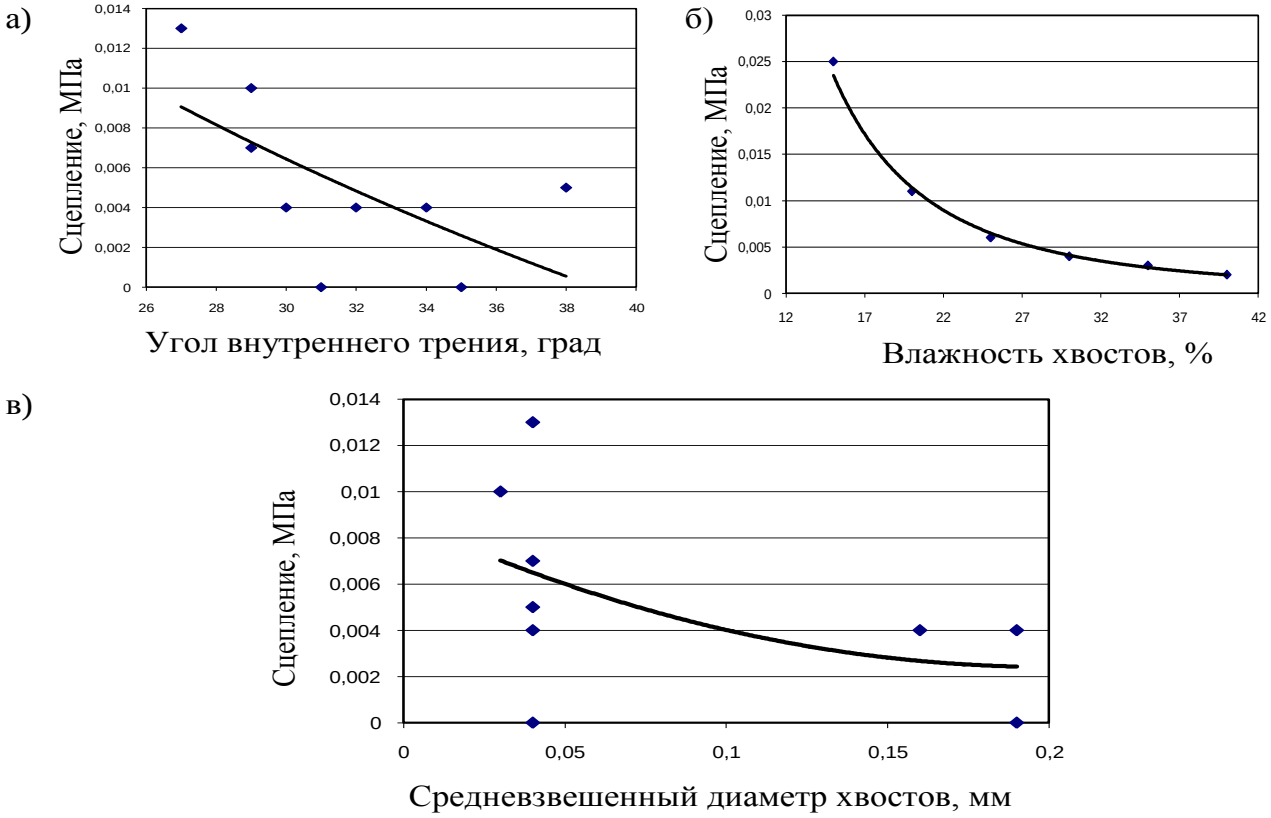


Рис. 3. Графики зависимости основных физико-механические свойства железосодержащих лежалых хвостов:
а) сцепление от угла внутреннего трения; б) сцепление от влажности лежалых хвостов; в) сцепление от средневзвешенного диаметра хвостов.

Полученные данные вводятся в программу, написанную на языке QBasic согласно алгоритму «блок-схема».

На основании анализа результатов расчета коэффициента устойчивости откоса уступов и решения уравнений определена безопасная высота добычного забоя экскаватора «обратная лопата». Построен график зависимости безопасной высоты забоя экскаватора от влажности хвостов (рис.4).

По результатам расчетов можно сделать вывод, что применение гидравлического экскаватора «обратная лопата» Hitachi ZX 850-3 при разработке железосодержащих лежалых хвостов на ЮГОКе возможно при 7-метровой высоте добычного забоя с влажностью хвостов до 22%.

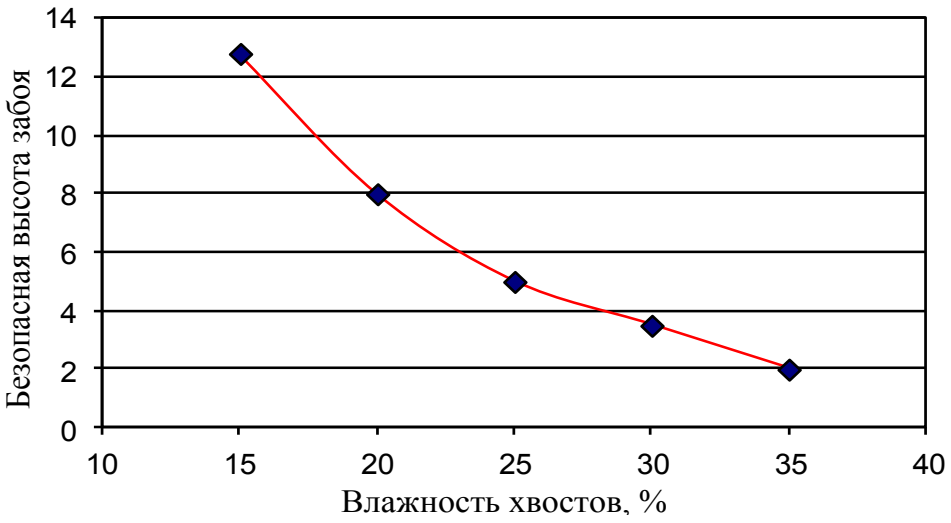


Рис. 4. Зависимость безопасной высоты забоя экскаватора от влажности лежалых хвостов

По результатам исследований разработанная компьютерная модель и программное обеспечение на языке QBasic позволят: увеличить интенсивность ведения горных работ с учетом сложных условий на железосодержащих хвостохранилищах; предотвратить непредвиденные оползни в добычном забое, что позволит сократить простои выемочно-погрузочного оборудования.

Список литературы

1. Аргимбаев К.Р. Выемочно-погрузочное оборудование для разработки полусухих хвостохранилищ / Холодняков Г.А., Аргимбаев К.Р., Иконников Д.А. // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения. – Воркута, 2011.- Том №1.- С. 141-144.

2. Нурок Г.А., Луговская А.Г., Шерстрюков А.Д. Гидроотвалы на карьерах.-М.: Недра, 1973.

3. Фисенко И.В. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. - М.: Недра, 1973.

4. Аргимбаев К.Р. Определение физико-механических свойств хвостов железосодержащих хвостохранилищ / Холодняков Г.А., Аргимбаев К.Р., Иконников Д.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень – Москва: Горная книга, 2011. - С. 93-98.

Сведения об авторах:

Николаевич Данила Андреевич, студент, danil_ne@bk.ru, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Аргимбаев Каербек Рафкатович, к.т.н., ассистент, diamond-arg@mail.ru,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

УДК 504.054

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА ОАО «СВЯТОГОР»

Парфенова Л.П.

Мониторинг снежного покрова проводится в зоне воздействия медеплавильного комбината ОАО «Святогор», расположенного в Кушвинском районе Свердловской области.

Актуальность данной работы заключается в том, что проблема установления причин загрязнения снежного покрова и последующей интерпретации полученных результатов применительно к антропогенно нагруженным территориям, не имеет единого решения, а предлагаемый подход может быть использован не только на медеплавильных комбинатах, но и на любых промышленных производствах, расположенных в Свердловской области.

Научная значимость выполненных исследований заключается в том, что данные мониторинга снежного покрова в зоне воздействия медеплавильного комбината ОАО «Святогор» впервые были подвергнуты изучению и анализу. Практическая ценность выполненных исследований состоит в том, что результаты можно использовать как для выработки природоохранных мероприятий, так и для работы контролирующих органов.

Ряд наблюдений составляет 5 лет (с 2010 по 2014 гг.) [2]. Снежный покров формируется в основном в течение 5 месяцев в году, отбор проб снега проводился в первой декаде марта (РД 52.04.186-89) [1]. В качестве элемента-маркера выбрана медь в твердой и жидкой фазах снега. Схема размещения точек наблюдения состоит из восьми румбов, по три точки на каждом с шагом 1, 2 и 3 км от источника выбросов (трубы металлургического производства). В качестве

фоновой выбрана т.40, расположенная за пределами промышленной площадки более чем в 5 км южнее источника выбросов (пос. Дачный).

Цель исследований: выявить роль основных природных и антропогенных факторов, влияющих на формирование загрязнения снежного покрова от производственных выбросов.

В ходе исследования будут решены следующие задачи: анализ и подготовка исходных данных; выбор и обоснование оценочных параметров; интерпретация полученных результатов.

В качестве природных факторов были выбраны преобладающие ветра и высота снежного покрова на март месяц. Наиболее «грязный» снег будет формироваться на восточном и северо-восточном румбах в направлении преобладающих ветров. Восточный профиль т.1 на нем как ближайшая (на расстоянии 1 км от трубы) и находящаяся в самых неблагоприятных условиях выбраны для изучения. Очевидно, что высота снежного покрова – величина переменная, характер распределения осадков, в том числе и твердых в районе работ представлен в таблице 1.

Таблица 1

Количество осадков, выпавших в Кушвинском районе

	Количество осадков, мм					
месяц	XI	XII	I	II	III	Суммарное количество осадков за период снегонакопления, мм
Фактические данные по результатам мониторинга						
2009 – 2010 гг.	30,5	45,1	28,3	11,5	19,5	134,9
2010 – 2011 гг.	53,1	45,4	17,3	23,7	10,4	149,9
2011 – 2012 гг.	17,0	8,9	5,2	5,5	41,9	78,5
2012 – 2013гг.	73,4	30,4	23,0	5,8	41,7	174,3
2013 – 2014 гг.	26,9	44,9	34,7	39,1	32,5	178,1

Из таблицы 1 видно, что высота снежного покрова за период наблюдений менялась от минимальных 78,5мм в 2011 – 12 гг. до максимальных 178,1 мм 2013 – 14 гг. с разницей более чем в два раза.

Для сравнения фактических данных содержания меди в снеге использован коэффициент концентрации ($К_к$) как отношение фактической концентрации содержания меди в т. 1 к ее фоновому значению в т. 40 [3]. В результате расчетов получены следующие значения $К_к$ для жидкой 1) и твердой 2) фазы: 1) $Cu_{ж.ф.:}$ за

период 2009 – 2010 гг. $К_к$ – 15,77; за 2010 – 2011 гг. $К_к$ 35,71; за 2011 – 2012гг. $К_к$ 18,27; за 2012 – 2013 гг. $К_к$ – 78,91; за 2013 – 2014 гг. $К_к$ – 20,28; 2) $Cu_{т.ф.}$ за период 2009 – 2010 гг. $К_к$ – 14,32; за 2010 – 2011 гг. $К_к$ – 15,89; за 2011 – 2012 гг. $К_к$ – 16,66; за 2012 – 2013 гг. $К_к$ – 27,13; за 2013 – 2014 гг. $К_к$ – 17,04.

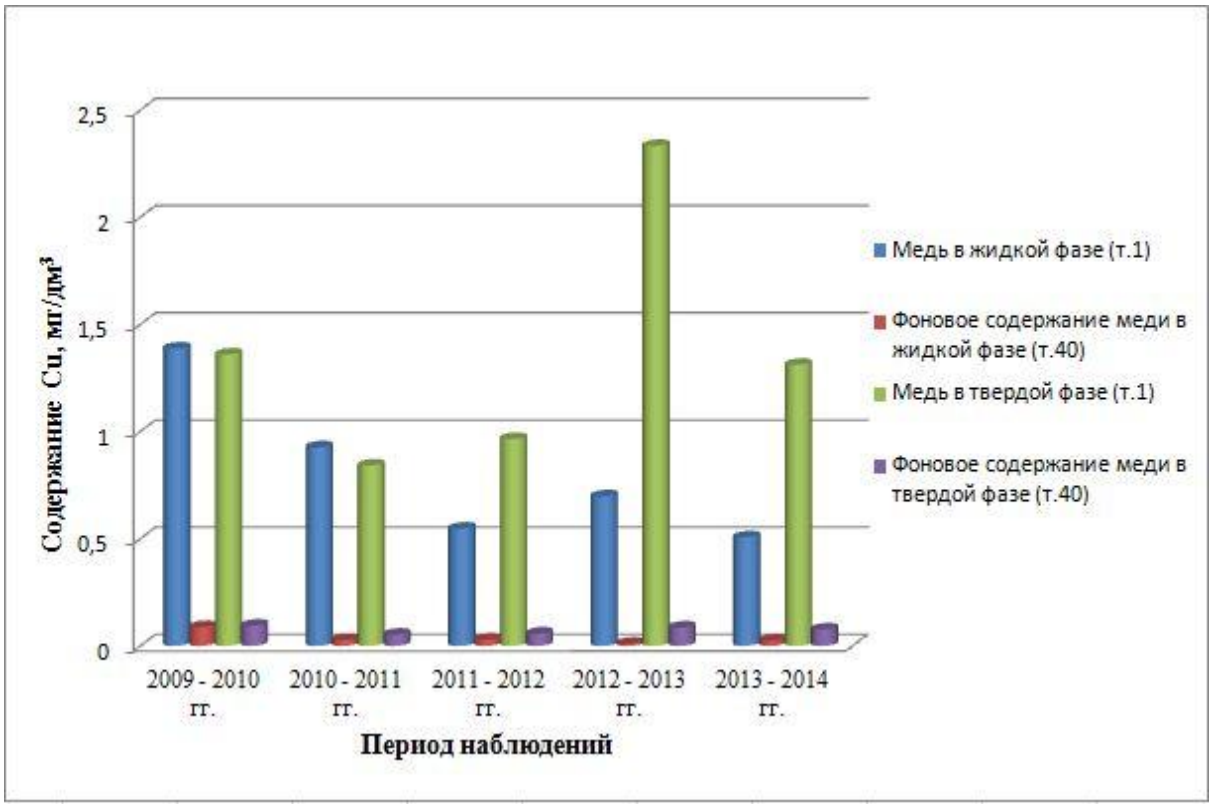


Рис. 1. Данные о содержании меди в снеге в т. 1 и т. 40 (фоновая)

На рисунке 1 видно, что наибольшее содержание меди в т. 1 наблюдается в твердой фазе по сравнению с жидкой фазой, а также, что концентрация содержания меди превышает фоновую (т. 40) как в жидкой, так и в твердой фазах.

Исходя из вышеприведенных данных можно сделать следующие выводы:

1) Средняя концентрация меди в жидкой фазе почти в два раза превышает концентрацию меди в твердой фазе, максимальное содержание меди жидкой и твердой фаз над фоновыми значениями тех же фаз отличается почти в три раза. Это свидетельствует о том, что медь в жидкой фазе способна накапливаться в снеге в больших количествах по сравнению с медью в твердой фазе;

2) Один из природных факторов – мощность снежного покрова – не играет определяющей роли в загрязнении медью, т. к. полученные данные это не подтверждают: $К_к$ для меди жидкой фазы за периоды 2012 – 2013 и 2013 – 2014 гг.

составил 78,91 и 20,28 соответственно при почти равных количествах накопленного снега – 174,3 мм и 178,1 мм за это же время.

Список литературы

1. Боев В.М., Верещагин Н.Н., Дунаев В.Н. Определение атмосферных загрязнений по результатам исследований снегового покрова // Гигиена и санитария.-2003.-№5.-С.69-71;

2. Отчет по теме «Оптимизация Проекта экологического мониторинга основной промышленной площадки ОАО «Святогор» в г. Красноуральск» СО ООО «МАНЭБ», 2014;

3. Шумилова М.А., Садиуллина О.В. Снежный покров как универсальный показатель загрязнения городской среды на примере Ижевска // Вестник Удмуртского университета.-2011.-Вып. 2.-С.94.

УДК 504.06

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА В РАЙОНЕ РАЗВИТИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Петрова И.Г., Ковязин И.Г., Козлов В.С.

Цели, задачи и методы изучения экологических условий территорий проектируемого освоения определяются экологическим законодательством и регламентируются нормативными документами. На этапе выполнения разведочных работ на месторождениях изучение экологических условий выполняется согласно требований «Методических указаний [2] и «Временных требований…» [1]. При проектировании объектов горнодобывающих работ и обогатительного комбината изыскания выполняются в соответствии с СП 47.13330.2012 и СП 11-102-97. Соблюдение этапов исследований, тщательная подготовка предпроектных материалов, позволяет получить достоверную информацию характеризующую качество окружающей среды, а также обеспечить принятие проектных решений на основе рационального природопользования и соблюдения требований природоохранного законодательства.

Последовательное изучение эколого-геологических условий реализовано на территории месторождения золота, расположенного в Оймяконском улусе Республики Саха (Якутия). Географически территория находится в центральной части Верхне-Индигирского горнопромышленного района. С запада на восток район пересекает федеральная трасса "Колыма". Зимой сообщение с участком месторождения от ближайшего населенного пункта осуществляется автомобильным транспортом по зимней трассе, в весенне-осенний период - по дороге через перевал. Программа развития месторождения предусматривает комплексное его освоение и включает в себя строительство и ввод в эксплуатацию горно-обогатительного комбината.

Географические особенности территории района месторождения определили специфичность природных условий. По низкотемпературному режиму воздуха и продолжительности холодных дней в году, район относится к категории неблагоприятных (дискомфортных) природных условий, практически непригодных для проживания человека. Рельеф низкогорный, полого-увалистый, склоны пологие и средней крутизны до 15-20º. Орографически это территория пологого северо-восточного склона водораздела рек Большой и Малый Тарын, с абсолютными отметками местности 780-945 м. На севере в пределах границ участка изысканий находится руч. Невеселый, на юге – руч. Сох. На востоке протекает р. Большой Тарын (рис.1).

Территория относится к области сплошного распространения многолетнемерзлых пород. В долинах рек развиты несквозные и сквозные талики, последние связаны с субаквальной разгрузкой подмерзлотных вод. В пределах участка изысканий вскрыты только воды сезонно-талого слоя. Межмерзлотные и подмерзлотные воды на участке изысканий не вскрыты и при отработке карьера проектной глубиной вскрыты не будут. По химическому составу воды гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-магниевые и хлоридно-гидрокарбонатные магниево-кальциевые ультрапресные и пресные, мягкие, слабокислые и нейтральные. Защищенность грунтовых вод определяется наличием повсеместно распространенных мерзлых толщ.

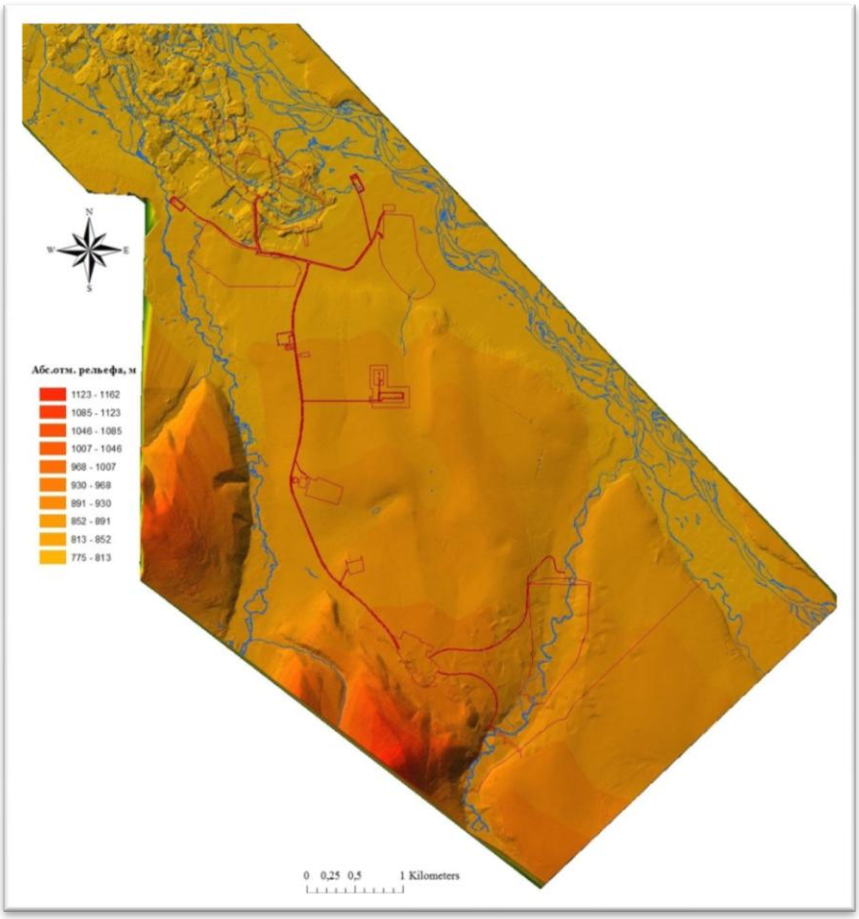


Рис. 1. Рельеф участка изысканий (в плоскости)

Воды надмерзлотного горизонта являются незащищенными от возможности проникновения загрязняющих веществ с поверхности. Подмерзлотные и межмерзлотные воды защищены толщей пород, характеризующейся в мерзлом состоянии низкими значениями показателей проницаемости пород.

Согласно «Карты геоэкологического районирования Якутии» М 1:1500000 (Подъячев Б.П., 1993), площадь изысканий является частью южной области Верхоянской геоэкологической провинции, особенности состава и строения которой предопределены положением Верхоянской складчатой области. Геоэкологическая провинция данного региона Якутии соответствует положению Верхоянской биогеохимической провинции горно-таежных ландшафтов, формирование которых связано с интенсивными геохимическими эрозионно-денудационными процессами, активной миграцией и аккумуляцией химических элементов в условиях горного рельефа

В геологическом строении площади участвуют терригенные отложения верхнего триаса, верхнечетвертичные и современные рыхлые образования.

Экологические факторы литогенной основы определяются, прежде всего, степенью устойчивости горных пород и руд к внешним воздействиям (степень тектонической нарушенности, наличие зон дробления и смятия, тип и масштабность рудной минерализации, развитие вторичных наложенных процессов, вещественный состав руд, их растворимость и способность к водной миграции подвижных форм). Сочетание факторов повышенной тектонической нарушенности геологической среды площади с развитием Au, Au-Sb, Q-Au с сульфидами и сульфосолями (As, Sb, Bi, Cd, Tl, Zn, Pb, Cu, Mn, W и ряд других элементов), с вторичной наложенной минерализацией гидротермального и гипергенного типа, предопределяют контрастность геохимических параметров.

Наиболее распространёнными в районе являются ландшафты редколесий пологонаклонных делювиальных, десерпционных, солифлюкционных шлейфов, солифлюкционных покровов, где лиственничное редколесье с кустарниковыми зарослями чередуется с травяно-моховыми, осоково-пушицевыми заболоченными кочкарниками, кустарничковыми и пятнистыми тундрами. Доминирующим являются мерзлотные горно-таежные подбуры и мерзлотные таежные глеевые и глееватые почвы, в подчиненных позициях и торфянисто-перегнойные оглеенные почвы и аллювиальные примитивные пойменные почвы. Все типы почв по химическим, агрохимическим, физическим показателям малопригодны для проведения биологической рекультивации. Мощность плодородного гумусового слоя от 5-10 см до 15 см, при средних значениях по всей площади 8-10 см.

Оценка современного экологического состояния компонентов окружающей среды выполненная на участке изысканий показала, что действующие антропогенные источники загрязнения непосредственно на участке изысканий в настоящее время отсутствуют, характерна низкая степень освоенности, связанная с отдаленностью района и отсутствием промышленных предприятий, что позволяет говорить о фоновом состоянии компонентов окружающей среды.

Основные прогнозируемые источники воздействия на окружающую среду при строительстве и эксплуатации горно-обогатительного комбината - горные и обогатительные работы, хвостохранилище с объектами хвостового хозяйства,

дизельные электростанции, объекты ремонтно-механического и складского хозяйства, транспортные коммуникации, технологический транспорт. Воздействие на окружающую среду при отработке месторождения и обогащении руды определяется поступлением различных химических веществ от организованных и неорганизованных источников в атмосферу, сбросом сточных вод, объемами складирования и хранения отходов, изъятием водных ресурсов, нарушением механического состояния горных пород.

Список литературы

1. Временные требования к геологическому изучению и прогнозированию воздействия разведки и разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду – Москва, ГКЗ РФ, 1991.

2. Методические рекомендации по экологическому обоснованию проектов разведочных кондиций на минеральное сырье Москва, МПР, 1995.

Сведения об авторах:

Петрова Ирина Геннадьевна, канд. г.-м. наук, доцент, e-mail: gingeo@mail.ru; +7 (343) 257-92-71

Ковязин Иван Геннадьевич, ассистент, e-mail: gingeo@mail.ru; +7 (343) 310-24-04.

Козлов Владислав Сергеевич, студент

Уральский государственный горный университет, , 620144 г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, e-mail: gingeo@mail.ru; +7 (343) 310-24-04.

УДК 624.12

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМ ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Писецкий В.Б., Савинцев И.А., Серков В.А., Чевдарь С.М., Шинкарюк В.А.

Основные потери механической прочности горного массива в процессах ведения подземных горно-технических работ связаны с зонами повышенной дезинтеграции горной породы различного генезиса. Объективное выявление таких зон возможно только на основе интегрированного анализа инженерно-геологических и инженерно-геофизических исследований, поскольку контур зоны

дезинтеграции имеет существенные пространственные размеры и физико-механические свойства горных пород в ней в значительной степени определяются масштабным эффектом – существенным отличием свойств породного массива с дискретной структурой от таковых в “куске” по лабораторным данным [1].

Объективный учет масштабного эффекта возможен на основе применения геофизических методов исследований. Соответственно, независимый анализ инженерно-сейсмических и инженерно-электрометрических данных способен обеспечить выявление границ зон горного массива с пониженными прочностными (сейсмическими) и физическими параметрами (удельное электрическое сопротивление).

Сопоставление этих зон с контурами инженерно-геологических элементов, для которых установлены физико-механические свойства пород “в куске” и характеристики трещиноватости массива по результатам изучения керна скважин, позволяет уточнить количественные упругие характеристики в масштабе горного массива.

Отметим особым образом, что модель геотехнической системы “инженерно-геологические условия – подземные выработки” с прогнозными оценками компонент напряженно-деформированного состояния (НДС) способна независимым образом и в существенной степени дополнить геомеханическую модель, которая представляет собой современный комплекс оценки и прогноза устойчивости горного массива и горных выработок с использованием рейтинговых методик и блочного моделирования.

На рисунках 1-3 в различных ракурсах показаны основные прочностные элементы модели геотехнической системы Северо-Калугинского медно-колчеданного месторождения: ГТС 1- малопрочные породы (желтый цвет заливки), ГТС 2 – породы средней прочности (сиреневый цвет заливки), проектное положение капитальных (синий цвет объектов) и подготовительных (желтый цвет) выработок. Элемент ГТС 3 (прочные породы) на приведенных рисунках обозначен как пустое пространство. Пространственные размеры и оценки прочностных свойств названных элементов определены на основе

сопоставления динамических параметров массива, найденных по сейсмическим и электрометрическим данным с результатами полевых и лабораторных исследований керна инженерно-геологических скважин.

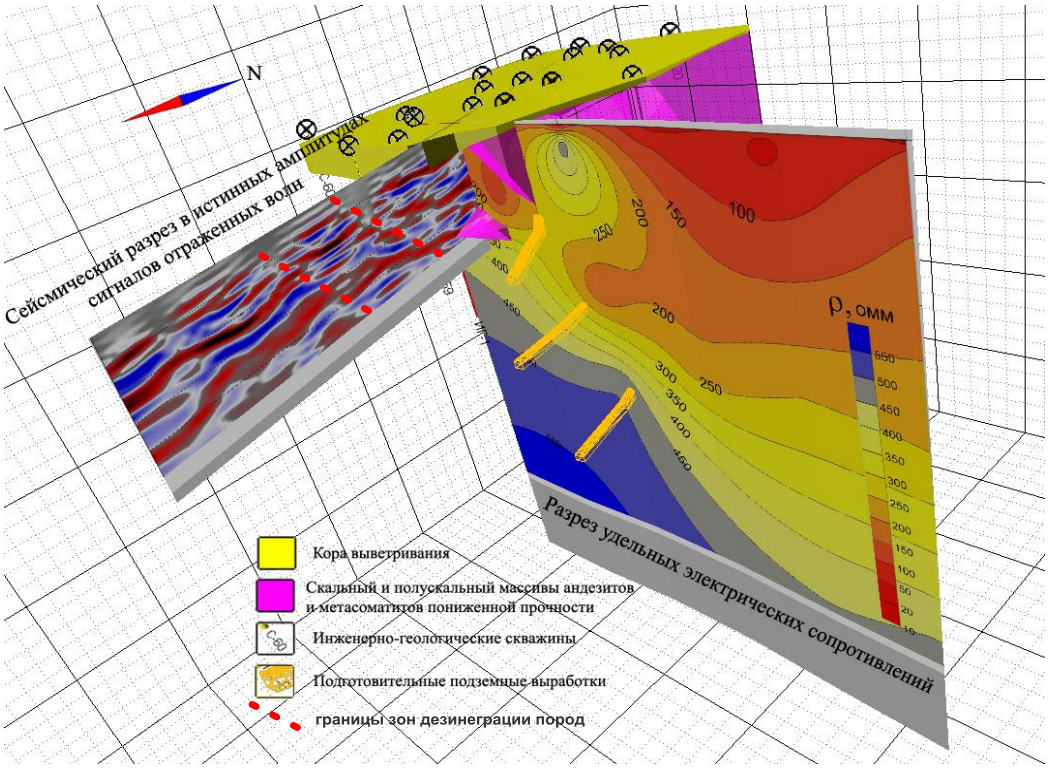


Рис. 1. Комплект геофизических сечений в горно-геологической модели Северо-Калугинского месторождения

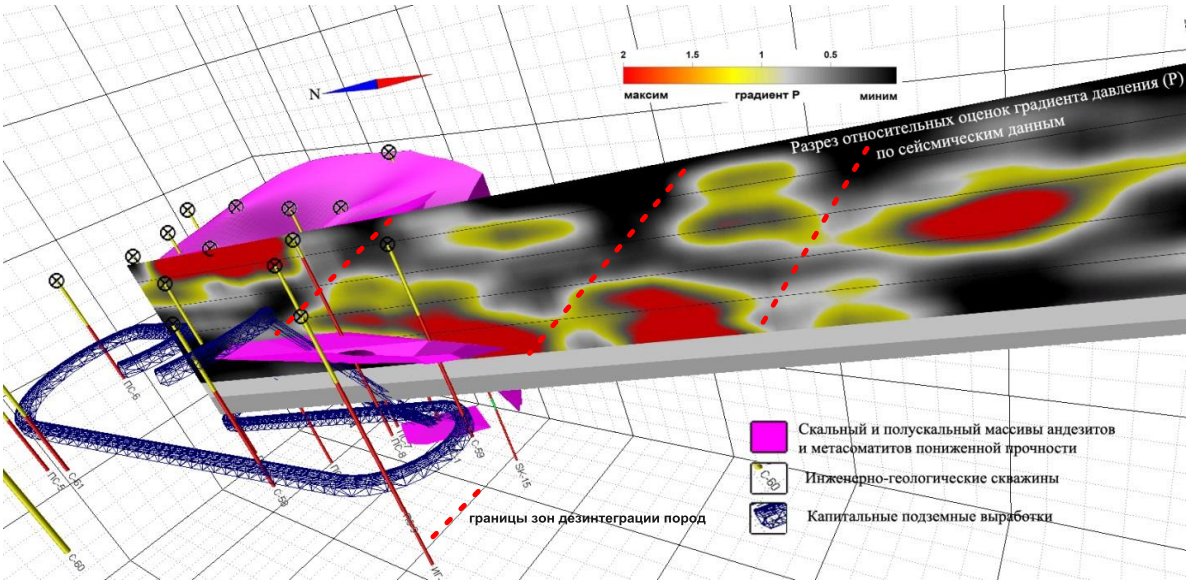


Рис. 2. Сейсмическое сечение горно-геологической модели в относительных оценках градиента давления (Северо-Калугинское месторождение)

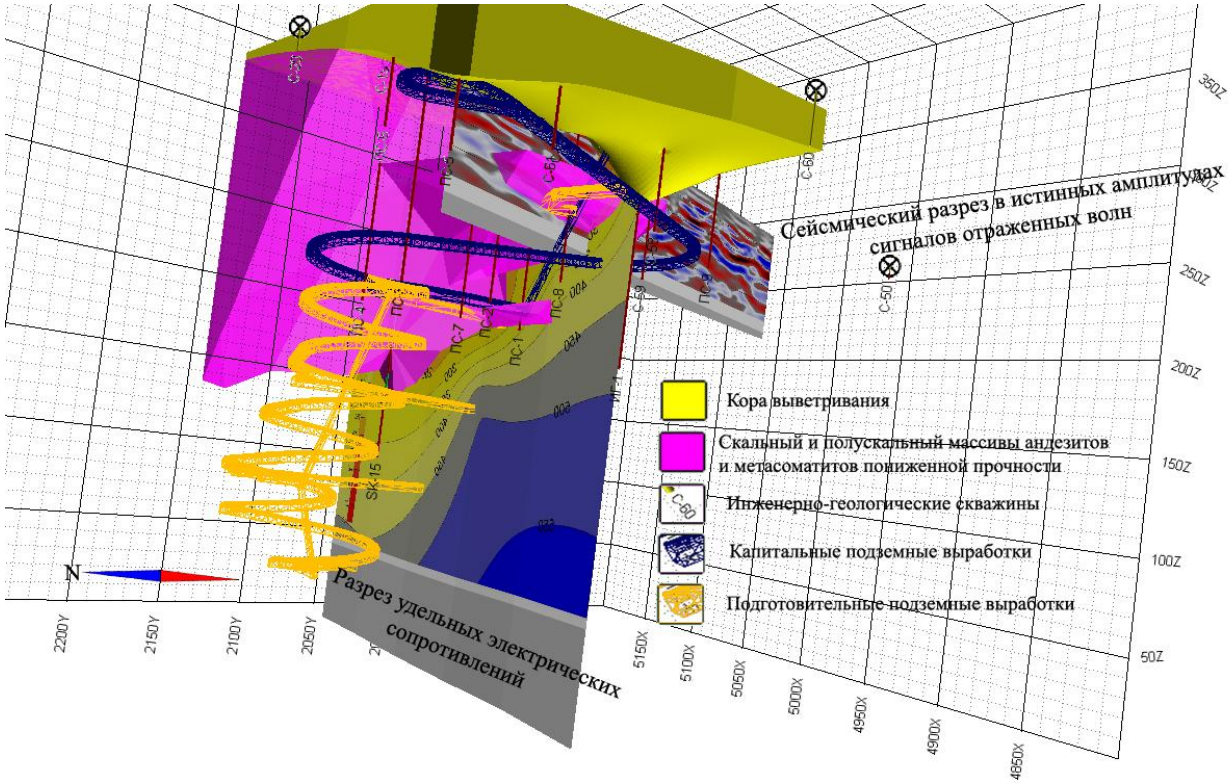


Рис. 3. Система капитальных и подготовительных горных выработок в модели прочностных свойств горного масива (Северо-Калугинское местрождение)

Все показанные на рисунках 1-3 ракурсы модели свидетельствуют о вполне благоприятном размещении всей проектной системы выработок:

– границы зон дезинтеграции массива не затрагивают систему выработок;
– выработки размещены в значительной своей части в прочных породах.

Данный пример разработки прочностной модели горного массива в проекте подземной разработки рудного месторождения с последующим расчетом напряженно-деформированного состояния в созданной ГТС свидетельствует о целесообразности и объективности интегрированного анализа всей базы геологических, лабораторных и полевых геофизических данных в рамках общей концепции геотехнической системы.

На рисунке 4 показана схема сейсмических наблюдений в подземных выработках месторождения хромитовых руд “Центральное” на Полярном Урале. Схема ориентирована на оценку упругих модулей массива по данным сейсмической локации на различных базах приема и возбуждения упругих волн (удары кувалдой и взрывы) в подготовительных и добычных штреках по серии

губинных горизонтов с одновременной детальной оценкой скоростей распространения продольных и поперечных волн на стенках штолен с помощью ультразвуковой переносной аппаратуры. Такая схема позволила получить 3D модель упругих модулей массива с учетом разномасштабных эффектов (рис.5).

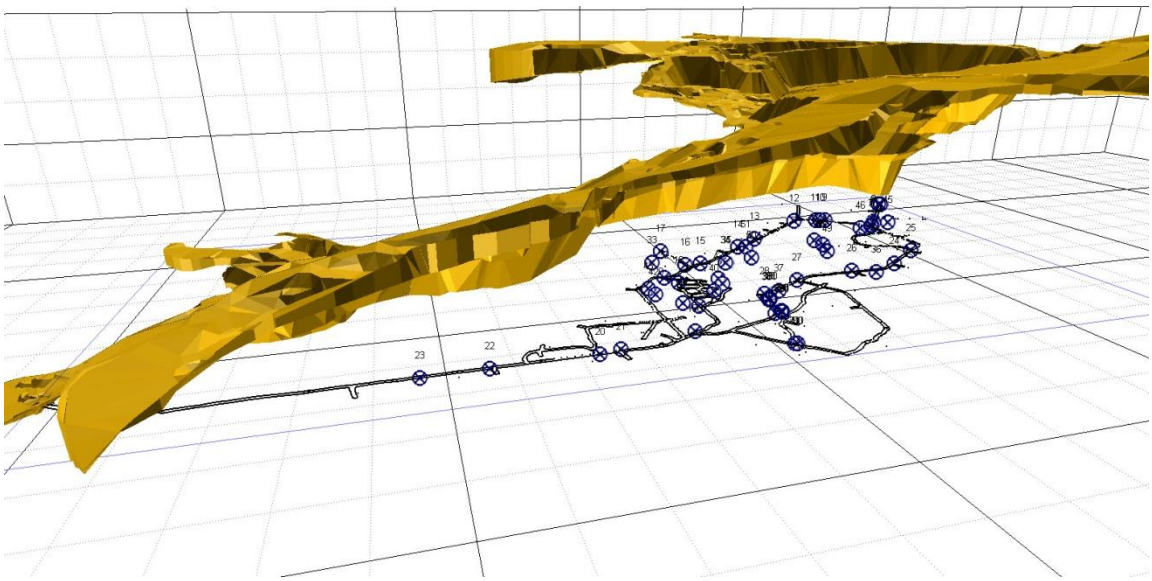


Рис.4. Система сейсмических наблюдений в подземных выработках месторождения “Центральное”

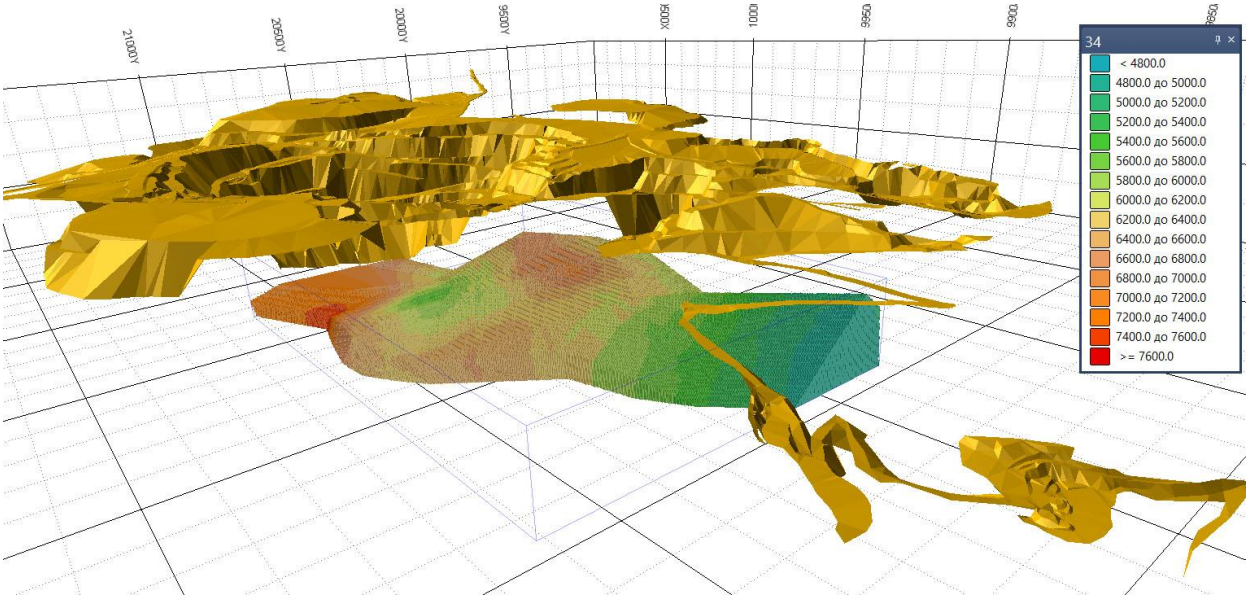


Рис.5. 3D модель оценок упругих модулей по сейсмическим данным в основном контуре системы подземных выработок месторождения “Центральное”

Важным компонентом процесса поддержки и сопровождения подземной отработки рудных и других твердых ресурсов является сейсмическая система контроля и прогноза опасных геодинамических явлений. Такая система в оперативном режиме способна успешно решать не только регламентные задачи

обеспечения безопасности горно-технических работ, но и существенно оптимизировать технологии и объемы добычи сырья [2-3].

На рисунке 6 показан пример непрерывной оценки относительных значений градиента давления в ближней зоне ведения буровзрывных работ проходческо-добычном штреке с целью своевременного прогноза опасных геодинамических явлений в 3D пространстве на дистанциях до 100 метров от забоя во все стороны.

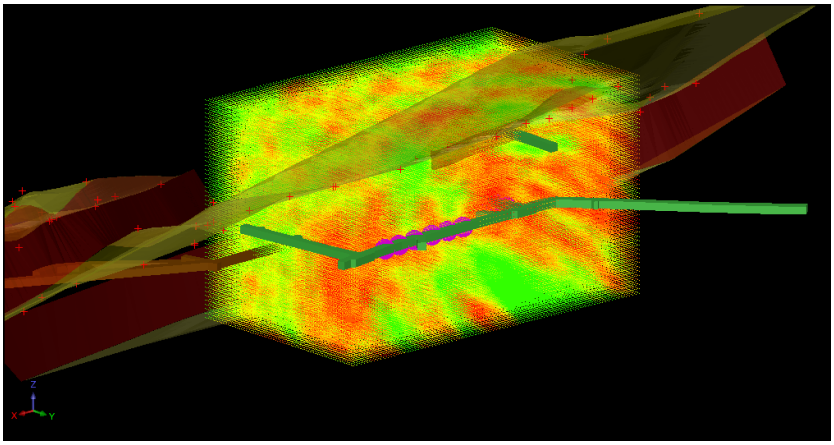


Рис. 6. Куб оценок относительных значений градиента давления по сейсмическим данным в ближней зоне ведения буро-взрывных работ (шахта “Кальинская”, СУБР)

На рисунке 7 приведен пример оценки структуры и параметров рудного пласта в контуре ведения добычных работ. В этом примере по анализу распределения оценок градиента давления удается прогнозировать, в том числе, изменение мощности рудного тела на закарстованной поверхности известняков в ближней зоне забоя в пределах от 3-х до 15 метров.

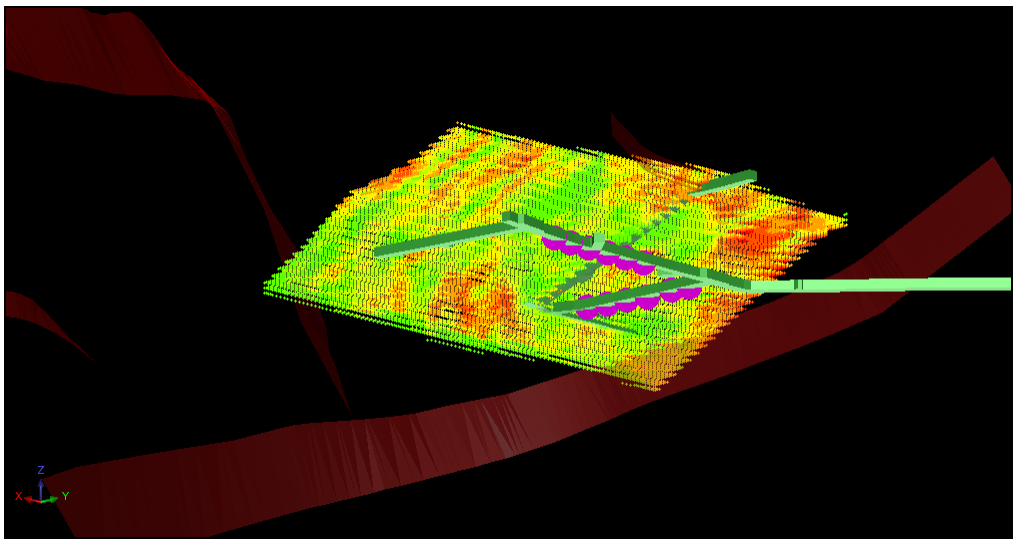


Рис. 7. Оценки относительных значений градиента давления по сейсмическим данным в контуре рудного пласта (шахта “Кальинская”, СУБР)

Список литературы

1. Абатурова И.В., Стороженко Л.А., Петрова И.Г., Королева И.А. Прогноз изменения компонентов инженерно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых в криолитозоне // Горный журнал. Руда и металлы – 2015, № 9. doi: 10.17580/ gzh.2015.09.04.

2. Писецкий В.Б., Власов В.В., Черепанов В.П., Абатурова И.В. Прогноз устойчивости горного массива на основе метода сейсмической локации в процессах строительства подземных сооружений // Инженерная геология – 2014, № 9-10. С.46-51.

3. Писецкий В.Б., Лапин С.Э., Патрушев Ю.В., Зудилин А.Э., Шнайдер И.В. Методика и результаты промышленного применения системы сейсмического контроля состояния горного массива “МИКОН-ГЕО” в процессе подземной разработки рудных и угольных месторождений // В настоящем сборнике.

Сведения об авторах:

Писецкий Владимир Борисович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. кафедрой УГГУ, e-mail: pisetski@yandex.ru, +7 (343) 257-66-61

Савинцев Иван Андреевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент УГГУ, e-mail: gingeo@mail.ru, тел. +7 (343) 257-92-71

Серков Владимир Алексеевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент УГГУ, e-mail: pisetski@yandex.ru, тел.+7 (343) 257-66-61

Чевдарь Сергей Михайлович, аспирант УГГУ, e-mail: pisetski@yandex.ru; тел.+7 (343) 257-66-61

Шинкарюк Владислав Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, УГГУ, e-mail: pisetski@yandex.ru, тел. +7 (343) 257-66-61

ФГБУ ВПО УГГУ, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

УДК 551.345:502.55

МИГРАЦИЯ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННОГО РАСТВОРА В МЕРЗЛОМ МАССИВЕ

Попов В.И.

Отработка некоторых алмазных месторождений сопровождается притоком в карьер высокоминерализованных подземных рассолов. Приток составляет до 80 м^3/час. Минерализация вод достигает 350г/л. Из-за высокой концентрации

галогенов, сброс дренажных рассолов в речную сеть запрещен. Поэтому захоронение осуществляется в терригенно-карбонатные многолетнемерзлые породы кембрийского возраста, залегающие в интервале глубин 150-250 м.[1].

В основе используемого метода захоронения рассолов лежит способность высокоминерализованных вод плавить текстурообразующие льды в горных породах в широком диапазоне отрицательных температур [1,2].

В данной работе на основе вычислительного эксперимента рассматривается процесс миграции высокоминерализованного техногенного рассола в мерзлом горном массиве. Основное внимание при этом сосредоточено на моделировании фазового состояния рассола и процессов конвективного и диффузионного переноса рассола в массиве, включая соответственно, механизмы разбавления порового рассола и плавления льда при контакте с рассолом.

Описываемый процесс также может быть связан с организацией некоторых технологий выщелачивания в условиях криолитозоны, например при использовании реагентов, сохраняющих высокую активность в высокоминерализованном рассоле, обеспечивающем проницаемость мерзлой горной породы.

Для упрощения, вычислительный эксперимент проведен в предположении однородности горных пород, характеризующихся одной формой уравнения фазового равновесия поровой влаги.

Математическая модель процесса тепломассопереноса при промерзании состоит из трех уравнений параболического типа с конвективным членом; 1) уравнения конвективной теплопроводности; 2) диффузионно - конвективного движения влаги; и 3) растворенного компонента; замыкаемые уравнением фазового равновесия поровой влаги объединяющим параметры термодинамического равновесия - температуру, влагосодержание и концентрацию. С помощью введения параметра захвата – $k_{ЗАХ}$ предусмотрена возможность селекции растворенного компонента на внутренней границе лед-рассол.

1) Уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial(c\rho T)}{\partial t} = -\nabla J_T + L\rho I_F; \quad (1)$$

2) Уравнение переноса влаги

$$\frac{\partial(w)}{\partial t} = -\nabla J_W - I_F; \quad (2)$$

3) Уравнение переноса солей

$$\frac{\partial(wC)}{\partial t} = -\nabla J_C - k_{ЗАХ} C I_F; \quad (3)$$

Потоки компонентов включают конвективный перенос. Система (1-3) замыкается уравнением состояния порового раствора $T_F = T_F(w,C)$, учитывающим специфические характеристики среды - потенциал адсорбционного взаимодействия, величину удельной поверхности, концентрацию порового раствора [3].

При наличии инфильтрационного потока талых вод в мерзлую породу необходимо сделать некоторые упрощения задачи тепломассопереноса. Обычно полагают что потоками пара и течением льда можно пренебречь. Конвективный перенос тепла учитывается уравнением теплопроводности с конвективным членом а перенос растворимых субстанций конвективным членом в уравнении сохранения для солевого компонента. С учетом переноса солей используется схема поршневого вытеснения, при котором усредняются скорости течения во внутрипоровом пространстве, т. е. предполагается что в поровом сечении все частицы жидкости двигаются с одинаковой скоростью, равной средней действительной скорости течения $V = v/n_0$ (где v — скорость фильтрации; n_0 - активная пористость породы).

Особое значение для целей нашего анализа. имеет вид гидравлической проводимости в условиях неполного насыщения пород. Мы использовали для величины гидравлической проводимости следующее выражение [4].

$$K(h) = K_s S_e^l [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2 \quad (4)$$

Для мерзлых пор наличие льда в порах учитывают вводя фактор фильтрационного сопротивления перемещению потока [5]

$$K(h)_{frozen} = 10^{-\frac{\Omega w_i}{w_t - w_r}} K(h) \quad (5)$$

Для оценки скорости конвективного переноса фильтрационным потоком

воспользуемся данными гидрометеорологических наблюдений согласно которым средний уровень годовых осадков, фильтрующихся за летний период (ориентировочно 120 -150 суток) составляет 325 мм. Из этих величин получим приближенную оценку для скорости фильтрации V_0= 2.5 10^{-8} м/сек для массива в талом состоянии.

Решение системы уравнений осуществляется на основе конечно - разностных соотношений полученных с помощью интегро-интерполяционного метода. При решении задачи о фазовом превращении использован ранее разработанный метод прямого (не итерационного) определения количества влаги замерзающей (оттаивающей) на каждом шаге по времени [3]. Используются процедуры расщепления по физическим процессам (фильтрация, диффузия, фазовый переход) исходной системы уравнений (1-3).

Для рассматриваемой задачи геометрия области представлена на (рис.1).

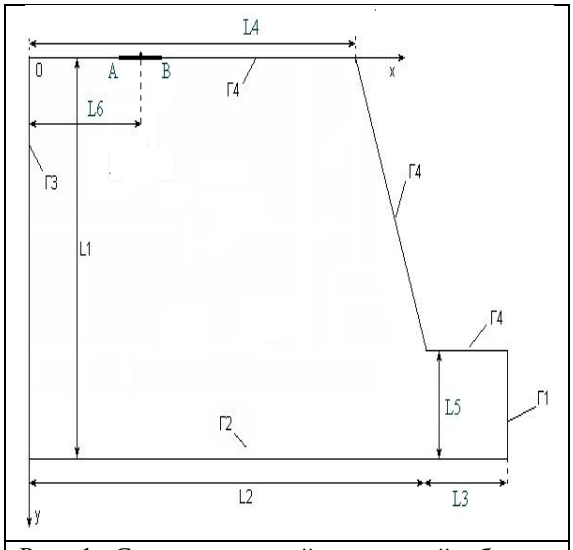


Рис. 1. Схема расчетной двумерной области (L1=40m; L2=38m;L4=18m;

В начальный момент t=0 в течение времени $t_{инф}$ высокоминерализованный раствор с температурой $T_{рас}$ и концентрацией $C_{рас}$ инфильтрует на участке (АВ) уступа карьера расположенного в породном массиве с отрицательной температурой – $T_{мас}$. По окончании времени инфильтрации граничные условия на участке (АВ) меняются.

На границе $Г_4$ постоянно действует конвективный теплообмен с воздушной средой с температурой $T_{СР}$, потоки влаги и солей равны нулю. На границах $Г_3$, и

$Г_1$ ставятся условия равенства нулю потоков тепла, влаги и соли. Так как массив имеет отрицательную температуру то величины содержаний воды льда и концентрации определяются на основе уравнения фазового равновесия по начальным значениям однородного влагосодержания и концентрации, заданных для талого состояния.

На рисунке 2 видна зона понижения температуры массива вызванная расплавлением льда под действием рассола высокой минерализации.

Понижение температуры вызвано процессами расплавления льда рассолом и соответствующим поглощением скрытой теплоты фазового перехода отбираемой от массива. Обнаружена зависимость величины понижения температуры от скорости фильтрации, что связано с энергетическими затратами на увеличивающийся объем расплавляемого рассолом льда.

На рис. 2-5 приведены результаты расчетов на момент t= 3 года вдоль оси потока. Расчеты проведены для значений: температуры массива $T_{мас}$=–2°C; температуры рассола равный температуре окружающей среды; концентрации рассола $C_{рас}$=50*C_0 ; начальная концентрация порового раствора в массиве C_0=1 г/л.; начальная влажность массива равна 0,13. Температура среды теплообмена соответствует годовому циклу.

На рисунках 2 и 3 представлены изолинии распределения поля температур и влагосодержания вблизи зоны инфильтрации рассола. При выбранных значениях коэффициентов фильтрации в горизонтальном и вертикальном направлениях (трехкратное преобладание величины вертикального потока) перенос в вертикальном направлении становится преобладающим.

Переформирование первоначально однородного поля льдосодержания происходит в результате предварительной оттайки льда фильтрационным потоком рассола (рис. 4). Процесс формирования поля концентрации в массиве (рис. 5) определяется

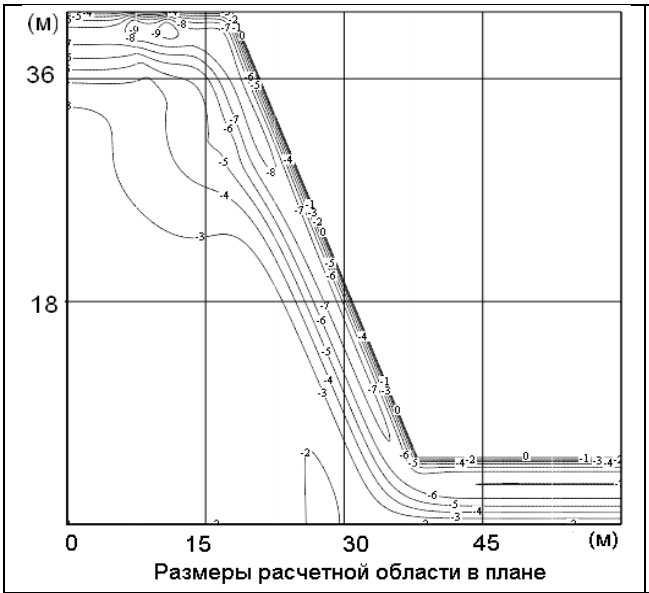


Рис. 2. Распределение изолиний температуры в области инфильтрационного потока (3 года)

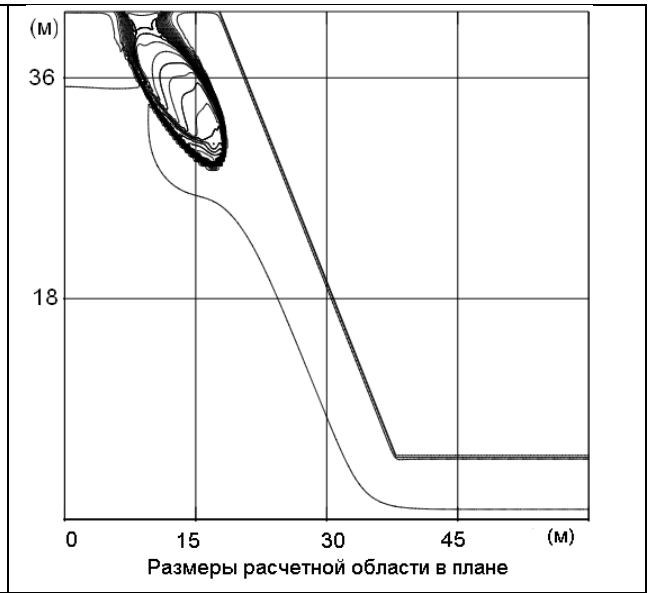


Рис. 3. Распределение изолиний влагосодержания в области инфильтрационного потока (3 года)

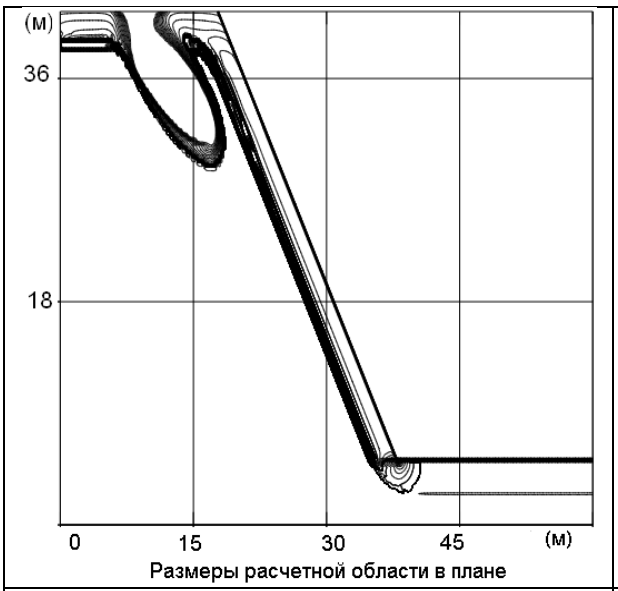


Рис. 4. Распределение изолиний льдосодержания в массиве вблизи области инфильтрационного потока. (3 года)

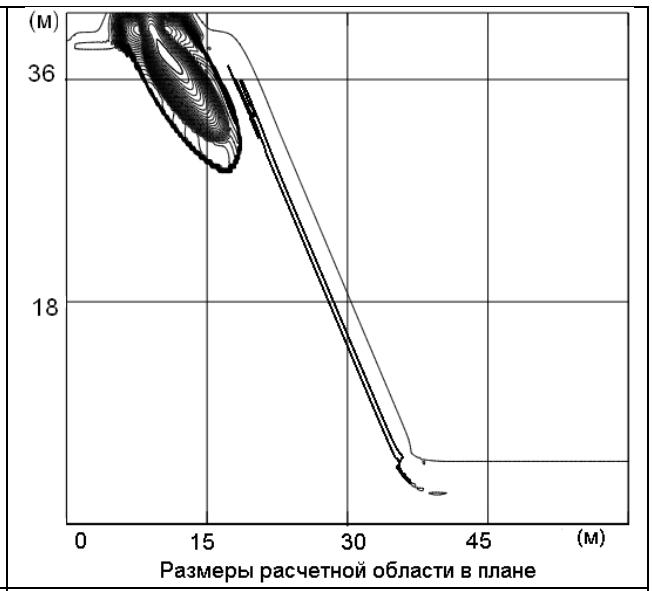


Рис. 5. Распределение изолиний концентрации в массиве в области инфильтрационного потока. (3 года)

подачей рассола на область инфильтрации АВ (рис. 1) в течение года затем процесс подачи прекращается и происходит миграция «капли» в мерзлом массиве.

Результатами расчетов установлено образование ледяной оболочки вокруг области фильтрующего рассола. Формирование оболочки вызвано охлаждающим эффектом из-за плавления льда. Движение фильтрующего рассола лимитировано процессами диффузионного распространения растворенных компонентов, которые обуславливают плавление льда. Результаты расчетов качественно

соответствуют основным особенностям процесса захоронения [1,2] высокоминерализованных растворов – определяя снижение температуры в зоне плавления льда и понижение давления порового воздуха из-за дефекта объема при фазовом превращении лед-вода.

Список литературы

1. Алексеев С.В. Первый опыт захоронения соленых дренажных вод карьера трубки «Удачная» в многолетнемерзлые породы[Текст]/С.В. Алексеев, А.В.Дроздов, Т.И.Дроздова, Л.П.Алексеева//Криосфера Земли, 2002,т. VI, № 2, с.61-65.

2. Климовский И.В. Гидрогеологические условия полигона подземного захоронения дренажных вод трубки «Удачная»/И.В. Климовский, С.П. Готовцев, В.В. Шепелев//Криосфера Земли, 2002,т.VI, №3, с. 45-50.

3. Попов В.И. Новый метод решения задач промерзания в спектре температур// Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны: Труды международной научно-практической конференции (г. Якутск 14 – 17 июня 2005 г.). Том 2. – Якутск: Изд-во института мерзлотоведения СО РАН. – 2005. – С. 57-59.

4. Lundin, L.-C.1990. Hydraulic properties in an operational model of frozen soil. J. Hydrology **118:** 289-310.

5. Hansson , K., Simunek,J., Mizogguchi, M., Lundin, L.C. & van Genuchten, M.Nh. 2004. Water flow and heat transport in frozen soil: Numerical solution and freeze-thaw applications Vadose Zone Journal 3: 693-704

Сведения об авторе:

Попов Владимир Иванович, с.н.с., к.т.н. , (8-4112)-390079, e-mail: popov.gtf@mail.ru , Институт горного дела Севера имени Н.В. Черского СО РАН, 677000, г. Якутск, пр. Ленина д. 43

УДК 669.334

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДНЫХ ПРОМПРОДУКТОВ

Рогожников Д.А., Мамяченков С.В., Анисимова О.С., Дизер О.А, Берстенев Н.В

В настоящее время металлургической промышленности присуще негативная тенденция к увеличению доли сульфидных забалансовых, окисленных и смешанных руд в общем объеме перерабатываемого сырья. Это связано с уменьшением запасов наиболее доступных и легковскрываемых руд. С переходом на выработку более глубоких рудных слоев возникают проблемы снижения количественного содержания металлов, увеличения доли труднообогатимых разновидностей, причем это характерно не только для различных месторождений, но встречается и в отдельных оруденениях вследствие их неравномерного морфологического состава и скрытокристаллического строения [1].

При разделении коллективных концентратов на селективные медные, цинковые и свинцовые с целью обеспечения высоких показателей процесса применяют способы вывода из цепочки обогащения, в определенных узлах схемы, некоторого количества коллективных промпродуктов, представляющих собой сложные сульфидные соединения, не разделяемые флотацией. Неоднократные попытки вовлечь подобные отходы в цикл производства успеха не имели, так как низкое содержание ценных компонентов в подобном сырье не позволяет перерабатывать его традиционными способами ввиду экономической нецелесообразности [2-5].

Разработка и внедрение новых гидрометаллургических технологий, являющихся, по сравнению с традиционными процессами, более перспективными с экологической и экономической точек зрения применительно к данному низкосортному сульфидному сырью, представляется перспективным приемом решения обозначенной проблемы [6,7].

Целью данной работы являлась термодинамическая оценка реакций, протекающих при азотнокислотном выщелачивании медно-цинковых сульфидных промпродуктов, для наиболее полного перевода меди, цинка и серы в

раствор и концентрирования благородных металлов в осадке.

Исследуемый промпродукт представлял собой многокомпонентное сульфидное сырье, неподдающееся разделению при селективной флотации руд месторождения «Майкаин В», Казахстан. Химический состав промпродукта (в пересчете на сухое сырье) представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав промпродукта, % масс.

Cu	Zn	S	Fe	As	Pb	Au, г/т	Ag, г/т	Ca	Mg	Al
6,37	9,21	46,30	33,57	0,21	1,18	11,50	81,30	1,72	0,24	0,10

Результаты рентгенофазового анализа показали, что сфалерит, пирит, халькопирит и галенит являются наиболее распространенными минералами, представленными в промпродукте.

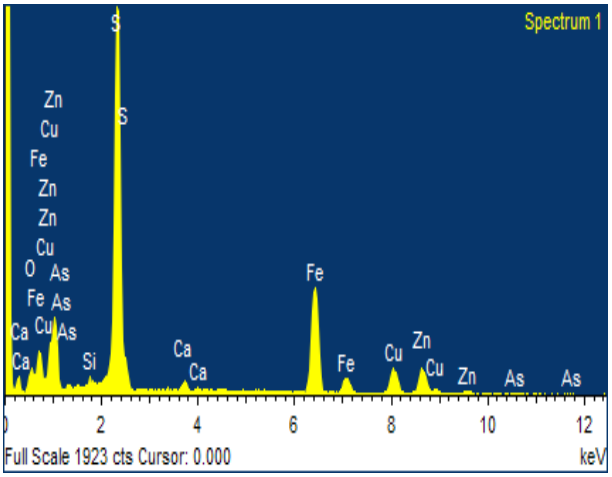
С целью установления фазового и элементного состава исходного сырья был выполнен анализ с использованием просвечивающего электронного микроскопа JEM 2100 с приставкой для микроанализа Oxford Inca, который применим для проведения электронно-микроскопических исследований по изучению тонкой структуры материалов, фазового состава, химического состава отдельных фаз и их кристаллографической ориентации друг относительно друга.

На рисунке 1 представлены результаты изучения состава массива зерен сульфидного промпродукта. Из результатов анализа следует, что основными элементами, составляющими массив зерен промпродукта, являются %: 21,29 S, 29,65 Fe, 16,53 Zn, 12,19 Cu. Сопоставлением полученных данных с результатами рентгенофазового анализа подтверждается присутствие ZnS, $CuFeS_2$, FeS_2.. Вероятно, 6,03 % кислорода, 0,50 % кремния и 1,12 % кальция свидетельствует о наличии $CaSiO_3$.

С целью определения наиболее вероятных условий образования желаемых продуктов выщелачивания сульфидных промпродуктов в азотной кислоте, а также взаимного влияния компонентов образующейся пульпы на показатели процесса, провели термодинамическую оценку поведения многокомпонентных сульфидных промпродуктов в азотнокислой среде при помощи компьютерной программы «HSC Chemistry 6» построением диаграммы Пурбэ E–pH,

представленной на рисунке 2.

Element	Weight %	Atomic %
O K	6.03	15.46
Si K	0.50	0.74
S K	32.75	41.93
Ca K	1.12	1.15
Fe K	29.65	21.80
Cu K	12.19	7.87
Zn K	16.53	10.38
As L	1.23	0.67
Totals	100.00	100.00



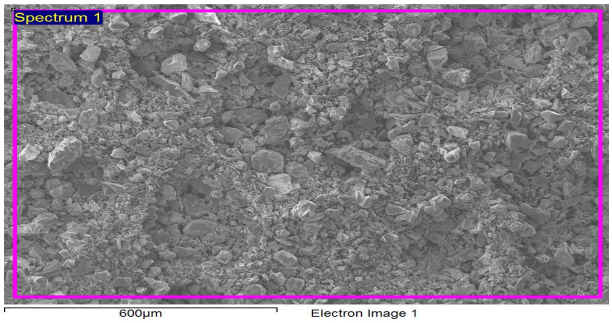


Рис.1. Результаты изучения состава массива зерен промпродукта

Совместная диаграмма существования соединений меди, цинка и железа при азотнокислом окислении их сульфидов, позволяет прогнозировать поведение всех основных компонентов исследуемых сложных полиметаллических промпродуктов, выбирать режимы ведения процесса окисления сульфидов с целью максимально полного перевода ценных компонентов сырья в удобную для дальнейшей переработки форму.

Исходя из анализа диаграммы, можно сделать вывод о том, что для полного перевода сульфидных компонентов медно-цинкового сырья в сульфатную форму необходимы начальные высокие окислительные потенциалы системы E > 0,9 В. При этом важно, чтобы медь и цинк полностью переходили в катионную форму.

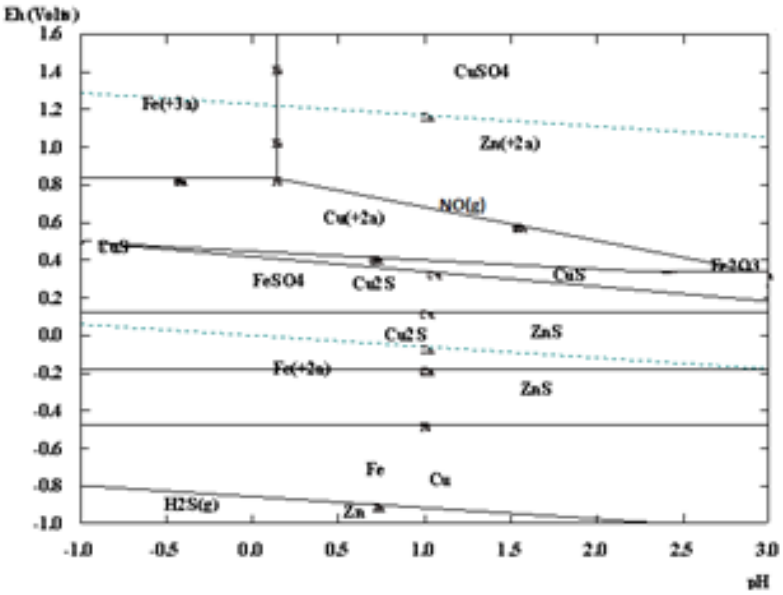


Рис.2. Диаграмма существования соединений меди, цинка и железа при азотнокислом окислении их сульфидов

Выводы:

1. По результатам рентгенофазового и электронно-микроскопического анализов был определен минералогический состав многокомпонентного сульфидного промпродукта: основными минералами являются сфалерит, пирит, халькопирит и галенит.

2. Проведенный при помощи диаграмм Пурбэ термодинамический анализ показал, что для максимального перевода сульфидных компонентов промпродукта в сульфатную форму необходимы начальные высокие окислительные потенциалы системы E > 0,9 В. При этом медь и цинк полностью переходят в катионную форму, взаимодействие сульфидов металлов с азотной кислотой приводит к ее разложению и образованию нитрозных газов.

Список литературы

1. Козырев В.С. Некоторые тенденции развития сырьевой базы цветной металлургии капиталистических и развивающихся стран // Цветные металлы. – 1991. – №12. С. 16-19.

2. Болатбаев К.Н. Состояние, проблемы и резервы технологии обогащения полиметаллического сырья. Промышленность Казахстана. – 2001. – №10. С. 91-93.

3. Болатбаев К.Н. Комплексное использование минерального сырья -

состояние, резервы, приоритеты. – Казгос ИНТИ. – 2002. – 33 с.

4. Бочаров В.А. Комплексная переработка руд цветных металлов с применением комбинированных технологий // Обогащение руд. – 1997. – № 3. С. 3–6.

5. Беликов В.В., Кондукова Е.В., Конев В.А., Стрельская Л.А. Переработка труднообогатимых полиметаллических руд по комбинированной технологии //Комбинированные малоотходные процессы комплексной переработки труднообогатимых руд и продуктов тяжелых цветных металлов: Сборник научных трудов Гинцветмета. – М., 1990. – С. 9–10.

6. Rogozhnikov D.A., Karelov S.V., Mamyachenkov S.V., Anisimova O.S. Technology for the hydrometallurgical processing of a complex multicomponent sulfide-based raw material // Metallurgist. 2013. Volume 57. Issue 3-4. P. 247-250.

7. Rogozhnikov D.A., Mamyachenkov S.V., Karelov S.V., Anisimova O.S. Nitric acid leaching of polymetallic middlings of concentration // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2013. Volume 54. Issue 6. P. 440-442.

Сведения об авторах:

Мамяченков Сергей Владимирович, доктор техн. наук, с.н.с, профессор, тел. 8-963-04-64-556, e-mail: svmamyachenkov@yandex.ru.

Анисимова Ольга Сергеевна, канд. техн. наук, доцент, тел. 8-904-38-03-175, e-mail: osanis@mail.ru.

Рогожников Денис Александрович, канд. техн. наук, н.с., e-mail: darogozhnikov@yandex.ru.

Берстенев Никита Валерьевич, магистрант, тел. 8-929-22-22-662

Дизер Олег Анатольевич, магистрант, тел. 8-952-72-60-501, e-mail:oleg.dizer@yandex.ru

УрФУ, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

УДК 624.131.1

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАСОМАТИЧЕСКИ ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД

Савинцев И. А., Борисихина О. А., Шевалдин Д. А.

Особенностью строения рудных месторождений Урала является залегание рудных тел в «оторочке» метасоматически измененных пород. Метасоматиты, имеющие относительно хорошие прочностные характеристики в массиве, при

обнажении подземными выработками, а также под воздействием подземных вод полностью или частично теряют устойчивость.

Изучению физико-механических свойств метасоматически измененных пород посвящены работы Емельяненко Е.А., Замосковцевой Г.Д., Кузькина В.И., Кузьмина Е.В., Маннанова Р.Ш., Рыльниковой М.В. и др. В них показано, что отличия геологического, химического, структурного строений метасоматитов определяют большой разброс механических свойств и обусловливают необходимость дифференцированного подхода к управлению свойствами пород с различной степенью метасоматоза.

Генезис пород, их минеральный состав, структурно-текстурные особенности, степень исключительно высокой метасоматической и метаморфической проработки определяют физико-механические свойства горных пород Северо-Калугинского месторождения. И требуют индивидуального подхода к процессам проведения горнопроходческих работ и креплению подземных выработок.

В геологическом строении Северо-Калугинского месторождения принимают участие породы андезитовой свиты ландоверийского (S_1l) возраста, представленные, главным образом, андезитами, андезито-базальтами и их туфами. Породы центральной части изменены процессами гидротермального метаморфизма и метасоматоза до образования: серицитовых и хлоритовых, кварц-серицитовых, кварц-хлорит-серицитовых пород, рассланцованы, осветлены, серицитизированы, карбонатизированы.

Структура пород лепидогранобластовая микрозернистая, текстура прожилково-такситовая чаще всего кварц и серицит распределены в породе неравномерно. Часто порода рассекается серицитовыми и серицит-пиритовыми прожилками, кроме того отмечается развитие глинистого минерала – каолинита.

Физико-механические свойства метасоматитов определяются минеральным составом, степенью и величиной метаморфического и метасоматического изменения, структурно-текстурными особенностями.

В разрезе метаморфически и метасоматически измененных пород по

величине прочности выделяется 3 группы пород:

1) группа размокаемых пород очень низкой прочности, у которых предел прочности на одноосное сжатие в сухом состоянии составляет не более 2-3 МПа, а при водонасыщении эти породы размокают, переходя в глинистое состояние. В минеральном составе размокаемых пород преобладают гидрослюды, гидрохлориды, каолин. Они имеют нехарактерные для скальных пород показатели физико-механических свойств: низкую плотность от 2,05 до 2,30 г/см^3, при среднем значении 2,16 г/см^3, очень высокое водонасыщение (Wн) от 10 до 19 %, что обусловлено значительной пористостью с величиной от 15 до 30 %. При замачивании породы теряют 70-100 % своей прочности. Коэффициент крепости как правило не превышает значения 2.

2) группа пород пониженной прочности и малопрочных. Прочность пород в водонасыщенном состоянии составляет 3-15 МПа. В минеральном составе данной группы пород уменьшается содержание каолина и гидрослюд увеличивается относительное содержание кварца. Это породы более плотные – величина плотности (ρ) изменяется от 2,24-2,72 г/см^3, водонасыщение колеблется в пределах от 0,30 до 12 %. Коэффициент размягчаемости меняется от 0,31-0,66 д.ед., что позволяет отнести породы к размягчаемым. Потеря прочности пород при водонасыщении составляет от 30 до 70 %, коэффициент крепости меняется от 1 до 6, при преобладающих значениях 2-3;

3) группа пород средней прочности. Прочность пород в водонасыщенном состоянии составляет 15-50 МПа. Минеральный состав метасоматитов средней прочности характеризуется низким относительным содержанием каолинита и гидрослюд, вплоть до их полного отсутствия. Плотность пород имеет более высокие значения - 2,68-3,09 г/см^3. Отмечается резкое падение водонасыщения - 0,23-1,94 %. Потеря прочности при водонасыщении составляет от 6 до 50 % (коэффициент размягчаемости 0,50-0,94 %), что позволяет большую часть пород отнести к категории неразмягчаемых, коэффициент крепости резко увеличивается и достигает средних значений 6-7.

Одной из основных задач исследований физико-механических свойств пород является получение надежных и достоверных характеристик пород для обеспечения процесса проектирования и разработки модели геотехнической системы «горные выработки – массив горных пород», которая в максимальной степени способна обеспечить выбор оптимальной схемы отработки месторождения. Кроме прочностных показателей горных пород, необходимо знать их упругие (деформационные) свойства, которые определяют их поведение при приложения нагрузки в области упругих и упруго-пластичных деформаций.

У большинства пород область упругости сохраняется до напряжений составляющих 70-75 % от разрушающих. Поэтому устойчивость и степень деформации пород в горных выработках определяется деформационными свойствами (динамическими, статическими) выраженными через показатели: модуль сдвига (G), модуль деформации (E), коэффициент Пуассона (μ). Диапазон изменения упругих констант у метасоматически измененных скальных пород, слагающих массив Северо-Калугинского месторождения приведен в таблице 1. где приведены их средние значения.

Таблица 1

Средние значения динамических и статистических характеристик метасоматически измененных пород

Характеристики свойств пород		Серицитовые, кварц-серицитовые, кварц-хлорит-серицитовые породы	
		Малопрочные	Средней прочности
Динамические характеристики	Модуль сдвига, ГПа	113,7	17,3
	Модуль упругости, ГПа	33,5	42,7
	Модуль объемного сжатия, ГПа	21,9	29,3
	Коэффициент Пуассона	0,23	0,25
Статические характеристики	Модуль упругости, ГПа	3,4	29
	Модуль деформации, ГПа	1,9	16
	Коэффициент Пуассона	0,29	0,16

Огромное влияние на упругие параметры оказывает степень метасоматического изменения пород, и как следствие их минеральный состав

пород и различие упругих констант слагающих их минералов. Увеличение в составе метаморфических пород каолинита, гидрослюд, серицита, хлорита снижает их упругие характеристики. Таким образом, наибольшая упругость характерна для пород средней прочности, наименьшая - для размокаемых пород очень низкой прочности.

Анализ результатов изучения физико-механических свойств метасоматитов Северо-Калугинского месторождения установил, что:

1) Процессы метасоматического изменения пород оказывают значительное влияние на ухудшение физико-механических характеристик пород.

2) Данное влияние выражается через изменение минералогического состава пород.

3) Увеличение в породе глинистых минералов (каолинит, гидрослюды) приводит к снижению прочностных и деформационных характеристик пород, вплоть до полной потери прочности.

4) Наличие в разрезе участков размокаемых пород способных к полной потери прочности, должно предусматривать специальные методы их проходки и крепления при разработки месторождения.

Сведения об авторах:
Савинцев Иван Андреевич, канд. г.-м. наук, доцент УГГУ
Борисихина Ольга Александровна, аспирант УГГУ
Шевалдин Дмитрий Александрович, студент УГГУ
ФГБУ ВПО Уральский государственный горный университет, 620144 г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, e-mail:gingeo@mail.ru, тел. +7 (343) 257-92-71

УДК 622.271.326

РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ОТКРЫТОЙ УГЛЕДОБЫЧИ В КУЗБАССЕ ПО СРЕДСТВАМ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБЪЕМОВ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ

Селюков А.В.

При разработке наклонных и крутопадающих угольных залежей в Кемеровской области начиная с момента ввода в эксплуатацию первых угольных разрезов “Бачатский”, “Краснобродский” и других, преимущественно имела

место углубочная продольная одно или двух бортовая система разработки [1]. Такой способ производства открытых горных работ приводит к прогрессирующему темпу отчуждения земель, которые подчас важны для сельскохозяйственного назначения (землеемкость открытых горных работ достигает до 55Га/млн.т.).

Однако в последнее десятилетие в проектной документации стали появляться технологические решения, направленные на снижение негативных последствий открытых горных работ. К числу таких проектных решений можно отнести внедрение блоковых технологий отработки карьерного поля. Сущность технологии состоит в делении карьерного пространства на блоки, из которых первоначальный отрабатывается до проектной глубины с размещение вскрышных пород на внешнем отвале, а затем по мере образования выработанного пространства последующие блоки отрабатываются с размещением вскрыши в образовавшемся пространстве предыдущего [2]. К числу угольных разрезов с блоковым способом отработки можно, к примеру, отнести действующие разрезы “Виноградовский” и “Прокопьевский” и др. По результатам анализа проектной документации немаловажно подчеркнуть общую группу недостатков, присутствующих в ней: при внедрении блокового способа отработки для режима действующего карьерного поля наблюдается рассогласованность долевого участия внешнего и внутреннего отвалов в общем годовом объеме перерабатываемой вскрыши. Дело в том, что проектная деятельность регламентирована нормативно-правовыми документами, значительная часть которых выпущена в прошлом столетии. К тому же современные требования к тем или иным разделам проекта, с точки зрения обоснованности принятых решений основываются подчас морально устаревшими документами, и чаще всего задачи более детального обоснования вопроса не требуется, а ограничиваются всего лишь общими чертами.

Из научных публикаций [2, 3] известно, что при разработке наклонных и крутопадающих угольных залежей могут применяться следующие виды поперечных систем разработки: углубочно-сплошная, поэтапно-углубочная,

блочно-слоевая, челночно-слоевая. Эти системы разработки характеризуется двумя этапами развития горных работ: 1) формирование первоначальной емкости в границах карьерного поля для внутренних отвалов; 2) отработка основной части карьерного поля со складированием вскрышных пород в выработанном пространстве карьера.

Для реализации предложенных технологических решений в авторской интерпретации представлены варианты более совершенной гибкой адаптации систем разработки с внутренним отвалообразованием к режиму действующих карьерных полей (рис.1). Далее изложены организационно-планировочные решения по реализации отсыпки внутриконтурных отвалов. Сущность поперечной системы разработки с созданием карьера первой очереди заключается в следующем. В одном из торцов залежи от текущей глубины сооружают карьер ограниченных размеров до проектной глубины - так называемый карьер первой очереди. Основное назначение этого карьера - создание первоначальной емкости для размещения вскрышных пород при отработке оставшейся части залежи. После завершения строительства карьера первой очереди производят отработку оставшейся части залежи по простиранию с размещением пород вскрыши в выработанное пространство. После сооружения карьера первой очереди осуществляется переход на технологию с внутренним отвалообразованием. Сущность поэтапно-углубочной системы разработки состоит в следующем. В одном из торцов угольной залежи сооружают от текущей глубины котлован вкрест простирания залежи на глубину, равную высоте уступа. Породу вскрыши вывозят на внешний отвал.

После сооружения котлована породу от разработки первого горизонта размещают в выработанном пространстве. Углубка горных работ ведется до проектной глубины карьера. После этого рабочая зона становится постоянной, и вся порода вскрыши перемещается во внутренний отвал. Поперечная блочно-слоевая система разработки является дальнейшим развитием поперечной системы разработки с карьером первой очереди. Отличительная особенность - деление всего месторождения по простиранию на блоки, включающие карьер первой

очереди, и блоки, отрабатываемые на внутренний отвал.

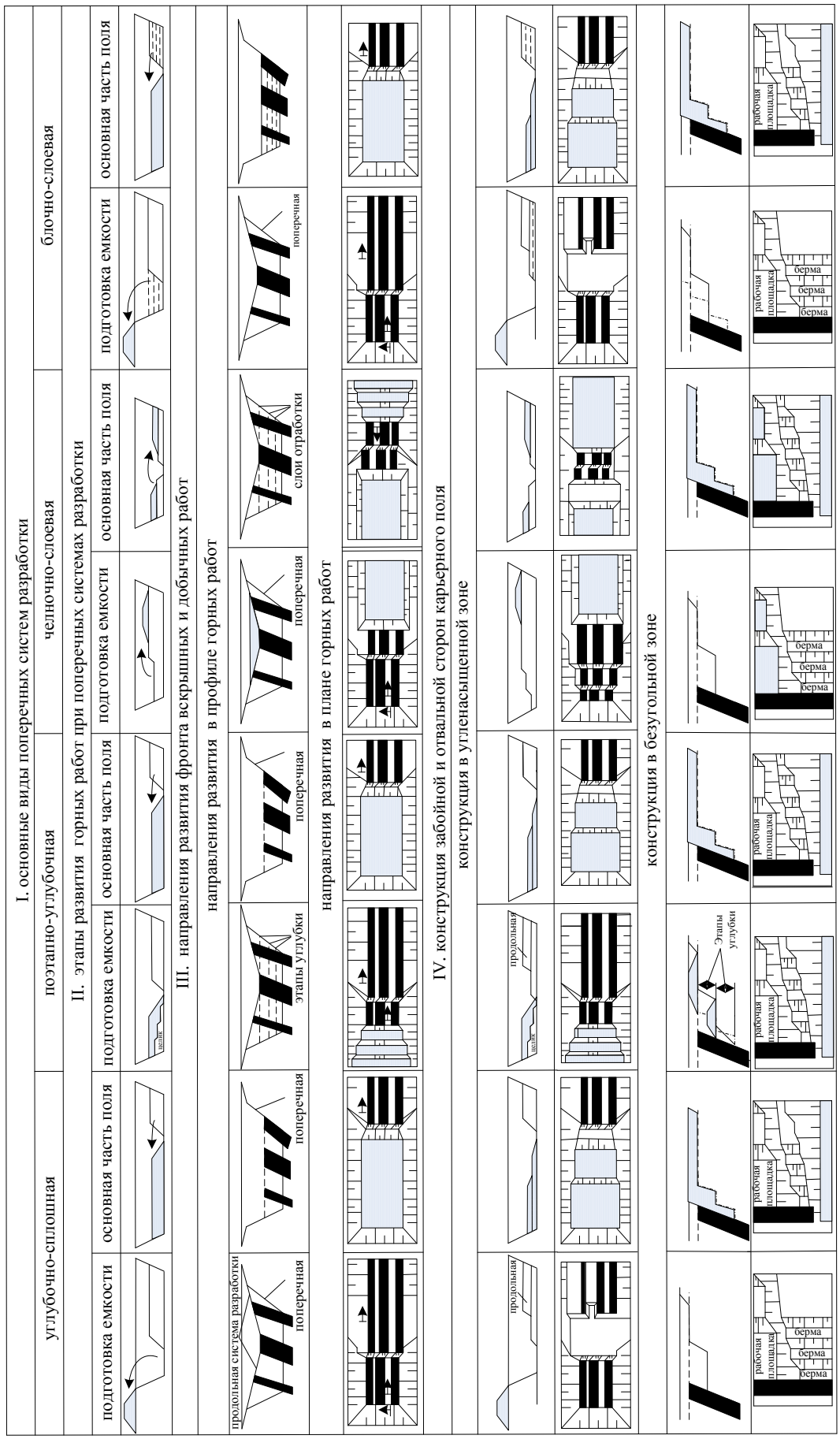


Рис. 1. Авторская интерпретация к формированию поперечных систем разработки в режиме действующего угольного разреза.

Сущность челночно-слоевой системы разработки заключается в отработке месторождения горизонтальными слоями с разнонаправленным подвиганием фронта работ и размещением всех пород вскрыши в выработанном пространстве. Отработку месторождения начинают с сооружения в одном из торцов карьерного поля поперечной карьерной выемки на глубину отрабатываемого слоя. После сооружения подготовительной углубочной горной выработки на втором горизонте производят отработку второго (слоя) с размещением пород вскрыши в выработанном пространстве этого же горизонта. Породу вскрыши из внутреннего отвала первого горизонта перемещают во внутренний отвал этого же горизонта на поверхность внутреннего отвала нижележащего слоя. Затем направление подвигания фронта работ меняется на противоположное направление, т.е. отработка нижнего слоя ведется в обратную сторону. После отработки второго слоя осуществляют, при необходимости, углубку на третий горизонт (слой) с соблюдением всех технологических операций, указанных при углубке на второй горизонт, и изменением подвигания фронта работ на противоположное направление.

Реализация гибких систем разработки с внутренним отвалообразованием должна основываться на балансе распределения вскрышных пород отсыпаемых на внешний или внутренний отвалы [4, 5]. Укрупнено модель баланса можно представить в виде графической схемы представленной на рисунке 2. С точки зрения перераспределения вскрыши с внешнего отвала на внутренний отвал такая модель баланса является универсальной и охватывает всевозможные условия эксплуатации разных угольных разрезов, в частности для наклонных и крутопадающих угольных месторождений.

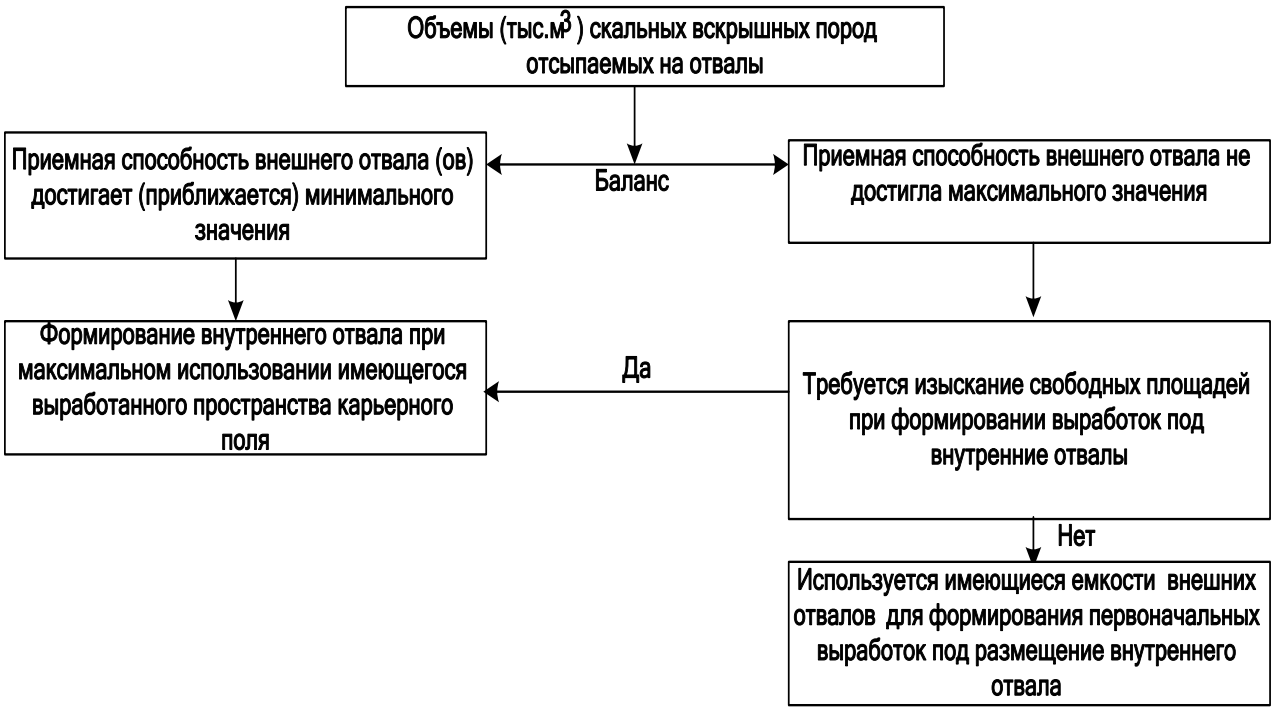


Рис.2. Общая схема графического представления укрупненного баланса распределения вскрышных пород отсыпаемых на внешний или внутренний отвалы.

Для решения задачи изыскания момента перехода с внешнего на внутренний отвал для учета фактических параметров карьерного поля и внешнего отвала используются: панорамная аэрофотосъемка угольных разрезов и упрощенная схема, объясняющая направления развития контуров карьерного поля и внешнего отвала; сводно-совмещенные планы горных работ; продольные и поперечные сечения карьерного поля; годовые объемы вскрыши, размещаемые на внешнем отвале; скорости и направления подвигания контуров отвала и карьера, их положение в рассматриваемый период времени, конечное положение их контуров; принятый вид технологии и так далее.

Рассмотрим пример реализации модели баланса для условий разреза ООО «Разрез Киселевский». ООО «Разрез Киселевский» осуществляет свою деятельность на основании лицензии на право пользования недрами КЕМ 14778 ТЭ от 16.10.2009 года и горноотводного акта №1852 от 26.11.09г. на участке «Разрез Киселевский» Киселевского каменноугольного месторождения. Границами участка недр согласно лицензии КЕМ 14778 ТЭ являются:на севере - русло реки Чикманачиха; на востоке - выход пласта VIII Внутреннего под наносы; на юге - по восточному крылу I Тырганской антиклинали - русло реки Калзыгай, по западному крылу - 4 промежуточная разведочная линия; на западе -

Тырганский надвиг; Нижней границей участка являются: на Восточном крыле I Тырганской антиклинали - горизонт +112 м (абс.); в центральной части Западного крыла I Тырганской антиклинали - горизонт + 176 м (абс); в западной части Западного крыла I Тырганской антиклинали: от северной границы участка недр до 16 р.л. - горизонт +250м (абс); от 16 р.л. до южной границы участка недр - горизонт +240м (абс). Площадь горного отвода составляет 795Га. Размеры участка недр (поля разреза): длина (по простиранию) - до 5050 м: ширина (вкрест простирания) - до 2000 м. Проектная мощность участка «Разрез Киселевский» принята равной 2000 тыс. т. угля в год. Принятая проектная мощность проверена расчетами по фактору обеспечения подготовленными запасами, производительности вскрышного комплекса и пропускной способности автодорог. Фактическое состояние горных работ характеризуется следующими данными. Восточное крыло, отрабатываемое единым полем, вскрыто северной и южной въездными траншеями внутреннего заложения и системой временных автомобильных заездов на обособленные участки и горизонты. Северной траншеей поле Восточного крыла вскрыто до гор + 192м, южной - до гор. +160м. Через северную траншею осуществляется автотранспортная связь добычных горизонтов с угольными складами №1 и №2, через южную - связь с угольным складом №1 и Дальнегоровским отвалом. Центральный блок Западного крыла (между 9 и 12 р.л.) вскрыт до гор. +230м центральной въездной траншеей внутреннего заложения. Южная часть Западного блока вскрыта до гор +320м транспортной бермой с выработанного пространства северной части блока. Северная часть Западного блока отработана и засыпается вскрышными породами южной части центрального блока Западного крыла. Вскрышные породы центрального блока Западного крыла и западного борта Восточного крыла вывозились на внутренний отвал № 1, расположенный в выработке северной части западного блока Западного крыла, которая была отработана ранее до лицензионных границ. Характеристика отвалов приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика параметров внешних и внутренних отвалов

Наименование отвалов	Параметры отвалов			
	высота, м	отметка верха отвала, м	емкость отвала, тыс. м^3	
			геометрическая	«в целике»
Внутренний отвал №1	190	+ 450	25490	22 760
Внутренний отвал №2	170	+ 370	20320	18 145
Внутренний отвал №3	164	+ 340	53 300	47 585
Внешний «Дальнегоровский»	70	+ 330	5 020	4 480
Внешний «Восточный»	110	+ 450	150 400	134 285
Внешний «Западный»	90	+ 450	22 700	20 270
Внешний «Южный»	30	+ 450	11 200	10 000

При отработке восточного борта Восточного крыла, вскрышные породы вывозились на Восточный автоотвал, располагающийся вдоль восточной границы горного отвода разреза на нарушенных землях, ликвидированных шахт «Краснокаменская» и «Дальние горы». С учетом залегания пластов и установленной мощности разреза (2 000 тыс.т./год.) проектом определена углубочно-сплошная двухбортовая продольная система разработки с блоковым порядком отработки и использованием в качестве основного транспортного средства автомобилей БелАЗ7555, 75570, 7513, 75170. Общий объем вскрышных работ составляет максимум 19 600 тыс.м^3 в 2014 году с уменьшением до 17800 тыс.м^3 в 2016 году. Вскрышные породы на первом этапе ведения горных работ размещаются как на внешних, так и на внутренних отвалах: внешнем Восточном отвале, на Внутреннем отвале № 1 и внешнем Западном. Геометрическая емкость отвала включает объем вскрышных пород с учетом остаточного коэффициента разрыхления $К_р$ = 1,12. Складирование вскрышных пород разреза осуществляется на внешних и внутренних отвалах. Согласно данным представленным в таблице и проанализированным через укрупненную

графическую модель баланса необходимо размещать вскрышные породы в следующем порядке: - на I этапе отработки поля разреза (2014-2016 г.г.) при отработке запасов угля по пластам Восточного крыла I Тырганской антиклинали - на внешнем Восточном отвале (38 млн.м^3) и на Внутреннем отвале № 1 (10,85 млн.м^3) , при этом часть вскрыши будет транспортироваться на северную часть Западного внешнего отвала (4,0 млн.м^3); вскрышные породы центрального блока Западного крыла вывозятся автотранспортом на Внутренний отвал № 1 (28,8 млн.м^3) и частично на Южный отвал (4 млн.м^3); - на II этапе (2017-2025 г.г.) – отработка запасов угля на Восточном крыле I Тырганской антиклинали производится с вывозкой вскрышных пород на Восточный отвал (80 млн.м^3), на Западный отвал (24,2 млн.м^3) и незначительный объем при вскрытии запасов южной части блока – на Дальнегоровский (5,02 млн.м^3); на Западном крыле в центральном блоке закончена отработка запасов южной части и производится засыпка выработанного пространства вскрышными породами северной части центрального блока (16 млн.м^3) и породами верхних горизонтов южной части западного блока (7,5 млн.м^3), часть объемов вскрыши укладывается на Южный отвал (7,2 млн.м^3), оставшиеся объемы вскрыши вывозятся на Западный отвал (18,7 млн.м^3); - на III этапе (2026-2030 г.г.) – производиться доработка запасов южного блока на Восточном крыле I Тырганской антиклинали с вывозкой вскрыши на внешний Восточный отвал (18 млн.м^3) и в выработку центрального блока (20 млн.м^3); отработка запасов западного блока Западного крыла I Тырганской антиклинали с вывозкой вскрышных пород на внутренний отвал № 3 в северную часть центрального блока (31,1 млн.м^3).

Таким образом, регулируя перераспределением вскрышных пород через графическую схему можно повысить эффективность горного производства за счет увеличения долевого участия внутреннего отвала, что положительно скажется на показателях производственно-хозяйственной деятельности предприятия.

Интеграция малоземлеемких систем разработки в действующее производство посредством баланса распределения пород по отвалам угольного

разреза, позволяет дополнительно обосновать их параметры, показатели и области эффективного применения каждой из поперечных систем разработки [6].

Выводы и рекомендации.

1. Основным способом управления развитием горных работ, при котором достигается более раннее использование выработанного пространства для размещения пород вскрыши является поэтапное изменение направления фронта горных работ.

2. Локальное использование выработанного пространства на некоторых разрезах Кузбасса подтверждает высокую эффективность вовлечения этого ресурса в производственный процесс. Решением проблемы экологосбережения при отработке свит пластов крутого и наклонного падения является переход на предлагаемые новые технологии ведения открытых горных работ.

3. Установлено, что эффективность поперечных систем разработки повышается при развитии горных работ в направлении участков карьерного поля с наибольшей угленасыщенностью, что увеличивает объем отрабатываемых запасов угля в 1,3–2,0 раза.

4. Диапазон 5-10% объемов карьерного поля уже позволяют реализовывать предложенные решения по размещении вскрыши во внутрикарьерном контуре.

5. Длительность перехода от углубочной продольной к поперечным системам разработки при отработке свит наклонных пластов 1–*2* лет, при отработке свит крутопадающих пластов 3–*5* лет.

6. Для поддержания работы предприятия с достигнутыми технико-экономическими показателями в период перехода разреза на внутреннее отвалообразование годовая производственная мощность должна быть равной годовой производственной мощности до переходного периода.

Литература

1. Ржевский, В. В. Открытые горные работы. Ч. 2 . Технология и комплексная механизация / В.В. Ржевский / М.: Недра, 1985. – 549 с.

2. Цепилов, И. И. Перспективные технологии открытой разработки сложноструктурных угольных месторождений / И. И. Цепилов, А. И. Корякин, В. Ф. Колесников, С. И. Протасов / Кузбасс. гос. техн. ун-т, – Кемерово, 2000. – 186с.

3. Томаков, П. И. Природоохранные технологии открытой разработки крутых и наклонных угольных месторождений Кузбасса / П.И. Томаков, В.С. Коваленко / М.: Уголь, 1992. №1. – С. 23 – 27.

4. Селюков, А.В. Оценка технологического перехода действующего разреза на внутреннее отвалообразование по пространственно-временным критериям / А.В. Селюков / Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: тр. XI Междунар. науч.–практ. конф. – Кемерово, 2009. –С. 112–114.

5. Селюков, А.В. Формирование поперечных систем разработки наклонных и крутых пластов на действующих разрезах Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: матер. межд. науч–практ. конф. / А. В. Селюков / – Новосибирск, 2010. т.2. –С. 262 – 267.

6. Селюков А.В. Имитационное моделирование в среде "Excel" процесса перехода действующих разрезов Кузбасса на экологосберегающие поперечные системы разработки / А. В. Селюков / Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: матер. X Межд. науч-практ. конф. – Кемерово, 2013. –С. 206 – 210.

Сведения об авторе:
Селюков Алексей Владимирович, доцент кафедры «Открытые горные работы», канд. техн. наук, тел. +7 (3842) 396368, e-mail: alex-sav@rambler.ru
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева», 650099, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

УДК 553.6 (571.6)

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДР И ПЕРЕРАБОТКИ НЕРУДНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

Склярова Г.Ф.

В методическом отношении инновационность подхода к планированию недропользования на этапах геологического изучения и освоения недр

выражается необходимостью выделения центров экономического развития, базирующихся на принципах рационального и комплексного использования недр, включающих, в частности, требования: недопустимости выборочной отработки месторождений, наиболее полное извлечение из недр запасов основных и совместно территориально приближенных с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов, создание территориально – промышленных комплексов, реализующих современные - технологии комплексной переработки минерального сырья.

На территории Дальневосточного региона выполнено геолого-экономическое районирование на неметаллические виды минерального сырья с выделением 4 районов и 36 площадей разного ранга перспективности. При ранжировании территории использовались такие факторы как особенности географо-экономического положения, масштабы развития продуктивных формаций, величины запасов и прогнозных ресурсов, степень их освоенности и изученности, промышленной значимости и их перспективности для освоения на ближайшую перспективу. Районы характеризуются значительным площадным развитием продуктивных формаций в пределах крупных структур (или частей их), наличием месторождений промышленного значения одного или нескольких видов полезных ископаемых. Перспективные площади соответственно характеризуются меньшими масштабами развития по площади и оруденению. В качестве примеров приводится кратая характеристика районов (таблица 1).

Таблица 1

Краткие сведения по перспективным районам нерудного сырья Дальнего Востока

Область, край **Рудный район** (№ на карте)	Месторождения	Виды сырья	Запасы (млн.т)	Степень изученности	Степень освоенности
Магаданская **Тасканский** (IV)	Верхне-Встре-ченское	Гипс	10,58 Прогн. ресурсы 600-	Разведочная Рентабельно	Категория перспективности
	Таскано-Встре-ченское	Известняк	472,21	Разведочная Рентабельно	Резервное
	.Лазовское	Известняк	6,12	Разведочная	Разрабатыва-ется
	Право-Лыглых тахское	Известняк	6,843	Разведочная	Резервное
Хабаровский **Нижне-Амурский (**X)	Колчанское	Перлиты	0,724	Разведочная	Перспективно на освоение цеолитов и
	Середочное	Цеолиты	52,19	Разведочная	

Область, край **Рудный район** (№ на карте)	Месторождения	Виды сырья	Запасы (млн.т)	Степень изученности	Степень освоенности
	Искинское	Алуниты	336,6	Поисково-разведочная Технолого-экономические оценки	перлитов, а также алунитов при комплексной их переработке
	Гряда Каменистая	Алуниты	129,2		
	Ваюнское	Алуниты	208,0		
	Круглый Камень	Алуниты	114,8		
	Черноярское	Диатомиты	0,172 млн.м^3-	Поисковая	
Сахалинская **Южно-Сахалинский** (XXIV)	Чеховское	Цеолиты	31,88-	Разведочная	Осваиваемые промышлен-ностью
	Лютогское	Цеолиты	11,57	Разведочная	
	Шебунинское	Опоки и диатомиты	63,485	Разведочная	
Приморский **Спасский** (XXXVI)	Спасское	Известняки	3,607	Разведочная	Осваиваемые промышлен-ностью
	Прохоровское	Известняки	33,349	Разведочная	
	Длинногорское	Известняки	112,434,	Разведочная	
	Малые Ключи	Известняки	118,157	Разведочная	
	Татьяновское	Вермикулиты	1,1	Поиск.-оцен	Резервное
	Хвалынское	Диатомиты	1,26	Разведочная	Законсервировано

Уникальными и специфичными для Дальневосточного региона являются: драгоценные камни (алмазы), флюорит, бораты и бруситы, по запасам и добыче составляющие более 50 до 100 % по отношению к запасам и добыче по РФ (таблица 2), андалузитсодержащие высокоглиноземистые породы, весьма перспективные по масштабам развития и другие, основные геотехнологические аспекты освоения которых намечаются по результатам предыдущих исследований.

Таблица 2

Специфичные виды неметаллических полезных ископаемых ДВ

Полезные ископаемые (ед. изм. запасов)	Запасы A+B+C$_1$		% запасов ДФО к РФ	Добыча		% добычи ДФО к РФ
	ДФО	РФ		ДФО	РФ	
Драгоценные камни						
Алмазы (млн карат)	799,7623	1068,9	74,82	42,38	42,9	98,81
Химическое сырье						
Флюорит (тыс. т)	8983	24570	36,56	77	100	77,0
Бораты (тыс. т)	24680,6	24747,6	99,73	75,7	75,7	100
Горнотехническое сырье						
Брусит (тыс. т)	4184	4184	100	39	39	100
Андалузитсодержащие породы (млн.т)	8145					

Для многих видов специфичного для ДВ нерудного сырья характерны экономическая значимость и многоцелевое комплексное применение, что может быть кратко охарактеризовано на примерах некоторых видов полезных ископаемых.

Алмазы. Западно-Якутская алмазоносная провинция 900 тыс. км ^{2} (на сочленении Анабарской антеклизы и Вилюйской синеклизы) – главный промышленно-алмазоносный район Якутии. Алмазодобывающая промышленность базируется на разработках коренных и россыпных месторождений. Госбалансом учтено 45 месторождений алмазов с суммарными запасами более одной тысячи млн карат, основные из которых (92,8 %) сосредоточены в коренных месторождениях (кимберлитовые трубки). Содержания алмазов в рудах варьирует от десятых долей до 8-10 карат на тонну. Способ разработок – открытый карьерный. Глубина разработок до сотен и свыше 1000 метров. Переработка и извлечение алмазов производится на обогатительных фабриках. Технологическое извлечение составляют 93-98 % с получением алмазов +0,5 мм и – 0,5…+ 0,2 мм.

Среди россыпных месторождений преобладают аллювиальные россыпи: русловые, долинные, косовые и террасовые, реже аллювиально-делювиальные. Содержания алмазов в россыпях до 1 %, редко 1,51 %. Технологическое извлечение также высокое – 92-97 %.

Бораты. В Приморском крае ЗАО «ГХК «Бор» предприятие с полным технологическим циклом производства, осуществляет разработку (с 1959 г.) Дальнегорского месторождения с добычей борсодержащих руд (запасы которых 34616 тыс. т составляют до 86,6 % от запасов B_2O_3 РФ), обогащение датолитовых руд, химическую переработку датолитового концентрата и известняка. Отработка открытая двумя карьерами с применением буровзрывных работ. Обеспеченность всеми запасами более 200 лет. Обогащение на ОФ флотацией с предварительным дроблением до -0,15 мм. Основные виды продукции ЗАО «ГХК «БОР» :датолитовый концентрат, борная кислота марок А и В, борат кальция; серная кислота в моногидрате, в том числе, товарная техническая. К отходам борного

производства относятся: борогипс, бороизвестковая мука, борат магния, борнодатолитовое удобрение, которые по своему составу и опытным данным могут быть отнесены к новым нетрадиционным видам агрохимического сырья.

Флюорит. В Приморском крае учитываются 2 месторождения плавикового шпата (Вознесенское и Пограничное) с суммарными запасами $A+B+C_1$ 8035 тыс.т флюорита, C_2 – 649 тыс.т , забалансовыми- 12478 тыс.т , составляющие 99,6% от суммарных запасов по краю. Основные запасы связаны с рудами карбонатно-флюоритового типа (содержания флюорита от 28,6 до 46,3 %). Кроме собственно плавикошпатовых руд, на Вознесенском месторождении учтены запасы флюорита в составе комплексных цинковых руд с флюоритом (0,4% от суммарных запасов по краю). Флюорит из цинковой руды не извлекается и полностью переходит в хвосты ОФ. В хвостохранилище ОФ по состоянию на 2011г. находится 25835,1 тыс.т отходов флотации, содержащих 3913,7 тыс.т флюорита.

Алуниты. Дальний Восток является уникальным в России регионом широкого развития алунитового оруденения, в пределах которого выявлено более 100 месторождений и проявлений. Наиболее широко алунитоносность развита в Хабаровском крае в пределах Нижне- и Средне-Амурской частей Сихотэ-Алинского вулканического пояса (наиболее изученные месторождения – Гряда Каменистая, Искинское, Круглый Камень, Шелеховское с суммарными запасами более 800 млн.т, и другие), в Охотском районе в составе Ульинской металлогенической зоны месторождения в бассейне р. Гырбыкан – Наледное, Рамочное с уникальными прогнозными ресурсами порядка 6 млрд т при средних содержаниях Al_2O_3 29-36 %, Буриндинское и Дульнейское проявления в Амурской области.

Алуниты – гидротермально-метасоматические образования, содержащие в своем составе в значительных количествах окиси алюминия, калия и серы, что определяет этот вид сырья как комплексный с возможностью получения глинозёма (алюминия), сернокислого алюминия (коагулянта), сульфата калия (бесхлорное удобрение), серной кислоты и других порядка 40 промпродуктов

Комплексным сырьем для производства многих видов промышленной

продукции могут являться не только алунитовые руды, но и в целом вмещающие их породы: монокварциты – стекольное, керамическое и декоративно-облицовочное;рутиловые кварциты – титановое, керамическое и декоративно-облицовочное;серные кварциты – серное и керамическое;алунитовые кварциты – глиноземное, сернокислотное, калийное , коагулянтное, керамическое, цементное, кирпичное, а также иногда с попутным извлечением золота, серебра, диаспоровые кварциты – глиноземное и кварцевое сырье;каолиновые кварциты – керамическое ; попутное извлечение золота , серебра; серицитовые кварциты – глиноземное. калийноеи и кварцевое сырье; пропилиты – возможный источник цветных и благородных металлов

Комплексный характер алунитового сырья на безотходное производство установлен по результатам технологических исследований в ведущих лабораториях страны (ВАМИ, ИМР, Механобр и САИГГиМС, ДВИМС, ДВПИ и др.). На базе алунитовой руды Загликского месторождения Азербайджана действует Кировобадский алюминиевый завод, где впервые в мире осуществляется комплексная переработка алунитового сырья с получением глинозема, серной кислоты и сульфата калия с извлечением оксида ванадия и использованием алунитового шлама для производства строительных материалов. Получение глинозема и других промпродуктов из алунитового сырья – энергоемкий, технически и технологически сложный и дорогостоящий процесс, требующий создания производственного комплекса, включающего строительство обогатительной фабрики, глиноземного завода, строительство электростанции и других промышленных объектов. Кроме того, для организации технологического процесса обогащения необходима поставка в значительных объёмах серы, известняков, щелочей и других материалов, что приводит также к удорожанию производства. В связи с вышеизложенным промышленное использование алунитовых руд может быть зкономически оправданным при производстве глинозема и других промпродуктов в объемах, удовлетворяющих потребности областей и краев Дальневосточного экономического района, что в настоящее время экономикой региона не планируется.

Более актуально использование алунитового сырья по методикам, разработанными ВАМИ, с целью производства коагулянтов и калийных удобрений (сернокислых алюминия и калия), характеризующиеся относительной дешевизной, меньшей капиталоемкостью и, самое главное, непроходящим спросом на эти виды товарных продуктов. В технологическом процессе используется алунитовая руда в сыром виде (в т.ч. и с низким содержанием алунита), измельченная до крупности 0,5-1 мм. Двухстадийное выщелачивание вначале раствором калиевой щелочи, а затем раствором серной кислоты позволяют избирательно извлекать в раствор сульфат калия и сульфат алюминия.

Предпосылками потенциальной возможности создания на Дальнем Востоке алунитового производства на базе выявленных проявлений являются: географо-экономическое положение (расположение месторождений вблизи железнодорожных магистралей (30-50 км) – Шелеховская группа; вблизи речных и морских пристаней (30-70 км) – Нижнеамурская группа проявлений; вблизи морских побережий – Курило-Камчатская группа проявлений; размещение в районах с достаточно экономически развитой инфраструктурой – Шелеховская группа (Комсомольский район), Нижнеамурская группа (Николаевский район). В геолого-сырьевом отношении организация алюминиевого производства целесообразна на базе месторождений алунитов Нижне-Амурского района. Однако в связи с отсутствием мощной энергетической базы, дороговизной технической оснащенности производство глинозема на ДВ на ближайшую перспективу не планируется.

Проявления алунитов Амурской области характеризуются более выгодным географо-экономическим положением, расположением вблизи от железных дорог (ДВЖД, БАМ, ЛЭП и других источников энергии и сырья. С целью создания геолого-экономической модели возможного промышленного месторождения алунитов в географо-экономических условиях Амурской области произведены технико-экономические расчеты на базе ранее выполненных ТЭС по Буриндинскому проявленю. При расчете годовой производительности 4500 тыс. т руды (562,5 тыс. т глинозема) учтены потребности ДВЭР в алюминии (300 тыс.т). Анализируя в

современных ценах расчеты капитальных вложений, эксплуатационных расходов и другие предполагается, что рентабельная работа комбината на базе месторождения алунитов в Амурской области возможна при вариантах с запасами руды в недрах 135000 и 315000 тыс.т с сроками окупаемости в 2 года и один год.

Брусит– природный кристаллический гидрооксид магния - Mg(OH)2, в ряду промышленных магнезиальных минералов занимает ведущее место по содержанию MgO (69 %), характеризующийся очень низкой концентрацией вредных примесей железа (не более 0,1-0,2 %), мышьяка, меди, цинка и др., весьма редко образующий промышленные скопления в природе. В мире известны единичные месторождения апомагнезитовых мономинеральных бруситов.

В России только Дальний Восток на территории ЕАО располагает промышленными ресурсами бруситов по 5-ти месторождениям с общими запасами 37664тыс. т. Единственное Кульдурское месторождение разрабатывается карьером ЗАО «Кульдурский бруситовый рудник», интересы которого представляет компания ООО «Торговая компания «Огнеупоры» (г. Екатеринбург), являясь официальным торговым представителем Богдановичского ОАО «Огнеупоры».

Брусит в основном используется в огнеупорной промышленности в качестве сырья для получения каустического магнезита и искусственного периклаза, производство которых из брусита намного эффективнее, чем из магнезитов: меньше расход электроэнергии, короче сроки плавки, отсутствие выделений углекислого газа, более высокие электротехнические показатели продукции. Образование искусственного периклаза за счёт дегидратации брусита происходит при температуре около 4500 С. Бруситы, кроме традиционного использования в качестве огнеупоров, по результатам опытно-технологических испытаний могут использоваться в других отраслях экономики.

Применение бруситов в цементном производство способствует устранению усадочных деформаций цемента, приводящих к появлению трещин в местах соединения бетонных и железобетонных элементов сооружения, что нарушает

монолитность конструкции. Технологическими испытаниями Белгородского государственного технологического университета цементов, полученных на Теплоозёрском заводе с добавкой брусита Кульдурского месторождения, обожжённого на горячем клинкере, установлена возможность применения данной технологии для производства безусадочных цементов. При производстве удобрений «Русское горно-химическое общество» успешно провело промышленные испытания с запуском молотого брусита в качестве добавки при изготовлении азотных удобрений.

Установленные высокие сорбционные свойства брусита целесообразны для многофункционального применения в гидрометаллургии (в процессах электролиза, выщелачивания и т.п.) и экологии (очистка природных вод, рассолов, очистка техногенных и сточных вод).

При возрастающем спросе в металлургии на высокотемпературное сырье в качестве альтернативных видов огнеупорного сырья приобретают практическую значимость высокоглиноземистые сланцы, содержащем более 45 % Al2O3.. В частности, суммарные прогнозные ресурсы андалузитсодержащих пород на территории Дальнего Востока ориентировочно определены в количестве 8145 млн т.

Таким образом, недра Дальневосточного региона достаточно перспективны на комплексные виды нерудного минерального сырья. Районирование территории с перспективой выделения центров экономического развития базируется на принципах рационального и комплексного использования недр. В настоящее время разведанные месторождения неметаллов Дальнего Востока оценены балансовыми запасами по 36 разновидностям (не включая строительные, поделочные камни), из числа которых кроме специфичных видов (алмазы, флюорит, бораты, брусит) в ограниченных объемах разрабатываются вермикулит, гипс, графит, поваренная соль, известняки для химического, флюсового и цементного сырья, флогопит. В условиях развития экономики региона промышленное потребление неметаллов рассматривается как показатель уровня социально-экономического развития, обеспечения его сырьевой,

продовольственной и экологической безопасности. В России на долю неметаллов приходится 60-65% суммарной годовой стоимости всего (без топливно-энергетического) добытого минерального сырья. Мировой опыт использования неметаллических полезных ископаемых, характеризующихся в основном многоцелевым и широкомасштабным применением, наглядно показывает на невозможность развития таких базовых экономических комплексов как топливно-энергетического, металлургического, химического, агропромышленного, промышленности строительных материалов, систем промышленной и транспортной инфраструктуры, создание на базе наукоемких инновационных технологий новых конструкционных материалов и композитов и других.

Список литературы

1. Склярова Г.Ф. Минерально-сырьевой сектор неметаллов Дальнего Востока и его роль для экономики региона – Хабаровск: ООО «Ситалл», 2013. – 288

2. Склярова Г.Ф. Системно-стадийный анализ ресурсного потенциала полезных ископаемых Дальневосточноо региона РФ в количественно-качественной и стоимостной оценках –Ж. «Недропользование»-№6,2015с.

5. Van-Van-E, A.P., Sklyarova, G.F., Lavrik, N.A. (2014). Scientific principles of formation of ore mining region of Far Eastern Federal District. Evrasian mining, 1, 3-7.

6. Harben, P.W., Bates, R.L. (1984). Geology of the Nonmetallies. New York, 393.

7. Hall, R.B. (1978). World nonbauxide aluminium resources: alunite. Mineralogical Society of America (pp. 454–479). Washington.

Сведения об авторе:

Склярова Галина Федоровна, канд. геол.-минер. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: sklyarova@igd.khv.ru, Институт Горного дела ДВО РАН, 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51, тел.\Факс:) 3(4212) 2-79-27

УДК 622.765.06:578.087.1

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И ТРОФИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД НА ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ КОЛЬСКОЙ ГМК

Фокина Н.В., Дрыгина Е., Евдокимова Г.А.

Одним из направлений научно-технического прогресса в области переработки минерального сырья является применение комбинированных технологий их переработки. В настоящее время широко применяется сочетание процессов обогащения и металлургии с бактериальным выщелачиванием [1].

Существует много литературы о рудных месторождениях, имеются данные о наличии и характере распространения в рудах бактерий, их существенной роли в трансформации сульфидных минералов и участии бактерий в экзогенном минералообразовании [2]. Накоплен экспериментальный материал по значимости микробиологического фактора в трансформации сульфидных руд и использованию бактерий в процессах их обогащения. Для несульфидных апатит-нефелиновых руд выполнена работа по определению роли бактериальной составляющей в непрерывном цикле переработки минерального сырья [3]. Было показано, что бактерии ухудшают флотируемость апатита за счет взаимодействия с активными центрами кальцийсодержащих минералов и интенсивной флокуляции, приводящей к снижению селективности процесса флотации. Предложен метод снижения численности бактерий в процессе флотации, что позволяет улучшить качество апатитового концентрата и сократить расход собирателей. Роль бактерий во флотационных процессах обогащения сульфидных руд практически не изучена.

Комбинат Печенганикель в городе Заполярный входит в состав Кольской горно-металлургической компании. Комбинат производит добычу сульфидной медно-никелевой руды, ее обогащение методом флотации и металлургическую переработку до файнштейна. Также как и обогатительные апатит-нефелиновые фабрики, он работает на оборотной воде, ионный состав которой играет существенную роль во флотационных процессах. Основными флотореагентами, используемыми в процессе флотации, являются аэрофлот (дибутилдитиофосфат

натрия) и ксантогенат. Эта группа представляет собой наиболее важный тип флотореагентов, поскольку обеспечивает полноту извлечения металлов и качество концентратов.

Цель данной работы - исследование сезонной динамики численности и трофического разнообразия микроорганизмов в оборотных водах и их влияния на процесс флотации сульфидных медно-никелевых руд на обогатительной фабрике Кольской ГМК.

Объекты и методы

Изучение численности и трофического разнообразия микроорганизмов в цикле обогащения сульфидных руд проводили на обогатительной фабрике в г. Заполярный. Были исследованы образцы руды, межцикловой флотации, пенных продуктов основной и I контрольной флотации, пенных продуктов I и II перечисток, хвостов, оборотной воды на входе, концентрата до спекания, всех флотореагентов в зимний, летний и осенний периоды. Изучение численности, структуры и трофического разнообразия микробиоты проводили методом посева на плотные питательные среды. Для выделения специфических бактерий готовили среду на основе пенного продукта II основной перечистки.

В коллекцию выделены доминирующие штаммы бактерий. Общую численность и биомассу бактерий определяли методом флуоресцентной микроскопии с использованием поликарбонатных мембранных фильтров Cyclopore Black с диаметром пор 0.2 мкм. Препараты микроскопировали с иммерсионным объективом 100^x и окуляром 10^x. Подсчитывали клетки бактерий в 30 полях зрения.

Результаты и обсуждение

Исследование образцов, взятых в цикле процесса обогащения сульфидных медно-никелевых руд, показывает, что бактерии, поступающие с рудой и оборотной водой, идущей с хвостохранилища, увеличивают свою численность по ходу флотации (рис.1-3).

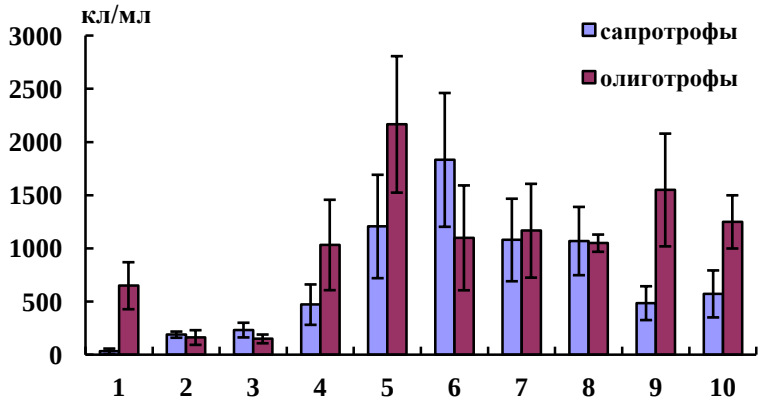


Рис. 1. Численность бактерий в образцах процесса флотации сульфидных руд комбината "Печенганикель", февраль 2015 г. 1 - руда; 2 - оборотная вода; 3 - межцикловая флотация; пенные продукты: 4 - основной флотации; 5 - контрольной флотации; 6 – I перечистки; 7 - II перечистки; 8 – II основной перечистки; 9 - хвосты; 10 - концентрат до спекания.

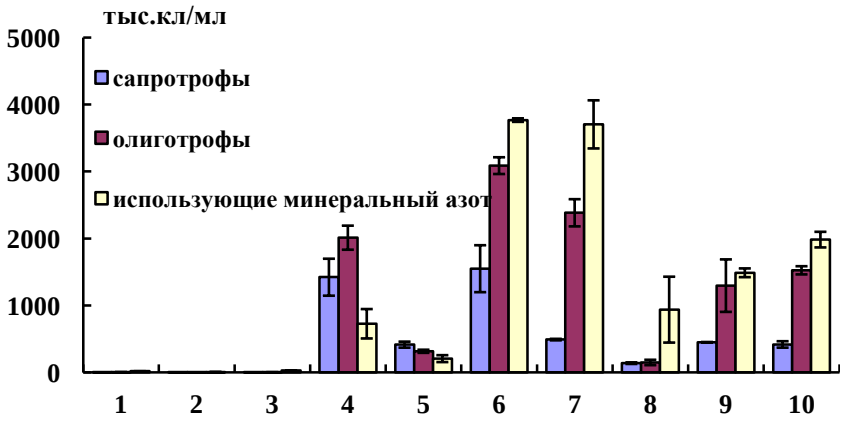


Рис. 2. Численность бактерий в образцах процесса флотации сульфидных руд комбината "Печенганикель", июль 2015 г. Обозначения те же, что на рис.1.

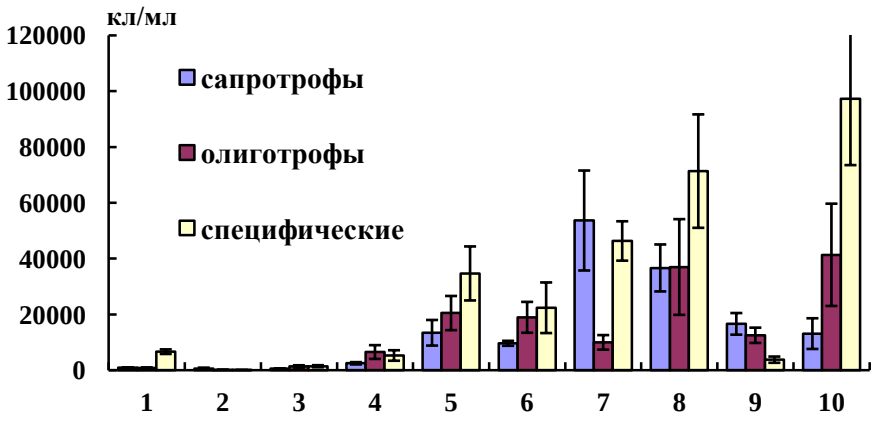


Рис. 3. Численность бактерий в образцах процесса флотации сульфидных руд комбината "Печенганикель", сентябрь 2015 г. Обозначения те же, что на рис.1.

Наименьшая численность как сапротрофных, так и других трофических групп бактерий, наблюдается в образцах руды и оборотной воды, в зимний период

составляет 33 кл/г и 190 кл/мл соответственно. Это связано с низкой температурой (+3º С) и недостатком питательных веществ (табл.1).

Таблица 1

Значения температуры образцов в процессе флотации ($+^0$С).

Образец	Февраль	Июль	Сентябрь
Оборотная вода	3	19.3	19.2
Пенный продукт основной флотации	13.8	20.2	21.2
Пенный продукт II перечистки	11.6	21	17

В летний и осенний периоды с ростом температуры численность бактерий в оборотной воде увеличивалась до 460 и 650 кл/мл, в руде – до 733 и 930 кл/г. В пенном продукте численность бактерий составляла в зимний период $n \cdot 10^3$ кл/мл, в летний и осенний периоды $n \cdot 10^4$ – 10^6 кл/мл, что связано с улучшением условий их обитания за счет поступления флотореагентов, аэрации и более высокой температуры. В осенний период наблюдалось снижение численности микроорганизмов по сравнению с летним периодом, несмотря на одинаковые температуры оборотной воды и пенных продуктов. Возможно, это связано с изменениями в реагентном режиме.

Сами флотореагенты в используемых концентрациях источником бактериального загрязнения не являются. Но, исходя из данных, полученных в ходе лабораторных опытов, некоторые из них являются источником питательных веществ для бактерий. Так, добавление аэрофлота в среду, в концентрации, используемой в процессе флотации, приводит к росту численности бактерий. Значения pH образцов изменяются в диапазоне от 8 до 10.

Доминирующие штаммы бактерий, выделенные из образцов, относятся к роду *Pseudomonas*. Микроскопические грибы встречаются в единичных случаях. Были обнаружены виды *Aspergillus fumigatus, Penicillium aurantiogriseum и P. glabrum.*

По методу прямого счета бактерий в оборотной воде определено от $0.4 \cdot 10^7$ до $1.3 \cdot 10^7$кл/мл, а в пенном продукте II основной перечистки – от $2.9 \cdot 10^7$ до $3.6 \cdot 10^7$кл/мл. Разница в общей численности бактерий в различные сезоны не отмечена. Однако следует помнить, что при прямом подсчете клеток учитываются и нежизнеспособные клетки.

Таблица 2

Общая численность и биомасса бактерий в образцах процесса флотации

Образец	Количествово клеток, 10^7 кл/мл			Биомасса, $\cdot 10^{-3}$ мг/г		
	февраль	июль	сентябрь	февраль	июль	сентябрь
Оборотная вода	1.26	0.67	0.4	0.5	0.2	0.2
Пенный продукт 2 основной перечистки	2.93	-	3.6	1.2	-	1.5

Примечание. Прочерк означает – не определяли.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы. Флотационный процесс способствует развитию бактерий за счет благоприятного температурного режима, аэрации и наличия дополнительных питательных веществ, поступающих в процесс с флотореагентами. В летний и осенний сезоны численность микроорганизмов увеличивалась на два-четыре порядка. Доминируют в процессе бактерии рода *Pseudomonas*.

Список литературы

1. Фомченко Н.В., Муравьев М.И., Кондратьева Т.Ф. Комплексная переработка некондиционных сульфидных концентратов с применением двухстадийного биовыщелачивания // Матер. Международного совещания «Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья (Плаксинские чтения 2015)». Иркутск, 21-25 сентября 2015 г. – Иркутск: 2015. С. 353-357.

2. Каравайко Г.И., Кузнецов С.И., Голомзик А.И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд. - М.: 1972.

3. Воронина Н.В., Евдокимова Г.А., Гершенкоп А. Ш. Развитие и функционирование микроорганизмов в цикле обогащения апатит-нефелиновых руд с использованием оборотного водоснабжения // Горный журнал. 2007. №12. С. 61-65.

Сведения об авторах

Фокина Надежда Викторовна, с.н.с., канд. техн. наук, e-mail: voronina@inep.ksc.ru

Дрыгина Елена Сергеевна, магистрант, e-mail: drygina_es@mail.ru

Евдокимова Галина Андреевна, зам. дир. по науке ИППЭС КНЦ РАН, профессор, д.б.н., e-mail: galina@inep.ksc.ru

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольский научный центр РАН, (ИППЭС КНЦ РАН), 184209, Мурманская обл., г.Апатиты, Академгородок, д.14а, Факс: (81555)74964. Тел.: (81555)79507.

УДК 502.175:628.5

К ВОПРОСУ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЯХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Цейтлин Е.М., Фадеичев А.Ф., Берсенёв Д.А., Шакирова Э.Р.

С развитием промышленности и ростом народонаселения Земли усиление негативных воздействий от промышленных объектов требует возрастания экологических ограничений и ужесточения нормативных требований, в частности и при проектировании промышленных предприятий [1].

Проектирование объектов хозяйственной деятельности необходимая стадия, предшествующая строительству (реконструкции) объекта. На данные работы уходит до 10% от всех капитальных затрат на строительство. Важным фактором, существенно влияющим на реализуемость проекта, является экологический фактор [2], который выражается в экологических ограничениях на строительство (реконструкцию) и дальнейшее функционирование проектируемого объекта.

Учет экологических ограничений при проектировании промышленных объектов важное и необходимое требование. При недостаточном учете экологических ограничений инвестиции могут не окупиться.

Под экологическими ограничениями понимаются ограничения, накладываемые нормативными требованиями охраны окружающей среды. [3].

В данной статье авторы постарались обозначить основные экологические ограничения, которые должен учесть инвестор при проектировании промышленного объекта.

Все экологические ограничения можно подразделить на 3 основные группы: экологические ограничения в части воздействия на атмосферный воздух, на водные объекты и на земельные ресурсы.

Экологические ограничения в части воздействия на атмосферный воздух в

основном отражены в следующих законах и нормативных документах: ФЗ №96 «Об охране атмосферного воздуха» [4], СанПиН 2.1.6.1032-01 "Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест" [5], СНиП 11-01-95 [6].

Основными экологическими ограничениями в части воздействия на атмосферный воздух являются ограничения, представленные ниже.

При проектировании промышленных объектов должно обеспечиваться соблюдение нормативов качества атмосферного воздуха на границе СЗЗ и жилой зоны, при этом должны учитываться фоновый уровень загрязнения атмосферного воздуха. В случае если фоновая концентрация планируемого к выбросу загрязняющего вещества уже превышает ПДК, то выбрасывать его запрещается, соответственно строительство такого объекта будет запрещено [4].

В целях охраны атмосферного воздуха в местах проживания населения устанавливаются санитарно-защитные зоны. В границе СЗЗ вашего объекта не должна попадать жилая зона [4, 7].

Запрещается размещение, проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию объектов, если в составе выбросов присутствуют вещества, не имеющие утвержденных ПДК или ОБУВ [5].

В проектах строительства промышленных объектов должны предусматриваться меры по уменьшению выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и их обезвреживанию [4]. Необходимо в первую очередь применять активные способы сокращения выбросов путем внедрения безотходных технологий, комплексного использования сырья и утилизации отходов производства [6].

Экологические ограничения в части воздействия на водные объекты регламентированы в следующих нормативных документах: Водный кодекс РФ [8], СанПиН 2.1.4.1110-02 "Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения" [9].

Основными экологическими ограничениями в части воздействия на водные объекты являются ограничения, представленные ниже.

При проектировании промышленных объектов требуется учитывать их влияние на состояние водных объектов, должны соблюдаться нормативы допустимого воздействия на водные объекты. В контрольном створе должно соблюдаться требование не превышения 1 ПДК для всех сбрасываемых веществ [8].

Запрещается осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, не подвергшихся очистке, производить забор (изъятие) водных ресурсов из водного объекта в объеме, оказывающем негативное воздействие на водный объект, осуществлять сброс в водные объекты сточных вод, в которых содержатся возбудители инфекционных заболеваний, а также вредные вещества, для которых не установлены нормативы предельно допустимых концентраций. [8]

В целях предотвращения загрязнения, засорения и истощения водных ресурсов в водных объектах создаются водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы. В границах водоохранных зон запрещается размещение промышленных объектов [8].

Водозаборы подземных вод должны располагаться вне территории промышленных предприятий и жилой застройки [9].

На водосборных площадях подземных водных объектов, которые используются или могут быть использованы для целей питьевого водоснабжения, не допускается размещать места захоронений отходов производства, которые будут оказывать негативное воздействие на состояние подземных вод [8].

Для источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения должны создаваться зоны санитарной охраны (ЗСО), состоящие из 3-х поясов. В 1-м поясе ЗСО фактически запрещена любая хозяйственная деятельность. Во втором и третьем поясе разрешается некоторая хозяйственная деятельность, в том числе строительство объектов размещения отходов в случае наличия гидрогеологического и санитарно-эпидемиологического заключения об отсутствии влияния на подземные воды [9].

Экологические ограничения в части воздействия на земельные ресурсы в основном отражены в следующих законах и нормативных документах: ГОСТ

17.4.3.02-85 "Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ" [10], ФЗ № 33 "Об особо охраняемых природных территориях" [11], Земельный кодекс РФ [12], ФЗ № 2395-1 "О недрах" [13].

Основными экологическими ограничениями в части воздействия на земельные ресурсы являются ограничения, представленные ниже.

Снятие и рациональное использование плодородного слоя почвы при производстве земляных работ следует производить на землях всех категорий [10].

Запрещается вести хозяйственную деятельность в границах особо охраняемых природных территорий федерального, регионального и местного значения [11]. Использование земель должно осуществляться способами, обеспечивающими сохранение экологических систем, способности земли быть средством производства в сельском хозяйстве и лесном хозяйстве, основой осуществления хозяйственной и иных видов деятельности [12].

В целях охраны земель необходимо проводить мероприятия по защите земель от водной и ветровой эрозии, селей, подтопления, заболачивания, вторичного засоления, иссушения, уплотнения, загрязнения радиоактивными и химическими веществами, захламления отходами производства и потребления, загрязнения, в том числе биогенного загрязнения, и других негативных (вредных) воздействий, в результате которых происходит деградация земель; также мероприятия по ликвидации последствий загрязнения, в том числе биогенного загрязнения, и захламления земель [12].

Использование земельных участков опускается только в соответствии с их целевым назначением и принадлежностью к той или иной категории земель и разрешенным использованием способами, которые не должны наносить вред окружающей среде, в том числе земле как природному объекту, а также не допускать загрязнение, захламление, деградацию и ухудшение плодородия почв на землях соответствующих категорий [12].

Стоит помнить, что пользование недрами на территориях населенных пунктов, пригородных зон, объектов промышленности, транспорта и связи может быть частично или полностью запрещено в случаях, если это пользование может

создать угрозу жизни и здоровью людей, нанести ущерб хозяйственным объектам или окружающей среде [13].

В ходе данной работы были обозначены лишь основные экологические ограничения, возникающие при проектировании промышленных объектов. Авторы считают, что необходимо разработать обобщенный комплекс экологических ограничений для каждого компонента окружающей среды с учетом специфики воздействия промышленных объектов. В частности, для атмосферного воздуха наиболее важными являются требования, отраженные в следующих нормативных документах [4,5,6], для поверхностных и подземных водных объектов…[8,9], а для земельных ресурсов [10,11,12,13]. Это предложение нацелено на комплексную защиту всех компонентов окружающей среды в целях создания условий для эффективной и безопасной работы предприятия, сохранения социальной сферы и защиты окружающей среды.

Список литературы

1. . Боброва З.М., Ильина О.Ю., Зуева Т.Ю. Нормативно-правовые аспекты в сфере охраны окружающей среды// Теория и технология металлургического производства, №12, 2012, с. 136-141

2. Хохряков А.В., Фадеичев А.Ф., Цейтлин Е.М. Применение интегрального показателя экологической опасности для решения экологических задач, с. 84-88, №4, 2014

3. Материалы сайта «Иностранные словари» www.classes.ru

4. Федеральный закон N 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха" от 04.05.1999 (в редакции от 13.07.2015)

5. СанПиН 2.1.6.1032-01 Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест, Москва, 2001 г.

6. СНиП 11-01-95 Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений, Москва, 1995

7. Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А. Экологические аспекты проектирования санитарно-защитных зон предприятий, расположенных в

старопромышленных регионах// Экология и промышленность России, №12, 2014, с. 30-33

8. Водный кодекс РФ от 26 мая 2006 года (в редакции от 13.07.2015)

9. СанПиН 2.1.4.1110-02 "Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения", Москва, 2002 год

10. ГОСТ 17.4.3.02-85 "Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ", Москва, 1985 год

11. Федеральный закон от 14 марта 1995 г. N 33-ФЗ "Об особо охраняемых природных территориях"(с изменениями и дополнениями) (в редакции от 13.07.2015)

12. Земельный кодекс РФ от 25.10.2001 N 136-ФЗ (в редакции от 05.10.2015)

13. ФЗ № 2395-1 "О недрах" от 21.02.1992 (в редакции от 13.07.2015)

Сведения об авторах:
Цейтлин Евгений Михайлович, к.г-м.н., доцент УГГУ
Фадеичев Альфред Францевич, к.г-м.н., доцент УГГУ
Берсенёв Денис Андреевич, студент 4 курса инженерно-экономического факультета УГГУ
Шакирова Эльвина Рамилевна, студентка 4 курса инженерно-экономического факультета УГГУ.

УДК 502.62

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СТАРИННЫХ КОПИЙ РЕЖЕВСКОГО ПРИРОДНО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ЗАКАЗНИКА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Шавнин С.А., Галако В.А., Власенко В.Э.

Одним из важнейших направлений природоохранной деятельности является организация новых особо охраняемых природных территорий и/или расширение уже существующих природных резерватов, способствующих поддержанию экологического равновесия в природе, сохранению генетического фонда, а также созданию благоприятной среды для жизнедеятельности людей.

Эта проблема особенно актуальна для Свердловской области, являющейся зоной критического экологического состояния.

Памятники природы служат для научных, познавательных и рекреационных целей. Одним из таких объектов является Режевской природно-минералогический заказник. Он создан на территории Свердловской области в целях сохранения и воспроизводства уникального природного комплекса в сочетании с ограниченным и согласованным использованием отдельных видов природно-минералогических ресурсов.

Создание Заказника в 1994 г. по инициативе научной общественности Екатеринбурга и администрации МО Режевского района, поддержанной решением правительства Свердловской области [1], явилось первым опытом образования особо охраняемой территории природно-минералогического профиля на Среднем Урале и единственной в этой категории ООПТ по всему Уральскому региону. При формировании заказника учитывалось, что его площади охватывают центральную часть единой геолого-минералогической системы, известной под названием «Самоцветная полоса Урала», и имеется реальная возможность постепенного приращения новых территорий, расположенных севернее и восточнее Заказника, которые обладают аналогичной общественно значимой ценностью.

За недолгий период существования Заказника прекращены акты самовольной добычи камня в зонах старых разработок и копей на Адуе, в Шайтанке и Липовке. Ведется работа по накоплению и систематизации архивных данных по природным объектам, сбору коллекционного каменного материала; активно поддерживаются эколого-просветительские и исследовательские программы научных учреждений и вузов; а также областные и всероссийские мероприятия по геолого-минералогическому туризму. За истекшие годы сделаны первые шаги по созданию в рамках ООПТ регионального минералогического музея.

Площадь заказника составляет 32,3 тыс. га и состоит из участков: Адуйсткое пегматитовое поле, Липовские карьеры и Шайтанское месторождение агата. Значение Самоцветной полосы Урала подчеркивал профессор Э.Ф. Емлин [2]. По его заключению выделение Самоцветной полосы характеризуется

распространением месторождений самоцветов - драгоценных цветных и поделочных камней – в экзоконтакте Мурзинского и Адуйского гранитных массивов. На территории заказника находятся более 60 пригодных для посещения копей. В копях Мурзинки , Липовки и Адуя находят несколько разновидностей кварца: прозрачный горный хрусталь, фиолетовый аметист, черный морион, желтый цитрин. Встречаются здесь топазы, аквамарины, рубины и сапфиры, а также цветные турмалины.

Выявленные на обширных пространствах археологические памятники природы-стоянки и городища по берегам рек и озер восточных предгорий хребта, курганы и могильники, камни-писаницы, остатки чудских копий[3].

В геологическом строении территории заказника принимают участие коренные породы палеозойского и мезокайнозойского возраста. Породы палеозоя представлены комплексами осадочно-метаморфических пород и изверженных пород. Комплекс осадочно-метаморфических пород имеет широкое развитие в центральной и восточной частях района и представлен тремя толщами: силур, девон, карбон. Силурийские отложения представлены известковыми песчаниками, глинистыми сланцами с примесью туфогенного материала. Их перекрывают породы глинистых, кремнистых и других сланцев с подчиненными прослоями известняков и свитами эффузивов. Каменноугольные отложения залегают с перерывом на девонских породах. Нижнекаменноугольные отложения представлены преимущественно осадочными породами – конгломератами, известняками, содержащими в изобилии фауну визейского яруса. Среднекаменноугольные залегают трансгрессивно в ограниченных областях, представлены песчаниками, сланцами, конгломератами [4].

Гранитные пегматиты камерного типа и кварц-аметистовые трещинные зоны, образующие серию жильных полей, в структурно-тектоническом плане локализованы в пределах Мурзинско-Адуйского антиклинория, являющегося одним из звеньев Восточно-Уральского поднятия. Эта структура объединяет три крупных антиклинали – Мурзинскую, Адуйскую и Каменскую, разделенные седловидными прогибами. В ядрах каждой из них располагаются одноименные

массивы биотит-плагиоклаз-микроклиновых верхнепалеозойских гранитов, причем Мурзинский является среди них наиболее крупным. По геофизическим данным (в частности, по характеру гравитационного поля), а также по особенностям экзоконтактового метаморфического ореола гранитов предполагается, что все три массива – Мурзинский, Адуйский и Каменский – на глубине соединены между собой в единую, сильно вытянутую в меридиональном направлении Мурзинско-Адуйскую гранитную интрузию, локализованную в ядре антиклинория.

В 2015 г. сотрудниками Ботанического сада УрО РАН по заданию Министерства природных ресурсов и экологии Свердловской области был проведен комплекс работ по расширению государственного природно-минералогического заказника «Режевской» на территории Муниципального образования «Режевской городской округ».

Новый участок заказника располагается к северо-востоку и востоку от границ ныне действующего Заказника и охватывает почти всю северную и восточную оконечности Самоцветной полосы Урала.

Программа работ включала: сбор и систематизацию сведений, натурное обследование предложенных территорий. На этой базе данных рассматривались и уточнялись различные варианты проложения границ Заказника.

На участках, предложенных на расширение территории заказника «Режевской», в квартале 4 Липовского участкового лесничества Режевского лесничества Свердловской области имеются Фирсовкие аметистовые копи. В кварталах 67, 78 Режевского участкового лесничества Режевского лесничества Свердловской области по правому берегу р. Реж отмечены скальные выходы. Кроме того, в квартале 68 Режевского участкового лесничества Режевского лесничества Свердловской области имеются останки объектов культурного наследия 19 века: мельница Грачева и мельница Бородина.

На территории расширения Режевского заказника преобладают насаждения с преобладанием в составе сосны (2520,3 га или 89,12% лесопокрытой площади). Березовые насаждения составляют 205,7 га или 7,27% лесопокрытой площади.

Насаждения с преобладанием в составе ели отмечаются на площади 93,4 га (3,30% покрытой лесом площади). Осиновые и ольховые насаждения преобладают на 8,3 га (0,29%). Наиболее представлены на территории расширения заказника высоко- и среднепроизводительные насаждения I – III классов бонитета, составляющие 2753,3 га (97,36% покрытой лесом площади). Низкопроизводительные насаждения IV – V бонитетов распространены на площади 74,6 га (2,64% покрытой лесом площади. Древостои представленных типов насаждений характеризуются по преобладанию средне – и высокополнотных групп насаждений с относительной полнотой 0,7-1,0, составляющих 2113,5 га (74,70% лесопокрытой площади). Древостои с относительной полнотой 0,4-0,6 распространены на площади 714,4 га (25,26 % покрытой лесом площади). По возрастной структуре отмечается преобладание средневозрастных и приспевающих насаждений основных типов леса: сосняк разнотравный и сосняк ягодниковый.

На территории обитает значительное количество редких и исчезающих видов животных и растений. Из списка позвоночных животных, обитающих на обследуемой территории, занесены в Красную книгу Свердловской области следующие виды: еж обыкновенный (4 категория), ушан бурый (3 категория), кожанок северный (3 категория), ночница прудовая (3 категория), ночница водяная (5 категория), усатая ночница (4 категория), нетопырь Натузиуса (3 категория), летяга (3 категория), норка европейская (1 категория), речная выдра (3 категория), чесночница обыкновенная (3 категория), углозуб сибирский (4 категория), гребенчатый тритон (2 категория), ломкая веретеница (3 категория), обыкновенная медянка (3 категория) (Красная книга Свердловской области, 2008).

Флора описываемого участка состоит преимущественно из видов открытых местообитаний – опушечных, луговых и сорных с участием некоторых лесных видов, заходящих из соседних малонарушенных лесных сообществ. Во флоре участка отмечены виды, внесенные в Красную книгу Свердловской области, – любка двулистная (*Platanthera bifolia*), лилия волосистая, кубышка желтая,

венерин башмачок крапчатый, гудайера ползучая, прострел уральский, флокс сибирский, остролодочник колосистый, гвоздика иглолистная, а также 1 вид, являющийся эндемиком Урала, – жабрица Крылова (*Seseli krylovii*).

Таким образом. комплекс, проведенных исследований, позволяет заключить, что предложенные на расширение территории заказника «Режевской» участки существенно повысят природную и общественную ценность данного объекта ООПТ.

Список литературы

1. Постановление главы администрации г. Екатеринбурга № 438 от 29.08.94 г.

2. Емлин Э.Ф., Вахрушева Н.В., Кайнов В.И. Самоцветная полоса Урала. Режевской государственный природно-минералогический заказник. Путеводитель. Екатеринбург-Реж.2002. 156 с.

3. Смирнов В.И, Гинзбург А.И., Григорьев В.М., Яковлев Г.Ф. Курс рудных месторождений. Москва: Изд-во «Недра».1986. 359 с.

4. Попов М.П., Маликов А.И., Захаров А.В., Попова Е.Н., Волохин С.Л., Минеева Е.В. Природно- минералогический заказник «Режевской». Самоцветная полоса Урала. Екатеринбург. 2012. 84 с.

Сведения об авторах:

Шавнин Сергей Александрович, директор, доктор биол. наук, профессор, тел.(343)210-38-59, e-mail: common@botgard.uran.ru.

Галако Вадим Александрович, с.н.с., канд. с-хоз. наук, доцент

Власенко Вячеслав Эдуардович, с.н.с., канд. биол. наук

ФБГУН Ботанический сад УрО РАН, 620144, г. Екатеринбург, ул.8 Марта 202 а, тел.(343)210-38-59, e-mail:common@botgard.uran.ru.

УДК622.458+622.882

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ОСВОЕНИИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Антонинова Н.Ю., Рыбников П.А., Рыбникова Л.С., Славиковская Ю.О., Шубина Л.А.

Введение

Предприятия горно-металлургического комплекса (ГМК) Урала с экологических позиций являются основными источниками антропогенного поступления токсикантов в окружающую среду. Их воздействие носит объемный характер, существенно видоизменяя литосферу, гидросферу, атмосферу и биосферу. Наиболее мощные потоки возникают вокруг предприятий черной, цветной металлургии, в результате атмосферных выбросов и сбросов в поверхностные и подземные водные объекты загрязняющих веществ из шламоотстойников, шламохранилищ, затопленных карьеров, отвалов вскрышных и вмещающих пород, забалансовых руд.

В связи с тем, что горнодобывающая промышленность остаётся одной из главных составляющих экономики Уральского региона, исследование закономерностей техногенной трансформации экосистем, структуры этого процесса, условий экологической безопасности является актуальной задачей.

Цель работы – изучение механизмов накопления, миграции и трансформации токсикантов в природно-техногенных комплексах с обоснованием эколого-экономических и социальных параметров, характеризующих последствия данных процессов.

Для этого были решены следующие задачи: исследование трансформации почвенно-растительного покрова техногенно загрязненных экосистем в пространственно-временном аспекте; изучение закономерностей изменения гидросферы в зоне влияния ГМК; экономическая оценка последствий техногенного воздействия на окружающую среду с учетом социального фактора; оценка связи состояния компонентов окружающей среды и роста заболеваемости населения в районе влияния предприятий ГМК.

Исследование состояния земельных ресурсов в зоне влияния предприятий ГМК

Почва является наиболее объективным и стабильным индикатором техногенного загрязнения, именно в ней сходятся главные миграционные потоки поллютантов, она объективно отражает их распространение и фактическое распределение в компонентах окружающей среды.

Для определения качества среды обитания в почвенном покрове трансформация химических свойств группируются в систему диагностических признаков антропогенного преобразования. Комплекс признаков представляется в виде трех основных видов трансформации химических свойств почв: изменение исходного качества; появление новых свойств; формирование геохимических барьеров нового типа.

При анализе геохимических данных отдельных природно-территориальных комплексов возникает сложность при учете всех факторов, влияющих на формирование ареалов загрязнения, и обобщения территориально распределенной информации. Существующие методики решают, как правило, узко специализированные задачи. При этом от анализа почвенных изменений прямо зависят прогнозы состояния и изменения крупных экосистем (природно-территориальных комплексов), особенно в антропогенно нагруженных районах, для которых характерно ускорение и усложнение процессов деградации природной среды. Одновременно необходимо выполнять анализ локальных изменений наземных экосистем в районах с высоким потенциалом к самовосстановлению и сопоставление их с состоянием экологически стабильных территорий.

В рамках работы производился экспресс-анализ проб почв и анализ результатов мониторинга в пределах сложившихся геотехнических систем ряда крупных ГМК. Были получены количественные характеристики техногенных компонентов в депонирующих средах. Грунты в районе исследуемых участков загрязнены широким комплексом тяжелых металлов, наиболее высокие содержания (более 10 ПДК) выявлены для Cu, Zn, Pb, Sn, As, Bi, Cd и Sb. Анализ распределения тяжелых металлов по глубине показал, что максимальные концентрации загрязняющих веществ приурочены к верхней части разреза (в техногенных грунтах - до глубины 1,5 м) и связаны с наличием в них отходов металлургического производства, а также с

пылевыми накоплениями, поступающими аэрогенным путем. Подстилающие элювиальные глинистые образования территории слабо загрязнены ассоциацией тяжелых металлов, в количественном и качественном отношении отличающейся от поверхностных грунтов. Оценка химического загрязнения почв и грунтов промплощадок предприятий по суммарному показателю химического загрязнения Zc показала, что категория загрязнения почв варьируется от чрезвычайно опасной до экологического бедствия.

Для оценки и прогноза потенциала самовосстановления техноземов и техногенно-нарушенных почв исследовались особенности распределения углекислого газа, метана и кислорода в условиях техногенеза. Эти данные являются показателем биологической активности и возможностей самовосстановления нарушенных экосистем[1,2]. Экспресс-анализ почвогрунта и органических показателей почвы производился газоанализатором ECOPROB 5. На борту отработанного карьера и в подошве нового карьера установлены остаточно низкие показатели по CO_2 (до 453 ppm), что свидетельствует о низкой почвенной продуктивности и слабом потенциале самовосстановления. На отвале почвенно-плодородного слоя на глубинах до 30 см отмечены высокие показатели (более 4000 ppm), что может говорить о высоком почвенном потенциале, близком и даже превышающем показатели окультуренных земель.

Оценка изменений гидросферы в зоне влияния предприятий ГМК

За счет загрязненных шахтных вод формируется самый крупный поток сточных вод на Земле [3]. В общем объеме учтенного сброса загрязняющих веществ на территории Свердловской области около 10 % поступает с шахтными водами затопленных рудников, а затраты на их очистку (порядка 300 тыс. руб. в день) покрываются из областного бюджета [4].

Например, в р. Тагил ниже сброса очищенных шахтных вод затопленных рудников Левихинской группы медноколчеданных месторождений отмечаются значительные превышения предельно-допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного значения ($ПДК_{р/х}$). Наибольшие превышения зафиксированы для

цинка ($К_{ПДК}$[1] = 197), меди ($К_{ПДК}$ = 130), марганца ($К_{ПДК}$ = 102), железа ($К_{ПДК}$ = 43). Необходимо отметить, что выше сброса вода р. Тагил также (как и ранее) не соответствует $ПДК_{р/х}$ по ряду показателей, в частности, по меди ($К_{ПДК}$ = 20), марганцу ($К_{ПДК}$ = 19), цинку ($К_{ПДК}$ =7), железу ($К_{ПДК}$ =5), при этом после сброса сточных вод содержание тяжелых металлов в воде реки увеличивается в 5–29 раз, сульфатов в 2,5 раза.

В целом степень загрязнения вод р. Тагил тяжелыми металлами после затопления увеличилась в 3,5 раза. Учитывая нестационарный характер формирования загрязняющих компонентов в шахтных водах и тенденцию к снижению их содержания [5], можно ожидать улучшения состояния поверхностных вод в районе Левихинского рудника. Однако даже после достижения предполагаемых предельных значений показателей химического состава шахтных вод их очистка без включения в существующую схему дополнительных элементов не будет оптимальной, а уровень загрязнения р. Тагил останется достаточно высоким.

Анализ ситуации в районе затопленного Дегтярского рудника показал, что по многим загрязняющим веществам концентрации их в ходе нейтрализации и осветления в Ельчевском пруду-отстойнике не доводятся до питьевых кондиций (коэффициент концентрации по ПДК для централизованного питьевого водоснабжения для сухого остатка $К_{ПДК}$=1,3; для сульфат-иона $К_{ПДК}$=1,7; для марганца $К_{ПДК}$=2) и до требований водоемов рыбохозяйственного значения (коэффициент концентрации по ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения для сухого остатка $К_{ПДК}$=1,3; для сульфат-иона $К_{ПДК}$=8; для меди $К_{ПДК}$=10; для марганца $К_{ПДК}$=20; для цинка $К_{ПДК}$=20).

При этом весь сток нейтрализованных вод с территории отработанного Дегтярского месторождения направляется по р. Исток к Ельчевскому пруду-отстойнику и далее в Волчихинское водохранилище, которое является основным источником питьевого водоснабжения Свердловской области и основным для г. Екатеринбурга.

---

[1]Коэффициент концентрации по $ПДК_{р/х}$ – кратность превышения $ПДК_{р/х}$: $К_{ПДК} = С/С_{ПДК}$, где С – текущая концентрация загрязняющего вещества, $С_{ПДК}$ – нормируемая концентрация этого же вещества в водоемах рыбохозяйственного значения($ПДК_{р/х}$) .

В горнопромышленных районах Уральского региона воздействие на гидросферу действующих и отработанных рудников во много раз превышает официально учтенный сброс поллютантов. Так, для района Левихинского рудника ущерб водным объектам составляет десятки миллионов руб. как при отработке, так и после ликвидации, изменяется только вклад отдельных компонентов: при отработке основным «вредителем» была медь (54% ущерба), после ликвидации им стал цинк (57% ущерба). При этом размер предотвращенного ущерба на порядок превышает фактический ущерб.

Экономическая оценка последствий техногенного воздействия предприятий ГМК с учетом социального фактора

Ущерб от последствий, связанных с нарушением здоровья населения, представляет собой экономический ущерб, обусловленный социальными последствиями в результате техногенного воздействия. Социальный ущерб в современных условиях является неотъемлемой частью принятия решения о выборе направления хозяйственной деятельности, что особенно актуально для районов с высоким уровнем урбанизации.

К показателям, характеризующим ущерб в социальной сфере вызванный заболеваниями в результате техногенного воздействия предприятий горнопромышленного комплекса относятся: плотность населения; -доля заболевших в результате загрязнения природной среды; региональный валовой внутренний продукт; среднегодовая заработная плата; -фактическое количество месяцев пропущенных по болезни; затраты на организацию медицинской помощи и расходы средств социального страхования на оплату листов нетрудоспособности; индивидуальные затраты на восстановление или поддержание здоровья; выплата пособий по потере трудоспособности.

В Свердловской области по результатам факторно-типологического анализа влиянию санитарно-гигиенических факторов подвержен 81 % населения, социально-экономических факторов – 36 % населения. Первое место среди санитарно-гигиенических факторов формирования здоровья населения в течение последних лет стабильно занимает комплексная химическая нагрузка, которой подвержено 76 % населения области. В структуре комплексной химической нагрузки лидирует

химическая нагрузка на население, связанная с загрязнением атмосферного воздуха, далее – с загрязнением почвы, питьевой воды, продуктов питания.

Наибольший вклад в структуру заболеваемости населения Свердловской области привносится в результате техногенного воздействия предприятия горнодобывающей и перерабатывающей промышленности – 46 и 43 %, соответственно. Именно эти отрасли определяют величину комплексной химической нагрузки и оказывают наибольшее негативное воздействие на здоровье населения, проживающего в местах ее концентрации. В свою очередь это приводит к существенному экономическому ущербу в результате заболеваемости населения Свердловской области в целом.

Анализ данных мониторинга загрязнения почв за последние 10 лет [4,6-9] позволил установить наиболее значимые для формирования социального ущерба показатели. Были рассчитаны уравнения связи для основных загрязняющих веществ (свинец, никель, кобальт, кадмий, хром, марганец, цинк, медь) и показателей экономического ущерба в результате заболеваемости населения, вызванного загрязнением окружающей среды за указанный период.

Экономический ущерб в результате роста заболеваемости населения Свердловской области формируется как результат загрязнения почв. Наибольшее значение в структуре ущерба имеют хром, цинк и медь. Остальные загрязняющие вещества (свинец, никель, кобальт, марганец) оказывают меньшее влияние на формирование данной величины.

Выводы

Оценка качества земельных ресурсов и пространственного загрязнения почв и техногенных грунтов как основы экологического прогнозирования воздействия ГМК окружающую среду должна базироваться на химико-аналитических исследованиях состава почв и состояния их газовой фазы, с целью выявления особенностей распределения углекислого газа, метана и кислорода, как показателей биологической активности и возможностей самовосстановления нарушенных экосистем.

Оценка безопасности освоения природных месторождений и техногенно-минеральных образований должна включать определение размера экологического вреда от сброса очищенных шахтных вод и величину предовращенного ущерба, что позволит

выбрать эффективные методы очистки сточных дренажных вод и разработать мероприятия для предотвращения попадания в водный объект вредных (загрязняющих) веществ и отходов с водосборной площади.

Наибольший вклад в структуру экономического ущерба в социосфере Свердловской области вносит техногенное воздействие предприятий горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, которые определяют загрязнение почвы хромом, цинком, медью.

Список литературы

1. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования /Ленинград. Наука, Ленинградское отделение. - 1980 - 186 с
2. Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. Издательство: АН СССР, 1958 г. 466 стр.
3. Wolkersdorfer C.Water management at abandoned flooded underground mines. Fundamentals. Tracertests. Modelling. Watertreatment. Springer. 2008. 465 p.
4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2012 году». Екатеринбург, 2013. ООО «Издательство УМЦ УПИ». 350 с.
5. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Влияние экологического ущерба, накопленного от горнодобывающей деятельности, на состояние гидросферы Среднего Урала // Водное хозяйство России. 2013. № 6. С. 110-118
6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Свердловской области в 2010 году». – Екатеринбург. – 2011
7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Сверджловской области в 2011 году». – Екатеринбург. – 2012
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Свердловской области в 2012 году». – Екатеринбург. – 2013
9. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Свердловской области в 2014 году». – Екатеринбург. – 2015

Сведения об авторах:

Антонинова Наталья Юрьевна, канд. техн. наук, зав. лабораторией экологии горного производства, geoeco@igduran.ru, (343)350-50-35

Рыбникова Людмила Сергеевна, канд. геол-мин. наук, с.н.с. лаборатории экологии горного производства

Рыбников Петр Андреевич, канд. геол-мин.наук, с.н.с. лаборатории экологии горного производства

Славиковская Юлия Олеговна, канд. экон. наук, с.н.с. лаборатории экологии горного производства

Шубина Любовь Андреевна, н.с. лаборатории экологии горного производства

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), 620219, г.Екатеринбург, ул.Мамина-Сибиряка,58, geoeco@igduran.ru, (343)350-50-35