

ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР



Виктор Леонтьевич
ЯКОВЛЕВ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

**Сборник научных трудов
Института горного дела УрО РАН
Выпуск 6 (96)**

ЕКАТЕРИНБУРГ
2024

УДК 622.014.3:553.042.004.14

Г 36

Ответственный редактор:
доктор технических наук А.В. Глебов

Г 36

Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. – Екатеринбург: УрО РАН, 2024. – (Сб. науч. тр. / ИГД УрО РАН. – Вып. 6(96) — 320 с., илл.

ISBN 978-5-7691-2576-8

Сборник посвящен 90-летию со дня рождения одного из ведущих и ярких представителей Уральской школы отечественной горной науки, Советника Российской академии наук, члена-корреспондента Российской академии наук, действительного члена Академии наук Республики Саха (Якутия), члена Академии горных наук РФ, заслуженного деятеля науки Республики Саха (Якутия), лауреата премии РАН им. Н.В. Мельникова и премии УрО РАН им. Л.Д. Шевякова, Уральской горной премии, профессора, доктора технических наук.

Публикуются статьи авторов из академических, научно-исследовательских и учебных институтов России, охватывающие широкий круг проблем комплексного освоения месторождений, теории проектирования горнопромышленных систем, геоинформатики, геотехнологии, геотехники, в исследование которых Виктор Леонтьевич Яковлев внес значительный вклад. Отличительной особенностью сборника является то, что в нем приведены избранные труды юбиляра, ранее опубликованные в периодических научных изданиях, актуальные и в настоящее время. Новые публикации юбиляра направлены на поддержание технологического суверенитета России путем реализации методологических подходов к горно-геологической и технико-экономической оценке месторождений и обоснованию параметров горнотехнических систем, основанных на сочетании передовых геотехнологий и взаимосвязи технологических процессов.

Сборник рассчитан на широкий круг горных специалистов.

УДК 622.014.3:553.042.004.14

ISBN 978-5-7691-2576-8

© УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН, 2024.

© АВТОРЫ, ТЕКСТ, 2024.

© ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА УрО РАН,
2024.



Благодарственное письмо
**ПРЕЗИДЕНТА
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**



На расширенном заседании Бюро Отделения наук о Земле
7 февраля 2024 г. В.Л. Яковлеву вручено
«Благодарственное письмо Президента Российской Федерации
В.В. Путина» (от 17 января 2024 года)
«за вклад в развитие отечественной науки,
многолетнюю плодотворную деятельность
и в связи с 300-летием Российской академии наук»

О научно-организационной деятельности члена-корреспондента РАН, Советника РАН Яковлева Виктора Леонтьевича

Становление В.Л. Яковлева как крупнейшего представителя уральской школы отечественной горной науки в области разработки месторождений полезных ископаемых, теории формирования транспортных систем карьеров началось с того, что он с отличием окончил в 1951 г. горный факультет Свердловского горного института им. В.В. Вахрушева и был направлен в Уралгипрошахт, где получил богатый опыт инженера-проектировщика. Он творчески решал сложные вопросы технологии горных работ и транспорта в проектах таких крупных карьеров, как Баженовские асбестовые, Коркинский, Богословские, Волчанские и Кушмурунские угольные.

С 1962 г. в аспирантуре ИГД УФ АН СССР (позднее ИГД МЧМ СССР) подготовил и в 1966 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование и выбор оптимальных режимов горно-транспортных работ рудных карьеров с помощью ЭВМ», в которой были изложены результаты принципиально нового в то время подхода к решению задач горного дела на основе метода экономико-математического моделирования, что нашло отражение в ряде статей (Горный журнал № 5, 1965 г., Горный журнал. Известия вузов, № 2, 1995 г.), монографии «Оптимизация технологических процессов на горно-обогатительных предприятиях» (М.: Недра, 1972 г.).

В 1972 г. В.Л. Яковлев в соавторстве с М.В. Васильевым под редакцией академика Н.В. Мельникова опубликовал в издательстве «Наука» монографию «Научные основы проектирования карьерного транспорта», в которой впервые в систематизированном виде было дано обоснование учета основных закономерностей и взаимосвязей транспортного процесса в динамике горных работ, приведены принципиальные положения методики выбора видов карьерного транспорта, а также алгоритм расчета оптимальной совокупности параметров погрузочного и транспортного оборудования горно-технических систем.

В качестве заведующего отделом карьерного транспорта В.Л. Яковлев активно участвовал в становлении Уральской научной школы карьерного транспорта, сформированной под руководством проф. М.В. Васильева, и со временем стал ее общепризнанным лидером. В 1973 г. была издана утвержденная Минчерметом СССР методика «Выбор вида карьерного транспорта». В 1979 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Теоретические основы выбора транспорта рудных карьеров», в которой впервые были рассмотрены общие положения стратегии формирования транспортных систем, позволяющие прогнозировать развитие карьерного транспорта. Выполненный В.Л. Яковлевым цикл работ по теории формирования транспортных систем глубоких карьеров, представленный в монографии «Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров» («Наука», Новосибирск, 1989 г.), является теоретической и методической основой выбора стратегии формирования транспортных систем глубоких карьеров в динамической постановке с применением ЭВМ, принципиально отличающейся от ранее применявшихся методов сравнения и выбора видов карьерного транспорта при проектировании новых и реконструкции действующих карьеров.

Два десятка лет в ИГД МЧМ СССР Виктором Леонтьевичем с участием научных сотрудников руководимых им научных подразделений (отдел карьерного транспорта, лаборатория комплексных проблем разработки месторождений на больших глубинах) были обоснованы параметры технологических схем транспорта и перспективы их развития на карьерах крупнейших горнообогатительных комбинатов: Соколовско-Сарбайского, Оленегорского, Качканарского, Ингулецкого, Северного, Криворожского, Стойленского; для карьеров комбината «Ураласбест» и других дан научно-технический прогноз развития транспорта.

С 1986 по 1995 г. В.Л. Яковлев — директор Института горного дела Севера Сибирского отделения РАН (г. Якутск), возглавить который ему было предложено Председателем СО РАН академиком В.А. Коптюгом по рекомендации Председателя УрО РАН академика Г.А. Месяца.

Руководимый в те годы В.Л. Яковлевым институт, являющийся единственным академическим научным учреждением горного профиля на северо-востоке Российской Федерации, успешно решал задачи, связанные с созданием научных основ разработки месторождений в условиях многолетней мерзлоты. В 1991 г. он избирается членом-корреспондентом Российской академии наук. В монографии

«Закономерности развития горного дела» (Якутск, 1992 г.) в соавторстве с академиком АН Республики Саха (Якутия) С.А. Батугиным даны принципиально новая оценка особенностей и тенденций развития горнодобывающей промышленности и рекомендации по развитию теории и практики освоения недр.

За годы работы директором ИГДС СО РАН В.Л. Яковлев приобрел заслуженный авторитет в научном сообществе СО РАН. Он входил в состав Президиума Якутского научного центра, объединенных советов СО РАН по наукам о Земле, по механике, энергетике и горным наукам, стал членом Международного комитета по горному делу в Арктике, выступал с докладами на международных симпозиумах: Университет Аляски (г. Фебренкс), Шпицберген (Норвегия). В 1991 г. В.Л. Яковлев избирается членом-корреспондентом вновь созданной Российской Академии наук. Он уделяет большое внимание подготовке научных кадров: сотрудниками института защищено более 10 докторских и 13 кандидатских диссертаций. За заслуги в области разработки научных основ комплексного освоения недр северо-востока России, научно-организационную деятельность и в связи с 60-летием со дня рождения В.Л. Яковлев награжден Почетной грамотой Президиума Сибирского отделения РАН (1994 г.).

Активное участие В.Л. Яковлев принимал в общественной жизни Якутии, развитии ее научно-технического потенциала, создании Академии наук республики Саха (Якутия) (1993 г.). Он был избран ее действительным членом, членом Президиума, председателем Объединенного совета по физико-техническим наукам, председателем уставной комиссии.

За разработку научных основ комплексного освоения недр Северо-Востока России он награжден Почетной грамотой Президиума СО РАН, Грамотой Президента РС (Я), ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки республики Саха (Якутия)».

После возвращения на Урал В.Л. Яковлев продолжает участвовать как член Академии наук Республики Саха (Якутия) в решении проблем освоения недровых богатств не только Якутии, но и других субъектов Дальневосточного Федерального округа в содружестве с учеными ИГДС СО РАН и ИГД ДВО РАН.

В 1995 г. по инициативе Президиума УрО РАН В.Л. Яковлев возвращается на Урал и в марте 1996 г. избирается на должность директора ИГД УрО РАН. Под его руководством деятельность Института, которому в течение 30 лет выпало быть отраслевым, характеризуется адапта-

цией в системе РАН, возобновлением и расширением научных связей с академическими институтами горного профиля и горнодобывающими предприятиями России и Казахстана. В этот период основные труды В.Л. Яковлева связаны с разработкой научных основ стратегии эффективного и безопасного освоения недр, созданием ресурсосберегающих экологически безопасных технологий добычи полезных ископаемых, разработкой методов оптимизации транспортных систем глубоких карьеров.

Значительным вкладом в теорию и практику горного дела являются монографии: «Методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов» (2001 г., соавтор А.В. Гальянов), «Основы стратегии освоения минеральных ресурсов Урала» (1999 г., соавторы С.И. Бурыкин, Н.Л. Стахеев), а также статьи в центральных научно-технических журналах. Научная деятельность В.Л. Яковлева отмечена дипломом Президиума РАН о присуждении премии им. Н.В. Мельникова за серию работ «Технологические аспекты проблемы комплексного освоения недр», премией УрО РАН им. Л.Д. Шевякова за цикл работ по проблеме «Научные основы формирования транспортных систем карьеров при разработке глубокозалегающих месторождений».

Долгие годы В.Л. Яковлев являлся зам. председателя Объединенного ученого совета по наукам о Земле УрО РАН, членом Научного совета по проблемам горных наук Отделения наук о Земле РАН, был членом секции «Геология и горное дело» Комитета по премиям Правительства РФ, членом и председателем комиссий РАН и УрО РАН по комплексной проверке институтов горного профиля: Горного института УрО РАН (г. Пермь, 1993, 1998, 2003 гг.), ИПКОН РАН (г. Москва, 2002 г.), Института горного дела СО РАН (г. Новосибирск, 2001 г.).

В.Л. Яковлев является членом редколлегий: «Горного журнала» (г. Москва), журнала «Природные ресурсы Арктики и Субарктики» (г. Якутск), журнала СО РАН «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых» (г. Новосибирск), журнала УрО РАН «Литосфера» (г. Екатеринбург), сетевого периодического издания «Проблемы недропользования» (рецензируемый сборник научных статей, ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург).

В качестве Президента НП «Уральская горнопромышленная ассоциация» В.Л. Яковлев принимает активное участие в консолидации научно-инженерной общественности Урала, является постоянным участником и членом оргкомитетов Уральских горнопромышленных

съездов. Под его руководством и при непосредственном участии разработана и одобрена Правительством Свердловской области «Концепция развития предприятий горно-металлургического комплекса Свердловской области до 2015 года». Его деятельность в этом направлении отмечена «Уральской горной премией» (1999 г.) и Почетной грамотой губернатора Свердловской области (2001 г.).

Большое внимание уделяет В.Л. Яковлев подготовке инженерных и научных кадров. По его инициативе в институте организована работа аспирантуры и докторантуры; он является председателем диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций при ИГД УрО РАН по двум специальностям.

Всего под руководством В.Л. Яковлева защищено 29 кандидатских диссертаций, он является научным консультантом 14 докторских диссертаций.

В.Л. Яковлев является автором и соавтором около 500 научных трудов, включая 20 монографий.

Постановлением Президиума РАН от 20 июня 2006 года №196 В.Л. Яковлев назначен Советником РАН — главным научным сотрудником.

С 2006 г. в статусе Советника РАН Виктор Леонтьевич выполняет большой объем научно-организационной работы, связанной с руководством и обеспечением исследований по программам и проектам Правительства РФ, Президиума РАН, ОНЗ РАН, УрО РАН и многих других.

Его основные научные труды и публикации последних лет в большей степени связаны с разработкой научных основ стратегии освоения недр, созданием ресурсосберегающих экологически безопасных технологий добычи полезных ископаемых, разработкой методов оптимизации транспортных систем глубоких карьеров. Яковлевым В.Л. формируется новое направление по решению проблем комплексного освоения георесурсов — исследование переходных процессов как инструмента адаптации горнодобывающих предприятий к изменяющимся внутренним и внешним условиям разработки месторождений. На основе исследования переходных процессов уточняются подходы к обоснованию стратегии освоения сложноструктурных месторождений и решению проблем комплексного освоения георесурсов.

Основные результаты исследований ИГД УрО РАН изложены в монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения георесурсов минерального сырья» (под редакцией член-корр. РАН

В.Л. Яковлева), авторам которой Яковлеву В.Л., Корнилкому С.В., Соколову И.В. в феврале 2022 г. по представлению Бюро ОНЗ РАН Президиумом РАН присуждена премия имени академика Н.В. Мельникова на конкурсе выдающихся работ в области проблем комплексного освоения недр.

Важнейшим дополнением методологического подхода является монография «Исследование переходных процессов — новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов» (В.Л. Яковлев, Екатеринбург, УрО РАН, 2019 – 284 с.).

Постановлением Президиума РАН от 13 июня 2023 г. №123 член-корреспондент РАН Яковлев В.Л. включен в состав членов «Межведомственного научного Совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования».

Учитывая, что целью Совета является разработка проекта научно-технической программы «Развитие минерально-сырьевой базы и технологии добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации». В адрес Председателя Совета направлены «Предложения Института горного дела УрО РАН по корректировке основных положений «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2050 г.», сформулированные на основе многолетних фундаментальных и прикладных исследований института по проблемам комплексного освоения запасов минерального сырья месторождений твердых полезных ископаемых и «Перечень задач, которые могут быть предметом исследований».

Предложения Института горного дела УрО РАН направлены для включения в Федеральную научно-техническую программу (ФНТП) по направлению «Науки о Земле».

За большой вклад в развитие отечественной науки, подготовку инженерных и научных кадров, плодотворную научно-организаторскую работу В.Л. Яковлев неоднократно награжден государственными наградами: медалями «За доблестный труд» (1970) в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина, «За трудовую доблесть» (1981), «Ветеран труда» (1987), Орденами «Дружбы» (1991) и «Почета» (2004), золотым знаком «Горняк России» (2005), Золотой медалью АН РС (Я) (2021), медалями Н.В. Черского (2014), «За вклад в развитие академической науки ЯНЦ СО РАН» (2022). В.Л. Яковлев — полный кавалер «Шахтерской славы» (1999, 2002, 2004), заслуженный деятель

науки Республики Саха (Якутия) (1994), лауреат премии имени академика Н.В. Мельникова (1999, 2022), лауреат Уральской горной премии (1999), Почетный работник угольной промышленности (2003), Почетный работник топливно-энергетического комплекса (2005); он имеет массу почетных грамот Минчермета СССР, Президиума РАН, Президиума РС (Я), Губернатора и Правительства Свердловской области.

На расширенном заседании Бюро Отделения наук о Земле 7 февраля 2024 г. В.Л. Яковлеву вручено «Благодарственное письмо Президента Российской Федерации В.В. Путина» (от 17 января 2024 года) «за вклад в развитие отечественной науки, многолетнюю плодотворную деятельность и в связи с 300-летием Российской академии наук».

Сердечно поздравляем Виктора Леонтьевича — одного из самых ярких представителей Уральской школы отечественной горной науки, члена корреспондента РАН, действительного члена АН Республики Саха (Якутия), члена Академии горных наук РФ, профессора, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки Республики Саха (Якутия) со славным юбилеем и желаем ему доброго здоровья, творческих успехов, счастья и исполнения надежд.

Академик-
секретарь
ОНЗ РАН,
академик



Н.С. Бортников

Председатель
УрО РАН,
академик



В.Н. Руденко

Председатель
ОУСа по наукам
о Земле УрО РАН,
академик



А.А. Барях

Председатель
Научного совета РАН
по проблемам
горных наук,
академик



В.Н. Захаров

Виктор Леонтьевич Яковлев — в ногу со временем. Продолжение

И.В. Соколов, А.В. Глебов

Аннотация: Приведено описание научной, научно-организационной и общественной деятельности Советника РАН, члена-корреспондента РАН, главного научного сотрудника ИГД УрО РАН В.Л. Яковлева — известного в России и за рубежом ученого в области стратегии освоения недр и создания инновационных ресурсосберегающих технологий добычи полезных ископаемых, разработки методов оптимизации транспортных систем глубоких карьеров.

Ключевые слова: технологический суверенитет, минерально-сырьевая база, комплексные исследования, инновационные технологии, транспортные системы карьеров, переходные процессы.

Яковлеву Виктору Леонтьевичу — одному из ведущих и ярких представителей Уральской школы отечественной горной науки, Советнику Российской академии наук (РАН), члену-корреспонденту РАН, действительному члену Академии наук Республики Саха (Якутия), действительному члену Академии горных наук РФ, заслуженному деятелю науки Республики Саха (Якутия) профессору, доктору технических наук — в октябре исполняется 90 лет со дня рождения.

О его жизненном пути и заслугах написано (им самим, коллегами и друзьями, учениками) много статей в журналах, газетах и сборниках научных трудов, посвященных 70, 75, 80 и 85-летию со дня рождения [1–5]. В этих изданиях опубликованы достигнутые результаты научной и научно-организационной деятельности, высказывания друзей, коллег и учеников Виктора Леонтьевича, приведены его личные оценки жизненных и производственных вопросов.

В настоящем сборнике, посвященном 90-летию со дня рождения В.Л. Яковлева, мы расскажем об очередном, не менее успешном периоде трудовой деятельности, начиная с его 85-летия.

Этот этап своей творческой деятельности В.Л. Яковлев посвятил становлению и развитию нового направления исследования проблем комплексного освоения георесурсов — изучению переходных процессов как инструмента адаптации горнодобывающих предприятий к изменяющимся внутренним и внешним условиям разработки месторождений твердых полезных ископаемых.

В период с 2019 по 2021 г. на основе исследования переходных процессов под руководством и при непосредственном участии Виктора Леонтьевича уточняются подходы к обоснованию стратегии освоения сложно-структурных месторождений и решению проблем комплексного освоения георесурсов. Для выполнения поставленной задачи сформирована тема государственного задания «Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложно-структурных месторождений полезных ископаемых», руководителем которой он и был назначен.

Над созданием научных основ стратегии освоения глубокозалегающих месторождений на основе исследования переходных процессов и обоснования методов, этапов и сроков адаптации параметров основных технологических процессов на действующих горных предприятиях к изменяющимся внутренним и внешним условиям их функционирования в различных природно-климатических и горно-технических условиях работали 6 научных лабораторий и филиал института в городе Челябинске, что составило более 50 % численности научного коллектива института.

В итоге получены следующие важные научные результаты:

- предложены инновационные решения по адаптации параметров открытых горных работ при формировании карьерного пространства;
- обоснованы методы учета организационных и технологических переходных процессов при переходе от открытой к подземной геотехнологии;
- изложены инновационные решения в развитии транспортных систем карьеров;
- обоснованы направления и способы совершенствования взрывной подготовки горной массы на карьерах;
- разработана методика моделирования и оценки технологических типов руд для управления качеством минерального сырья;
- установлены основные признаки и характеристики опасных

производственных ситуаций (ОПС) и разработан «Атлас ОПС», для предприятий с подземной добычей угля;

— установлены закономерности распределения тяжелых металлов в зоне горнопромышленных комплексов и предложены природоохранные мероприятия в виде биохимических барьеров.

Основные результаты исследований института за этот период представлены в монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья» [6]. В подтверждение правильности выбранного направления исследований и за выдающиеся научные результаты в области комплексного освоения недр коллективу авторов монографии (В.Л. Яковлев, С.В. Корнилков, И.В. Соколов) во главе с Виктором Леонтьевичем в 2022 г. Президиумом РАН присуждена Премия им. Н.В. Мельникова. Методологические результаты исследований предложено учитывать при разработке стратегии развития минерально-сырьевой базы России на период до 2030–2050 гг.

Исследования в данном направлении продолжились и в период с 2022 по 2024 г. Под руководством В.Л. Яковлева выполнена тема государственного задания «Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем». В качестве методологических основ стратегии комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых обоснованы параметры устойчивости уступов и бортов карьеров с учетом трещиноватости массива, оптимальные параметры комбинированных систем разработки твердых полезных ископаемых с учетом показателей извлечения и эксплуатационных затрат, разработано программное обеспечение для моделирования автотранспортных систем карьеров, адаптация параметров буровзрывных работ на основе экранирования ударно-воздушного действия взрывов, выделение в массиве типосортов руд с целью формирования рудопотока заданного качества с применением систем рудоподготовки, методы обеспечения функционирования системы безопасности горнодобывающего производства (рис. 1) [7].

Сегодня перед горнопромышленным комплексом России поставлена серьезная задача — стать драйвером модернизации и повышения конкурентоспособности реального сектора экономики. Привлечение инвестиций, эффективное использование ресурсно-сырьевой базы, рациональное природопользование, техническое переоснащение

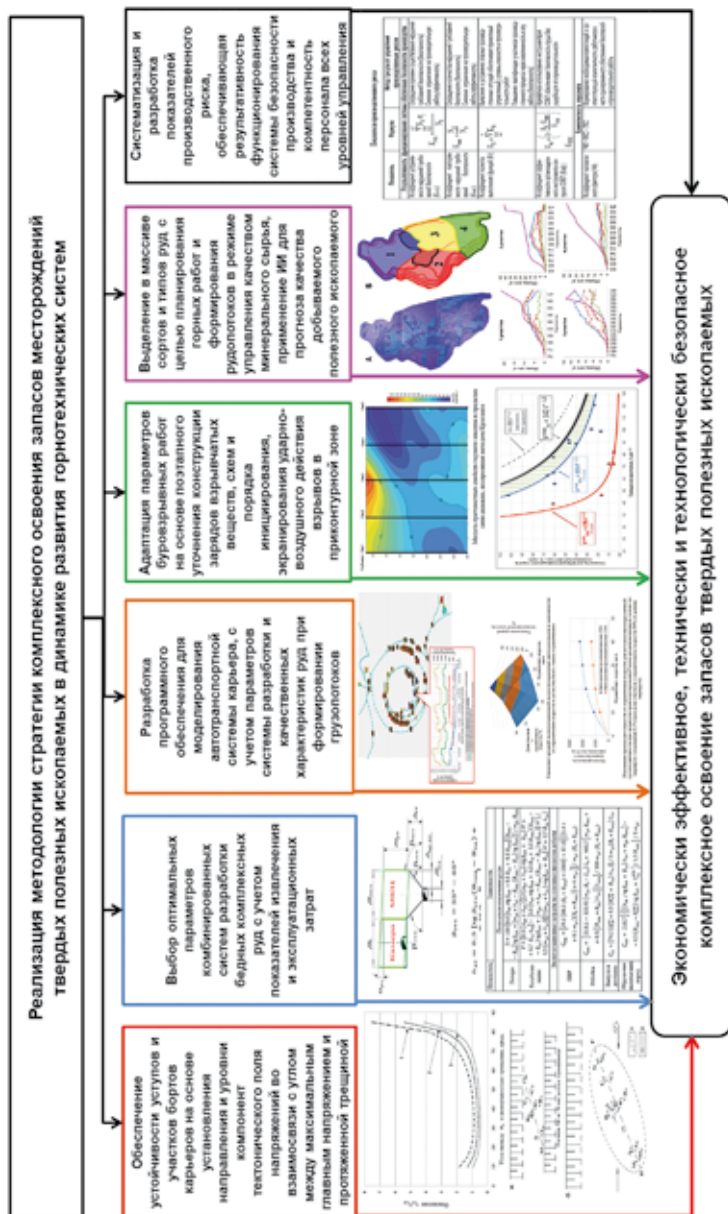


Рис. 1. Блок-схема взаимосвязанных процессов горного производства

производственных мощностей, внедрение современных цифровых технологий, социальная защита горняков и сохранение кадрового потенциала предприятий — все это требует консолидации сил государства, научного сообщества и бизнеса.

Развитие горнопромышленного комплекса в современных непростых экономических условиях требует решения долгосрочных проблем расширения минерально-сырьевой базы, которая является основой для удовлетворения текущих и перспективных потребностей экономики страны в сырье, обеспечения экономической, энергетической и национальной безопасности России. Понимая все сложности в решении этих проблем, В.Л. Яковлев на протяжении последних пяти лет ведет активную работу по разработке предложений для совершенствования научно-технической программы «Развитие минерально-сырьевой базы и технологии добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации». Как член РАН и представитель ИГД УрО РАН, он вошел в состав и принимает самое активное участие в работе Межведомственного совета РАН по развитию минеральносырьевой базы и ее рационального использования.

Важнейшей проблемой, на решение которой направлена вся деятельность Виктора Леонтьевича и как ученого, и как гражданина, является поддержание технологического суверенитета России в области горного дела на базе обеспечения экономической эффективности и безопасности горного производства путем реализации методологических подходов к горно-геологической и технико-экономической оценке месторождений и обоснованию параметров горнотехнических систем, основанных на сочетании передовых геотехнологий и взаимосвязи технологических процессов. Под его руководством сформулированы и направлены в Межведомственный совет предложения института по актуализации положений Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2050 года, основанные на результатах многолетних фундаментальных и прикладных исследований по проблемам комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых.

Для решения приоритетной научной задачи в 2025–2027 гг. под руководством Яковлева В.Л. сформирована новая тема государственного задания «Методология обоснования перспектив технологического развития комплексного освоения минерально-сырьевых

ресурсов твердых полезных ископаемых России», в рамках которой планируется разработать методологию:

- обеспечения долговременной устойчивости уступов и бортов карьеров при открытой геотехнологии;

- обоснования параметров подземной и комбинированной технологий, обеспечивающих полноту и качество извлечения запасов малоценных руд;

- формирования грузопотоков руд и вскрышных пород транспортной системы карьеров с учетом цифровых технологий моделирования режимов управления качеством минерального сырья;

- поэтапного изменения параметров буровзрывных работ на основе постоянного мониторинга физико-механических свойств горных пород, энергетических и детонационных характеристик взрывчатых веществ;

- системы обеспечения безопасности на основе методов управления производственным риском в динамике развития горнотехнических систем горных предприятий.

Богатый жизненный и научно-организационный опыт позволяет Советнику РАН В.Л. Яковлеву блестяще представлять интересы института в государственных, академических, образовательных и производственных организациях.

Мнение Виктора Леонтьевича, как высококвалифицированного специалиста и заинтересованного человека, высоко ценится на всех уровнях.

Его творческая активность не снижается на протяжении уже многих лет. Об этом можно судить по количеству научных трудов и докладов на конференциях различного уровня, географии и количеству командировок.

Так, за период с 2019 по 2024 г. им опубликовано 32 научных труда, из которых 11 входят в международные базы цитирования Web of science и Scopus. За эти пять лет он сделал более 20 докладов (уточняя), им осуществлено 11 выездов в Москву и Якутск с целью участия в Общем собрании РАН, Отделении Наук о Земле РАН, Общем собрании АН Республики Саха (Якутия), обсуждения перспектив фундаментальных и прикладных исследований в рамках Межведомственного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования, участия в заседаниях Научного совета РАН по проблемам горных наук. При этом, напомним, В.Л. Яковлеву в этом году исполняется 90 лет — интеллект и энергия, достойные удивления и восхищения!

Большое внимание уделяет В.Л. Яковлев подготовке инженерных и научных кадров, является научным руководителем аспирантов и научным консультантом соискателей степени доктора наук. За пять прошедших лет под его научно-методическим руководством докторские диссертации защитили 4 человека.

Оставаясь на протяжении многих лет председателем Диссертационного совета Д 004.010.02 по защите докторских и кандидатских диссертаций при ИГД УрО РАН, полномочия которого закончились 16 октября 2022 г., В.Л. Яковлев активно способствовал созданию и утверждению нового Диссертационного совета Д 004.010.XX (24.1.503.01) (утвержден приказом ВАК Минобрнауки России № 1834/нк от 26.09.2023) по двум специальностям 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика (технические науки) и 2.8.7. Теоретические основы проектирования горно-технических систем (технические науки). Председателем нового Диссертационного совета избран Виктор Леонтьевич.

Являясь членом Ученого совета ИГД УрО РАН, В.Л. Яковлев активно участвует в решении многих проблем, предлагает пути выхода из затруднительных ситуаций. Он никогда не остается безучастным к поставленным перед Ученым советом задачам, всегда выступает с предложениями, одобрением или критикой по сути обсуждаемых вопросов [4].

В качестве председателя Уральского отделения Академии горных наук (УО АГН) В.Л. Яковлев принимает активное участие в консолидации научно-инженерной общественности Урала, является членом Совета Горнопромышленной ассоциации Урала и постоянным участником Оргкомитетов Уральских горнопромышленных съездов [4]. Ежегодно готовит материалы об итогах и перспективах деятельности УО АГН, а в 2023 г., подводя итоги 30-летней деятельности, Виктор Леонтьевич отметил: «Минерально-сырьевой комплекс Урала, как и прежде, продолжает играть определяющую роль в социально-экономическом развитии страны. Потребности экономики надежно обеспечиваются важнейшими видами минерального сырья и продукцией их переработки, а доходы от их экспорта являются определяющим источником пополнения государственного бюджета, финансирования крупных инвестиционных программ, укрепления энергетической и национальной безопасности страны» [8].

С 2006 г. он остается бессменным председателем организационного комитета Международной научно-практической конференции

«Проблемы карьерного транспорта», проводимой в рамках Уральского горнопромышленного форума и ежегодной Всероссийской молодежной конференции по проблемам недропользования.

За выдающийся вклад в развитие горных наук, подготовку и выпуск инженерных и научных кадров высшей квалификации решением Ученого Совета ИГД им. Д.А. Кунаева от 03.09.2004 г. В.Л. Яковлеву присвоено звание «Почетный научный сотрудник Института горного дела им. Д.А. Кунаева».

Виктор Леонтьевич — это выдающийся ученый, целеустремленный, незаурядный и творческий человек, не жалеющий своих сил и энергии в решении проблем в области Наук о Земле. Его отличает постоянная жажда познания нового, чувство ответственности и большое трудолюбие, а чувство юмора позволяет правдиво оценивать прошлое и с оптимизмом смотреть в будущее. Для многих, как и для нас, он является примером для подражания.

Обаяние личности В.Л. Яковлева особенно ярко проявляется во время научных дискуссий, на конференциях, заседаниях научных советов, при защитах диссертаций, обсуждениях различных проектов и т.д. Многие были свидетелями того, как, обладая превосходной реакцией и высокоразвитой интуицией ученого, он почти мгновенно улавливает и оценивает суть излагаемого. Полемика — его стихия. Несколько точных, колоритных фраз, и вопрос или проблема принимают более четкие очертания. Молодые и не очень молодые ученые сполна оценили его способность быстро давать максимально логичные и содержательные формулировки, которые им самим, зачастую, удавались не в полной мере. При этом особо отметим присущую Виктору Леонтьевичу тактичность высказываний, среди которых нет места обидным, а тем более оскорбительным. Он не делит оппонентов на «своих» и «чужих», отличается умением поставить общенаучные интересы выше корпоративных [9]. Благодаря общительности, коммуникабельности, широкой эрудиции и авторитету Виктор Леонтьевич имеет множество знакомых в среде крупных ученых, руководителей предприятий и держит в своей недюжинной памяти более полутора тысяч имен и фамилий!

От имени коллектива ИГД УрО РАН выражаем Виктору Леонтьевичу благодарность и признательность за активное участие в развитии института. Поздравляем юбиляра и желаем ему продолжения активной и высокопродуктивной деятельности во благо Урала и России!

Список литературы

1. Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр : сборник научных трудов / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2004. – Вып. 2 (92). – 463 с. – (Сборник посвящен 70-летию В. Л. Яковлева).
2. Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр : сборник научных трудов / ИГД УрО РАН ; отв. ред. С. В. Корнилков. – Екатеринбург, 2009. – Вып. 5 (95). – 444 с. – (Сборник посвящен 75-летию со дня рождения В.Л. Яковлева).
3. Корнилков С. В. Член-корреспондент В. Л. Яковлев – от юбилея до юбилея / С.В. Корнилков, А.В. Глебов. – DOI 10.18454/2313-1586.2014.03.007. // Проблемы недропользования. – 2014. – № 3 – С. 7–15.
4. Корнилков С. В. В ногу со временем / С. В. Корнилков, А. В. Глебов // Проблемы недропользования. – 2019. – № 3. – С. 10–15.
5. Члену-корреспонденту РАН В. Л. Яковлеву – 85 / Президиум УрО РАН, ИГД УрО РАН, Горнопромышленная ассоциация Урала, редакция газеты «Наука Урала» // Наука Урала. – 2019. – № 19. – С. 2.
6. Яковлев В. Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В.Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов ; Под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева // Екатеринбург : УрО РАН, 2018. – 360 с.
7. Яковлев В. Л. Обсуждение назревшей проблемы особенности современного периода исследований по проблемам комплексного освоения недр и развития минерально-сырьевой базы России / В.Л. Яковлев. – DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.02 // Проблемы недропользования. – 2023. – № 3(38). – С. 21–34.
8. Яковлев В. Л. Современное состояние и основные результаты деятельности Уральского регионального отделения Академии горных наук за 2018 - 2023 годы / В. Л. Яковлев // Академия горных наук — 30 лет : альманах : Наука. Инновации. Будущее : Горная промышленность. – 2023. – С. 52–57.
9. Виктор Леонтьевич Яковлев. К 85-летию со дня рождения // Литосфера. – 2019. – Т. 19, № 5. – С. 800–802.

Список основных научных трудов В.Л. Яковлева с 1972 по 2023 гг.

1. Васильев М. В. Научные основы проектирования карьерного транспорта / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев ; под ред. Н. В. Мельникова. – Москва : Наука, 1972. – 202 с.
2. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев. – Новосибирск : Наука СО, 1989. – 238 с.
3. Батугин С. А. Закономерности развития горного дела / С. А. Батугин, В. Л. Яковлев; [отв. ред. и авт. предисл. Е. Н. Чемезов]; ИГДС СО РАН. – Якутск: ЯНИЦ СО РАН, 1992. – 116 с.
4. Яковлев В. Л. О новых подходах к развитию теории и практики открытых горных разработок / В. Л. Яковлев // Горное дело: проблемы и перспективы : сборник статей / ИГДС СО РАН. – Якутск, 1994. – С. 190-198.
5. Яковлев В. Л. Состояние, проблемы и перспективы развития горнодобывающей промышленности России и стран СНГ / В. Л. Яковлев // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения) : докл. междунар. конф. / ИГД УрО РАН. – В 4-х т.: т. 4. – Екатеринбург, 1998. – С. 3-36.
6. Яковлев В. Л. Основы стратегии освоения минеральных ресурсов Урала / В. Л. Яковлев, С. И. Бурькин, Н. Л. Стахеев. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 1999. – 279 с.
7. Яковлев В. Л. Теоретические аспекты новых горных технологий / В. Л. Яковлев, В. Ф. Столяров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2000. – № 1. – С. 163-166.
8. Яковлев В. Л. Методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов / В. Л. Яковлев, А. В. Гальянов. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2001. – 152 с.
9. Яковлев В. Л. Состояние и динамика развития горной промышленности Урала (1990–2000 гг.) / В. Л. Яковлев, И. А. Павлов. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2001. – 150 с.
10. Яковлев В. Л. Особенности развития железорудной промышленности России в 1990–2001 гг. / В. Л. Яковлев, И. С. Ку克林, А. И. Павлов //

Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 2. – С. 105-109.

11. Яковлев В. Л. Становление и развитие уральской научной школы карьерного транспорта / В. Л. Яковлев // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр : сборник научных трудов / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2004. – Вып. 2 (92). – С. 334-47.

12. Яковлев В. Л. Мировые тенденции в производстве минерального сырья и проблемы карьерного транспорта / В. Л. Яковлев // Проблемы карьерного транспорта: материалы VIII Международной научно-практической конференции, 20 - 23 сент. 2005 г./ ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2005. – С. 11-18.

13. Гальянов А. В. Сырьевая база промышленного комплекса черной металлургии / А. В. Гальянов, В. Л. Яковлев. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2006. – 297 с.

14. Яковлев В. Л. Разработка государственной стратегии развития и освоения недр России — основа геополитической и экономической безопасности страны / В. Л. Яковлев // Горная промышленность. – 2007. – № 3. – С. 62-64.

15. Яковлев В. Л. Н. В. Мельников и Уральская горная школа / В. Л. Яковлев // Развитие идей Н. В. Мельникова в области комплексного освоения недр (к 100- летию со дня рождения академика Н. В. Мельникова) : материалы Междунар. совещания 02 - 06 марта 2009 г./ РФФИ, ИПКОН РАН. – Москва, – 2009. – С. 21-23.

16. Яковлев В. Л. Методологические особенности освоения недр на современном этапе / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилов // Вестник УрО РАН. Наука. Общество. Человек. – 2013. – № 4. – С. 43-49. – (Программа № 27 Президиума РАН).

17. Яковлев В. Л. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации глубоких карьеров / В. Л. Яковлев, А. М. Галкин, Р. М. Гусев ; под ред. В. Л. Яковлева // Екатеринбург : УрО РАН. – 2014. – 105 с.

18. Яковлев В. Л. Исторический опыт развития научных идей методологических подходов к обоснованию технологий, параметров горных работ/ В. Л. Яковлев. – DOI: 10.18454/2313-1586.2014.03.015 // Проблемы недропользования. – 2014. – № 3. – С. 15-26.

19. Яковлев В. Л. Переходные процессы в технологии разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых / Открытые горные работы в XXI веке - 1: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – № 10 (специальный выпуск №45-1). – Москва : Горная книга, 2015. – С.65-76

20. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новый методологический подход к разработке и развитию инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья при

освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений / В.Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2017. – № 2. – С. 5-14. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.112. – (Статья подготовлена с использованием результатов исслед. в рамках Госзадания 007-01398-00, по теме № 0405-2015-0010).

21. Яковлев В. Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В.Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов ; под ред. В. Л. Яковлева. – Екатеринбург : УрО РАН, 2018. – 360 с. : DOI: 10.25635/im.2018.18.37360. – ISBN 978-5-7691-2514-0.

22. Яковлев В. Л. Особенности методологического подхода к оценке минерально-сырьевого потенциала регионов Арктической зоны / В.Л. Яковлев, В. А. Яковлев // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 49-57. – DOI: 10.31242/2618-9712-2018-24-2-49-57.

23. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев. – Екатеринбург, УрО РАН, 2019 – 284 с. – DOI: 10.25635/IM.2020.54.57311.

24. Яковлев В. Л. Этапы становления и развития Уральской научной школы карьерного транспорта / В. Л. Яковлев / Проблемы недропользования. – 2019. – № 1. – С. 23-38.

25. Яковлев В. Л. О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минерально-сырьевой базы России / В. Л. Яковлев. – DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-5-20 // Известия вузов. Горный журнал. – 2020. – № 7. – С. 5-20. – (Статья подготовлена по материалам исследований по Госзаданию № 075-01039-20-00, тема № 0405-2019-0005).

26. Яковлев В.Л. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений / В.Л. Яковлев. – DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_6 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-1: Проблемы недропользования-1. – С. 6-19.

27. Яковлев В. Л. Основные этапы и результаты исследований по разработке методологических основ стратегии развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых / В. Л. Яковлев. – DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-34-45 // Горная промышленность. – 2022. – № 1S. – С. 34-45.

28. Яковлев В.Л. О необходимости разработки Программы комплексного освоения и развития минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) / В. Л. Яковлев. – DOI: 10.31242/2618-9712-2022-27-3-363-369 // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 363-369.

29. Яковлев, В. Л. Методологические основы стратегии инновационных технологий комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых / В. Л. Яковлев // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений : сборник докладов XII Международной научно-технической конференции (6–7 апреля 2023 г.) / УГГУ ; отв. за вып. Н. Г. Валиев. – Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2023. – С. 60–67. (Статья подготовлена на основе результатов исследований по Теме № 1 (2022–2024).

30. Яковлев В. Л. Обсуждение назревшей проблемы особенности современного периода исследований по проблемам комплексного освоения недр и развития минерально сырьевой базы России / В. Л. Яковлев. – DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.021 // Проблемы недропользования. – 2023. – № 3 (38). – С. 21–34.

31. Яковлев В. Л. Методические основы обеспечения долговременной устойчивости уступов и участков бортов карьеров / В. Л. Яковлев, А. В. Яковлев, Е. С. Шимкив. – DOI: 10.15372/FTPRPI20230601 // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. – № 6. – С. 3–12.

Перечень докладов В.Л. Яковлева на научно-технических конференциях и горнопромышленных форумах 1989-2024 гг.

1. V.L. Yakovlev. Problems of surface mining development in the north. 1st International Symposium on Mining in the Arctic / Fairbanks /17-19 July 1989

2. V.L. Yakovlev. Key questions in development of mineral deposits in the north. 1st International Symposium on Mining in the Arctic / Fairbanks /17-19 July 1989

3. V.L. Yakovlev. Open pit transport development in the North. 2st International Symposium on Mining in the Arctic / Fairbanks /19-22 July 1992

4. Технология разработки глубоких горизонтов карьеров в многомерзлых породах с крутыми бортами. Третий международный симпозиум «Горное дело в Арктике», г. Санкт-Петербург, 18-21 октября 1994 г.

5. Новые технологии для открытого способа разработки месторождений Арктики. Третий международный симпозиум «Горное дело в Арктике», г. Санкт-Петербург, 18-21 октября 1994 г.

6. V.L. Yakovlev. Problems and Prospects of the Development of Mining in the Urals. Fourth International Symposium on Mining in the Arctic, July 27-30, 1996 in the High Arctic, Svalbard (Spitsbergen), Norway

7. V.L. Yakovlev. The status and problems of exploiting mineral deposits of the North. 8th International Symposium on Mining in the Arctic / Murmansk /20-23 June 2005

8. Мировые тенденции и российские проблемы в производстве и потреблении минерального сырья. Екатеринбург, XI Уральский горнопромышленный съезд, г. Екатеринбург, 23-24 июня 2009 г.

9. Разработка новых методов эффективного и экологически безопасного освоения природных и техногенных месторождений Урала, г. Екатеринбург, 2009 г.

10. Технологические и организационно-экономические аспекты освоения минерально-сырьевых ресурсов Урала. Всерос. научно-техн. конф. с междунар. участием, посв. 50-летию Горного института КНЦ РАН. - Апатиты; СПб., 2011

11. Современные тенденции и особенности освоения месторождений полезных ископаемых в сложных горно-геологических и природно-климатических условиях. Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная памяти чл.-корр. РАН Новопашина М.Д. «Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России», г. Якутск, 13–15 сентября 2011 г.

12. Современное состояние, проблемы и перспективы развития карьерного транспорта. Доклад на XI Международной научно-технической конференции «Проблемы карьерного транспорта», г. Екатеринбург, 12–14 сентября 2011 г.

13. Технологии формирования и отработки техногенных месторождений. Проблемы и решения. Международный экологический конгресс «Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов «ТЕХНОГЕН – 2012», г. Екатеринбург, 13–15 июня 2012 г.

14. Технологические аспекты разработки месторождений глубокими карьерами. Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Глубокие карьеры», г. Апатиты, 18–22 июня 2012 гг.

15. Геотехнологические основы энерго- и ресурсосбережения при открытых горных разработках. Юбилейный XX Международный научный симпозиум «Неделя горняка-2012», г. Москва, 23–27 января 2012 г.

16. Проблемы освоения недр на современном этапе развития экономики. Научная конференция «ПНИПУ - центр инновационного развития Пермского края», г. Пермь, 18–19 ноября 2013 г.

17. Проблемы разработки месторождений твердых полезных ископаемых в Арктическом и прилегающих к нему регионах. Дни Уральской науки и инноваций в Ямало-Ненецком автономном округе, г. Салехард, 9–11 октября 2013 г.

18. Особенности современного этапа решения транспортных проблем освоения недр. Уральский горнопромышленный форум, г. Екатеринбург, 1–3 октября 2013 г.

19. Роль и место науки и образования в развитии минерально-сырьевой базы — основы жизнедеятельности человечества. УГГУ, г. Екатеринбург, 9 июня 2014 г.

20. Переходные процессы в технологии разработки сложно-структурных месторождений полезных ископаемых. Международная научно-практическая конференция «Открытые горные работы в XXI веке». г. Красноярск, 1–3 октября 2015 г.

21. Особенности методологического подхода к обоснованию стратегии освоения сложноструктурных месторождений на основе исследования переходных процессов. III Всероссийская научно-практическая конференция «Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых Северных и Северо-Восточных регионов России», г. Якутск, 16-19 июня 2015 г.

22. О новых методологических подходах к исследованию проблем освоения недр. XXVII зимняя молодежная научная школа «Перспективные направления физико-химической биологии и биотехнологии», г. Москва, 9-12 февраля 2015 г.

23. Основные понятия и определения в горной науке и их сущность. Закономерности и формы взаимосвязи науки и техники. УГГУ, г. Екатеринбург, 7 декабря 2016 г.

24. Особенности методологического подхода к обоснованию стратегии освоения сложноструктурных месторождений на основе исследования переходных процессов. 2-я Международная научная школа академика К.Н. Трубецкого, Москва, 20-24 июня 2016 г.

25. Особенности методологических подходов к исследованию, проектированию и планированию развития горнотехнических систем при освоении запасов месторождений полезных ископаемых. ИГДС СО РАН, г. Якутск, 18-22 сентября 2017 г.

26. О методологическом подходе к исследованиям в области освоения недр на основе системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, г. Екатеринбург, 2017 г.

27. Исследование переходных процессов — новое направление в развитии методологического подхода к решению проблем комплексного освоения георесурсов. VII Международная научная конференция «Проблемы комплексного освоения георесурсов» ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск, 25-28 сентября 2018 г.

28. Научное сопровождение реализации «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации». Совместное заседание Президиума и Объединенного совета по наукам о Земле УрО РАН. 19 июня 2019 г., г. Екатеринбург.

29. Современные проблемы горной науки и горного производства. XIII Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования» г. Екатеринбург, г. Хабаровск, г. Апатиты, 26-27 марта 2019 г.,

30. О необходимости комплексного научного сопровождения разработки и реализации программ эффективного освоения месторождений северных и северо-восточных регионов России. V Всероссийская научно-практическая конференция «Геомеханические и гео-

технологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России», г. Якутск, 16-20 сентября 2019 г.

31. Особенности методологического подхода к решению проблем освоения месторождений твердых полезных ископаемых Северных и Северо-Восточных регионов России. III Всероссийская научно-практическая конференция «Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых Северных и Северо-Восточных регионов России», г. Якутск, 16-19 июня 2015 г.

32. Основные понятия и определения в горной науке и их сущность. Закономерности и формы взаимосвязи науки и техники. Лекция НОЦ, г. Екатеринбург, 12 октября 2022 г.

33. Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов глубокозалегающих сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых в динамике разбития горнотехнических систем. ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург, 3 июня 2021 г.

34. О решении проблем комплексного освоения недр Республики Саха (Якутия). г. Якутск, 17 марта 2022 г.

35. О необходимости проведения междисциплинарных исследований по оценке минерально-сырьевых ресурсов Республики Коми и разработке стратегии их освоения. Юшкинские чтения – 2022: Российская конференция с международным участием «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии», г. Сыктывкар, 18 мая 2022 г.

36. V Методологические основы стратегии инновационных технологий комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. УГТУ 6.04.2023

37. Методологические основы стратегии инновационных технологий комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. XXI Уральская горнопромышленная декада XII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», УГТУ, г. Екатеринбург, 6 апреля 2023 года

38. О научном сопровождении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации. Торжественное заседание, посвященное 85-летию со дня организации Горно-геологического института Уральского филиала Академии наук СССР, ИГТ УрО РАН им. А.Н. Заварицкого, г. Екатеринбург, 4 июня 2024 г.

Роль и значение Виктора Леонтьевича Яковлева в развитии НИИОГР

*Галкин В.А., Макаров А.М., Кравчук И.Л., Соколовский А.В.,
Андреева Л.И., Лапаева О.А., Галкина Н.В., Коркина Т.А.,
Галкин А.В., Довженко А.С., Захаров С.И., Каплан А.В.,
Пикалов В.А., Хажиев В.А.*

Виктор Леонтьевич Яковлев занимает особенное и важное место в развитии нашего научно-исследовательского института эффективности и безопасности горного производства (НИИОГР). Он – критерий человека, ученого и руководителя.

Как **человек** Виктор Леонтьевич важен для нас своим оптимизмом, интеллигентностью, юмором, широким взглядом на жизнь, честностью и уважительностью. Чего стоит только один из его принципов: о человеке я стараюсь говорить так, чтобы не пришлось, если он внезапно вошел, менять ни тему, ни интонацию.

Как **ученый** Виктор Леонтьевич особенно ценен для нас своим профессионализмом, открытостью и бескорыстной коммуникабельностью. Он многим интересуется, щедро делится идеями, не завидует чужим результатам. Опыт его работы в проектном (Уралгипрошахт) и научно-исследовательских институтах (отраслевом ИГД Минчермета СССР и академических — ИГД Севера СО АН СССР и ИГД УрО РАН) позволил ему широко, глубоко и конкретно видеть жизнь, мир, горное дело, производство и научную деятельность.

В тесном сотрудничестве с Виктором Леонтьевичем (в качестве научного консультанта) нам удалось выполнить и успешно защитить 6 докторских диссертаций: три из них — научными работниками: М.Г. Саканцевым, В.Л. Могилатом, А.В. Соколовским, и три — руководителями производства В.А. Азевым, А.В. Федоровым и А.Б. Килиным.

Диссертация Михаила Григорьевича Саканцева была **обобщением** его многолетних **трудов по технологии открытых горных работ**

во время практической работы на горнодобывающем предприятии, в проектном и научно-исследовательских институтах. Диссертация Виталия Лазаревича Могилата **по информационному обеспечению безопасности горного производства (охрана труда)** была пионерной и для НИИОГР, и для ИГД УрО РАН. Она живет и развивается. В основе диссертации Соколовского Александра Валентиновича — методологический подход к проектированию развития **действующего** горного предприятия в условиях **изменчивости** внешней и внутренней среды. **Суть изменчивости — переходные процессы.** Методологические подходы, обоснованные в диссертации, успешно используются в деятельности ООО «НТЦ-Геотехнология», которое возглавляет А.В. Соколовский, при разработке проектов строительства и реконструкции горнодобывающих предприятий.

Диссертация Владимира Александровича Азева, технического директора ООО «СУЭК-Хакасия», — новый шаг в понимании организации планирования развития производства в масштабе регионального угледобывающего производственного объединения (РУПО). Развитие РУПО в ней рассматривалось с позиции **закономерностей переходных процессов.** Этой темой В.Л. Яковлев интересовался не один десяток лет как ученый, а В.А. Азеву, как директору угольного разреза и техническому директору РУПО, важно было сориентироваться, как планировать развитие в стремительно меняющейся социально-экономической обстановке в отрасли, стране и мире. Диссертация Андрея Витальевича Фёдорова, генерального директора АО «СУЭК-Красноярск», — методология **опережающего развития** угледобывающего производственного объединения для обеспечения его конкурентоспособности и жизнеспособности посредством **заблаговременной трансформации функций, структуры и механизмов функционирования** в производственном, экономическом и социальном аспектах. Такой подход обеспечивает высокую готовность объединений к новым угрозам и возможностям в условиях глобализации экономики. Диссертация Алексея Богдановича Килина, более 20 лет генерального директора ООО «СУЭК-Хакасия», является осмыслением пути развития этой организации, позволившего увеличить объем добычи в 3 раза (переработки горной массы — в 5 раз), производительность труда — более, чем в 6 раз, рентабельность производства — в 10 раз. Сформированная А.Б. Килиным методология развития объединения на основе **развития его производственного процесса, рассматриваемого в единстве технологического,**

трудового и организационно-управленческого процессов, позволяет и далее уверенно повышать жизнеспособность организации в динамично меняющейся природно-климатической, горно-геологической и социально-экономической среде.

Для ускорения развития нашего института в 90-х годах мы организовали межрегиональный докторский совет с участием ученых Урала, Кузбасса, Москвы, Санкт-Петербурга, Алма-Аты, Ташкента. В этом совете Виктор Леонтьевич Яковлев вместе с Владимиром Степановичем Хохряковым и Парфеном Павловичем Бастаном играли ведущую роль. Уникальность диссовета была не только в представительстве разных научных школ и широком спектре научных специальностей, но и в организации работы с соискателями. Она велась сессиями по 2–3 дня. Проходили не только защиты и предзащиты, но и рассмотрения диссертаций на всех этапах — от замысла до их завершения. За одну сессию защищалось до 2-х докторских и 4-х кандидатских диссертаций, предварительно рассматривалось еще до 15-ти. Члены совета эти рассмотрения проводили азартно, по 4 одновременно в одном зале, не менее заинтересованно работали и соискатели. Виктор Леонтьевич, с присущим ему юмором, научно-методической глубиной, совмещенной с громадным опытом, великолепно дирижировал этими дискуссиями, которые часто перерастали в мини-семинары, на которых он просто и доходчиво доносил до участников, как формулируется цель, идея, задачи исследования, в чем отличие научных положений от выводов и т.д. Все объяснял на реальных примерах.

Как **руководитель** Виктор Леонтьевич интересен своим ответственным и бесконфликтным стилем лидерства. В ИГД Минчермета СССР он руководил самым крупным научно-исследовательским отделом карьерного транспорта, включающим 5 лабораторий и 2 сектора с общей численностью 78 человек, в том числе 2-х докторов и более 15 кандидатов наук. Отдел был, безусловно, самым сильным коллективом в этом направлении среди горных НИИ в СССР. Благодаря этому в ИГД были организованы и блестяще проведены пять всесоюзных конференций по карьерному транспорту.

Возглавив в 1986 г. Институт горного дела Севера, Виктор Леонтьевич быстро погасил межличностно-производственные конфликты, свойственные относительно небольшим научным коллективам с вырождающейся тематикой, связал институт с реальными нуждами предприятий и региона, организовал многочисленные научные связи с производством, подобрал и подготовил себе достойного преемника.

В 1995 г. В.Л. Яковлев вернулся в родной ИГД, только уже не Минчермета СССР, а УрО РАН. И уже не только профессором и доктором наук, а и член-корреспондентом Российской академии наук. Он мастерски совместил свою любовь к давним сотрудникам-соратникам по отраслевой тематике с углубленным пониманием академической науки, приобретенным за 10 лет служения ей в составе мощнейшего Сибирского отделения РАН. За время работы Виктора Леонтьевича в должности директора ИГД УрО РАН была создана новая структура — симбиоз академического и рыночного НИИ. В советское время ИГД Минчермета СССР и НИИОГР Минуглепрома СССР во многом дублировали друг друга, их тематические планы отличались незначительно. Но у ИГД была гораздо более основательная и глубокая научная культура: он был создан в 1962 г. в составе Уральского филиала Академии наук СССР. В его составе был совет по защите докторских диссертаций, трудилось 8 докторов наук, был прекрасный библиотечный фонд, включавший и диссертации своих сотрудников, и важные отчеты о НИР. ИГД был институтом-координатором НИР всех НИИ Минчермета, занимавшихся горным делом. Под руководством В.Л. Яковлева институт обрел свое достойное место среди всех институтов Урала и среди горных институтов страны. И к тому времени, когда Виктору Леонтьевичу, в силу академического возрастного ценза, пришлось оставить пост директора института, он, как и в ИГД Севера, подобрал себе достойного преемника. Это был доктор наук, потомственный профессор, любимый студентами-открытчиками УГГУ, и успешный руководитель проектно-консалтинговой фирмы Сергей Викторович Корнилков. В.Л. Яковлев и С.В. Корнилков дружно, «двойной тягой» развивали ИГД УрО РАН. Новый директор не ограничивал свободу действий своего предшественника и учителя, а матерый руководитель не мешал молодому преемнику набирать опыт в новой для него сфере, должности и коллективе. Этот руководительский тандем, когда возрастной ценз настиг С.В. Корнилова, стал дружным триумvirатом с назначением новым директором Игоря Владимировича Соколова.

Важным этапом в развитии НИИОГР стало создание в 90-х годах двух лабораторий по принципу **сообщающихся сосудов**: лаборатория ИГД в НИИОГР (зав. лабораторией В.Л. Яковлев) и лаборатория НИИОГР в ИГД (зав. лабораторией В.А. Галкин). Цель: взаимообмен, взаимообогащение двух организаций идеями, подходами, разработками, результатами, а также общение персонала институтов, прежде

всего молодых сотрудников, способствующее ускорению их профессионального роста. В 2002 году на базе этих лабораторий в НИИОГР был создан филиал Института горного дела в г. Челябинске. Инициатором создания такой структуры был В.Л. Яковлев. Деятельность филиала позволила получить результаты, усиливающие оба института. Основные из них:

- привнесение в методологию исследований ИГД, характеризующуюся технологической направленностью, элементов методологии организации и управления производством на горнодобывающих предприятиях;
- привнесение в методологию исследований НИИОГР фундаментальных подходов.

С 2019 года результаты работы филиала по госзаданию стали тщательно прорабатываться совместно с руководителем темы В.Л. Яковлевым и включаться в консолидированный отчет ИГД по направлению «Геотехнология». Сотрудники филиала (они же и сотрудники НИИОГР) вошли в диссертационный совет Института, что создало возможность открыть в совете специальность «Организация производства». По данной специальности было защищено 3 докторских и 4 кандидатских диссертации, в том числе шестью соискателями — руководителями производства, что внесло значительный вклад в исследование важнейшего для нашего института направления «Теория, методология и практика организации надежного обеспечения безопасности и эффективности труда на горнодобывающих предприятиях».

В целом, благодаря сотрудничеству с ИГД нам удалось расширить перспективу и уточнить направления дальнейшего развития системных подходов к обеспечению безопасности и эффективности труда на горнодобывающих предприятиях страны.

Несмотря на, казалось бы, безусловную пользу филиала, в его истории был период, когда органом, управляющим академическими институтами, рассматривался вопрос о его ликвидации. В.Л. Яковлев аргументированно отстоял целесообразность существования этой совместной структуры НИИОГР и ИГД. Кроме очевидно полезных для науки и для практики совместных результатов, одним из аргументов было взаимообогащение и усиление двух организационных культур и научных школ в развитии методов повышения эффективности, безопасности и экологичности извлечения минеральных ресурсов.

Резюмируя изложенное, можно коротко определить:

роль Виктора Леонтьевича Яковлева в развитии НИИОГР – учитель, наставник, подвижник;

значение — ускоритель развития, расширитель объема мышления, связник с фундаментальными основами науки и методологии.

Коллектив НИИОГР желает юбиляру здравствовать и далее трудиться на благо себе, нашим организациям, Уралу и Отечеству!

Значение современных геотехнологических решений при обеспечении устойчивого развития горнодобывающих предприятий

Д.Р. Каплунов, Д.Н. Радченко, В.С. Федотенко

Аннотация: В статье на базе изучения этапов трансформации понятия «устойчивое развитие» и его современного понимания оценено соответствие смысла, заложенного в данное понятие, и фактической реализации в сфере недропользования. Показано отличие и возможности достижения целей устойчивого развития в различных областях природопользования. Определено, что принятые в практике проектирования и работы горнодобывающих предприятий показатели устойчивого развития оказываются недостижимыми при истощении балансовых запасов. Консервация и ликвидация рудников, а также аварии приводят к полностью противоположному результату — непоправимому экологическому ущербу, экономическим потерям, социальной напряженности в горнопромышленных регионах. Все это нивелирует колоссальные затраты труда и экономические издержки, направленные на обеспечение принципов устойчивого развития в период активной работы горнодобывающего предприятия. На базе оценки перспектив перехода от одной технологии к другой по мере освоения всех георесурсов на участке недр, вплоть до несырьевых их видов, показано значение своевременного перехода на новые геотехнологические решения. Их внедрение позволяет эксплуатировать горнотехническую систему неопределенно долго в интересах обеспечения общества георесурсами.

Ключевые слова: Горнодобывающее предприятие, горнотехническая система, устойчивое развитие, георесурсы, общественные потребности, комплексное освоение недр.

Методологическая база исследований

Методологической основой исследований является оценка эволюции понятий и представлений об устойчивом развитии в сфере

природопользования. На базе установления основных этапов трансформации данного понятия, формирования целевых показателей, выработки системы и критериев оценки показателей устойчивого развития дана аргументация и раскрыты механизмы обеспечения устойчивого развития горных предприятий, эксплуатирующих в недрах уникальные объекты — горнотехнические системы.

Введение

Проблема устойчивого развития крупных горнодобывающих компаний является на сегодняшний день наиболее актуальной и часто обсуждаемой. В горных науках проблема внедрения новых подходов к обеспечению устойчивого развития горного производства была рассмотрена В.Л. Яковлевым еще в 2012 г. [1]. Им с соавторами на основе проведенного общего анализа и систематизации многокомпонентных руд Урала по технологическим условиям их добычи и переработки с учетом установленных взаимосвязей параметров технологических процессов с качественными признаками рудных залежей, физико-механическими свойствами горных пород и закономерностей их изменения во времени и в пространстве предложена концептуальная схема устойчивого развития горного производства [1]. Она базируется на четырех взаимосвязанных и взаимозависимых аспектах недропользования:

- инновационные технологии разведки, добычи и переработки твердых полезных ископаемых;
- энергоэффективная комплексная глубокая переработка техногенного сырья;
- строительство новых объектов и реконструкция действующих производств;
- комплексное использование минерального сырья и освоение новых видов продукции.

То есть авторы [1], учитывая специфику развития горнопромышленного комплекса, справедливо указали на необходимость изыскания новых геотехнологических решений для обеспечения устойчивого развития горнодобывающих предприятий. Это определило существенное отличие подходов к устойчивому развитию от других сфер природопользования, так как именно в этой области человеческой деятельности сформировался термин «устойчивое развитие».

Анализ этапов трансформации понятия свидетельствует, что изначально словосочетание «устойчивое развитие» (англ. Sustainable

development) было использовано в середине 20 в. канадскими специалистами по регулированию рыболовства [2]. Так они назвали систему эксплуатации рыбных ресурсов, при которой эти ресурсы не истощаются, вылов соответствует возможностям простого воспроизводства популяции рыб. Однако по систематизации [2] еще за 100 лет до канадских рыболовов ту же идею выдвигали немецкие специалисты в сфере лесного хозяйства, понимая под этим такую систему эксплуатации лесов, при которой лес сохраняется, вырубка не превосходит естественного прироста и лесосеки организованы таким образом, что лесная экосистема воспроизводится без потерь (если пользоваться современной терминологией) [2]. Действительно, при таком подходе эксплуатация ресурса может продолжаться неограниченно долго, если не вмешиваются посторонние факторы, не имеющие отношения к природопользованию как таковому. Прилагательное подчеркивает, наряду с устойчивостью, долговременность процесса, то, что он поддерживается таким образом, чтобы его важные свойства непрерывно воспроизводились [2].

Концепция устойчивого развития в дальнейшем вышла на глобальный уровень и стала одним из базовых методологических подходов к изучению глобальных экономических закономерностей, логическим результатом интеграции естественных и общественных наук. Проведение в 1972 г. в Стокгольме Конференции ООН по окружающей среде и разработка Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) означали включение международного сообщества в решение экологических проблем, которые стали сдерживать социально-экономическое развитие стран [3]. Затем, 1980 г., концепция устойчивого развития была сформулирована во Всемирной стратегии сохранения природы, разработанной по инициативе комитета ООН по окружающей среде, Международного союза охраны природы и Всемирного фонда дикой природы [4].

В широком смысле создание концепции устойчивого развития стало попыткой решить проблему формирования новой модели развития цивилизации.

Термин «устойчивое развитие» («sustainable development») на надгосударственном уровне впервые был использован в 1987 г. в докладе «Наше общее будущее», представленном Международной комиссией по окружающей среде и развитию, после чего он был введен в широкое употребление [4, 5]. Первое представление об устойчивом развитии как научном понятии было предложено Г.Х. Брундтландом на

Международной комиссии по окружающей среде и развитию в 1987 г. в Рио-де-Жанейро: «Устойчивое развитие — удовлетворение потребностей настоящего времени, при котором не подрывается способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности» [4]. На макроуровне устойчивое развитие представляло собой развитие общества на базе нового, более эффективного глобального технологического уклада, который являлся материальной основой качественно более высокого уровня экономики на временном интервале в 40–50 лет.

В современном видении устойчивое развитие рассматривается в трех проекциях (экономической, социальной, экологической) и включает два ключевых взаимосвязанных понятия. Потребности, обусловленные этапом общественного развития и ограничения, формируются степенью развития технологий и организацией трудовых отношений в обществе. Под «устойчивым развитием» понимают экономический (технологический) рост, который не наносит вреда окружающей среде и способствует разрешению социальных проблем.

В 2012 г. в рамках Программы развития ООН приняты 17 целей устойчивого развития на 2015–2030 гг., которые в настоящее время являются флагманом работы крупнейших горнодобывающих компаний мира [6, 7]. В свою очередь, каждая из 17 целей разбита на собственные подпункты, раскрывающие ее содержание и преобразующиеся в конкретные оцениваемые параметры (всего 169 измеряемых показателей) [8, 9]. С позиций проецирования этих показателей устойчивого развития на условия работы промышленных предприятий все они (детализированные цели) попадают под три группы факторов — экологические, социальные либо управленческие (ESG) [10, 11]. В результате в последнее пятилетие в мире произошла «финансовая революция», состоящая в осмыслении и интеграции целей устойчивого развития в реальный сектор экономики, включая горнопромышленный комплекс. Новая стратегия предполагает построение принципиально новой финансово-хозяйственной системы, ориентированной на цели устойчивого развития. Для этого проводится ее полное преобразование, состоящее в изменении культуры взаимодействия заинтересованных сторон и стимулах для бизнес-сообщества.

Вместе с тем анализ условий функционирования горнодобывающих предприятий на декларируемых принципах устойчивого развития позволяет утверждать, что, например, истощение оцененных балансовых запасов, консервация и ликвидация рудников, а также

аварии приводят к полностью противоположному результату — непоправимому экологическому ущербу, экономическим потерям, социальной напряженности в горнопромышленных регионах. Все это нивелирует колоссальные затраты труда и экономические издержки, направленные на обеспечение принципов устойчивого развития в период активной работы горнодобывающего предприятия.

Основные положения устойчивого развития горнотехнических систем

Поэтому для обеспечения устойчивого развития горных предприятий необходимо изыскание решений, которые позволяют не только добывать наиболее доступные запасы полезных ископаемых, но и позволять эксплуатировать горнотехническую систему в различных назначениях, в том числе не связанных с разработкой балансовых запасов, ориентируясь на разнообразие георесурсов, многофункциональность, неисчерпаемость ресурсов недр Земли. Выработка такого стратегического подхода к устойчивому развитию позволяет на определенном этапе общественного развития приблизиться к комплексному освоению в его высшей стадии — сохранению недр Земли для обеспечения длительного недропользования как самого условия существования цивилизации.

Другими словами, в условиях неизбежного исчерпания балансовых запасов месторождений твердых полезных ископаемых по мере их освоения необходимо еще на стадии проектирования, осознавая неизбежность и «конечность» природных запасов минерального сырья, обеспечивать использование однажды нарушенного участка недр, постоянно сохраняя возможность недропользования соответственно общественным потребностям.

При этом следует учитывать принципиальное отличие сферы недропользования от всех других областей природопользования, исторически приведших к постановке проблематики устойчивого развития. Действительно, как показано выше, современная и общепринятая формулировка «обеспечить потребности настоящих поколений, не ставя под угрозу будущие поколения удовлетворять свои потребности» [6], прекрасно зарекомендовала себя там, где снижение уровня антропогенного воздействия на природную среду либо в ряде случаев прекращение потребления природного ресурса в определенных границах приводит к восстановлению изначальных условий, обеспечивая возможность последующей эксплуатации.

Причем фундаментальные закономерности воспроизводства таких природных систем, как лесная, вполне поддаются описанию, прогнозированию и выходу на измеряемые показатели устойчивого развития.

То же самое касается концептуальных основ устойчивого развития всех промышленных предприятий. На данные темы написаны десятки солидных научных трудов, которые, однако, сводятся либо к вышесказанному — своевременному воспроизводству предмета труда, либо к финансовой устойчивости и безопасности.

Отличие условий функционирования горных предприятий — неизбежное физическое уничтожение предмета труда. На практике это приводит к консервации и впоследствии неизбежной ликвидации горного предприятия, сопряженного с затоплением рудников, нарушением экологического равновесия, тяжелыми социальными и экономическими последствиями.

Именно поэтому область горных наук в части теории проектирования горнотехнических систем отличается оригинальной постановкой философских и исследовательских задач и поиском решений, направленных на устойчивое развитие горных предприятий не как производственной единицы, характеризующейся определенными технико-экономическими показателями на период работы, а в качестве уникальных объектов, функционирующих в недрах земли — горнотехнических систем. Под последними, согласно определению, вошедшему в практику недропользования, понимается совокупность горных конструкций, оборудования, технологических процессов горного производства во взаимодействии с вмещающим их участком недр [12]. Горнотехнические системы вмещает литосфера. Они привязаны к определенным ее участкам и не могут, подобно предприятиям, размещенным в атмосфере, гидросфере или даже объектам в космосе, быть перемещаемыми.

Поэтому на концептуальной стадии проектирования требуется проработка рациональных вариантов построения в недрах горнотехнических систем для непрерывной эксплуатации георесурсов на базе своевременного периодического изменения параметров геотехнологических процессов, составляющих новый технологический уклад недропользования. Это позволяет использовать однажды вовлеченный в эксплуатацию участок недр как по первоначальному назначению — для добычи отдельных полезных ископаемых, так и в новом полезном качестве.

На сегодняшний день на государственном уровне ставятся вопросы определения механизмов и условий вовлечения в эксплуатацию забалансовых запасов, отходов производства. Интенсивность развития горных работ и масштабы добычи в ближайшие годы будут только возрастать [13]. За последние несколько десятилетий темпы развития горнодобывающей и перерабатывающей промышленности выросли по некоторым направлениям на порядки, особенно это касается критических металлов. Данный тренд уже сейчас вызывает в мире очень серьезные опасения касательно перспектив видоизменения литосферы, когда становится проблематичным само существование человеческого общества. Глубина некоторых рудников достигла 4000 м. Следует констатировать и тот факт, что в связи с увеличением численности населения Земли достаточно интенсивно возрастает потребность в материалах, минералах и всех тех элементах, которые человечество использует в своей жизни. Именно поэтому все инновационные технологические процессы должны согласовываться со средой обитания человека и его потребностями. В этом плане роль устойчивого развития горнотехнических систем становится существенным и наиважнейшим элементом общественного развития.

Интересен факт, что при сохранении существующих подходов и отношения к данным видам ресурсов решение вопросов устойчивого развития предприятия после отработки балансовых запасов затруднено. Устойчивое развитие должно осознаваться именно как развитие, постоянное движение вперед с готовностью дать ответы на внутренние и внешние вызовы, даже на, казалось бы, завершающей стадии эксплуатации запасов [14].

Переход на новые принципы проектирования горнотехнических систем, способствующие устойчивому развитию горнодобывающих предприятий базируется на заблаговременно заложенных в проекты инновационных циклах использования всего георесурсного потенциала осваиваемого участка недр. По мере исчерпания одного (исходного) вида георесурсов, как правило, попутно открывается возможность освоения других их видов, которые без вторжения в недра не существуют (например, выработанные пространства) либо недоступны (например, глубинное тепло недр Земли). Эти виды георесурсов формируются и становятся доступными только при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. Это, например, не только выработанные пространства, неизбежно формируемые при извлече-

нии запасов — варианты их эффективного использования часто прорабатываются на этапе проектирования. К новым видам георесурсов могут быть отнесены запасы на глубоких горизонтах, доступность которых в силу принципиально отличных горно-геологических и горнотехнических условий открывается только при переходе на новый вид геотехнологии. Ими являются и техногенные образования, доступность которых как нового вида георесурсов обеспечивается при заблаговременном (целенаправленном) формировании требуемых объемов и ресурсовоспроизводстве для достижения новых полезных качеств и свойств сырья к моменту освоения [15].

Поэтому построение горнотехнических систем должно базироваться на главном принципе, что реализация одной, например, базовой геотехнологии и ее параметры должны быть таковы, чтобы по мере освоения одного ресурса и попутного открытия нового вида обеспечить благоприятные условия для перехода на новый этап наиболее эффективного его использования.

При указанных условиях устойчивое развитие возможно только при переходе от собственно добычи отдельных полезных ископаемых на постоянное освоение в целом намеченного к эксплуатации участка литосферы. Для этого, в первую очередь, необходимо обеспечивать сохранение самой физической структуры литосферы, последовательно применяя комплекс геотехнологических решений, который, однако, как минимум концептуально, должен прогнозироваться еще на стадии геологической оценки.

Обсуждение и выводы

Базис устойчивого развития горных предприятий как промышленных объектов, создающих в недрах и эксплуатирующих горнотехнические системы, — адекватный набор геотехнологических решений, своевременно трансформирующихся по мере освоения того или иного вида георесурса. Однажды созданная горнотехническая система должна быть в постоянной связи с литосферой, отвечая на изменения этой природной среды, подобно тому как иные технические системы находятся в постоянном взаимодействии с атмосферой и гидросферой, реагируя на изменение природных условий.

Рассмотренные принципы соответствуют постоянному участию литосферы (вне времени) в обеспечении базовой общественной потребности — в ресурсах недр Земли. Это и есть фундаментальное отличие литосферы и горных предприятий как сферы деятельности

человека от любой другой промышленной деятельности, когда предприятия создаются, функционируют и закрываются, вплоть до демонтажа конструкций и восстановления исходных условий. Подобное завершение эксплуатации горнотехнической системы невозможно, а подход к ликвидации сопряжен с негативными последствиями.

Заключение

Геотехнологические решения как инструмент устойчивого развития горнотехнических систем, базирующиеся на своевременном изменении технологических укладов недропользования, соответствуют принципам классического определения устойчивого развития — экологическому, экономическому и социальному. Изыскание устойчивых геотехнологических вариантов недропользования способствует, в первую очередь, продлению срока жизни горнодобывающего предприятия, а, следовательно, постоянной эксплуатации георесурсов, сохранению и постоянному развитию социальной инфраструктуры, созданию новых рабочих мест. Более того, реализация концепции устойчивого развития в такой постановке соответствует специфической сущности освоения литосферы — комплексному освоению и сохранению недр Земли.

Список литературы

1. Трубецкой К. Н. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства / К. Н. Трубецкой, С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 15–18.
2. Устойчивое развитие: Новые вызовы : учебник для вузов / под общ. ред. В. И. Данилова-Данильяна, Н. А. Пискуловой. – Москва : Издательство «Аспект Пресс», 2015. – 336 с.
3. The Limits to Growth. N.Y. / D. H. Meadows, D. L. Meadows [et al.] Potomac, 1974 = Пределы роста. Доклад по проекту Римского клуба «Сложное положение человечества» / Д. Х. Медоуз, Д. Л. Медоуз, Й. Рэндерс, У. Беренс. – Москва : Изд-во МГУ, 1991.
4. Our Common Future. N.Y.: UN, 1987. = Наше общее будущее. – Москва : Прогресс, 1989.
5. Коряков А. Г. Методологические вопросы устойчивого развития предприятий / А. Г. Коряков // Вопросы экономики и права. – 2012. – № 4. – С. 110–114.
6. 17 целей для преобразования нашего мира : [сайт]. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/> (дата обращения: 30.05.2024).

7. Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций, трансформация нашего мира: Повестка дня в Области Устойчивого Развития на период до 2030 года, 21 октября 2015, A/RES/70/1 : [сайт]. — URL: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf (дата обращения: 11.01.2019).

8. Руководство по основным показателям отчетности предприятий о вкладе в достижение Целей устойчивого развития / ООН. – ЮНКТАД, 2021. – 98 с.

9. Руководству GRI по отчетности в области устойчивого развития : [сайт]. – URL: www.globalreporting.org (дата обращения: 28.05.2024).

10. Цифровой советчик по управлению углеродным следом предприятия — новый тренд цифровизации промышленных объектов / М. Макеев, Ю. Волщуков, Т. Пчельникова, Д. Радченко // Золото и технологии. – 2021. – № 4. – С. 60–63.

11. Радченко Д. Н. Правовые вопросы ESG-трансформации Группы компаний "Южуралзолото" / Д. Н. Радченко, Л. В. Ивлева, М. Н. Крутько // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 4. – С. 458–465.

12. Горное дело : терминологический словарь / А. В. Атрушкевич, Т. Н. Бочкарева, В. С. Забурдяев [и др.] ; ред. К. Н. Трубецкой ; науч. ред. Д. Р. Каплунов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Горная книга, 2016. – 635 с. – ISBN 978-5-98672-435-5.

13. Branco W. Schipper. Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics / W. Schipper Branco // Resources, Conservation & Recycling. – 2018. – № 132. – P. 28–36.

14. Рыльникова М. В. Обеспечение устойчивого развития горно-технической системы на завершающей стадии подземной разработки жильных золоторудных месторождений Урала / М. В. Рыльникова, К. И. Струков, Е. Н. Есина. – 10.21177/1998-4502-2018-10-4-518-525 // Устойчивое развитие горных территорий. – 2018. – Т. 10, № 4(38). – 518–525.

15. Научное обоснование технологий комплексного ресурсосберегающего освоения месторождений стратегического минерального сырья / К. Н. Трубецкой, Д. Р. Каплунов, С. Д. Викторов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 12. – С. 5–12.

В.Л. Яковлев — ученый и педагог

В.С. Хохряков

Творческая юность В.Л. Яковлева совпала с интересным периодом в жизни нашей страны и горного производства. В 1950-е годы началось массовое строительство крупных ГОКов, в кратчайшие сроки было освоено производство новейшей для того времени техники — мехлопат СЭЗ, а затем ЭКГ-4 и ЭКГ-8, мощных драглайнов, автосамосвалов большой грузоподъемности, вначале 10-и и 25-тонных, а затем 40-тонных, электровозов, думпкаров. Это был период поистине революционного обновления во всех звеньях горного дела, особенно на открытых работах.

Потребовалась и была организована массовая подготовка горных инженеров по новым специальностям, прежде всего для открытых горных работ. Началось создание новых кафедр, научно-исследовательских лабораторий, институтов горного дела.

Для эффективного применения техники и интенсивного строительства новых горных предприятий потребовалось намного увеличить масштабы проектных работ, сильно увеличилась их сложность и потребовались специалисты с новыми знаниями и научным подходом.

Наверное, выбор Уралгипрошахта как первого этапа научной карьеры для энергичного выпускника СГИ В.Л. Яковлева был не случайным. Этот выбор оказался не только результатом стечения его интересов и семейных обстоятельств, но, как мне кажется, был предначертан судьбой. Благодаря интересной творческой работе, воздействию замечательных профессионалов, таких как В.А. Сыпачев и другие, у него появилась возможность взглянуть на горное дело широко, критично и проблемно. Именно на этом этапе были намечены темы его будущих диссертаций, именно тогда началось его формирование как

ученого нового типа, видящего объект изучения и проектирования (карьер, систему транспортных коммуникаций) как сложноструктурный развивающийся комплекс природных факторов, технологии и экономики. Комплекс настолько сложный, что правильно оценить его и принять проектное решение можно лишь в динамике. Так возникла необходимость применения математического моделирования и электронно-вычислительной техники.

Яркое впечатление произвело выступление В.Л. Яковлева на первой конференции по применению ЭВМ для проектирования открытых горных работ, которая проходила в 1964 г. в Свердловском горном институте под руководством проф. В.В. Ржевского, впоследствии академика РАН. В программе доклад значился под фамилией М.В. Васильева (директора ИГД МЧМ СССР), но был сделан В.Л. Яковлевым. В докладе отражен первый опыт применения математических методов и ЭВМ для проектирования крупного асбестового карьера. По критическим оценкам этого опыта, по смелым оптимистичным прогнозам и убежденной горячности выступающего В.Л. Яковлева всем стало ясно, что появился ученый нового мышления. Вскоре В.Л. Яковлев блестяще защитил кандидатскую диссертацию на эту тему.

В.Л. Яковлев в своих воспоминаниях писал, да и не единожды говорил об этом, что наши пути в науке во многом совпадали. Это и не удивительно, ведь на первых шагах в науку у нас были общие учителя — опытные проектировщики. Будучи аспирантом, я около года работал в группе по проектированию карьера «Гора Могутовая» Куйбышевгидростроя. Основными исполнителями были опытные проектировщики из Уралгипрошахта: Дубов Анатолий Иванович — впоследствии директор, Сухинин Николай Николаевич — специалист в части транспортных коммуникаций. Задание было срочное, время суровое, работа велась ежедневно с 6 до 10 вечера. В этой школе, хотя она и была у меня краткосрочной, я тоже научился многому. Так случилось, что в начале нашего пути в науку у нас оказались одни и те же учителя и, наверное, поэтому у нас сформировались одинаковые взгляды на проблемы горного дела, одинаковые подходы к решению научных задач. На протяжении длительной, почти полувековой, совместной деятельности мы почти всегда выступали с одних и тех же позиций, оказывались в одном лагере в процессе дискуссий по разным проблемам, независимо друг от друга приходили к одинаковым выводам и оценкам. Я уже не говорю о том, что мне всегда доставляли

большую радость совместные поездки на съезды и конференции, работа на ученых советах и просто дружеские встречи.

В.Л. Яковлев написал немало книг и научных статей. На мой взгляд, наиболее значимыми из них являются две: «Теория и практика выбора карьерного транспорта глубоких карьеров», которая была опубликована в 1989 г., но основные положения которой были изложены уже в 1972 г. в книге «Научные основы проектирования карьерного транспорта», в многочисленных статьях и докладах и в докторской диссертации. Вторая книга — «Закономерности развития горного дела», созданная совместно с С.А. Батугиным в Якутии, может быть, еще не в полной мере оценена и не так известна, но большая роль ее еще впереди, когда развернется кардинальная переоценка места горного производства в обществе, а она уже начинается. Эта книга будет в числе первых настольных. В этих работах особенно сильно проявляется главная, на мой взгляд, характерная черта В.Л. Яковлева как ученого — умение в привычном увидеть ростки нового, правильно оценить их значение, на их базе развить теоретические основы новых методов, четко сформулировать рекомендации для практики и дальнейшего развития горной науки.

Основными вехами в этом развитии В.Л. Яковлева как ученого с новым мышлением были: в 1960-е годы — математическое моделирование и применение ЭВМ, в 1970-е — системный динамический подход к решению задач открытых разработок и особенно транспортных комплексов, в 1980 — 1990-е годы — закономерности и прогнозы в освоении недр.

Будучи заведующим кафедрой разработки месторождений открытым способом, я практиковал, как это рекомендовалось и было принято в высшей школе, привлечение к чтению отдельных лекций и частей курсов наиболее известных, крупных специалистов с предприятий, из проектных и исследовательских институтов. Перед студентами вступали, например, директор института Уралгипрошахт А.И. Дубов, гл. инженер проектов К.Л. Долинин и зав. лабораторией института Унипромедь А.Г. Сисин, директор Центрального рудоуправления комбината Ураласбест А.Г. Мацак и другие. В последние годы частым гостем на занятиях студентов-открытчиков бывает директор НИИОГРа проф. В.А. Галкин. Естественно, был приглашен и В.Л. Яковлев как крупный ученый, специалист в части карьерного транспорта, имеющий большой опыт проектирования карьеров, особенно в наиболее сложной, требующей творческого мышления части — внутри-

карьерные транспортные системы крупных карьеров. Несмотря на то что В.Л. Яковлев был занят большой работой по обследованию и моделированию транспортных систем всех железорудных карьеров страны, я настоял на своем, и В.Л. Яковлев начал читать лекции по отдельным разделам карьерного транспорта и развитию рабочей зоны карьеров. Занятия проходили прекрасно. Я был доволен, студенты были довольны, и сам В.Л. Яковлев тоже, как мне кажется, был доволен, так как живое общение со студентами приносит удовлетворение не только аудитории, но и лектору.

Оказалось, что В.Л. Яковлев — прирожденный талантливый педагог. Он умеет представить сложную и скучную тему в таком интересном и привлекательном виде, что студенты не только слушают с напряженным вниманием, но и запоминают надолго. Да и как не запомнить, а потом не повторить своим товарищам в общении, особенно младшекурсникам, если В.Л. Яковлев умело использовал известные, но, к сожалению, не всеми применяемые такие педагогические приемы, как умелое и уместное прерывание лекции какими-то примерами и сравнениями из практики, кратким рассказом каких-то анекдотических случаев, иллюстрирующих данный вопрос, вопросами, хотя и риторическими, к студентам. Студенты его любили как лектора и уважали как знающего специалиста.

Имея добрую цель, я не предполагал, что навлеку на В.Л. Яковлева крупные неприятности. Оказалось, что среди руководящих сотрудников ИГД возникло мнение: «Не высовываться!», а в партбюро завели персональное дело. Оказалось, что с точки зрения серой посредственности, чтение лекций студентам, будущим горным инженерам и ученым — это не интеллектуальный процесс, не взаимно полезное общение, а примитивный побочный заработок («грошей» — В.С.). Студенты требовали от меня объяснений, и, горячо ими поддерживаемый, я пытался бороться не только за честь В.Л. Яковлева, но и, в конце концов, за справедливость, за качественное обучение своих подопечных: писал письма в различные инстанции, взывал к здравому смыслу, приводил примеры других вузов, говорил о той пользе, которую приносят занятия Виктора Леонтьевича не только знаниям, но и воспитанию будущих руководителей. Увы, решали дело люди, в том числе и с учеными степенями, у которых отношение и интерес к науке было лишь корыстным.

Но нет худа без добра. В.Л. Яковлев, получив какие-то партвзыскания, уехал на Крайний Север, куда был приглашен Президентом Си-

бирского отделения АН СССР В.А. Коптюгом на должность директора ИГД в Якутии. Он сумел вывести этот институт в число лучших, был избран членом-корреспондентом РАН, получил широкое признание мировой горной общественности. Вернувшись через 10 лет в Свердловск, он сумел в сложное время перестройки и реформ спасти свой родной ИГД от угасания и ликвидации, возглавить горную науку Урала и снова включиться в педагогический процесс в родном вузе.

Обсуждение назревшей проблемы особенности современного периода исследований по проблемам комплексного освоения недр и развития минерально-сырьевой базы России*

В.Л. Яковлев

Аннотация: Минерально-сырьевой потенциал России оценивается как достаточный для проведения независимой экономической политики и обеспечения национальной безопасности.

После распада СССР разведанные и освоенные месторождения многих видов минерального сырья оказались за пределами России, а в период перехода от плановой к рыночной экономике возникли проблемы в производстве и потреблении минерального сырья.

Институтом разработан и обоснован методологический подход к решению проблем освоения недр, изложенный в монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья».

В статье представлены методологические результаты исследований по оценке состояния и развитию минерально-сырьевой базы России на основе результатов исследований ИГД УрО РАН, предложенные в качестве научного сопровождения при разработке и реализации «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2030–2050 гг.». Изложены предложения института для учета при разработке проекта федеральной научно-технической программы «Развития минерально-сырьевой базы и технологии добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации».

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, стратегия развития, комплексное освоение, горнотехническая система, методологический подход, инновационная направленность.

* Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки №075-00412-22ПР.
Тема 1. FUWE 2022-0005

Введение

Проблемы эффективного и безопасного освоения минерально-сырьевых ресурсов планеты в целом и России в частности выходят за рамки горного производства, более того, они могут быть решены не только с участием геологов, горняков, металлургов, экономистов, но и специалистов других отраслей, так как носят геополитический характер.

Россия занимает одно из ведущих мест в мире по минерально-сырьевому потенциалу, который оценивается как достаточный для проведения независимой и эффективной экономической политики и обеспечения национальной безопасности.

В.В. Путин, еще не будучи президентом России, в «Записках горного института» отмечал: *«Устойчивое развитие экономики России в ближайшие годы должно базироваться... прежде всего за счет минерально-сырьевого потенциала. Под устойчивым развитием... подразумевается гарантированное обеспечение экономической безопасности страны путем создания надежной минерально-сырьевой базы для удовлетворения текущих и перспективных потребностей экономики России с учетом экологических, социальных, демографических, оборонных и других факторов».*

Уже тогда с тревогой были восприняты намерения западных стран использовать минеральные ресурсы стран «третьего мира», к которым они относили и Россию. Об этом свидетельствует опубликованная в журнале «Глюкауф» (2004 г.) статья руководителя департамента Горной промышленности и науки проф. Х. Вагнера и почетного доктора горных наук Г.В. Феттвайса (Австрия), в которой рассматриваются вопросы горной науки и технологии разработки месторождений полезных ископаемых в западных странах в начале нового столетия. Вот цитата из этой статьи: *«...западные промышленно развитые страны не имеют права полностью устраниваться от развития горной науки и возложить основную ответственность на добывающие страны третьего мира. Существует настоятельная необходимость в разработке долгосрочной политики стабильного снабжения минеральными ресурсами Европы и других стран Запада с тем, чтобы сохранить позиции ведущего экономического региона. Запланированная ЕС «Восточная экспансия» по присоединению ряда важных добывающих стран может рассматриваться как идеальная возможность пересмотреть политику Европы в области горной науки».*

К сожалению, следует отметить, что Европе и Западу в целом удалось в последующие годы, включая и современный период, реализовать запланированную «Восточную экспансию». Об этом свидетельствуют опубликованные в 2011 г. в журнале «Маркшейдерия и недропользование» № 4 (54) и № 5 (55) статьи Вице-президента РАЕН, д.т.н., проф. Е.А. Козловского (министра геологии СССР 1975–1989 гг.) «Национальная безопасность в свете минерально-сырьевых проблем» [1], в которых отмечены следующие негативные моменты: «Общий экономический кризис и спад промышленного производства, вызванные «глубоким реформированием» экономики и переходом к рыночным отношениям, привели к резкому падению внутреннего спроса практически по всем видам минерально-сырьевой продукции. Так, с 1991 г. внутреннее потребление алюминия первичного снизилось в 3 раза, меди рафинированной — в 3,4, свинца — в 3,3, цинка — в 2,7, никеля — в 5,7, олова — в 4,2, вольфрамовых и молибденовых концентратов — соответственно, в 8,4 и 6,4 раза.

Резкое сокращение внутреннего рынка заставило российских производителей расширять позиции на внешних рынках. За рубежом России вывозится 41–45 % добываемой в стране нефти и 30–35 % производимых нефтепродуктов, 30–33 % газа, а по алюминию, никелю, меди, металлам платиновой группы и алмазам Россия занимает ведущее место среди стран-экспортеров, оказывая значительное влияние на конъюнктуру мирового рынка.

Экспорт важнейших видов минерально-сырьевой продукции является важнейшим источником наполнения бюджета, обеспечивая свыше 70 % валютных поступлений. Однако это неизбежно вело к превращению нашей страны в минерально-сырьевой придаток Запада и к быстрому исчерпанию ранее разведанных запасов полезных ископаемых. К тому же валютные поступления от экспорта оказывались не у государства, а в значительной степени в руках олигархов и разного рода посредников».

В этих работах им дана оценка состояния и перспектив развития минерально-сырьевого комплекса России:

«1. Состояние сырьевых баз многих важнейших горнодобывающих регионов страны и действующих предприятий резко ухудшилось.

2. Важнейшими факторами, определяющими критическое состояние минерально-сырьевого комплекса России на современном этапе, являются выбытие добывающих мощностей при существующих

низких темпах ввода в эксплуатацию новых месторождений и значительное сокращение объемов геологоразведочных работ.

3. Указанные негативные факторы в ближайшей перспективе могут привести к существенному сбою минерально-сырьевого комплекса и как результат — к замедлению темпов экономического развития и к угрозе экономической безопасности страны».

В обобщенном виде можно выделить несколько проблем в развитии минерально-сырьевой базы России, производстве и потреблении минерального сырья.

После распада СССР разведанные и освоенные месторождения многих видов минерального сырья (хромиты, марганцевые и урановые руды и др.) оказались за пределами России, а потому ряд перерабатывающих и металлургических предприятий, особенно в Уральском регионе, оказался отрезанным от источников минерального сырья.

В период перехода от плановой к рыночной экономике практически распались геологоразведочные службы, а действующие горнодобывающие и металлургические предприятия почти вдвое снизили объемы производства.

В еще большей степени, чем производство продукции минерального сырья, снизилось его внутреннее потребление, в частности машиностроительными предприятиями, в связи с чем на горных предприятиях все в больших масштабах стало применяться импортное горное, транспортное и обогащательное оборудование.

На большинстве горнодобывающих предприятий наиболее богатые по содержанию полезных компонентов и расположенные в верхней зоне участки месторождений оказались отработанными, и требовалось вскрытие глубоких горизонтов как на открытых, так и подземных горных разработках, что связано со значительными капитальными вложениями.

В силу специфики природно-климатических условий России и горно-геологических особенностей месторождений, их освоение требует больших материальных и трудовых затрат, в том числе на строительство и развитие транспортных коммуникаций, инфраструктуры, на применение оборудования в северном исполнении. Особенно это характерно для уже разрабатываемых и в еще большей степени подлежащих разведке и последующему освоению месторождений Северо-Запада и Северо-Востока России, Полярного Урала, северных регионов Сибири.

Сегодня с сожалением приходится констатировать, что в России не завершена разработка государственной стратегии управления минерально-сырьевой составляющей жизнеобеспечивающего потенциала государства. Ресурсы недр, людские ресурсы и денежные средства не сведены в единый государственный комплекс, в единую структурную систему, целевой функцией которых стала бы безопасность страны и благосостояние проживающего на ее территории населения. Действующий закон о недрах не подкреплён регламентирующими подактами, инвестиционная политика не стимулирована на поддержку и развитие собственной сырьевой базы и металлургических производств, экспорт сырья превратился в важную составляющую экономического сектора страны. В то же самое время металлургический комплекс испытывает значительный дефицит в рудном сырье, машиностроение — в металле с повышенными качественными показателями, наука — в поддержке развития прорывных и наукоемких технологий.

Стратегия как долгосрочная политика развития минерально-сырьевой базы государства является ступенчатой структурой, в которой переплетаются интересы трех основных недропользователей — государства, региона, прямого недропользователя. Их общим интересом является укрепление и развитие сырьевой составляющей экономики, их пути и возможности разные. Государство обеспечивает законодательно-правовую основу — фундамент стратегии; регион разрабатывает концепцию развития промышленных, сельскохозяйственных и социальных комплексов на своей территории; прямой недропользователь в рамках законодательных актов осуществляет разработку месторождений полезных ископаемых. При этом его интересы очевидны и просты — извлечь максимальную выгоду при отработке месторождения, не вступая в противоречие с законодательством.

Задача государственных структур также очевидна и проста — обеспечить поступление в государственную казну дивидендов от сдачи в эксплуатацию общенародного достояния — богатств Недр. Эти отношения регулируются нормативно-правовыми актами.

Региональная стратегия освоения недр строится на основе долговременного функционирования крупных промышленных комплексов как основных источников пополнения бюджета. Поэтому регионы заинтересованы в поддержании и развитии минерально-сырьевой базы того или иного промышленного комплекса, укрепляя свое положение на рынке. Корпоративные формы создают условия

устойчивого и более планомерного функционирования перерабатывающих производств и горнодобывающих предприятий. Но и здесь сохраняется противоречие между требованием наиболее полного и комплексного использования недр и узкой специализацией горных предприятий на извлечение конкретного компонента.

Выбор стратегии освоения минеральных ресурсов ставит перед федеральными органами задачу: разработать государственную программу развития горнопромышленных комплексов и связанных с ними отраслей промышленности. Такая программа должна четко очертить перспективу государственного отношения к недрам и пробудить интерес у недропользователей к бережному обращению с богатствами. При составлении этой программы необходимо учитывать реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий, размещение и строительство новых, экологическую обстановку, социальные условия, долгосрочную перспективу развития всего экономического комплекса государства. Потребуется поэтапное решение задач как на федеральном, так и на государственном уровне.

Особенности условий развития горнодобывающей промышленности обусловлены также уникальностью объектов освоения: нет двух одинаковых месторождений. Объективно существует многообразие природных условий расположения месторождений и горно-геологических условий залегания рудных тел; пространственная ограниченность геологических объектов и структур. Последнее, в частности, означает, что запасы конкретного минерального образования в недрах ограничены и невозобновляемы, что говорит о временных ограничениях эксплуатации конкретного участка недр. Это обстоятельство предъявляет особые требования к прогнозу, планированию, организации и управлению горной промышленностью, оказывая влияние на стратегию освоения недр и методологию ее выбора.

Результаты многолетних фундаментальных и прикладных исследований ИГД УрО РАН по Программам Президиума РАН Отделения наук о Земле РАН и УрО РАН, междисциплинарным и интеграционным проектам с институтами Уральского, Сибирского и Дальневосточного отделений РАН, Госзаданиям Минобрнауки по проблемам комплексного освоения запасов минерального сырья месторождений твердых полезных ископаемых соответствуют целям и задачам «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 декабря 2018 г. № 2914-Р, как основы для

формирования и реализации государственной политики в области геологического изучения недр, использования минерально-сырьевой базы на федеральном и региональном уровнях, а также для разработки государственной программы Российской Федерации.

Основные результаты исследований представлены в монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья» [2], авторам которой Яковлеву В.Л., Корнилко-ву С.В., Соколову И.В. в феврале 2022 года Бюро ОНЗ РАН присуждена премия им. Н.В. Мельникова за выдающиеся работы в области проблем комплексного освоения недр.

В укрупненном виде основные результаты исследований состоят в следующем:

- обоснована необходимость новых методологических подходов к решению проблем освоения недр на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности;

- дано определение стратегии разработки глубокозалегающих крутопадающих месторождений с учетом нарастания геологической, горнотехнической и технико-экономической информации в динамике развития горных работ;

- в целях комплексного решения проблем освоения недр и территорий при вовлечении в эксплуатацию месторождений в сложных природно-климатических условиях обоснована целесообразность создания минерально-сырьевых центров при формировании горнопромышленных комплексов Дальневосточного и Уральского регионов;

- оценен ресурсный потенциал и перспективы развития минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала, испытывающего дефицит в железорудном, медном, хромитовом и марганцевом сырье;

- обоснована технологическая возможность и экономическая эффективность вовлечения в эксплуатацию отходов добычи и переработки руд черных и цветных металлов Урала;

- изложены принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров;

- предложена новая схема комбинированной и подземной геотехнологии добычи и переработки железных руд;

- обоснована последовательность создания геоинформационных моделей и ГИС-технологий для решения комплексных задач горного производства.

Главным результатом исследований института является разработка и обоснование стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья.

На основе анализа исторического опыта развития научных идей и методологических подходов к обоснованию технологий и параметров горных работ (вторая половина XX века – начало XXI века), а также результатов фундаментальных и прикладных исследований ИГД УрО РАН по проектам Программ Президиума РАН, Отделения наук о Земле РАН, Комплексной программы УрО РАН сформулировано определение инновационного базиса как научно-технологической основы современной стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья.

Предложена формулировка сущности методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Стратегия освоения глубокозалегающего сложноструктурного месторождения — долгосрочный план действий на всех этапах разведки, проектирования и разработки месторождения до получения товарной продукции на основе методологического подхода на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, учитывающих нарастание геологической и горнотехнической информации, включая исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при реализации принимаемых инновационных технологий оценки, добычи, рудоподготовки и обогащения минерального сырья.

Методологические результаты исследований предложено учитывать при разработке стратегии развития минерально-сырьевой базы России на период до 2030–2050 гг.

Месторождения и горные предприятия по их разработке являются сложными многофакторными горно-технологическими комплексами, развивающимися в течение длительного времени (20–25 и более лет) в пространстве и во времени и характеризующимися как объекты исследования с большим массивом нарастающей информации — геологической, геометрической, экологической, технической, технологической, экономической, находящихся в сложной взаимосвязи, что предопределяет необходимость периодического поэтапного пересмотра ранее принятых при проектировании и эксплуатации решений на основе исследования переходных процессов с целью адаптации горно-технической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования [3].

Особо сложно осваивать глубокозалегающие сложноструктурные месторождения, когда, в связи с нарастанием информации о геологических параметрах залежей полезных ископаемых и вмещающих пород и с ростом глубины, требуется уточнять кондиции и пересчитывать запасы, изменять границы поэтапной разработки, переходить на новые технологии добычи и переработки минерального сырья.

Переходные процессы при разработке месторождений полезных ископаемых возникают в период реконструкции горных предприятий, диверсификации производства, освоения новых технологий, перестройки системы управления, изменения форм организации труда и других преобразованиях.

В качестве подтверждения актуальности исследования переходных процессов следует отметить, что на Общем собрании членов РАН (г. Москва, 13–14 ноября 2018 г.) была проведена научная сессия «Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации», на которой были заслушаны и обсуждены доклады председателей Советов семи приоритетов научно-технологического развития, при этом в 4-х приоритетах ключевым являлось слово «переход».

Во всех докладах председателей Советов и содокладах членов РАН нашли отражение три основных вопроса: оценка сложившегося состояния, обоснование необходимости исследований и разработки комплекса научных и организационных мероприятий по переходу к новому этапу научно-технологического развития в выделенных Президентом и Правительством РФ приоритетных направлениях и достижению по ним за 6-летний период с 2019 к 2024 г. 4–5-ых мест в рейтинге ведущих стран мира по критериальным параметрам оценки научно-технологического уровня развития.

Одной из главных причин необходимости исследования переходных процессов в технике и технологии горно-обогатительного производства минерального сырья является высочайшая степень зависимости от природной изменчивости геологических параметров глубокозалегающих сложноструктурных месторождений, информация о которых нарастает по мере развития горных работ, что требует создания стратегии управления этими процессами в течение всего срока их отработки.

Предлагаемый методологический подход, основанный на исследовании переходных процессов, является универсальным и может использоваться при проектировании освоения глубокозалегающих

месторождений, планировании, организации и управлении добычей и рудоподготовкой минерального сырья на действующих горных предприятиях с учетом нарастания геологической информации, внедрения разработанных инновационных мероприятий, изменения параметров и показателей горнотехнической системы горного предприятия по мере развития горных работ.

Новые методологические направления в решении проблем освоения недр являются результатом многолетних исследований, основанных на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности. Но этого еще недостаточно. Требуется изучить многолетний опыт развития не только техники и технологии горного производства, но и технического прогресса в смежных областях, при этом не только в области наук о Земле, но и в других, достижения которых содействуют техническому прогрессу в горнодобывающих отраслях и, естественно, в теории и практике технологических процессов горно-обогатительного и металлургического производств, а также ряда отраслей горного машиностроения.

Что касается собственно наук о Земле, то успешное, то есть экономически эффективное, технологически и экологически безопасное освоение месторождений возможно лишь на основе достоверной геологической информации по параметрам залежей полезных ископаемых, о наличии, помимо основного, попутных полезных компонентов, физико-механических свойствах залежи и вмещающих горных пород, при этом главным является знание свойств и параметров залежей и закономерностей их изменения в связи с нарастанием геологической и горнотехнической информации по мере развития горных работ в процессе разработки месторождения.

Направления опережающего развития в науке, технике, технологии и организации поиска, разведки, добычи и переработки недровых запасов полезных ископаемых — важнейшая проблема стратегии освоения недр.

Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2914-р от 22 декабря 2018 г. утверждена Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года.

Минприроды России было поручено разработать и утвердить в трехмесячный срок со дня вступления в силу данного распоряжения план мероприятий по реализации Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года и обеспечить его

выполнение, а также рекомендовано органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации в пределах своей компетенции руководствоваться положениями Стратегии при разработке и реализации программ социально-экономического развития субъектов РФ, нормативных правовых актов и иных документов.

С методологической точки зрения у утвержденной «стратегии» есть два недостатка:

- в ней нет механизма (методики) реализации в принципе правильно сформулированной идеи, целей и задач выбора стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов;

- основное внимание уделено геологическому изучению недр и оценке современного состояния с обеспеченностью разведанными запасами различных видов минерального сырья, без учета геолого-технологического-экономических, природных и социально-экономических условий комплексного освоения месторождений сырьевых регионов России.

В «Докладе о реализации Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года» содержится следующая информация.

Утвержденная Правительством «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года» является отраслевым документом стратегического планирования, разработанным Министерством природных ресурсов и экологии России.

В качестве соисполнителей указаны восемь федеральных органов исполнительной власти, однако неясно, кто за что отвечает.

В «Аналитической справке о реализации отраслевого документа стратегического планирования» показателем, определяющим результативность развития минерально-сырьевой базы в части экономической и энергетической безопасности страны является соотношение прироста запасов полезных ископаемых и для трех групп полезных ископаемых определены целевые значения показателей:

- для первой группы (медь, никель, молибден, вольфрам и др.) — не ниже 50 %, что позволит поддержать достигнутые уровни добычи на протяжении многих десятилетий;

- для второй группы (золото, серебро, алмазы, цинк и др.) — недостаточно обеспеченных запасами месторождений на уровне 100 %;

- для третьей группы (уран, марганец, хром, титан, бокситы, редкоземельные металлы) — на уровне 75 %, а предельно допустимые — на уровне 50 %.

Отмечено, что достижение этих показателей будет обеспечено открытием месторождений с качественными рудами на основе внедрения усовершенствованных прогнозно-поисковых комплексов, а также разработки новых экономически эффективных технологий обогащения и переработки низкокачественного минерального сырья и вовлечения его в освоение.

Возникает вопрос: кем будет или должно быть обеспечено открытие новых месторождений и почему отсутствует добыча и оценка этих видов минерального сырья в недрах? В качестве показателя, характеризующего повышение инвестиционной привлекательности геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы, установлено отношение вложений внебюджетных средств на выполнение геологоразведочных работ к объему бюджетного финансирования.

Начиная с 2019 г., на каждый рубль бюджетного финансирования, вложенный в геологоразведочные работы, будет приходиться не менее 10 рублей средств недропользователей. Вновь возникает вопрос: а недропользователи знают, что разведывать и для каких полезных ископаемых?

В пункте 9 доклада отмечено, что в 2021 г. продолжена работа по совершенствованию механизма «заявительного» принципа предоставления права пользования недрами для геологического изучения недр за счет средств недропользователей. А каков принцип предоставления прав пользования недрами за счет бюджета?

К числу факторов, оказывающих негативное влияние на развитие минерально-сырьевой базы Российской Федерации, отнесено колебание мировых цен на минеральное сырье, падение доходов российских компаний, поступление средств в бюджетную систему, проявление негативной политической и экономической конъюнктуры, внешнее санкционное давление, ограничение рынков сбыта отечественной минеральной продукции, запреты на использование иностранной техники и технологий. К сожалению, не указано, что надо делать в этих условиях.

Выполненный аудиторами Счетной палаты РФ (М. Мень и А. Каульбарс) «Анализ воспроизводства минерально-сырьевой базы Российской Федерации в 2015–2019 гг.» выявил нормативные и управленческие проблемы, которые сдерживают развитие минерально-сырьевой базы страны [4].

В первую очередь — это несовершенство нормативно-правовой базы. Существующая регуляторная основа развития отрасли не отвечает современным требованиям.

Не принят ряд приоритетных законов, направленных на повышение инвестиционной привлекательности недропользования, обеспечение воспроизводства минерально-сырьевой базы, рационального использования и охраны недр. Не в полной мере регламентированы вопросы лицензирования, оценки прогнозных ресурсов полезных ископаемых и их классификации. Другая проблема — слабый приток частных инвестиций в геологическое изучение недр, особенно на ранних стадиях. Инвесторов останавливает отсутствие эффективных экономических стимулов и чрезмерно длительный процесс получения разрешительной документации на геологическое изучение недр — от 180 до 300 дней.

Еще один сдерживающий фактор — недостаточная доступность геологической информации. Значительная часть геологических отчетов, созданных в период СССР, остается засекреченной при том, что их тематика в настоящее время открыта. Кроме того, материалы исследований, проведенных до 2000 года, хранятся в основном на бумажных носителях и требуют перевода в электронный вид.

В то же время, несмотря на проблемы, в целом объем финансирования геологического изучения и воспроизводства минерально-сырьевой базы на протяжении последних лет растет. В 2015–2019 гг. он составил 1,8 трлн рублей, увеличившись за этот период в 1,2 раза. Причем 90 % финансирования — средства недропользователей. Однако вкладываются они преимущественно в разведку месторождений в районах с наибольшей концентрацией и доступностью запасов. Риски ранних стадий геологоразведки берет на себя федеральный бюджет. В результате по 197 из 228 разведанным твердым полезным ископаемым поиск и оценка запасов вообще не проводится. Это касается и стратегических видов, потребность в которых Россия в значительной мере удовлетворяет за счет импортных поставок.

Ими был сделан вывод: *«При всем богатстве и многообразии минерально-сырьевая база России в ее нынешнем состоянии имеет риски стагнации и не может служить драйвером экономического роста. Потенциал «поискового задела» для наращивания минерально-сырьевой базы ограничен из-за недостаточной геологической изученности недр. Сегодня среднемасштабным картированием охвачено только 24,1 % территории страны. Для дальнейшего развития геологической отрасли не хватает передовых технологий, инвестиционной привлекательности, современного нормативного регулирования, цифровизации и открытости геологической информации».*

В качестве объектов экспертно-аналитического анализа выделены следующие объекты:

- Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации;
- Министерство промышленности и торговли Российской Федерации;
- Министерство экономического развития Российской Федерации;
- Министерство финансов Российской Федерации;
- Федеральная налоговая служба;
- Федеральное агентство по недропользованию;
- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский федеральный геологический фонд»;
- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»;
- Акционерное общество «Росгеология».

Предложено направить информационные письма Счетной палаты Российской Федерации Президенту Российской Федерации и в Правительство Российской Федерации, а отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия — в Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации и Государственную Думу Федерального Собрания Российской Федерации.

Приведенные краткие результаты анализа позволяют выделить два важных вопроса. Во-первых, какие из девяти объектов экспертного аналитического мероприятия за что отвечают и кто координирует их деятельность. Во-вторых, когда и в какой форме будут устранены отмеченные экспертами недостатки, изложенные в отчете экспертно-аналитического мероприятия, направленные в Высшие Государственные органы.

На состоявшемся 23–24 мая 2023 г. общем собрании президент РАН Г.Я. Красников отметил необходимость «изменения» сложившегося миропорядка, формирования новой структуры экономических и международных отношений.

Сегодня РАН становится для России стратегическим интеллектуальным ресурсом для решения приоритетных государственных задач, обеспечения технологического суверенитета, перехода экономики на инновационный путь развития. РАН начинает формировать Государственное задание на проведение фундаментальных исследо-

ваний по новым принципам. Дополнительно к публикационной активности вносится новый критерий — «востребованность научных результатов».

Одна из основных целей РАН — экспертное научное обеспечение деятельности органов Государственной власти. РАН объединяет специалистов высочайшей квалификации практически по всем направлениям деятельности и должна обеспечить экспертизу важнейших государственных решений, стратегических документов, программ и проектов.

В составе РАН действует 42 научных совета, в том числе Научный совет РАН по проблемам Горных наук (председатель акад. Захаров В.Н.) и Научный совет РАН по проблемам обогащения полезных ископаемых (председатель акад. Чантурия В.А.). В числе трех новых создан Межведомственный научный совет РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования (председатель акад. Алдошин С.М.) с целью содействия РАН в реализации задач, возложенных на нее Федеральным законом от 27 сентября 2013 г. №253-ФЗ «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и уставом РАН.

Совет является экспертным и научно-консультативным органом РАН. Совет создан в целях развития отечественной перспективной минерально-сырьевой базы, содействия в проведении научных исследований по обеспечению комплексного сопровождения геолого-разведочных работ, добычи и промышленной переработки твердых полезных ископаемых, а также ускоренного замещения импортных технологий и оборудования российскими аналогами.

Разрабатывается проект федеральной научной технической программы «Развитие минерально-сырьевой базы, технологий добычи и обогащения руд стратегических металлов, их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации».

В задачу ученых в области горных наук и специалистов горного дела в решении проблем комплексного освоения недр входит участие в разработке научно-технических программ развития минерально-сырьевой базы и обоснование технологий и объемов добычи и переработки утвержденных запасов минерального сырья конкретных месторождений твердых полезных ископаемых на территориях федеральных округов и субъектов Российской Федерации с учетом их

природно-климатических, геологических, горно-технических, социально-экономических и инфраструктурных условий организации горного производства.

На основе многолетних фундаментальных и прикладных исследований института по проблемам комплексного освоения запасов минерального сырья месторождений твердых полезных ископаемых сформулированы «Предложения Института горного дела УрО РАН по корректировке основных положений Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2050 г.», направленные в адрес Межведомственного совета РАН с готовностью принять участие в проведении исследований по разрабатываемой научно-технической программе.

Суть этих предложений сводится к следующему.

1. Минерально-сырьевая база отрасли, региона, предприятия — не только совокупность разведанных на определенной территории месторождений. При существующих подходах к оценке сырьевых ресурсов даже наличие апробированных балансовых запасов полезных ископаемых совсем не означает, что они будут отрабатываться в обозримом будущем. *Поэтому под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также средства и способы их добычи и переработки.*

2. К числу сложностей развития минерально-сырьевой базы следует отнести природно-климатические условия; недостаточное развитие или отсутствие энергетической и транспортной инфраструктуры; экологические ограничения, дефицит рабочей силы, сырья и материалов. Развитие МСБ должно быть увязано с перспективами освоения и социально-экономического развития территорий РФ, привязано к стратегии их сырьевого обеспечения и дополняться *принципом комплексного освоения территорий, сопровождающегося формированием минерально-сырьевых центров.*

3. Современный этап требует особое внимание *уделить не только добыче и глубокой переработке трудно извлекаемых запасов нефти, но и твердых полезных ископаемых*, а при разработке стратегии развития сырьевой базы обеспечить реализацию приоритетных программ отечественного машиностроения, металлургии, промышленности строительных материалов и других, основанных на опережающем изучении и комплексной оценке дефицитных месторождений твердых полезных ископаемых, углей, редких земель, драгоценных и благородных металлов и пр.

4. Стратегическими направлениями разведки, добычи и переработки полезных ископаемых следует полагать комплексное освоение минерального сырья для производства сталей с заданными свойствами (твердосплавными, нержавеющими, термостойкими, холодостойкими, износостойкими и пр.). Опережающие темпы освоения и переработки минеральных ресурсов должны обеспечивать сырьевое наполнение развиваемых и формируемых на территории РФ станкостроительных, машиностроительных, транспортных (морских, речных и железнодорожных), строительных и других промышленных кластеров, обеспечивающих импортозамещение и развитие прорывных технологий, в том числе технологий раздельной глубокой переработки по технологическим сортам и природным типам руд.

5. Стратегическим резервом являются минеральные ресурсы накопленных техногенных образований, извлечение и глубина переработки которых обосновывается экономически. Подлежат консервации опасные отходы, эффективная и безопасная технология утилизации которых не отработана. Индикаторами эффективности переработки техногенно-минеральных образований следует считать существенное сокращение (ликвидацию) отходов, образовавшихся в процессе вторичной переработки техногенного сырья, со снижением класса их опасности; наличие инженерных мероприятий, предотвращающих распространение текущих и прогнозируемых загрязнений.

В дополнение в адрес Председателя Межведомственного совета РАН направлено «Обоснование целесообразности участия ИГД УрО РАН в проведении исследований по разрабатываемой научно-технической программе», основанное на учете особенностей научного коллектива Института горного дела УрО РАН, состоящих в том, что коллектив освоил и развил научно-методологический потенциал, позволяющий полученные знания в результате фундаментальных исследований по программам Президиума РАН, ОНЗ РАН и УрО РАН, особенностей и закономерностей развития горного дела, выполнения интеграционных проектов в творческом сотрудничестве с учеными институтов горного профиля РАН, Института геологии и геохимии УрО РАН, Института металлургии УрО РАН и Института экономики УрО РАН, УГТУ, Минобрнауки РФ использовать при оценке состояния и разработки инновационных технических и технологических решений проблем комплексного освоения недр (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты исследований по конкурсным проектам ИГД УрО РАН
по Программам Президиума РАН и УрО РАН**

Программа	Проект	Основные результаты
Программа Президиума РАН № 27 «Фундаментальный базис инновационных технологий прогноза, оценки, добычи и глубокой комплексной переработки стратегического минерального сырья, необходимого для модернизации экономики России» 2012–2014 гг. (координаторы ак. Л.И. Леонтьев, ак. Д.В. Рундквист)	Проект «Разработка инновационных технологий добычи и рудоподготовки стратегического минерального сырья на основе геологотехнологической оценки месторождений и техногенных объектов Уральского региона» (рук. проф., д.т.н. В.Л. Яковлев)	Разработаны инновационные технологические процессы добычи и рудоподготовки с выявлением продуктов, характеризующихся накоплением ценных компонентов, пригодных для последующей комплексной переработки.
Программа № 3 ОНЗ РАН «Комплексное освоение недр Земли: новые методы разработки, обогащения многокомпонентных руд и углей в условиях кризиса» на 2009–2011 гг. (координаторы ак. К.Н. Трубецкой, ак. В.А. Чантурия)	Проект «Обеспечение устойчивого развития горного производства при освоении месторождений многокомпонентных руд и углей» (рук. проф., д.т.н. В.Л. Яковлев)	Систематизированы месторождения многокомпонентных руд Урала по признаку извлекаемой ценности руды с учетом оптимизации показателей извлечения и повышения качества добываемой руды, что позволяет выбирать наиболее эффективные системы разработки.
Подпрограмма № 11 «Фундаментальный базис инновационных технологий оценки, добычи и глубокой комплексной переработки стратегического минерального сырья» (коррдинатор член-корр. РАН В.Л. Яковлев). Комплексная программа фундаментальных исследований УрО РАН на 2015–2017 гг. (координатор ак. В.Н. Чарушин)	Проект № 15-11-5-7 «Исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при разработке инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья» (рук. проф., д.т.н. В.Л. Яковлев)	Развит методологический подход, основанный на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности в части исследования переходных процессов, которые являются этапами стратегии освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений при реализации принимаемых инновационных решений по адаптации горно-технической и организационно-технологической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования.

Программа междисциплинарных проектов фундаментальных исследований, выполняемых в Учреждении Российской академии наук Уральском отделении РАН в 2012–2014 гг. и финансируемых из средств Уральского отделения РАН в 2012–2014 гг.	Проект № 12-М-23457-2041 «Освоение недр Земли: перспективы расширения и комплексного освоения рудной минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала» (рук. проф., д.т.н. С.В. Корнилов).	Научное обеспечение и выработка поэтапной стратегии комплексного расширения и освоения минерально-сырьевой базы Урала по производству и переработке титаномagnetитовых и сульфидных руд во всех предметных областях геологоразведочного и горно-металлургического комплекса.
--	--	--

В настоящее время институт проводит исследования по теме, утвержденной Минобрнауки РФ «Разработка методологических основ стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых».

Институт имеет опыт организации и координации междисциплинарных исследований по проблемам комплексного освоения запасов месторождений полезных ископаемых.

Предложен перечень задач, которые могут быть предметом исследований:

1. Обоснование принципов проектирования технологий добычи и переработки руд стратегических металлов и разработка методов учета горно-технологических, природно-климатических, инфраструктурных особенностей и условий регионов освоения месторождений на основе принципов комплексного освоения территорий, сопровождающихся формированием минерально-сырьевых центров.

2. Реализация комплексного метода геолого-технологико-экономической оценки месторождений на основе:

- создания и использования совокупности геоинформационных моделей оцениваемых объектов;
- поэтапного технико-экономического обоснования параметров стратегий развития горнодобывающих предприятий;
- выявления системообразующих элементов минерально-сырьевой базы и формирования очередности вовлечения в отработку месторождений.

3. Технологический аудит на действующих горных предприятиях с целью разработки инновационных технологий добычи, рудоподготовки, обогащения и производства товарной продукции с учетом потребностей в сырье и ценовой перспективы.

4. Обоснование инновационных технологий добычи и переработки руд по технологическим сортам и природным типам, использования минеральных ресурсов накопленных техногенных образований, ликвидация негативных экологических последствий горно-обогатительного и металлургического производств.

5. Разработка стратегий и программ освоения и развития минерально-сырьевой базы субъектов РФ и крупных добывающих предприятий, основанных на принципах общегосударственного управления ресурсами и обоснование способов и технологий освоения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях с привлечением широкого круга специалистов в области геологии, горного дела, металлургии, экономики и экологии.

Заключение

На основе многолетних фундаментальных и прикладных исследований института по проблемам комплексного освоения запасов минерального сырья месторождений твердых полезных ископаемых сформулированы «Предложения Института горного дела УрО РАН по корректировке основных положений Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2050 г.».

Суть этих новых подходов сводится к следующему.

1. Под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также средства и способы их добычи и переработки.

2. Развитие минерально-сырьевой базы должно быть увязано с перспективами освоения и социально-экономического развития территорий РФ и дополняться принципом комплексного освоения территорий, сопровождающегося формированием минерально-сырьевых центров.

3. Технологии добычи и глубокой переработки твердых полезных ископаемых должны обеспечивать реализацию приоритетных программ отечественного машиностроения, металлургии и других отраслей промышленности на основе опережающего изучения и комплексной оценки дефицитных месторождений редких земель, драгоценных и благородных металлов и пр.

4. Предложен перечень научных задач, которые могут быть предметом дальнейших исследований института, включающий обоснование принципов проектирования технологий добычи и пере-

работки руд стратегических металлов и разработку методов учета горно-технологических, природно-климатических, инфраструктурных особенностей и условий регионов освоения месторождений, определенных другими исполнителями Программы междисциплинарных исследований в целях содействия развитию отечественной минерально-сырьевой базы, ускоренному замещению импортных технологий и обеспечению сырьевого и технологического суверенитета.

5. Оценка минерально-сырьевого потенциала недр Российской Федерации [5] должна быть пересмотрена с учетом изложенного в работах [2–3] методологического подхода при выделении приоритетных территорий для освоения месторождений стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации.

Список литературы

1. Козловский Е. А. Национальная безопасность в свете минерально-сырьевых проблем / Е. А. Козловский // Маркшейдерия и недропользование. – 2011. – № 4 (54). – С. 3–10.

2. Яковлев В. Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов ; под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева. – Екатеринбург : УрО РАН, 2018. – 360 с. – DOI: 10.25635/IM.2018.18.37360.

3. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев. – Екатеринбург : УрО РАН, 2019. – 284 с. – DOI: 10.25635/IM.2020.54.57311.

4. Мень М. Анализ воспроизводства минерально сырьевой базы Российской Федерации в 2015–2019 гг. : отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия / М. Мень, А. Каульбарс ; Счетная палата Российской Федерации. – URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/b99/b998773313b87e724ed09f287754d180.pdf> (дата обращения: 20.07.2023).

5. Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации. В 2-х т. Т. 2. Минерально-сырьевой и стоимостный анализ / Минприроды РФ, Рос-недра ФГУП ; науч. ред. О. В. Петров. – Санкт-Петербург : Изд-во ВСЕ-ГЕИ, 2009. – 492 с.

О современных подходах к поддержанию и развитию минерально-сырьевой базы регионов

С.В. Корнилков, А.Н. Дмитриев, А.Е. Пелевин

Аннотация: Стратегическими направлениями научного обеспечения, разведки, добычи и переработки полезных ископаемых на ближайшую перспективу следует полагать комплексное использование минерально-сырьевой базы, обеспечивающее в том числе импортозамещение сталей с заданными свойствами. В связи с этим дано уточненное определение термина «минерально-сырьевая база». Обоснованы основные положения Концепции создания научно-производственного кластера «Спецстали с заданными свойствами», которая формируется на требованиях опережающего развития базовых отраслей промышленности. Предусматривается организация гибко перенастраиваемого производства для решения целевых задач по обеспечению промышленности легированными сталями разного состава. В связи с изложенным важными с точки зрения современных подходов к поддержанию и развитию отечественной минерально-сырьевой базы являются комплексные исследования перспектив развития и сырьевой базы горно-металлургического комплекса, а также разработка стратегий и методик глубокой переработки, утилизации, консервации и облагораживания накопленных техногенно-минеральных объектов. При этом формирование системы критериев и индикаторов оценки состояния защищенности горнопромышленных территорий как природно-технологических систем на разных этапах их жизненного цикла основывается на идеологии переходных процессов, параметры которых контролируются по данным геоинформационного мониторинга.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, комплексное освоение недр, конкурентоспособное производство, кластерный проект.

Благодарности: Статья подготовлена по материалам исследований в рамках Госзадания №075-00412-22 ПР. Тема 2 (2022-2024). «Раз-

работа геоинформационных технологий оценки защищенности горно-промышленных территорий и прогноза развития негативных процессов в недропользовании» (FUWE-2022-0002), рег. № 1021062010532-7-1.5.1.

Введение

Необходимо отметить, что в отличие от сложившегося понимания тер-мина, под минерально-сырьевой базой (МСБ) следует понимать не только совокупность разведанных и оцененных минеральных ресурсов, но и средства и способы их добычи и переработки. Именно поэтому развитие МСБ должно быть увязано с перспективами инфраструктурного освоения и социально-экономического развития территорий РФ, привязано к стратегии их сырьевого обеспечения и, помимо комплексного освоения недр, дополняется принципом комплексного освоения территорий, сопровождающегося формированием минерально-сырьевых центров.

Поэтому основными актуальными направлениями исследований является разработка инновационных технологий освоения месторождений твердых полезных, в том числе глубокозалегающих и трудноизвлекаемых, дополняемая изучением методов безопасности в недропользовании, управления производственными рисками при добыче, а также созданием геоинформационных систем оценки степени комплексной защищенности горнопромышленных территорий и прогноза развития негативных процессов.

Материалы и методы

Основными методами исследований, на базе которых подготовлен данный материал, является моделирование, пилотные исследовательские и предпроектные проработки, технико-экономический анализ. Выполненный анализ технических, экономических, экологических и социальных рисков отработки осваиваемых и эксплуатируемых месторождений, а также меры по их компенсации и предупреждению свидетельствуют о том, что их как открытая, так и подземная отработка достаточно эффективна, при определенных условиях минимизирует воздействие на экосистемы и может служить сырьевой базой для организации кластерных систем.

Результаты

В настоящее время импортозамещение практически во всех отраслях промышленности основано на приоритетном сырьевом

обеспечении и наполнении развиваемых и формируемых на территории РФ станкостроительных, машиностроительных, строительных и других промышленных кластеров. При этом их развитие обеспечивается совершенствованием и разработкой новых безопасных, экологически чистых технологий добычи и глубокой переработки минерального сырья, в том числе из трудноизвлекаемых запасов полезного ископаемого.

Стратегическими направлениями научного обеспечения, разведки, добычи и переработки полезных ископаемых на ближайшую перспективу следует полагать комплексное использование МСБ, обеспечивающее в том числе импортозамещение сталей с заданными свойствами (твердосплавными, нержавеющими, термостойкими, холодостойкими, износостойкими и пр.).

Для современного промышленного производства характерен высокий уровень межотраслевой кластеризации, поэтому, помимо реализации отраслевых стратегий, необходимо обеспечение ускоренного технологического развития по ряду ключевых, определяемых общими технологическими трендами и процессами формирования спроса межотраслевых направлений. Организационно-методическая основа создания научно-производственного кластера «Спецстали с заданными свойствами» основывается на «Сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года (утв. Распоряжением Правительства РФ от 6 июня 2020 г. № 1512-р), целью которой является формирование в Российской Федерации промышленного сектора с высоким экспортным потенциалом, способного конкурировать в глобальном масштабе, обеспечивающего достижение национальных приоритетов развития:

— **промышленности тяжелого, в том числе нефтегазового машиностроения** (приоритетные группы продукции: нефтегазовое, подъемно-транспортное, металлургическое и горное оборудование);

— **судостроительной промышленности** (приоритетные группы продукции: морские транспортные суда; транспортные суда класса «река — море»; суда рыбного промыслового флота; морская техника вспомогательного и технического флотов; научно-исследовательские суда; ледоколы, суда и морская техника для освоения шельфовых месторождений);

— **транспортного машиностроения** (приоритетные группы продукции: грузовые и пассажирские электровозы; грузовые, пас-

сажирские и маневровые тепловозы, магистральные газотурбовозы; маневровые газотепловозы; моторвагонный подвижной состав; пассажирские и грузовые вагоны);

— **железнодорожного транспорта** (масштабные проекты, предусмотренные Стратегией развития ж.д. транспорта: строительство Северо-Сибирской ж.д. магистрали — 1892 км по направлению Нижневартовск — Белый Яр — Усть Илимск, реализация проекта «Урал Промышленный — Урал Полярный», предусматривающего прокладку магистрали Полуночное — Обская — Бованенково — более 1 200 км, завершение строительства линии Томмот — Якутск — 450 км, а затем Лена — Ленск — 11 тыс. км и Хани — Олекминск — 450 км);

— **станкоинструментальной промышленности** (приоритетные группы продукции: металлорежущие станки и кузнечно-прессовое оборудование; инструментальная продукция; компоненты для металлообрабатывающего оборудования);

— **черной и цветной металлургии, а также промышленности редких и редкоземельных металлов** как сырьевой базы поставленных стратегических задач (приоритетные группы продукции черной металлургии: прокат черных металлов, листовой прокат, в том числе листовая бронева спецсталь; сортовой прокат, в том числе рельсобалочная продукция; холоднокатаный листовой прокат и листовой прокат с защитными покрытиями; стальные трубы). Увеличение выплавки легированных сталей с заданными свойствами стимулирует потребление редких и редкоземельных металлов на внутреннем рынке, в том числе в гражданских отраслях промышленности.

Концепция создания научно-производственного кластера «Спецстали с заданными свойствами» формируется на требованиях опережающего развития базовых отраслей промышленности. Для реализации этих положений в кластерную модель предполагается включить следующие блоки:

Блок 1: горно-обогатительное производство, готовящее руду для производства металлизированных окатышей и горячебрикетированного железа или сырья для плавки рядовой стали;

Блок 2: подготовительный цикл металлургического передела, обеспечивающий основное производство исходным сырьем (агломерат, рядовые и металлизированные окатыши, горячебрикетированное железо, сталь, сверхчистый лом) и другими расходными материалами и сырьем;

Блок 3: собственно металлургическое производство: металлургический завод по производству легированных сталей с заданными свойствами с привлечением легирующих компонентов (феррони-кель, ферромарганец, силикомарганец, феррохром и пр.);

Блок 4: обрабатывающее станкоинструментальное производство, производящее инструментальную продукцию; компоненты для металлообрабатывающего оборудования; листовую спецсталь; сортовой прокат, в том числе рельсобалочную продукцию;

Блок 5: научное, проектное, инжиниринговое и кадровое обеспечение проекта.

Ранее разработанный подход к обоснованию баланса производства минеральных ресурсов и их потребления для выпуска легированных сталей формируется исходя из предусматриваемого объема производства. Требования к исходному сырью, а также качество и агрегатное состояние легирующих агентов (промпродукт, концентрат, агломерат, окатыши) устанавливаются при планировании развития металлургического и машиностроительного комплекса на основании:

- сведений о текущей и прогнозируемой потребности машиностроительных заводов в легированных сталях;

- фактическом и прогнозируемом потреблении металлургическим заводом окатышей и высокочистого лома, а также легирующих элементов (никеля, хрома, марганца, ванадия, молибдена и пр.) и ферросплавов.

Это позволяет реализовать основные приоритетные направления развития станкоинструментальной промышленности в части увеличения выпуска легированных сталей с обеспечением:

- конкурентоспособного производства ключевых комплектующих и инструмента (пробивного, токарного, режущего и др.);

- повышения эффективности предприятий отрасли, в том числе в узкоспециализированных сегментах — производстве изделий из спецсталей;

- развития конкурентоспособных технологий в импортозамещающих сегментах.

Конечной продукцией кластерного развития проекта «Спецстали с заданными свойствами» является листовая бронева спецсталь; сортовой прокат, в том числе рельсобалочная продукция, а также инструментальная продукция и компоненты для металлообрабатывающего оборудования.

Выполненный анализ технических, экономических, экологических и социальных рисков отработки осваиваемых и эксплуатируемых месторождений, а также меры по их компенсации и предупреждению свидетельствуют о том, что их как открытая, так и подземная отработка достаточно эффективна, при определенных условиях минимизирует воздействие на экосистемы и может служить сырьевой базой для организации кластерных систем.

Подготовительный цикл металлургического передела ориентирован на обеспечение основного металлургического производства исходным сырьем:

- металлизированными окатышами и горячебрикетированным железом, стальным скрапом, сверхчистым ломом и пр.;
- легирующими компонентами (ферроникель, ферромарганец, силикомарганец, феррохром и пр.);
- другими расходными материалами и сырьем.

Поскольку железные руды зачастую принципиально различны, то и их последующее использование также существенно различается. Аглоруды и доменная руда могут быть с успехом потреблены при производстве передельного чугуна, который впоследствии может быть использован при производстве сталей, в том числе легированных, в то время как суперконцентрат является основой для производства металлизированных окатышей. Металлизация включает стадию окомкования железорудного концентрата и получение сырых окатышей, а также их упрочение за счет подсушки и обжига.

Организация полного цикла глубокой переработки руд на единой площадке имеет ряд особенностей и преимуществ. Преимущества схемы: минимальные транспортные расходы, так как все переделы находятся на одной площадке; возможность загрузки в сталеплавильный агрегат металлизированных окатышей непосредственно с установки металлизации. Использование собственного железорудного сырья позволит снизить суммарные затраты на выплавку высококачественных марок стали. Такая технология относится к категории «зеленых». Выплавку стали предусматривается производить в энергоэффективных дуговых электропечах, работающих на 100 % чистой электроэнергии.

Предусматривается организация гибко перенастраиваемого производства для решения целевых задач по обеспечению промышленности легированными сталями разного состава.

Производство легированных сталей с заданными свойствами включает в свой цикл продукцию российских предприятий по производству

ферросплавов. Для получения специальных марок стали необходимо привлечь такие легирующие добавки, как феррохром, ферросиликохром, ферросилиций, силикокальций, силикомарганец, ферромарганец. Легирование осуществляется также молибденом, никелем, ванадием.

Реализация **межрегионального кластерного проекта** может быть завершена в том числе созданием высокотехнологичного машиностроительного и станкоинструментального комплекса, производящего инструментальную продукцию; компоненты для металлообрабатывающего оборудования; листовую спецсталь; сортовой прокат, в том числе рельсобалочную продукцию и пр.

Блок научного, проектного, инжинирингового и кадрового обеспечения проекта (табл. 1) поддерживает организационную и технологическую инфраструктуру, способствующую эффективному созданию и внедрению новой техники и инновационных технологий.

Таблица 1

Научное, проектное, инжиниринговое и кадровое обеспечение проекта

Обеспечение кластера	Направление работ
Научное	Технология и безопасность горных и строительных работ
	Технология и безопасность обогатительного передела с производством концентратов требуемого качества
	Технология и безопасность металлургического передела и производства спецсталей
	Технология машиностроения
Проектное	Комплексные проекты отработки месторождений
	Комплексные проекты переработки минерального сырья
	Комплексные проекты металлургического производства
Инжиниринговое	Организация инновационной деятельности в области станкостроения и металлообработки
	Инновационная деятельность в области совершенствования технологий ведения горных работ, переработки добытого минерального сырья и металлургического передела
Кадровое	Подготовка и переподготовка специалистов по всем направлениям инженерной деятельности, в т.ч. металлургия, машиностроение
	Подготовка и переподготовка специалистов по всей номенклатуре специальностей, связанных с разведкой, добычей, эксплуатацией машин и механизмов и переработкой полезных ископаемых

Выводы

Предложенный подход основывается на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, сформулированных в трудах В.Л. Яковлева и развивающихся его коллегами. В связи с изложенным важными, с точки зрения современных подходов к поддержанию и развитию отечественной минерально-сырьевой базы, являются:

1. Комплексные исследования перспектив развития и сырьевой базы горно-металлургического комплекса, ориентированного на создание промышленных кластеров, потребляющих спецстали с заданными свойствами.

2. Обоснование стратегий, параметров и технологий освоения месторождений полезных ископаемых при формировании сырьевых комплексов в сложных природно-климатических условиях, в том числе районах Арктики, Дальнего Востока и др.

3. Обоснование параметров систем рудоподготовки, основанной на выделении и отработке руд по природным типам с целью повышения качества производимых концентратов и извлечения горнорудного сырья.

4. Перспективным подходом к поддержанию МСБ является оценка минеральных ресурсов накопленных техногенных образований, необходимость отработки и глубина переработки которых должна иметь надежное научное технико-экономическое обоснование.

5. Актуальной представляется разработка стратегий и методик глубокой переработки, утилизации, консервации и облагораживания накопленных техногенно-минеральных объектов (отходов), сформированных при ведении горных работ, обогащении и металлургии.

6. Немаловажным является формирование системы мониторинга и обоснования параметров технологий переработки и нейтрализации геогидроминеральных ресурсов, сформированных при закрытии или консервации горных предприятий за счет выщелачивания общешахтных и общекарьерных потерь и остатков некондиционных руд в процессе восстановления депрессионной воронки.

Формирование системы критериев и индикаторов оценки состояния защищенности горнопромышленных территорий как природно-технологических систем на разных этапах их жизненного цикла основывается на идеологии переходных процессов, параметры которых контролируются по данным геоинформационного мониторинга.

При этом информационное обеспечение развития сырьевой базы горно-металлургического комплекса должно сопровождаться:

1. Формированием геоинформационных систем, ориентированных на оценку безопасности природо- и недропользования, основанных на обработке комплексных данных геомеханического мониторинга территорий: контроля состояния дневной поверхности, деформаций массива, технического состояния объектов горного производства, провоцирующих развитие опасных ситуаций техногенного характера.

2. Проведением исследований, ориентированных на контроль и мониторинг качества и защищенности природной среды, в том числе пылегазовых выбросов, загрязнения поверхностных и подземных вод, самозараствания, контроля угнетенности биоты с использованием средств дистанционного зондирования на базе беспилотных летательных аппаратов, а также средств аэро- и космической съемки.

3. Развитием средств моделирования бизнес-процессов, в том числе создание цифровых двойников применительно к специфике горного производства с учетом накопленного опыта эксплуатации геоинформационных систем.

Список литературы

1. Яковлев В. Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В.Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов. – Екатеринбург : Уральское отделение РАН, 2018. – 360 с.

2. Планирование открытых горных работ : учебник для ВУЗов / С.В. Корнилков, О. В. Наговицын, Ю. О. Славиковская [и др.]. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 346 с.

3. Yakovlev V. L. Essentiality of integrated supervision of efficient mineral mining in Northern and Northeastern Russia / V.L. Yakovlev. – doi:10.1088/1755-1315/991/1/012009 // IOPConf. Series: Earth and Environmental Science 991. – 2022. – P. 012009.

4. Оценка самореабилитации территории Левихинского рудника по данным индекса NDVI / П. А. Рыбников, Л.С. Рыбникова, Д.А. Бузина, А.Ю. Смирнов // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения : материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (31 марта – 1 апреля 2022 г.) / Рос. академия наук, Ин-т геоэкологии им. Е. М. Сергеева; гл. ред. В.И. Осипов. – Москва : Геоинфо, 2022. – Вып. 23. – С. 422–427.

5. Аленичев В. М. Инновационная направленность ресурсосбережения при разработке россыпных месторождений / В. М. Аленичев, М. В. Аленичев. – DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_35 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–1. – С. 35–45.

6. Оценка возможности использования отходов производства при разработке мероприятий по иммобилизации тяжелых металлов / Н. Ю. Антонинова, Л. А. Шубина, К. В. Шепель, А. В. Собенин, А. И. Усманов. – DOI:10.25018/0236_1493_2022_51_0_46 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–1. – С. 46–55.

7. Дмитриев А. Н. Физико-химические основы переработки титано-магнетитового сырья – базы черной металлургии России / А. Н. Дмитриев, Ю. А. Чесноков, Г. Ю. Витькина // Физическая химия и технология в металлургии : сборник трудов, посвящ. 60-летию ИМЕТ УрО РАН / Институт металлургии УрО РАН ; ответственные редакторы Е. Н. Селиванов, А. В. Долматов. – Екатеринбург, 2015. – С. 294–300.

8. Кантемиров В. Д. Анализ эксплуатационных показателей горнодобывающего оборудования ведущих железорудных карьеров России / В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов, А. М. Яковлев. – DOI: 10.21440/0536-1028-2019-2-40-50 // Известия вузов. Горный журнал. – 2019. – № 2. – С. 40–50.

9. Salina V. A. Thermodynamic evaluation of the interphase distribution of elements in the chromium and nickel-containing system / V. A. Salina, O. V. Zayakin, V. I. Zhuchkov. – DOI:10.18502/kms.v5i1.3959 // Theoretical and practical conference with international participation and School for young scientists «FERROALLOYS: Development prospects of metallurgy and machine building based on completed Research and Development». – KnE Materials Science. – 2019. – P. 126–132.

10. Антонинова Н. Ю. К вопросу сохранения техногенных образований ГМК путем экологически безопасной консервации и восстановления ландшафтов / Н. Ю. Антонинова, Л. А. Шубина // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований : труды конгресса с международным участием и конференции молодых ученых "Техноген - 2019", Екатеринбург, 18–21 июня 2019 г. / Правительство Свердловской области, УрО РАН, ИМЕТ УрО РАН и др. – Екатеринбург : ИМЕТ УрО РАН, 2019. – С. 173–178.

11. Kirtikumar Randive. Innovations in Sustainable Mining. Balancing Environment, Ecology and Economy / Kirtikumar Randive [et al.]. – Springer, 2022. – 250 p. – DOI: 10.1007/978-3-030-73796-2.

12. Mohammad Shamsuddin. Physical Chemistry of Metallurgical Processes, Second Edition / Mohammad Shamsuddin. – Springer, 2022. – 608 p. – DOI: 10.1007/978-3-030-58069-8.

13. Chinnappan Baskar. Handbook of Solid Waste Management. Sustainability through Circular Economy / Chinnappan Baskar [et al.]. – Springer, 2022. – 2336 p. DOI: 10.1007/978-981-16-4230-2.
14. New Directions in Mineral Processing, Extractive Metallurgy, Recycling and Waste Minimization // An EPD Symposium in Honor of Patrick R. Taylor. – Springer, 2023. – 480 p. – DOI: 10.1007/978-3-031-22765-3.
15. Mostafa Mohamed Ali Elbeblawi et al. Surface Mining Technology. – Springer, 2022. – 344 p. – DOI: 10.1007/978-981-16-3568-7.
16. Mostaghimi K. Waste minimization towards waste management and cleaner production strategies: a literature review / K. Mostaghimi, J. Behnamian. – DOI: 10.1007/s10668-022-02599-7 // Environment, Development and Sustainability. – 2023. – Vol. 25. – P. 12119–12166.
17. Gonnova S. M. Scientific and Technological Development: The Binding Element of the CIS Countries (Based on the Example of Russia and Belarus) / S. M. Gonnova, E. Y. Razuvaeva & I. Y. Pivinskii. – DOI: 10.3103/S0147688218040044 // Scientific and Technical Information Processing, 2018. – Vol. 45. – P. 193–208.
18. Gao Jixiang. Scientific, Technological and Innovation Cooperation Between China and Russia in the New Era: Reshaping the Model and Choosing an Approach from the Perspective of Chinese Experts / Gao Jixiang Jiang Jing. – DOI: 10.1134/S1075700722060053 // Studies on Russian Economic Development. – 2022. – Vol. 33. – P. 656–662.
19. Komkov N. I. Analysis and Assessment of the Prospects for the Implementation of the Scientific and Technological Development Strategy of Russia / N. I. Komkov. – DOI: 10.1134/S1075700719050083 // Studies on Russian Economic Development. – 2019. – Vol. 30. – P. 530–539.
20. Technological Import Dependence of the Russian Economy: An Assessment Using Input-Output Tables / A. M. Kalinin, S. S. Koroteev, A. A. Krupin [et al.]. – DOI: 10.1134/S107570072101007X // Studies on Russian Economic Development. – 2021. – Vol. 32. – P. 52–58.

О роли горных наук и вкладе автора в разработку и реализацию стратегии освоения минеральных ресурсов России

В.Л. Яковлев

Минерально-сырьевой потенциал недр — это национальное богатство России.

В горно-геологическом аспекте минеральные ресурсы являются совокупностью выявленных в недрах скоплений (месторождения различных полезных ископаемых), в которых химические элементы и образуемые ими минералы находятся в повышенной концентрации в сравнении с кларковым содержанием в земной коре, обеспечивающей возможность их промышленного освоения.

Россия занимает одно из ведущих мест в мире по минерально-сырьевому потенциалу, который оценивается как достаточный для проведения независимой и эффективной экономической политики и обеспечения национальной безопасности. Важность добычи полезных ископаемых уже на ранних стадиях своего развития нашла отражение в научном подходе к решению проблем горного дела и металлургии. Первый русский академик М.В. Ломоносов в опубликованном в 1763 г. труде «Первые основания металлургии или рудных дел», являющемся фактически первым учебником горного дела в России, отметил: «Наука, которая учит минералы знать, приискивать и приводить в такое основание, чтобы они в обществе человеческом были удобны, называется горная наука».

Георг Агрикола (1494–1555) в историческом труде «О горном деле и металлургии», ставшем энциклопедией, дал полное представление об искусстве горного промысла в середине XVI века, а также высокую оценку значимости горного дела: «...великие выгоды и удобства приобретаются при добыче полезных ископаемых, горное дело приумножает достаток честными и достойными способами». В дополнение к этому следует привести слова Джона Локка (1632–1704):

«У страны без рудников есть только два пути к богатству: завоевание и торговля».

Справедливость этих слов подтверждается современным состоянием в мире международных отношений.

Под стратегией освоения месторождений принято понимать комплекс исследовательских взаимоувязанных мероприятий для экономически целесообразной и экологически безопасной добычи, переработки минеральных ресурсов и получения товарной продукции, использование которой способствует развитию экономики страны и служит сырьевой базой для перерабатывающих отраслей промышленного производства (энергетика, топливная промышленность, черная и цветная металлургия, химическая промышленность, машиностроение, строительство и др.).

Заканчивая краткую историческую справку о роли горного дела в жизни общества, приводим выдержку из труда В.В. Путина, который, еще не будучи президентом России, в «Записках горного института» (Санкт-Петербург, 1999) отмечал: «Устойчивое развитие экономики России в ближайшие годы должно базироваться... прежде всего, за счет минерально-сырьевого потенциала. Под устойчивым развитием... подразумевается гарантированное обеспечение экономической безопасности страны путем создания надежной минерально-сырьевой базы для удовлетворения текущих и перспективных потребностей экономики России с учетом экологических, социальных, демографических, оборонных и других факторов».

Понимание автором статьи важности решения проблем горного дела развивалось поэтапно:

1951–1956 гг. — учеба в Свердловском горном институте;

1956–1962 гг. — работа в проектно-институте Уралгипрошахт;

1962–1986 гг. — аспирантура и работа в Институте горного дела УФАН СССР (позднее ИГД МЧМ СССР);

1986–1995 гг. — работа директором Института горного дела ИГДС СО РАН (г. Якутск);

1995–2024 гг. — работа директором, а затем Советником РАН — главным научным сотрудником Института горного дела УрО РАН.

Основы будущих успехов в науке были заложены В.Л. Яковлевым в период учебы в Свердловском горном институте им. В.В. Вахрушева, который он с отличием окончил в 1956 г., где его учителями были известные ученые-горняки, геологи, механики: профессора А.С. Федо-

ров, М.Г. Новожилов, А.Е. Троп, А.А. Малахов, И.И. Русский, В.С. Хохряков, Б.А. Носырев и др.

В Свердловском горном институте В.Л. Яковлевым среди 33 изучаемых дисциплин среди прочих были сданы на «отлично» экзамены по таким дисциплинам, как геология, кристаллография и минералогия, гидрогеология, месторождения полезных ископаемых и их разведка, основы горного дела, буровзрывные работы, проветривание горных выработок и управление горным давлением, обогащение полезных ископаемых, горная электротехника, горная механика, маркшейдерское дело, экономика горной промышленности, техника безопасности, противопожарная техника и горноспасательное дело, разработка месторождений полезных ископаемых, горные машины, рудничный транспорт, рудная вентиляция и освещение, борьба с подземными пожарами, основы проектирования горных предприятий, организация и планирование горных работ, основы металлургии, инженерная геология, по которым в последующие годы обучение в таком объеме не проводилось.

Полученные знания были закреплены практиками: учебной геодезической, учебной геологической, производственной ознакомительной, производственной общерудничной, производственной специальной, преддипломной, в том числе на угольных шахтах и разрезах, на рабочих местах.

Дипломный проект «Доработка Шабровского талько-магнезитового месторождения» также был защищен на «отлично» с присвоением квалификации «горный инженер по специальности разработка месторождений полезных ископаемых», что в совокупности сыграло важную роль в дальнейшей научной инженерной деятельности.

Становление В.Л. Яковлева как горного инженера прошло в институте Уралгипрошахт, где за 6 лет он приобрел неоценимый опыт проектирования горных предприятий угольной и асбестовой промышленности с открытым способом разработки, одним из первых освоив на практике метод исследования режимов горных работ проф. Ржевского В.В. и овладев принципом системного подхода к решению технических, технологических и экономических задач горного производства. Он творчески решал сложные вопросы техно-логий горных работ и транспорта в проектах таких крупных карьеров, как Баженовские асбестовые, Коркинский, Богославские, Волчанские и Кушмурунские угольные.

В 1962 г. В.Л. Яковлев поступил в аспирантуру ИГД УФ АН СССР (позднее ИГД МЧМ СССР), а в 1966 г. защитил кандидатскую

диссертацию на тему «Исследование и выбор оптимальных режимов горнотранспортных работ рудных карьеров с помощью ЭВМ», в которой были изложены результаты принципиально нового в то время подхода к решению задач горного дела на основе методов экономико-математического моделирования и применения ЭВМ.

В.Л. Яковлев дал математическую формулировку задачи оптимизации технологического процесса горно-обогатительного комбината и на примере комплекса предприятий по добыче и обогащению асбестовых руд показал путь ее практической реализации.

Уже в первой своей публикации «К обоснованию применения комбинированного транспорта для вскрытия и подготовки новых горизонтов карьеров» (1964 г.) В.Л. Яковлев увязал вопросы эффективной эксплуатации различных видов транспорта с динамикой горных работ, а в монографии «Транспорт рудных карьеров» (1968 г.) обосновал закономерности формирования пространственных границ рационального применения отдельных видов транспорта и их комбинаций в карьерах.

В.Л. Яковлевым решена одна из наиболее сложных задач открытых горных работ — разработаны научные основы и методика сравнения и выбора видов карьерного транспорта при проектировании новых и реконструкции действующих горнодобывающих предприятий. Методика утверждена Минчерметом СССР, издана массовым тиражом, а головным институтом Гипроруда включена составной частью в «Единую методику проектирования горнорудных предприятий». Методика широко используется научными и проектными институтами.

В 1972 г. В.Л. Яковлев в соавторстве с М.В. Васильевым под редакцией академика Н.В. Мельникова опубликовал в издательстве «Наука» монографию «Научные основы проектирования карьерного транспорта» [1], в которой впервые в систематизированном виде было дано обоснование учета основных закономерностей и взаимосвязей транспортного процесса в динамике горных работ, приведены принципиальные положения методики выбора видов карьерного транспорта, а также алгоритм расчета оптимальной совокупности параметров погрузочного и транспортного оборудования для основных видов транспорта.

В работе [2] представлены основные положения общей стратегии формирования транспортных систем глубоких карьеров:

1. Ни один из видов карьерного транспорта не имеет совокупности технических, технологических и экономических достоинств, которые

позволили бы утверждать, что с его использованием без помощи других видов транспорта можно отработать хотя бы один глубокий карьер — одновременное или последовательное применение двух или более видов транспорта в самостоятельном или комбинированном использовании является объективно неизбежным.

2. Как при проектировании нового глубокого карьера, так и при его реконструкции транспортная система для всех этапов разработки должна рассматриваться и приниматься с учетом ее развития до конца разработки месторождения.

3. Последовательность формирования транспортной системы карьера должна согласовываться с общей закономерностью развития горных работ, порядком разработки месторождения, развитием схемы вскрытия, формированием рабочей зоны и грузопотоков руды и вскрыши в течение всего срока службы карьера.

4. При разработке глубоких карьеров необходима периодическая реконструкция системы вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций, однако она должна осуществляться таким образом, чтобы к моменту ликвидации действующей системы вскрывающих выработок, съездов, подъемников, попадающих в зону разноса борта, была сформирована другая система транспортных коммуникаций, чтобы обеспечить нормальную работу предприятия в период реконструкции карьера без снижения его производственной мощности.

С учетом этих положений были обоснованы параметры технологических схем транспорта и перспективы их развития на карьерах крупнейших горно-обогатительных комбинатов: Соколовско-Сарбайского, Оленегорского, Качканарского, Ингулецкого, Северного, Криворожского, Стойленского; для карьеров комбината «Ураласбест» и других дан научно-технический прогноз развития транспорта.

Большое влияние на становление В.Л. Яковлева как ученого, формирование его научных взглядов оказали не только своими научными трудами, но и личным общением академики АН СССР Н. В. Мельников, В.В. Ржевский, М.И. Агошков, член-корреспондент АН СССР А.О. Спиваковский, профессора М.В. Васильев, Б.В. Федоров, А.Н. Шилин, М.Г. Новожилов, Б.Н. Тартаковский, М.Г. Потапов, Б.Н. Юматов и многие другие ученые старшего поколения.

В монографии «Закономерности развития горного дела» (Якутск, 1992 г.) [3] в соавторстве с академиком АН Республики Саха (Якутия) С.А. Батугиным даны принципиально новая оценка особенностей

и тенденций развития горнодобывающей промышленности и рекомендации по развитию теории и практики освоения недр.

К числу особенностей отнесены:

1. Исчерпаемость и невозобновимость запасов конкретных месторождений полезных ископаемых.
2. Комплексность месторождений и минерального сырья.
3. Разнообразие природных условий разработки одноименных видов минерального сырья.
4. Индивидуальность технологических свойств и условий переработки минерального сырья.
5. Высокая природная изменчивость геологических параметров в пределах одного месторождения.
6. Многопроцессность горного производства, рассредоточенность и нестационарность активной части основных фондов.
7. Многообразие альтернативных способов обеспечения заданного объема выпуска продукции.
8. Нарастание информации о месторождении по мере его освоения и принятие основных решений в условиях неопределенности.

Из числа приведенных в монографии закономерностей следует выделить:

- уменьшение среднего содержания главного компонента в руде;
- запасы руды и металла — есть функция бортового содержания и времени;
- опережающий рост извлекаемых из недр объемов горной массы по сравнению с ростом объемов основного конечного продукта;
- повышение доли попутных компонентов в общей ценности минерального сырья и рост доли комплексных месторождений;
- расширение и смена номенклатуры источников минерального сырья и направление его использования;
- решающая зависимость технико-экономических показателей горных предприятий от природных условий.

Приведенные особенности и закономерности в дальнейшем нашли применение при разработке методологических основ стратегии инновационных технологий комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых [4, 14, 16–18].

В обоснование необходимости новых подходов к развитию теории и практики горного дела автор статьи в работе [4] приводит следующую информацию.

При всей древности истоков горного дела практика открытых горных разработок в современном их виде как комплексно механизированных предприятий насчитывает немногим более 40 лет, однако высокая интенсивность понижения горных работ (10– 5 м/год), рост производственной мощности карьеров и ГОКов (свыше 100 млн т горной массы в год) привели к существенному изменению горно-технических условий разработки месторождений, что требует постоянного изучения закономерностей и тенденций развития горного производства и разработки принципиально новых подходов к решению проблемы теории и практики горных работ. При этом в определенные периоды развития тех или иных отраслей горнодобывающей промышленности на фоне изменения горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений и социально-экономической обстановки применение методов экстраполяции установленных закономерностей для прогноза перспективных показателей горного производства становится невозможным.

Именно такой период переживают сейчас все горнодобывающие страны СНГ, в том числе Российская Федерация, поэтому к смене общественно-политического строя и хозяйственного механизма должен был быть приурочен пересмотр многих фундаментальных положений развития горного дела вообще и открытых горных разработок в частности.

Но если посмотреть на историю развития горного дела в мире и в бывшем СССР, то необходимость новых подходов к решению многих кардинальных вопросов стратегии развития горного дела, выбору направлений совершенствования техники и технологии горного производства вытекает и из объективных закономерностей, свойственных освоению невозобновляемых природных ресурсов, к которым относятся практически все виды минерального сырья.

В работе [5] приводится понятие и модель стратегии освоения и использования минеральных ресурсов. Описана роль металлургической и горнодобывающей отраслей промышленности в социально-экономическом развитии Урала и потребность в минеральном сырье. В предисловии к монографии Председателем объединенного Ученого совета по наукам о Земле УрО РАН академиком В.А. Коротеевым отмечено:

«Минеральное сырье составляет около 3/4 объема вовлеченных в промышленное производство природных ресурсов, из него производится более 90 % продукции тяжелой промышленности и свыше

85 % потребляемой обществом энергии. Добыча и переработка полезных ископаемых требует огромных капитальных вложений, поэтому правильный выбор стратегии освоения минеральных ресурсов является актуальной проблемой, особенно для России, занимающей 5-е место в мире по стоимости годовой продукции добывающих отраслей промышленности.

Урал является одним из наиболее богатых минеральным сырьем регионов страны, стоимость разведанных запасов, приходящихся на единицу площади, на порядок выше, чем в среднем по России, в большинстве субъектов Урала добыча и переработка минеральных ресурсов являются основой их социально-экономического развития. В складывающихся после распада СССР новых политических и социально-экономических условиях возникла необходимость разработки новых подходов к выбору долгосрочной стратегии освоения минеральных ресурсов, в частности, переход от отраслевого к региональному уровню решения этой проблемы с учетом рыночных отношений и мировых тенденций развития добывающих и перерабатывающих отраслей промышленности.

В монографии на основе анализа научно-технической литературы, многолетних собственных исследований авторов, а также с учетом опыта разработки региональной научно-технической программы «Руда Урала» изложены концептуальные положения и некоторые практические рекомендации по выбору стратегии освоения минеральных ресурсов Урала».

Промышленному освоению месторождений полезных ископаемых должна предшествовать многокритериальная оценка, в которой следует учитывать географические, геологические, горнотехнические, социально-экономические и экологические особенности мест расположения минеральных ресурсов с тем, чтобы обеспечить стабильное функционирование горно-добывающих предприятий, занятость населения и устойчивое положение на внутреннем и внешнем рынке.

В статье [6] рассмотрены фундаментальные и прикладные проблемы стратегии освоения недр на базе развития теории проектирования и совершенствования геотехнологических процессов разработки месторождений полезных ископаемых с учетом управления геомеханической ситуацией и обеспечения благоприятных экологических и экономических условий добычи полезных ископаемых.

В заключении статьи сделаны следующие выводы:

1. Освоение недр и использование минеральных ресурсов являются одними из важнейших направлений развития мировой экономики в целом и большинства стран, обладающих значительными запасами полезных ископаемых. Россия входит в число шести сырьевых стран (США, Китай, Австралия, ЮАР, Россия, Канада), которые производят 2/3 мирового объема продукции твердых видов минерального сырья.

2. В экспорте минерального сырья и продуктов его переработки из России доминирующую роль играют природный газ и сырая нефть (около 70 % по стоимости), в то же время доля руд черных металлов и угля, запасы которых огромны, явно недостаточна.

3. Учитывая, что Россия обладает по большинству видов минеральных ресурсов значительными разведанными запасами и имеет несомненные резервы их прироста, а также принимая во внимание, что по потреблению продуктов переработки минерального сырья на душу населения значительно отстает от развитых промышленных стран, дальнейшее развитие горнодобывающих отраслей промышленности и освоение недр должны стать приоритетным направлением экономической стратегии страны. Снижение объемов добычи большинства видов минерального сырья в России и странах СНГ за последние годы обусловлено политическими и социальными кризисами и не соответствует основным закономерностям развития мирового горного производства.

4. Современное состояние горнодобывающих отраслей промышленности России и стран СНГ (1998 г.) следует характеризовать как кризисное:

- объемы работ снизились почти в 2 раза, а численность работающих — на 10–15 %, количество оборудования на прежнем уровне, отсюда — себестоимость резко возросла;

- сбыта продукции нет, предприятия нерентабельны, зарплаты нет, налоги не платятся, нет возможностей содержать социальную сферу;

- недостаток средств на замену устаревшего оборудования и поддержание условий его безопасной эксплуатации приводит к многочисленным авариям и нарушениям технологических процессов;

- на большинстве предприятий сложилась неблагоприятная экологическая обстановка;

- сокращение объемов вскрышных и горноподготовительных работ в большей степени, чем объемов добычи, привело к резкому

снижению вскрытых и готовых к выемке запасов, в связи с чем может наступить досрочное выбытие из эксплуатации шахт и карьеров;

— отсутствие у предприятий средств на научные и проектные работы, с одной стороны, не позволяет решать вопросы технического прогресса, с другой, — в условиях резкого сокращения или даже прекращения, в частности у отраслевых институтов, бюджетного финансирования ведет к развалу квалифицированных коллективов ученых и проектировщиков.

5. Необходимо:

— определиться с собственниками горных предприятий, оставить лишь тех, кто заинтересован в долгосрочном эффективном освоении недр, права на которые принадлежат всем гражданам, проживающим на соответствующих территориях месторождений (субъектах федерации);

— разработать механизм государственного регулирования процессов эффективного и безопасного освоения недр как в стране в целом, так в отдельных субъектах федерации;

— разработать и реализовать планы реструктуризации с учетом опыта угольной промышленности, всех горнодобывающих отраслей и отдельных предприятий и объединений;

— разработать и осуществить меры обеспечения инвестиций в развитие горных предприятий из различных источников, включая кредиты отечественных и иностранных инвесторов, в том числе частных лиц, компаний, банков, субъектов федерации;

— для каждого предприятия разработать бизнес-план дальнейшего его развития, реструктуризации, технического перевооружения, а возможно, и закрытия, консервации с привлечением ведущих специалистов, практиков и ученых, горняков, экономистов и др.;

— уделить особое внимание вопросам комплексного освоения недр, использованию техногенного сырья, повышению качества продукции;

— на федеральном и региональном уровнях поддерживать науку, привлечь научные учреждения к разработке стратегии освоения недр и научно-технической политики в новых условиях социально-экономических реформ.

Изложенные в публикациях [7, 8, 10, 12, 13] методологические особенности освоения недр на современном этапе нашли применение в материалах изданной под ред. В.Л. Яковлева коллективной монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья» [14], авторам которой на конкурсе выдающихся научных работ 2022 г. Президиумом РАН присуждена

Премия имени академика Н.В. Мельникова в области комплексного освоения недр.

В монографии [14]:

- обоснована необходимость новых методологических подходов к решению проблем освоения недр;

- дано определение стратегии разработки глубокозалегающих крутопадающих месторождений с учетом нарастания геологической, горнотехнической и технико-экономической информации в динамике развития горных работ;

- выделены особенности освоения запасов месторождений в северных и приравненных к ним регионах, в том числе с учетом комплексного освоения территорий путем создания минерально-сырьевых центров;

- оценен ресурсный потенциал и перспективы развития минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала;

- рассмотрена технологическая возможность и экологическая эффективность вовлечения в эксплуатацию отходов добычи и переработки руд черных и цветных металлов;

- изложены принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров.

В структурном виде новые подходы сводятся к совокупному применению программно-целевых методов исследований на основе совокупного использования принципов: системности — раскрытия основных правил исследования, эксплуатации или освоения минерального объекта, выявления многообразных типов внешних и внутренних связей, влияющих на построение обобщенной модели его отработки; комплексности — исследования не только явлений и процессов разработки, но и возможности наиболее полного использования всех компонентов минерального сырья, освоения и развития территорий и регионов и пр.; междисциплинарности — объединения усилий в смежных областях научных знаний для разносторонней и эффективной оценки полезного эффекта и поиска нетрадиционных подходов к использованию богатств недр; инновационной направленности — обязательного требования обеспечить материализованный результат, получаемый от вложения средств в научные исследования, новую технику или технологию, в новые формы организации производства, труда, управления [8].

Задача выбора стратегии освоения недр должна решаться на нескольких иерархических уровнях (табл. 1) с учетом перспектив

инфраструктурного развития территорий, потребности в сырье, стратегии размещения основных добывающих и перерабатывающих производств, а также предприятий — производителей конечной продукции высших потребительских свойств.

Таблица 1

Цели и задачи выбора стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов

Уровни	Цели и задачи
Государство - мировые тенденции развития экономики, производства и потребления минерального сырья; - ресурсный потенциал (природный, в том числе недровый, материальный, энергетический, человеческий, финансовый и др.); - долгосрочная программа социально-экономического развития страны	- разработка законодательной базы (Закон о недрах); - разработка стратегии сырьевого обеспечения страны с учетом основных тенденций развития мировой экономики - выработка долгосрочной политики развития регионов, отраслей
Федеральный округ - роль и место округа в долгосрочной программе социально-экономического развития страны; - существующие и перспективные хозяйственные связи между субъектами федерации	- концепции развития горно-металлургического и топливно-энергетического комплексов; - схемы размещения и развития производительных сил на средне- и долгосрочную перспективу; - подзаконные акты о недропользовании - целевые программы кооперации
Регион - природный потенциал; - географические и социально-экономические особенности региона; - наличие утвержденных и прогнозных запасов полезных ископаемых; - сложившаяся структура развития субъектов региона и межсубъектных связей	
Субъект - долгосрочная программа социально-экономического развития; - сложившаяся структура производства; - ресурсный потенциал; - состояние и перспективы развития основных отраслей производства	
Недропользователь - программа развития и поддержания сырьевой базы; - наличие лицензий на право разработки месторождений; - финансовые возможности; - нормативно-законодательные акты о недропользовании	эффективная разработка месторождений (бизнес-планы, проекты, планы развития)

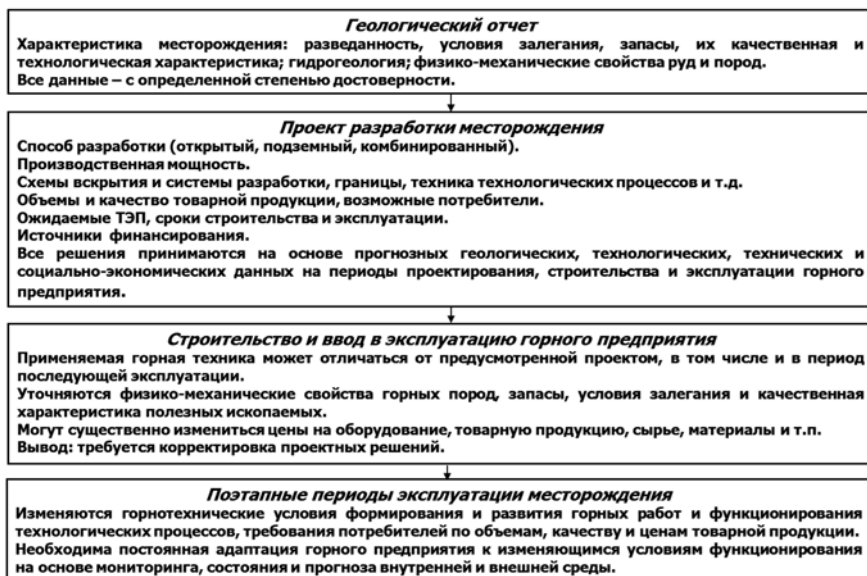
В монографии [15] дано обоснование развития программно-целевого метода исследований проблем освоения недр, основанного на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности путем введения принципиально нового понятия «переходные процессы», и методов учета их закономерностей при проектировании и разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых.

Обоснованы методы и этапы адаптации горнотехнических систем горных предприятий на основе исследования и систематизации основных факторов, определяющих изменение горнотехнических условий развития горных работ, предложены методы их учета при переходе на уточненные параметры основных технологических процессов горного производства.

Основы эффективного освоения месторождений полезных ископаемых закладываются на нескольких этапах формирования и развития параметров горных предприятий (табл. 2). Все приведенные в геологическом отчете данные о запасах и параметрах месторождения

Таблица 2

Этапы формирования основ эффективного освоения месторождений и параметров развития горных предприятий



являются прогнозируемыми с определенной степенью достоверности.

Методологический подход автора использован в совместных публикациях со специалистами проектирования, строительства и эксплуатации глубоких карьеров [9], при развитии организационно-технологической структуры угледобывающего предприятия в условиях переходных процессов [11].

При проектировании месторождения все решения принимаются на основе прогнозных данных на периоды проектирования.

При строительстве и вводе в эксплуатацию требуется корректировка проектных решений в связи с изменением применяемой горной техники, цен на оборудование и товарную продукцию, сырье и материалы, уточнением физико-механических свойств горных пород.

В поэтапные периоды эксплуатации изменяются горнотехнические условия формирования и развития горных работ.

Необходима постоянная адаптация горного предприятия к изменяющимся условиям функционирования на основе мониторинга состояния и прогноза параметров внутренней и внешней среды.

В качестве примера в статье [19] рассмотрены проблемы комплексного освоения недр Республики Саха (Якутия) и предложены пути их решения. Приведена оценка минерально-сырьевого потенциала месторождений Республики. Обоснована необходимость периодического пересмотра стратегии развития минерально-сырьевой базы России и методологии обоснования комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых с учетом изменения требований мирового рынка и внутренних потребностей. Обоснована целесообразность разработки Программы освоения и развития минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) на период до 2030–2050 гг.

Месторождения и горные предприятия по их разработке являются сложными многофакторными горно-технологическими комплексами, развивающимися в течение длительного времени (20–25 и более лет) в пространстве и во времени, и характеризующиеся как объекты исследования с большим массивом нарастающей информации — геологической, геометрической, экологической, технической, технологической, экономической, находящихся в сложной взаимосвязи, что предопределяет необходимость периодического поэтапного пересмотра ранее принятых при проектировании и эксплуатации решений на основе исследования переходных процессов с целью адап-

тации горно-технической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования.

Особо сложно осваивать глубокозалегающие сложноструктурные месторождения, когда, в связи с нарастанием информации о геологических параметрах залежей полезных ископаемых и вмещающих пород и с ростом глубины, требуется уточнять кондиции и пересчитывать запасы, изменять границы поэтапной разработки, переходить на новые технологии добычи и переработки минерального сырья.

Переходные процессы при разработке месторождений полезных ископаемых возникают в период реконструкции горных предприятий, диверсификации производства, освоения новых технологий, перестройки системы управления, изменения форм организации труда и при других преобразованиях.

Одной из главных причин необходимости исследования переходных процессов в технике и технологии горно-обогажительного производства минерального сырья является высочайшая степень зависимости от природной изменчивости геологических параметров глубокозалегающих сложноструктурных месторождений, информация о которых нарастает по мере развития горных работ, что требует создания стратегии управления этими процессами в течение всего срока их отработки.

Предлагаемый методологический подход, основанный на исследовании переходных процессов, является универсальным и может использоваться при проектировании освоения глубокозалегающих месторождений, планировании, организации и управлении добычей и рудоподготовкой минерального сырья на действующих горных предприятиях с учетом нарастания геологической информации, внедрения разработанных инновационных мероприятий, изменения параметров и показателей горнотехнической системы горного предприятия по мере развития горных работ.

Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2914-р от 22 декабря 2018 г. утверждена Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года.

Минприроды России было поручено разработать и утвердить в трехмесячный срок со дня вступления в силу данного распоряжения план мероприятий по реализации Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г. и обеспечить его выполнение, а также рекомендовано органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации в пределах своей компетенции

технологических, природно-климатических, инфраструктурных особенностей и условий регионов освоения месторождений, определенных другими исполнителями «Программы междисциплинарных исследований в целях содействия развитию отечественной минерально-сырьевой базы, ускоренному замещению импортных технологий и обеспечению сырьевого и технологического суверенитета».

5. Оценка минерально-сырьевого потенциала недр Российской Федерации должна быть пересмотрена с учетом изложенного в работах [14–15] методологического подхода при выделении приоритетных территорий для освоения месторождений стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации.

В дополнение в адрес Председателя Межведомственного совета РАН направлено «Обоснование целесообразности участия ИГД УрО РАН в проведении исследований по разрабатываемой научно-технической программе», основанное на учете особенностей научного коллектива Института горного дела УрО РАН, состоящих в том, что коллектив освоил и развил научно-методологический потенциал, позволяющий полученные знания в результате фундаментальных исследований по программам Президиума РАН, ОНЗ РАН и УрО РАН, особенностей и закономерностей развития горного дела, выполнения интеграционных проектов в творческом сотрудничестве с учеными институтов горного профиля РАН, Института геологии и геохимии УрО РАН, Института металлургии УрО РАН и Института экономики УрО РАН, УГГУ Минобрнауки РФ использовать при оценке состояния и разработки инновационных технических и технологических решений проблем комплексного освоения недр [20].

Список литературы

1. Васильев М. В. Научные основы проектирования карьерного транспорта / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев; под ред. Н. В. Мельникова. – Москва : Наука, 1972. – 202 с.
2. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев. – Новосибирск : Наука СО, 1989. – 238 с.
3. Батугин С. А. Закономерности развития горного дела / С. А. Батугин, В. Л. Яковлев; [отв. ред. и авт. предисл. Е. Н. Чемезов] ; ИГДС СО РАН. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 1992. – 116 с.

4. Яковлев В. Л. О новых подходах к развитию теории и практики открытых горных разработок / В. Л. Яковлев // Горное дело: проблемы и перспективы: сборник статей / ИГДС СО РАН. – Якутск, 1994. – С. 190–198.

5. Яковлев В. Л. Основы стратегии освоения минеральных ресурсов Урала / В. Л. Яковлев, С. И. Бурькин, Н. Л. Стахеев. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 1999. – 279 с.

6. Яковлев В. Л. Состояние, проблемы и перспективы развития горнодобывающей промышленности России и стран СНГ / В. Л. Яковлев // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения) : доклады международной конференции. В 4-х т. / ИГД УрО РАН. – Т. 4. – Екатеринбург, 1998. – С. 3–36.

7. Яковлев В. Л. Современные тенденции и особенности освоения месторождений полезных ископаемых в сложных горно-геологических и природно-климатических условиях / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилов // Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России : труды Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти Новопашина М. Д. (г. Якутск, 13 – 15 сент. 2011 г.). – Якутск : Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2011. – С. 16 –22. – (Программа Президиума РАН № 14 и ОНЗ РАН № 3. – 2011 г.)

8. Яковлев В. Л. Методологические особенности освоения недр на современном этапе / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилов // Вестник УрО РАН. Наука. Общество. Человек. – 2013. – № 4. – С. 43–49. – (Программа № 27 Президиума РАН).

9. Яковлев В. Л. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации глубоких карьеров / В. Л. Яковлев, А. М. Галкин, Р. М. Гусев ; под ред. В.Л. Яковлева. – Екатеринбург : УрО РАН, 2014. – 105 с.

10. Яковлев В.Л. Исторический опыт развития научных идей и методологических подходов к обоснованию технологий, параметров горных работ / В.Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2014. – № 3. – С. 15–26.

11. Яковлев В. Л. Развитие организационно-технологической структуры угледобывающего предприятия в условиях переходных процессов / В.Л. Яковлев, А. Б. Килин, В. А. Азев, Г. Н. Шаповаленко // Развитие угледобывающего производственного объединения: Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 12 (специальный выпуск 34). – С. 8–17.

12. Яковлев В. Л. Особенности методологического подхода к формированию транспортных систем карьеров при разработке сложноструктурных месторождений / В. Л. Яковлев, В. А. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2016. – № 1. – С. 65–70.

13. Яковлев В. Л. Особенности методологических подходов к исследованию, проектированию и планированию развития горнотехнических систем при освоении запасов месторождений полезных ископаемых / В. Л. Яковлев // Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера: Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 11 (специальный выпуск 24). – С. 138–145.

14. Яковлев В. Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов; под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева. – Екатеринбург : УрО РАН, 2018. – 360 с.

15. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов — новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев. – Екатеринбург : УрО РАН, 2019. – 284 с. DOI: 10.25635/IM.2020.54.57311.

16. Яковлев В. Л. Этапы становления и развития Уральской научной школы карьерного транспорта / В. Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2019. – № 1. – С. 23–38.

17. Яковлев В. Л. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений / В. Л. Яковлев. — DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_6 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5-1: Проблемы недропользования-1. – С. 6–19.

18. Яковлев В. Л. Основные этапы и результаты исследований по разработке методологических основ стратегии развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых / В. Л. Яковлев // Горная промышленность. – 2022. – Вып. 1S. – С. 34–45.

19. Яковлев В. Л. О необходимости разработки Программы комплексного освоения и развития минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) / В. Л. Яковлев // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2022. – Т. 27. – № 3 – С. 363–369.

20. Яковлев В. Л. Обсуждение назревшей проблемы особенности современного периода исследований по проблемам комплексного освоения недр и развития минерально-сырьевой базы России / В. Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2023. – № 3. – С. 21–34.

Особенности современного этапа исследований и решения проблем комплексного освоения георесурсов Дальневосточного Федерального округа*

В.Л. Яковлев

Аннотация: В статье изложена специфика природно-климатических условий освоения месторождений Северо-Востока России. Учен опыт сов-местного выполнения исследований ИГД УрО РАН и ИГД ДВО РАН по инте-грационным проектам. Приведены данные о состоянии, проблемах и пер-спективах использования минерально-сырьевой базы Дальневосточного фе-дерального округа. Сформулированы предложения по корректировке Стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ на период до 2035 г. с учетом актуализации ее положений при развитии на период до 2050 г. Предложен перечень задач, которые могут стать предметом дальнейших исследований с учетом комплексного освоения георесурсов Дальневосточного Федерального округа.

Ключевые слова: минерально-сырьевые ресурсы, комплексное освое-ние, минерально-сырьевая база, минеральное сырье, сложноструктур-ные место-рождения, стратегия, методология.

В силу специфики природно-климатических условий России и горно-геологических особенностей месторождений, их освое-ние требует больших материальных и трудовых затрат, в том числе на строительство и развитие транспортных коммуникаций, инфра-структуры, на применение оборудования в северном исполнении. Особенно это характерно для уже разрабатываемых и, в еще большей степени, подлежащих разведке и последующему освоению место-рождений Северо-Запада и Северо-Востока России, Полярного Урала, северных регионов Сибири.

* Статья подготовлена по материалам исследований по Госзаданию №075-10139-20-00. Тема № 0405-2019-0005.

Сегодня с сожалением приходится констатировать, что в России не завершена разработка государственной стратегии управления минерально-сырьевой составляющей жизнеобеспечивающего потенциала государства. Ресурсы недр, людские ресурсы и денежные средства не сведены в единый государственный комплекс, в единую структурную систему, целевой функцией которых стала бы безопасность страны и благосостояние проживающего не ее территории населения. Действующий закон о недрах не подкреплён регламентирующими подактами, инвестиционная политика не стимулирована на поддержку и развитие собственной сырьевой базы и металлургических производств, экспорт сырья превратился в важную составляющую экономического сектора страны. В то же самое время металлургический комплекс испытывает значительный дефицит в рудном сырье, машиностроение — в металле с повышенными качественными показателями, наука — в поддержке развития прорывных и наукоемких технологий.

Стратегия как долгосрочная политика развития минерально-сырьевой базы (МСБ) государства является ступенчатой структурой, в которой переплетаются интересы трех основных недропользователей — государства, региона, прямого недропользователя. Их общим интересом является укрепление и развитие сырьевой составляющей экономики, их пути и возможности разные. Государство обеспечивает законодательно-правовую основу — фундамент стратегии; регион разрабатывает концепцию развития промышленных и социальных комплексов на своей территории; прямой недропользователь в рамках законодательных актов осуществляет разработку месторождений полезных ископаемых. При этом его интересы очевидны и просты — извлечь максимальную выгоду при отработке месторождения, не вступая в противоречие с законодательством.

Задача государственных структур также очевидна и проста — обеспечить поступление в государственную казну дивидендов от сдачи в эксплуатацию общенародного достояния — богатств Недр. Эти отношения регулируются нормативно-правовыми актами.

По сравнению с топливно-энергетическими видами минерально-го сырья — нефтью, газом, конденсатом, каменным и бурым углем — твердые полезные ископаемые (металлы и неметаллы) характеризуются весьма скромными стоимостными показателями, тем не менее при формировании центров экономического роста минерально-сырьевого комплекса России твердые полезные ископаемые имеют приоритетное значение.

Промышленно-экономический уровень развития современных государств, по утверждению специалистов, определяется масштабами потребления не столько чугуна и стали, сколько редких металлов. Редкие металлы — это своего рода витамины промышленности, и передовая современная промышленность невозможна без редких элементов. Все сверхмагнитные, сверхлегкие, сверхтвердые, сверхжаростойкие и высокопрочные конструкционные материалы в наши дни создаются на основе или с использованием редких элементов. Никакие ресурс- и энергосберегающие технологии неосуществимы без редких элементов. Сейчас насчитываются многие тысячи областей эффективного использования редких металлов как в военной, так и в гражданских областях промышленности.

Учет особенностей условий залегания месторождений полезных ископаемых (природные условия, изменчивость геологических параметров, комплексность, индивидуальность технологических свойств) и исследование закономерностей их освоения (рост объемов и глубины разработки, решающая зависимость технико-экономических показателей от природных условий) особенно характерны для уже разрабатываемых, а также для подлежащих разведке и последующему освоению месторождений Дальневосточного Федерального округа (ДФО).

Институтом горного дела УрО РАН в выполненных интеграционных проектах совместно с ИГД ДВО РАН в 2009–2011 гг. и в 2012–2014 гг. систематизированы основные сложности освоения месторождений Севера и Востока России и обоснованы научные принципы и теоретические основы формирования минерально-сырьевых центров Севера Урала и Дальнего Востока [1, 2], которые в дальнейшем нашли отражение в монографиях [3, 4].

Многие виды твердых полезных ископаемых, сосредоточенных в Сибири и на Дальнем Востоке, включены государством в разряд стратегических и обеспечивают минерально-сырьевую, геополитическую и национальную безопасность и обороноспособность страны.

В соответствии со Справкой о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Дальневосточного Федерального округа на 15.03.2023 в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости первое место занимает добыча полезных ископаемых — 27,1 % [5–10].

Все субъекты ДФО являются приоритетными геостратегическими территориями, а Республика Саха (Якутия) и Чукотский АО также вхо-

дят в состав другой приоритетной геостратегической территории — Арктической зоны РФ (АЗРФ).

Площадь приоритетных геостратегических территорий, входящих в состав АЗРФ, составляет 32,7 % от площади округа, а средняя плотность населения 0,05 чел/км². Это подчеркивает уникальные особенности освоения запасов минерального сырья в Арктической зоне.

ДФО — важнейший минерально-сырьевой регион России, он занимает лидирующие позиции по запасам и по добыче алмазов, урана, золота, серебра, олова, вольфрама, бора и плавикового шпата.

К сожалению, обеспеченность запасами многих месторождений полезных ископаемых ограничена в пределах 3 – 5 – 10 – 15 лет, то есть менее 27 лет, которые остались до 2050 г., до которого продлен срок развития МСБ России, определенный в 2018 г. Распоряжением Правительства РФ до 2035 г.

В справке, подготовленной ФБГУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения государственного задания Федерального агентства по недропользованию и Заместителем Председателя Правительства РФ — полномочным представителем Президента РФ в ДФО Ю.П. Трутневым, отмечено, что предпосылки расширения минерально-сырьевой базы региона значительны, однако есть и проблемы в воспроизводстве и использовании МСБ:

1. Несмотря на выделяемые значительные суммы на развитие Дальнего Востока, для полноценной реализации ресурсного потенциала региона и рационального использования его недр необходима более активная инвестиционная стратегия в развитии геологоразведочной деятельности. На сегодняшний день ряд иностранных компаний не только ведет операционную деятельность по добыче и переработке полезных ископаемых, но и проявляет инвестиционную активность в сделках слияний и поглощений в горнодобывающей отрасли. Иностранные инвесторы представлены из таких стран, как Канада, США, КНР и Индия. Однако в отечественной горнодобывающей отрасли по-прежнему существует ряд ограничений, препятствующих ее развитию.

2. Крайне медленно осваиваются недавно разведанные месторождения, в частности золоторудные Наталка и Майское. Необходимо ужесточить требования к недропользователям в части выполнения лицензионных соглашений.

3. Значительно сократилось в федеральных государственных геологоразведочных предприятиях региона число высококвалифицированных специалистов, способных самостоятельно выполнять проекты

геологического изучения недр различных масштабов. Государство предлагает программу по привлечению специалистов из других регионов, но ее масштаб и условия участия уже сейчас свидетельствуют о необходимости принятия новых мер, направленных на привлечение кадров и создание новой системы подготовки и переподготовки специалистов в соответствии с требованиями работодателей.

В табл. 1 приведено состояние минерально-сырьевой базы ДФО по запасам и добыче в % к общероссийским на 2011 г., в табл. 2 — современное состояние по балансовым запасам Хабаровского и Приморского края на 01.01.2021, а в табл. 3 — Республики Саха (Якутия), которые свидетельствуют о том, что по многим видам минерального сырья добыча не производится, в том числе по тем видам, по которым до распада СССР добыча осуществлялась [11].

Таблица 1

Состояние минерально-сырьевой базы ДФО по запасам и добыче полезных ископаемых в % соотношениях к РФ (на 2011 г.)

Полезные ископаемые (ед. измерения)	Запасы по ДФО	% к запасам России	Добыча по ДФО	% к добыче по России
Полезные ископаемые Дальнего Востока по запасам и добыче, составляющие более 50 %, соответственно, по отношению к РФ				
Горючие полезные ископаемые				
Шельфы Охотского, Японского морей				
Нефть (млн т)	384, 893	48,41	11,699	94,11
Газы горючие (млрд м ³)	1496,887	13,51	21, 301	48,44
Конденсат (млн т)	115,045	42,93	2,128	55,79
Драгоценные и поделочные камни				
Алмазы (млн кар)	1028,4873	81	42,3885	100 %
Металлические полезные ископаемые				
Благородные металлы				
Золото (кг)	5675550	33	115355	Более 50
Серебро (т)	40668,8	30	1150,1	Более 50
Черные металлы				
Марганец (т. т)	18497	100	-	
Цветные металлы				
Свинец (тыс. т)	2800,6	9	16,3	63
Вольфрам (т)	522930	23	3225	87
Олово (т)	2463740	92	527	100
Ртуть (т)	31646	64,7	-	-
Сурьма (т)	231964	65,6	5958	60,4

Таблица 2

Современное состояние минерально-сырьевой базы месторождений
Хабаровского и Приморского края

Минеральное сырье	Балансовые запасы	Добыча
Уголь	6,0 млрд т	12,4 млн т
Уран	3,9 тыс. т	-
Железные руды	0,1 млрд т	-
Марганец	-	-
Медь	5,53 млн т	3,9 тыс. т
Свинец	1,02 млн т	13,5 тыс. т
Цинк	1,6003 млн т	-
Олово	786,5 тыс. т	4,8 тыс. т
Вольфрам	256,6 тыс. т	2,6 тыс. т
Титан	0,4 млн т	-
Редкоземельные металлы	-	-
Золото	793 т	29,7 т
Серебро	7,4 тыс. т	95,9 т
Платина	28,8 тыс. т	0,3 т
Графит	0,5 млн т	
Плакиковый шпат	8,1 млн т	-
Цементное сырье (ДФО)	4725,5 млн т	2,8 млн т

Таблица 3

Современное состояние минерально-сырьевой базы месторождений
Республики Саха (Якутия) на 01.01.2020/01.01.2021

Минеральное сырье	Балансовые запасы	Добыча	Прогнозные ресурсы P_1
1	2	3	4
Уголь	<u>14,3 млрд т</u> 14,2 млрд т	<u>18,0 млн т</u> 26,4 млн т	<u>44,1 млрд т</u> 44,6 млрд т
Алмазы	<u>838,9 млн кар</u> 810,7 млн кар	<u>33,3 млн кар</u> 31,6 млн кар	<u>346,8 млн кар</u> 346,8 млн кар
Железные руды	<u>7,3 млрд т</u> 7,3 млрд т	—	<u>1,7 млрд т</u> 1,7 млрд т
Олово	<u>764,4 тыс. т</u> 764,2 тыс. т	—	<u>359,1 тыс. т</u> 359,1 тыс. т
Вольфрам (WO_3)	<u>132,4 тыс. т</u> 132,4 тыс. т	—	<u>4,4 тыс. т</u> 4,4 тыс. т

Таблица 3, окончание

1	2	3	4
Молибден	<u>41,6 тыс. т</u> 41,6 тыс. т	—	<u>12,8 тыс. т</u> 12,8 тыс. т
Золото	<u>1796,8 т</u> 1701,3 т	<u>51,7 т</u> 64,3 т	<u>743,8 т</u> 751,6 т
Серебро	<u>19,5 тыс. т</u> 19,0 тыс. т	<u>154,4 т</u> 265,1 т	<u>21,5 тыс. т</u> 21,5 тыс. т
Фосфатные руды P ₂ O ₅	<u>85,6 млн т</u> 85,6 млн т	—	<u>42 млн т</u> 42 млн т
Редкоземельные металлы	<u>8,5 млн т</u> 8,5 млн т	—	<u>0,5 млн т</u> 0,51 млн т
Уран	<u>382,8 тыс. т</u> 382,8 тыс. т	<u>34 т</u> 19 т	<u>0 тыс. т</u> 0 тыс. т
Нефть	<u>600 млн т</u> 700 млн т	<u>16 млн т</u> 17,3 млн т	<u>2,1 млрд т</u> 2,8 млрд т (прогнозир. ре- сурсы D ₁ +D ₂)
Газ	3104,7 млрд куб. м 3141,3 млрд куб. м	<u>6,9 млрд куб. м</u> 14,8 млрд куб. м	<u>10,5 трлн куб. м</u> 10,4 трлн куб. м (прогнозир. ре- сурсы D1+D2)

На примере рассмотрения проблем комплексного освоения недр Республики Саха (Якутия) дана оценка минерально-сырьевого потенциала месторождений Республики. Обоснована необходимость периодического пересмотра стратегии развития минерально-сырьевой базы России и методологии обоснования комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых с учетом изменения требований мирового рынка и внутренних потребностей. Обоснована целесообразность разработки Программы освоения и развития минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) на период до 2030–2050 гг. [12].

В соответствии с данными Государственного доклада «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году» [11], Республика Саха (Якутия) располагает значительными балансовыми запасами угля, алмазов, железных руд, олова, вольфрама, молибдена, золота, серебра, фосфатных руд, урана, нефти и газа, однако многие из видов минерального сырья (железные

руды, олово, вольфрам, молибден, фосфатные руды, редкоземельные металлы) не добываются.

Президиум РАН Постановлением от 13.06.2023 № 123 утвердил положения о Межведомственном научном совете РАН по развитию минерально-сырьевой базы и его состав. В состав совета входят члены ДВО РАН (И.Ю. Рассказов) и УрО РАН (В.Л. Яковлев), что позволит, с учетом опыта совместного выполнения интеграционных проектов, продолжить творческое сотрудничество при проведении исследований в разрабатываемой Межведомственным советом федеральной научно-технической программе «Развитие минерально-сырьевой базы и технологии добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации».

В адрес Межведомственного совета РАН направлены Предложения ИГД УрО РАН по корректировке основных положений Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г., утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2914-р от 22 декабря 2018г., сформулированные на основе многолетних фундаментальных и прикладных исследований [3, 4], и по перечню задач, которые могут быть предметом исследований с учетом особенностей комплексного освоения георесурсов Дальневосточного Федерального округа.

С методологической точки зрения у утвержденной (но не реализуемой) «стратегии» есть два недостатка:

- в ней нет механизма (методики) реализации в принципе правильно сформулированной идеи, целей и задач выбора стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов;

- основное внимание уделено геологическому изучению недр и оценке современного состояния с обеспеченностью разведанными запасами различных видов минерального сырья, без учета геолого-технологического-экономических, природных и социально-экономических условий комплексного освоения месторождений сырьевых регионов России.

На основе анализа методологических подходов к обоснованию технологий и параметров горных работ, а также результатов фундаментальных и прикладных исследований ИГД УрО РАН, в том числе по проектам Программ РАН, сформулированы предложения по актуализации положений Стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ на период до 2050 г.

1. Под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также средства и способы их добычи и переработки.

2. Стратегия освоения и социально-экономического развития территорий РФ должна дополняться принципом комплексного освоения территорий, сопровождающегося формированием минерально-сырьевых центров.

3. При разработке стратегии развития минерально-сырьевой базы следует обеспечить реализацию приоритетных программ отечественного машиностроения, металлургии, и других, основанных на опережающем изучении и комплексной оценке дефицитных месторождений твердых полезных ископаемых, углей, редких земель, драгоценных и благородных металлов и пр.

4. Стратегическим резервом являются минеральные ресурсы накопленных техногенных образований, извлечение и глубина переработки которых обосновывается экономически.

К числу основных научно-организационных мероприятий по эффективному освоению недр рекомендуется разработка региональных Программ освоения и развития минерально-сырьевой базы федеральных округов и субъектов РФ на период до 2030–2050 гг., основанных на принципах общегосударственного управления ресурсами и обоснования способов и технологий освоения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях, с привлечением широкого круга специалистов в области металлургии, экономики, геологии, обогащения, горного дела и экологии, включающих:

- геолого-эколого-технологическую оценку месторождений, находящихся в эксплуатации, проектируемых, подлежащих доразведке и последующему освоению с учетом оцененных ресурсов и запасов;

- выделение объектов первоочередного освоения по основным видам минерального сырья с учетом состояния и перспектив развития инфраструктуры, отдавая предпочтение комплексному освоению территорий путем создания минерально-сырьевых центров;

- технологический аудит на действующих горных предприятиях с целью разработки инновационных технологий добычи, рудоподготовки, обогащения и производства товарной продукции с учетом потребности в сырье и ценовой перспективы;

- восполнение и расширение сырьевой базы, основанное на безусловной гарантии получения лицензии на добычу и переработку полез-

ных ископаемых предприятиям и организациям, финансировавшим геологическое изучение недр в интересах социально-экономического развития территорий.

Важнейшими элементами стратегии рационального освоения минеральных ресурсов, требующими дальнейшего исследования, являются:

1. Научный анализ минерально-сырьевой базы регионов по профилирующим видам полезных ископаемых на основе исследований закономерностей распределения и условий формирования месторождений различных типов с целью выбора дефицитных видов минерального сырья.

2. Исследование характерных особенностей качества основных полезных ископаемых и попутных компонентов для оценки возможностей применения наиболее эффективных технологий переработки сырья с максимальным выходом товарного продукта при минимальных затратах.

3. Обоснование эффективных технологий добычи и переработки различных видов полезных ископаемых регионов с оценкой стоимости работ.

4. Исследование и выбор эффективных систем организации и управления горнодобывающими предприятиями.

Учитывая исключительную важность проблемы комплексного освоения недр сырьевых регионов, следует рассматривать ее как межведомственную с привлечением академических и отраслевых институтов и соответствующих управлений субъектов ДФО, в том числе Республики Саха (Якутия).

Задача состоит в том, чтобы на всех уровнях от государственного до недропользования предусмотреть в стратегии развития МСБ России до 2050 г. геолого-технологического-эколого-экономическую оценку минерально-сырьевого потенциала всех федеральных округов, конкретных субъектов и месторождений.

Список литературы

1. Систематизация условий размещения и освоения природных и техногенных объектов минерального сырья Уральского и Дальневосточного федеральных округов / В.Л. Яковлев, С.В. Корнилов, Ю.В. Лаптев, Ю.А. Мамаев, А.П. Ван Ван-Е, Г.Ф. Скларова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва : Горная книга. –

2013. – ОВ 4: Дальний Восток. – С. 257 – 272. – (Конкурсные проекты 12-С-5-1008 и 12-П-УО-08-016 ДВО РАН)

2. Перспективы комплексного освоения месторождений на основе формирования минерально-сырьевых центров Уральского и Дальневосточного регионов / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков, А. П. Ван-Ван-Е, В. С. Литвинцев, Г. Ф. Склярова, Н. А. Лаврик. // Проблемы недропользования. – 2014. – № 3. – С. 38–46.

3. Яковлев В. Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В.Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов ; под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева. – Екатеринбург : УрО РАН, 2018. – 360 с. – DOI: 10.25635/IM.2018.18.37360

4. Яковлев В.Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев. – Екатеринбург : УрО РАН, 2019. – 284 с. – DOI:10.25635/IM.2020.54. 57311.

5. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Дальневосточного федерального округа на 15.03.2021 г. (справка подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2021 г. № 049-00016-21-00). URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202104/c7b093284dc7ede9f597dbe834e37688.pdf?ysclid=luqic3qluo32895316>. (дата обращения: 2.04.2024)

6. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Дальневосточного федерального округа на 15.03.2023 г. (справка подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 10.01.2023 г. № 049-00017-23-01)

7. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) на 15.03.2021 г. (справка подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2021 г. № 049-00016-21-00). URL: <https://www.rosnedra.gov.Ru/data/Fast/Files/202104/feb154b18af6584ca00ae9931b9a34d1.pdf?ysclid=luqifkeg65426130221> (дата обращения: 2.04.2024).

8. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) на 15.03.2023 г. (справка подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 10.01.2023 г. № 049-00017-23-01)

9. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Арктической зоны РФ на 15.03.2021 г. (справка подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного за-

дания Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2021 г. № 049-00016-21-00). URL: https://narfu.ru/upload/iblock/f60/48_5_28.pdf?ysclid=luqikjpbsp637671051 (дата обращения: 4.04.2024)

10. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Арктической зоны РФ на 15.03.2023 г. (справка подготовлена ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках выполнения Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 10.01.2023 г. № 049-00017-23-01)

11. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году : Государственный доклад / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Москва, 2021. – 572 с.

12. Яковлев В. Л. О необходимости разработки Программы комплексного освоения и развития минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) / В.Л. Яковлев // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2022. – Т. 27, № 3 – С. 363–369.

Проблемы комплексного освоения георесурсов Дальневосточного Федерального округа

И. Ю. Рассказов, А. Н. Шулюпин, Ю. А. Архипова

Аннотация: Проведен анализ минерально-сырьевой базы по основным видам полезных ископаемых Дальневосточного Федерального округа (ДФО). Показаны запасы, добыча и доля их в общероссийском балансе. Отмечено, что эффективное освоение природных ресурсов является основой развития экономики крупного макрорегиона, при этом особое значение имеет комплексное освоение. Рассмотрен вид экономической деятельности «добыча полезных ископаемых» и его влияние на основные социально-экономические показатели региона. Обосновано, что экономическая целесообразность эффективного недропользования определяется качеством минерально-сырьевой базы, рыночным спросом, наличием транспортной и энергетической инфраструктур, профессиональным корпоративным управлением, научным обоснованием, развитием отечественной перерабатывающей промышленности, использующей продукцию добывающего комплекса, и другими факторами. Представлены сведения о ведущих полезных ископаемых для каждого субъекта, входящего в состав ДФО, значимых инвестиционных проектах горно-добывающей отрасли и отмечены проблемы, присущие минерально-сырьевому комплексу. Среди отмеченных проблем превалирует низкий уровень комплексного использования минерального сырья.

Обоснована необходимость корректировки Стратегии развития минерально-сырьевой базы России до 2035 г., т.к. в ней присутствует ряд недостатков: отсутствие механизмов ее реализации, дорожной карты по выполнению поставленных целей; недостаточность финансирования работ, направленных на геологическое изучение территории России и ее континентального шельфа; отсутствие учета геолого-технологического-эколого-экономических условий комплексного освоения ме-

сторождений и др. Отмечено, что новый проект Стратегии развития МСБ до 2050 г. должен учитывать новые экономические реалии и все-сторонние рекомендации по ее улучшению.

Сделан вывод о том, что в условиях существенного обострения геополитического положения России приобретает важное значение оценка потенциала пространственной реализации всех звеньев по переработке сырья и получения готового продукта. Необходима проработка дальнейших шагов по определению отраслевых приоритетов (в частности в МСК) регионов ДФО в рамках совершенствования положений документов стратегического планирования федерального и регионального уровней.

Ключевые слова: минерально-сырьевые ресурсы, рациональное использование, инвестиции, месторождения, стратегия развития.

Дальневосточный федеральный округ (ДФО) обладает большими запасами разнообразных полезных ископаемых. Ведущими являются свинец, цинк, висмут, сурьма, олово, вольфрам, золото, серебро, уран, алмазы, плакиковый шпат, борные руды. Лидирующее положение округ занимает по добыче урана, алмазов, цветных и благородных металлов, плакикового шпата (табл. 1) [1]. Эффективное освоение этих ресурсов является основой развития экономики ДФО и имеет исключительно важное значение как для самих субъектов, так и для России в целом. Вопросы комплексного освоения природных ресурсов являются актуальными для ДФО, в который сегодня входят 11 субъектов РФ. Для большинства из них добыча полезных ископаемых (ДПИ) входит в отрасли экономической специализации, занимая в структуре промышленности от 45–50 % (Амурская и Еврейская автономная области) до 85–90 % (Якутия и Чукотка, Магаданская и Сахалинская области). Поэтому комплексность использования минеральных ресурсов, роста цепочки переработки и увеличения добавленной стоимости в минерально-сырьевом комплексе (МСК) определяет успешность развития всей региональной экономики [2].

Рассматривая основные социально-экономические показатели развития ДФО в целом за период 2019–2022 гг. следует отметить, что валовый региональный продукт (ВРП) по виду экономической деятельности ДПИ составляет 16–24 % от общего ВРП макрорегиона (табл. 2). В структуре валовой добавленной стоимости (ВДС) ДФО (рис. 1) наибольшую долю занимает ДПИ (27 %). Индексы физического объема и промышленного производства, как и объем отгруженных

Таблица 1

**Запасы, добыча и доля основных видов полезных ископаемых ДФО
в общероссийском балансе на 01.01.2022 г. [1]**

Полезные ископаемые (ед. измерения)	Запасы по ДФО*	% к запа- сам по РФ	Добыча по ДФО**	% к добы- че по РФ
Горючие полезные ископаемые				
Нефть, в т.ч. шельф (млн т)	582,46	1,87	17,3	3,4
Свободный газ, в т.ч. шельф (млрд м³)	3441,8	4,83	45,39	4,1
Конденсат, т.ч. шельф (млн т)	201,1	6,95	2,45	6,7
Уголь (млн т)	25254,2	12,8	82,08	20,7
Драгоценные камни				
Алмазы (тыс. карат)	638886	76,6	31554,40	78,4
Металлические полезные ископаемые				
Благородные металлы				
Золото (т)	4451,57	49,9	280,2	63,9
Серебро(т)	32302,3	57,05	1559,4	67,7
Черные металлы				
Железные руды (млн т)	5266,867	9,1	19,245	5,3
Цветные металлы				
Свинец (тыс. т)	5515,7	56,5	69	24,5
Вольфрам (т)	616618	66,18	3033	100
Цинк (тыс. т)	23458,5	58,1	92,5	20,1
Олово (т)	1544738	97,8	6267	100
Висмут (т)	10147,1	63,2	780	93,6
Сурьма (т)	127669	90,4	9338	91,11
Ртуть (т)				
Радиоактивные элементы				
Уран (т)	239019	73,7	2055	77,86
Неметаллические ПИ				
Плавиковый шпат (тыс. т)	21767	89,84	75	98,7

* -запасы (кат. А+В1+С1)

Таблица 2

**Основные показатели социально-экономического развития ДФО
за период 2019–2022 гг. [3, 4]**

Показатель	Ед. из-мер.	2019	2020	2021	2022
Валовый региональный продукт по ДФО	млрд р	5970,6	6037,5	7593,7	5003,7
Валовый региональный продукт по ДПИ	млрд р	1162,04	1145,82	1239,57	1189,06
Доля отрасли ДПИ в ВРП	%	19,46	18,97	16,32	23,76
Индекс физического объема ВРП к предыдущему году	%	103	98,1	106,5	99,8
Индекс физического объема ВРП и ВДС по ДПИ	%	102,9	98,1	108,3	95,9
Индекс промышленного производства по ДПИ	%	106,2	96,4	100,8	94,2
Объем отгруженных товаров собственного производства по ДПИ к предыдущему году	%	106,6	93,0	138,9	116,9
Инвестиции в основной капитал	млрд р	1660,7	1668,4	2025,6	2512,4
Инвестиции в основной капитал по ДПИ	млрд р	480,58	312,37	396,29	530,99
Доля инвестиций в основной капитал по ДПИ	%	28,9	18,72	19,56	21,13
Среднегодовая численность занятых по ДПИ	тыс. чел.	147,8	146,2	152,6	160,7
Степень износа основных фондов по ДПИ	%	55,7	59,3	61,1	58,2
Налог на добычу полезных ископаемых	млрд р	178,99	137,85	157,46	146,24

товаров собственного производства по ДПИ, показывают нестабильность. Конечно, 2020–2022 гг. отмечены событиями, значительно повлиявшими на развитие мировой и отечественной экономик, в том числе на сферу полезных ископаемых, вследствие колебаний цен на сырье, слабый курс рубля, пандемии и др. Доля инвестиций в основной капитал по ДПИ составляет 18–29 % от общих. В 2022 г. инвестиции составили 530,99 млрд руб., что на 33,7 % больше, чем в 2021 г.



Рис. 1. Отраслевая структура валовой добавленной стоимости ДФО за 2021 г., %

Динамика их связана с реализацией ряда крупных региональных проектов и общей государственной политикой, предусматривающей значительные льготы для инвесторов в дальневосточную экономику, при этом приток инвестиций в ДФО превышает общероссийские показатели. По показателю «среднегодовая численность занятых в отрасли» отмечается его рост, хотя на данный момент продолжает существовать дефицит кадрового потенциала специалистов в сфере добычи сырья. Особое внимание привлекают данные по степени износа основных фондов, которые превышают 55 %. Годовые данные по налогу на добычу полезных ископаемых (НДПИ) не показывают однозначного роста, при том что данный налог остается одним из основных источников доходов бюджетной системы Российской Федерации и, несмотря на ряд реализуемых преференциальных режимов, для Дальнего Востока.

Практика освоения месторождений полезных ископаемых показывает, что экономическая целесообразность недропользования определяется качеством минерально-сырьевой базы (МСБ), рыночным спросом, наличием транспортной и энергетической инфра-

структур, профессиональным корпоративным управлением, научным обоснованием, развитием отечественной перерабатывающей промышленности, использующей продукцию добывающего комплекса, и другими факторами. Особое значение имеет обеспечение сбалансированного воспроизводства полезных ископаемых. Осознание значимости минеральных ресурсов для обеспечения экономики и национальной безопасности привело правительство России к разработке государственной программы (стратегии) развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г., определен и утвержден перечень стратегических минеральных ресурсов, готовится проект стратегии развития минерально-сырьевой базы на период до 2035 г. с горизонтом планирования до 2050 г.

Сегодня в субъектах ДФО уже реализуется и подготовлен ряд крупных инвестиционных проектов в отрасли ДПИ, как готовых к промышленному освоению, так и требующих геологического изучения [5, 6].

***Сведения о ведущих ПИ субъектов ДФО,
значимых инвестиционных проектах горнодобывающей отрасли,
проблемах МСК***

Республика Саха (Якутия). Ведущими являются: нефть, газ, гелий, уголь, уран, олово, сурьма, золото, серебро, алмазы.

Проект по освоению Сиваглинского месторождения железных руд. Балансовые запасы составляют 20,7 млн т при бортовом содержании железа 15 %. Из них доменные руды, не требующие обогащения, составляют 8,7 млн т со средним содержанием железа 55,69 %. Проектная мощность — до 1 млн т в год выпуска продукции. Необходимые инвестиции — 2229 млн руб. Требуется инвестор.

Проект по созданию угольного кластера на базе месторождения «Сыллахское». Требуемые инвестиции — 15700 млн руб. Производственная мощность от 1800 тыс. т руды в год, 73 683 т концентрата в год [7]. Требуется инвестор.

Кроме этих проектов, имеются и те, которые направлены на геологическое изучение и освоение участков недр, месторождений. Развитие новых направлений формирования минерально-сырьевой базы и горнодобывающей промышленности потребует крупных капиталовложений. В работе [8] автор выделяет, что для обеспечения развития МСК республики необходимо: осуществить переход от экстенсивного вовлечения в хозяйственный оборот все новых запасов минеральных

ресурсов к комплексному, экологически безопасному, в том числе на основе глубокой переработки сырья; определить стратегию развития минерально-сырьевой базы по важнейшим видам полезных ископаемых и предприятиям горнодобывающей промышленности; обеспечить ресурсосбережение в процессе комплексного освоения МСБ и др.

Хабаровский край. Ведущими являются: уголь, золото, олово, платина.

Планируемый к реализации проект строительства горно-обогатительного комплекса «Нони», всего инвестиций 2,4 млрд руб., требуется софинансирование — 2 млрд руб. Мощность 160 тыс. т золотосодержащей руды/год (800 кг в год), 3100 кг серебра/год; инвестиционное предложение по поискам, разведке и освоению месторождений нефти и газа на шельфе Охотского моря, прилегающих к территории Хабаровского края и др.

Для устойчивой работы горнорудной промышленности в регионе подготовлены запасы и имеются ресурсы для пяти видов рудных полезных ископаемых: драгоценных металлов (золото и серебро), железорудного сырья, меди, урана. Как отмечает автор работы [9], для региона нет единой программной основы долгосрочного развития не только недропользования и горнодобывающей отрасли хотя бы южной части ДФО. Отсутствует координация между программными документами по направлениям, источникам финансирования и срокам. И совсем речи не идет о создании горно-металлургической индустрии в регионе, богатом рудными ресурсами.

Приморский край. Ведущими являются: уголь, свинец, цинк, вольфрам, олово, рассеянные элементы (германий), борные руды.

Край имеет уникальное географическое положение и гораздо более широкие возможности для развития экономики по сравнению с соседними дальневосточными регионами, горнодобывающая промышленность не является базовой [10]. И составляет всего 0,9 % от общего промышленного производства [11].

В то же время разработаны проекты по глубокой переработке концентратов руд цветных металлов, редкоземельных элементов. И как отмечено в работе [12], присутствуют проблемы в воспроизводстве и использовании МСБ: истощение активных разведанных запасов эксплуатируемых месторождений в старых горнорудных районах; низкий уровень комплексного использования минерального сырья, недостаточная эффективность применяемых технологий добычи и переработки ПИ и др.

Еврейская автономная область (ЕАО). Ведущими являются: железные и марганцевые руды, брусит, графит, плавленый шпат, золото.

В структуре промышленного производства ДПИ составляет 5 %. На сайте инвестиционного портала ЕАО в сфере ДПИ только один проект — строительство завода по производству горячебрикетированного железа (ГБЖ) по технологии MIDREX, с содержанием железа более 95 %. Требуемые инвестиции — 59,4 млрд руб. Статус проекта — инвестиционное предложение [13].

К основным проблемам, ограничивающим развитие МСК ЕАО, специалисты относят истощение запасов россыпного золота, олова, марганцевых руд; недостаточность масштабов работ, связанных с геологоразведкой; наличие инфраструктурных ограничений, прежде всего в энергетической и транспортной сферах; недостаток квалифицированной рабочей силы и т.д.

Амурская область. Ведущими являются: золото, уголь, титан, железо, цеолиты, драгоценные и поделочные камни.

Проект освоения Гаринского месторождения железных руд и строительство ГОКа. Требуемые инвестиции — 10,7 млрд руб. Проектная мощность — 10 млн т руды, 7,25 млн т промышленного продукта. Проведены работы по заверке запасов месторождения и разведке близлежащих площадей, технологические исследования, инженерно-геологические и экологические изыскания. Уточнены и посчитаны запасы руд. Статус — поиск инвестора.

Основные проблемы: в структуре МСК области отсутствуют стадии глубоких переделов, в том числе они не планируются и по новым проектам; истощение запасов россыпного золота; недостаточное финансирование работ по воспроизводству МСБ; отсутствие проведения поисковых, оценочных и разведочных работ на коренные месторождения и для перевода в запасы прогнозных ресурсов россыпей; недостаточная развитость инфраструктуры; нехватка квалифицированных кадров; несовершенство законодательной базы и системы лицензирования и др. [14].

Забайкальский край. Ведущими являются: уголь, уран, медь, золото, серебро, сурьма, мышьяк, молибден, вольфрам, висмут, цеолиты, плавленый шпат, турмалин.

Реализуемый проект освоения уникального Удоканского месторождения меди с дальнейшим созданием на его базе минерально-сырьевого кластера. В 2023 г. произведен первый медный концентрат. Производительность комбината составит до 15 млн т руды

в год с выпуском 150 тыс. Вторую очередь ГМК «Удокан» планируется запустить к 2028 г.

Перспективный проект освоения Завитинского месторождения лития предусматривает строительство горно-обогатительного комбината с производством 75 тыс. т литиевого концентрата в год. Проект решит вопрос по импортозамещению литиевой продукции в России. Создание 128 рабочих мест. Предварительный объем инвестиций — более одного млрд рублей.

Основные проблемы в сфере геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы: недостаточное финансирование геоло-горазведочных работ; недостаточная геологическая изученность, затрудняющая процесс привлечения инвестиций в разработку перспективных месторождений полезных ископаемых нераспределенного фонда недр; дефицит кадров в геологоразведочной и горнорудной отраслях; недостаточная развитость инфраструктуры; несовершенство законодательной базы и системы лицензирования в геологоразведочной и добычной отраслях и др.

Камчатский край. Ведущими являются: уголь, газ, конденсат, медь, никель, золото, серебро, платиноиды, термальная вода, пароводяная смесь.

Создание горно-металлургического комбината на Озерновском золоторудном месторождении производительностью до 610 тыс. т руды в год (проект реализуемый). Объем инвестиций — 13,6 млн руб. Новых рабочих мест — 600 ед. В 2022 г. добыто 1126 кг золота. Ведется подготовка к запуску второй очереди горно-металлургического комбината и золотоизвлекательной фабрики.

Имеется ряд проектов, находящихся в статусе «поиск инвестора» либо «законсервирован».

МСБ золота Камчатского края осваивается с отставанием, более чем в 2 раза по сравнению с принятой «Стратегией развития добычи и переработки минерально-сырьевых ресурсов в Камчатском крае на период до 2025 г.», что связано с традиционной ориентацией экономики региона на освоение рыбных ресурсов, экологическими проблемами, слабо развитой инфраструктурой и недостатками инвестиций. Одной из злободневных остается кадровая проблема, обусловленная низкой оплатой труда специалистов, занятых на объектах недропользования и слабым пополнением горнодобывающей отрасли молодыми специалистами. Также незавершенность и нескоординированность природоресурсного и природоохранного

законодательства как на федеральном, так и на региональном уровнях [15].

Магаданская область. Ведущими являются: золото, серебро, уголь.

Перспективен проект по освоению золоторудного месторождения «Игуменовское». Бюджет — 5900 млн руб. Потребность во внешних инвестициях — 5200 млн руб. Требуется инвестор. В настоящее время проект находится на стадии геологического изучения. Построенная обогатительная фабрика находится на консервации.

Транспортная инфраструктура Магаданской области развита недостаточно. При этом территория обладает огромным минерагеническим потенциалом, но для его реализации требуется существенное увеличение объемов как региональных геологических и металлогенических исследований, так и поисково-разведочных работ. К настоящему времени освоено всего около 27 % территории области, пределах которой производится добыча золота и серебра. Оставшиеся 73 % приходятся в основном на слабо изученные [16]. Ряд специалистов указывают на то, что следует изменить монометалльную направленность геологоразведочных и добычных работ, вернуться к переоценке запасов разведанных или частично разведанных месторождений олова, меди, свинца, цинка, молибдена, вольфрама. Часть из них может оказаться инвестиционно привлекательными.

Республика Бурятия. Ведущими являются: уголь, уран, цинк, свинец, вольфрам, молибден, кадмий, золото, нефрит, кварцевый песчаник, плакиковый шпат.

Реализуемый проект по строительству нового высокоэффективного современного предприятия (горно-обогатительного комбината) по добыче и переработке руд на базе полиметаллического, преимущественно свинцово-цинкового месторождения Озерное. Реализует проект АО «Озерная горно-рудная компания». Общие инвестиции составляют 90700 млн руб., 77500 млн руб. из них вложены компанией. Создаваемые рабочие места — 2400. Проектная мощность — более 6 млн т полиметаллических руд в год.

Реализуемый проект по опытно-промышленной добыче урана методом скважинного подземного выщелачивания. Проект «Хиагда» направлен на промышленную отработку урановых месторождений с целью производства полиураната аммония, так называемого «желтого кека», и дальнейшего получения коммерческого продукта закиси-окиси урана. Реализует проект АО «Хиагда». Общие инвестиции

составляют 95090 млн руб. Создаваемые рабочие места — 646. Проектная мощность — более 1000 т урана в год.

Проблемы, сдерживающие развитие горнодобывающей промышленности: несмотря на наличие многочисленных разведанных и подготовленных к эксплуатации месторождений различных видов минерального сырья, их промышленное освоение идет низкими темпами [17]; недостаточная геологическая изученность, отсутствие инфраструктуры, некомплексное извлечение минерального сырья, дефицит квалифицированных кадров.

Сахалинская область. Ведущими являются: нефть, газ, гелий, уголь, уран, олово, сурьма, золото, серебро, алмазы.

Основной вклад в объем промышленного производства вносит сфера деятельности ДПИ — 89,3 % и формируется в основном за счет добычи нефти и природного газа, угля.

Перспективным по освоению твердых ПИ является инвестиционный проект создания предприятия по производству ренийевого, германиевого и индиевого концентратов на базе месторождения Вулкан Кудрявый, расположенном на острове Итуруп. Ранее проведенные исследования показали, что наиболее эффективный способ улавливания рения — использование схемы получения концентрата в рукавном фильтре (в виде сухого продукта). Этот способ обеспечивает более 70 % извлечения рения, а полученный концентрат содержит до 2100 г/т рения, 490 г/т селена, 180 г/т теллура, 80 г/т индия, 20 г/т германия, а также цветные металлы. Стоимость проекта составляет 2,5 млрд руб. [18].

Основные проблемы воспроизводства МСБ: сохраняется тенденция падения добычи запасов минерального сырья, сопровождаемая количественным и качественным снижением уровня геологоразведочных работ по их воспроизводству. В настоящее время в республике востребованы и отрабатываются месторождения золота, алмазов, природного газа, нефти, строительных материалов. Как разведочные, так и эксплуатационные работы сталкиваются с общими трудностями в экономике Сибири и Дальнего Востока. Прекращены или резко сокращены геологоразведочные работы на все виды минерального сырья за исключением углеводородов, по развитию которых имеются политические решения, связанные со строительством нефтепровода Восточная Сибирь — Тихий океан. Инфраструктура нефтегазовых месторождений только развивается, они еще не имеют выхода на потребителя (страны АТР). Необходимые нефте- и газопроводы только строятся [19].

Чукотский автономный округ. Ведущими являются: нефть, газ, уголь, олово, ртуть, золото, серебро.

Реализуемый инвестиционный проект по освоению Баимской рудной площади (медно-порфирового месторождения Песчанка) на территории Билибинского района. Первый этап проекта разработки месторождения предполагает строительство ГОКа перерабатывающей мощностью 30 млн т руды и производством 700 тыс. т медного концентрата, 5,4 тыс. т молибденового концентрата и 8,6 т золота в концентрате в год. Ввод в эксплуатацию предприятия запланирован на 2024 г., выход на проектную мощность — на 2025 г.

Основные проблемы освоения МСБ: сложные климатические условия, слабо развитая инфраструктура, недостаточное качество и достоверность (в принятых методических постулатах) георесурсного потенциала, недостаточный уровень поискового задела, слабый уровень энергетической инфраструктуры [20].

Развитие горнодобывающей отрасли России является одним из приоритетных направлений государственной политики, в том числе на территории Дальнего Востока, который сегодня представлен как стратегически перспективный регион. В пределах ДФО (как показано выше) сосредоточена большая часть запасов важнейших для нашей страны видов полезных ископаемых, которые являются стратегически важными ресурсами. При этом он обладает редкими и редкоземельными металлами (РЗМ), необходимыми для производства высокотехнологичной продукции, прежде всего в проектах возобновляемой энергетики и электротранспорта, в военной промышленности. Отсюда возникает основной приоритет необходимости рационального недропользования с вектором на развитие минерально-сырьевой базы нашего государства в целом, в том числе субъектов ДФО, ее расширение и воспроизводство.

В последнее десятилетие в структуре МСБ практически по всем видам полезных ископаемых наметились тенденции ухудшения ее состояния, что обусловлено увеличением доли мелких месторождений, а также трудноизвлекаемых запасов. На суше практически не открываются крупные месторождения углеводородов, в основном они средние, мелкие и очень мелкие, что в целом ухудшает структуру МСБ страны, крупные месторождения открываются преимущественно в шельфовой зоне. При этом очень мелкие и мелкие месторождения (и нередко часть средних), остаются невостребованными многие годы из-за их значительной удаленности от действующих объектов

нефтегазодобычи, транспортной инфраструктуры, а также населенных пунктов, что обуславливает нерентабельность их освоения из-за высоких затрат на создание транспортной инфраструктуры. Недропользователи осваивают преимущественно рентабельные части месторождений, уделяют недостаточное внимание комплексному освоению участков недр и др. [21].

В представленном выше кратком обзоре по регионам показаны основные инвестиционные проекты, реализация которых имеет для самого субъекта большое значение: это возможность существенного финансового пополнения бюджета, развитие промышленного производства, регионального социально-экономического развития и т.д. Соответственно, регион заинтересован в воспроизводстве и развитии минерально-сырьевой базы. Практически каждый проект находится в статусе «требуется инвестор» либо «требуется дополнительное софинансирование» и достаточное количество предлагаемых проектов для «геологического изучения».

Одна из проблем — это несовершенство нормативно-правовой базы. Как отмечает чл.-корр. РАН В. Л. Яковлев в работе [22], не принят ряд приоритетных законов, направленных на повышение инвестиционной привлекательности недропользования, обеспечение воспроизводства минерально-сырьевой базы, рационального использования и охраны недр. Не в полной мере регламентированы вопросы лицензирования, оценки прогнозных ресурсов полезных ископаемых и их классификации. Другая проблема — слабый приток частных инвестиций в геологическое изучение недр, особенно на ранних стадиях. Инвесторов останавливает отсутствие эффективных экономических стимулов и чрезмерно длительный процесс получения разрешительной документации на геологическое изучение недр — от 180 до 300 дней.

Также выше отмечены проблемы, присущие каждому субъекту, в части освоения и воспроизводства МСБ. При этом превалирует низкий уровень комплексного использования минерального сырья.

Перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов необходимо рассматривать с учетом общих проблем развития горнодобывающей промышленности страны, связанных с ухудшением условий добычи и переработки минерального сырья (увеличение глубины добычи, исчерпание запасов отдельных месторождений, опережающий рост добычи горной массы по сравнению с полученным продуктом, уменьшение среднего содержания полезных компонентов в руде

и т.д.). Поддержание и наращивание объемов добычи некоторых видов полезных ископаемых требуют больших капитальных вложений, технического переоснащения добывающих и перерабатывающих предприятий на основе новых проектных решений, значительного повышения коэффициента сквозного извлечения основных и сопутствующих компонентов, коэффициента полезного использования продуктов горнодобывающей промышленности [23].

Проблемы, накопившиеся в области недропользования, требуют применения государственных мер по воспроизводству МСБ и использованию месторождений полезных ископаемых путем законодательного регулирования. И, как отмечают исследователи, у существующей «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2914-р от 22 декабря 2018 г., присутствует ряд недостатков: отсутствие механизмов ее реализации, дорожная карта по выполнению поставленных целей; недостаточность финансирования работ, направленных на геологическое изучение территории России и ее континентального шельфа; отсутствие учета геолого-технологического-эколого-экономических условий комплексного освоения месторождений и др. В то же время подготовлен новый проект Стратегии развития МСБ страны до 2050 г. Предполагается, что документ должен учитывать новые экономические реалии и всесторонние рекомендации по ее улучшению. Особенно важным представляется предлагаемый автором [22] методологический подход, основанный на исследовании переходных процессов, который является универсальным и может использоваться при проектировании освоения глубокозалегающих месторождений, планировании, организации и управлении добычей и рудоподготовкой минерального сырья на действующих горных предприятиях с учетом нарастания геологической информации, внедрения разработанных инновационных мероприятий, изменения параметров и показателей горнотехнической системы горного предприятия по мере развития горных работ.

Таким образом, минеральносырьевой комплекс в ДФО играет определяющую роль в современной экономике России. Его развитие должно быть увязано с перспективами социально-экономического развития субъектов и дополняться принципом комплексного освоения. В условиях существенного обострения геополитического положения России приобретает важное значение оценка потенциала пространственной реализации всех звеньев по переработке сырья

и получению готового продукта. Необходима проработка дальнейших шагов по определению отраслевых приоритетов (в частности в МСК) регионов ДФО в рамках совершенствования положений документов стратегического планирования федерального и регионального уровней.

Список литературы

1. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Дальневосточного федерального округа на 15.12.2022 г. / ФГБУ «ВСЕГЕИ». – Москва, 2022.
2. Lomakina N. Complex exploitation of the Far East mineral resources: effects “new model” of the macroregional development / N. Lomakina // E3S Web of Conferences. VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020). – 2020. – С. 03006.
3. Федеральная служба государственной статистики : [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 27.03.2024).
4. Федеральная налоговая служба : [сайт]. – URL: <https://www.nalog.gov.ru/rn77/> (дата обращения 27.03.2024).
5. Arkhipova Y. Increasing the attractiveness of investment projects in the mining industry of the Russian Far East / Y. Arkhipova, R. Leontiev // E3S Web of Conferences. VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020). – 2020. – С. 03002.
6. Архипова Ю. А. Перспективы освоения минерально-сырьевой базы титана на Дальнем Востоке России / Ю. А. Архипова // Металлург. – 2011. – № 9. – С. 4–10.
7. Инвест Якутия : [сайт]. – Якутск. – URL: [https://investyakutia.ru/investment-projects /promyshlennyy-kompleks/](https://investyakutia.ru/investment-projects/promyshlennyy-kompleks/) (дата обращения 1.04.2024).
8. Батугина Н. С. Роль минерально-сырьевых ресурсов в экономике Республики Саха (Якутия) / Н. С. Батугина // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2023. – № 4. – С. 41–48.
9. Arkhipov G. Macroeconomics of mining of the Far Eastern Federal District / G. Arkhipov // E3S Web of Conferences. VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development of Georesources” (PCDG 2020). – 2020. – С. 03020.
10. Попов М. А. Минерально-сырьевая база Приморского края (обзор) / М.А. Попов, В. И. Петухов, С. П. Гарбузов // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2016. – № 4 (29). – С. 129–141.
11. Бакланов П.Я. Территориальные производственно-экономические структуры: типы и их отношения в региональном развитии /

П. Я. Бакланов, А.В. Мошков // Региональные исследования. – 2023. – №3 (81). – С. 4–17.

12. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Приморского края на 15.03.2021 г. / ФГБУ «ВСЕГЕИ». – Москва, 2021.

13. Инвестиционный портал Еврейской автономной области : [сайт]. – Биробиджан. – URL: <https://investeao.ru/> (дата обращения 2.04.2024).

14. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Амурской области на 15.06.2022 г. / ФГБУ «ВСЕГЕИ». – Москва, 2022.

15. Золотые перспективы Камчатского края : [сайт]. – URL: https://zolteh.ru/regions/zoloty_e_perspektivy_kamchatskogo_kraya (дата обращения 2.04.2024).

16. Тенденции использования минерально-сырьевого потенциала в зоне ФАД «Колыма» : [сайт]. – URL: https://zolteh.ru/regions/tendentsii_ispolzovaniya_mineralno_syrevogo_potentsiala_v_zone_fad_kolyma_kak_osnovy_dlya_optimalnog (дата обращения 2.04.2024).

17. Дондоков З. Б.-Д. Основные направления и проблемы развития минерально-сырьевого сектора Республики Бурятия / З. Б.-Д. Дондоков, Л. В. Потапов, Е. В. Кислов // География и природные ресурсы. – 2019. – № 1. – С. 137–145.

18. Вулкан Кудрявый : [сайт]. – URL: <https://nedradv.ru/nedradv/investsp?obj=8cfab8ca24e0d950ab29a01d55fa1bd7#about> (дата обращения 3.04.2024).

19. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Сахалинской области на 15.06.2022 г. / ФГБУ «ВСЕГЕИ». – Москва, 2022.

20. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Чукотского автономного округа на 15.06.2022 г. / ФГБУ «ВСЕГЕИ». – Москва, 2022.

21. Мелехин Е. С. О проблемах рационального недропользования / Е.С. Мелехин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2023. – № 4. – С. 49–52.

22. Яковлев В. Л. Обсуждение назревшей проблемы особенности современного периода исследований по проблемам комплексного освоения недр и развития минерально-сырьевой базы России / В. Л. Яковлев // Проблемы недропользования. – 2023. – №3 (38). – С. 21–34.

23. Яковлев В. Л. О необходимости разработки Программы комплексного освоения и развития минерально-сырьевой базы Республики Саха (Якутия) / В.Л. Яковлев // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2022. – Т. 27 (3). – С. 363 – 369.

Повышение эффективности освоения и разработки россыпных месторождений золота Якутии*

С.М. Ткач, Н.С. Батугина

Аннотация: В работе проанализированы основные проблемы эффективного функционирования предприятий по добыче россыпного золота в Республике Саха (Якутия). Показано, что установление взаимосвязей между горно-геологическими, технологическими, экономическими факторами позволяет оперативно управлять контуром разработки и увеличить прибыль горного предприятия. Предложена принципиальная схема управления запасами россыпных месторождений, которая позволяет перейти к оптимальному планированию геолого-разведочных и эксплуатационных работ на уровне управления золотодобывающим предприятием. Система предназначена для выработки приемлемых управленческих решений по отработке запасов россыпных месторождений, что позволяет при принятии решения количественно оценить экономический риск этого решения.

Ключевые слова: эффективность, золотодобыча, россыпные месторождения, геометризация, система управления, факторы, достоверность запасов.

Введение

Для районов Северо-Востока России, экономика которых определяется в основном горнодобывающей промышленностью, задача повышения эффективности освоения месторождений полезных ископаемых, в том числе россыпных, чрезвычайно важна.

Это обусловлено суровостью климатических условий, недостатком трудовых ресурсов, повышенными затратами на всех видах ра-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-28-20376)

бот. Резкое увеличение добычи минерального сырья требует объективной оперативной оценки месторождений, для чего необходимо перерабатывать огромные объемы геологической и экономической информации. Из-за несовершенства методов и слабой автоматизации обработки на предприятиях по добыче россыпных месторождений большая часть информации просто не используется. При оценке россыпных месторождений их геометризация, подсчет запасов, геолого-экономическая оценка производятся упрощенно, без учета современного уровня развития геометрии недр и экономико-математических методов. Это приводит к недостоверным знаниям о россыпных месторождениях. Поэтому планируемые разведка и разработка не оптимальны, при разработке допускаются повышенные потери и разубоживание, снижаются экономические показатели горного предприятия [1].

Расширение и укрепление минерально-сырьевой базы россыпных месторождений, повышение эффективности и качества ее подготовки к освоению, потребности повышения комплексности освоения недр, разработка методов ускоренной геолого-экономической оценки предполагают повышение достоверности оценки запасов с геометризацией комплекса геологических переменных, определяющих эффективность техники и технологии добычи и переработки минерального сырья.

Основная часть

В республике на балансе числится 723 месторождения россыпного золота. Запасы золота: балансовые — 289 т, забалансовые — 17 т. Аллювиальные россыпи различного возраста распространены в Верхне-Индигирском, Адычанском, Куларском, Аллах-Юньском, Южно-Якутском и других золо-тоносных районах. Наиболее высокий удельный вес по запасам категорий В+С1 и С2 имеют Южно-Якутский (41,0 %) и Верхне-Индигирский (30,3 %) золотоносные районы [2].

Производительность (производственная мощность) участков по горной массе на открытых работах в Республике Саха (Якутия) за 30-летний период выросла в 12 раз по отдельным месторождениям. Это объясняется увеличением объема вскрышных работ в связи с увеличением глубины отработки. В настоящее время отрабатываются месторождения с коэффициентом вскрыши от 2,1 до 6, редко 7,2 и выше. Можно отметить постоянное снижение среднего содержания золота в песках. В среднем содержание золота

в песках за анализируемый период уменьшилось в 3 раза, с 1,8 до 0,6–0,5 г/м³ и ниже. Существенно снизились параметры кондиций, так бортовые содержания в пробе даже для удаленных участков составляют 30–50 против 70–80 мг/м³ в начале 2000-х годов, минимально-промышленное содержание в среднем снизилось с 0,2 до 0,1 г/м³.

Большие затраты на разведку, оценку, опережающее и эксплуатационное опробование россыпных месторождений и их участков дополняются случаями неподтверждения и занижения запасов на 10–30 % и более, пропуска промышленных запасов при непредставительном и малообъемном опробовании [3–5] и (или) редкой сети разведочных выработок. Это свидетельствует о необходимости совершенствования средств и методов повышения достоверности исходных и формализованных данных и их геометризации. За последние 20 лет по Оймяконскому, Нерюнгринскому и Алданскому районам Республики Саха (Якутия) доля простых по геоморфологии залежей уменьшилась более чем вдвое при одновременном увеличении числа сложных.

Проблемы рационального использования МСБ золота в основном связаны с применением устаревшего оборудования большинством старательских артелей, хотя в последние годы наблюдается тенденция использования тяжелой бульдозерной техники, погрузчиков, в основном зарубежных производителей (бульдозеры Komatsu D-375A, D-355A, погрузчики Komatsu WA-500, 600). Данная техника приобретается в кредит, главным образом, на условиях лизинга. На горных работах также используются экскаваторы ЭКГ-5А и легкие бульдозеры. В последние годы благодаря высоким ценам на золото многие предприятия приобрели новую тяжелую технику, усовершенствовали технологию добычи. Вместе с тем запасы большинства россыпных месторождений не позволяют обеспечить финансовую устойчивость золотодобывающим предприятиям, поскольку имеет место ухудшение горно-геологических условий, усложнение строения россыпей, снижение содержания золота в песках с одновременным увеличением объема переработки горной массы [2].

Ни одно предприятие, ведущее добычу россыпного золота в Республике Саха, не имеет минерально-сырьевой базы, позволяющей планировать рентабельное производство более чем на 5 лет. Большинство предприятий, осуществляющих добычу золота на россыпных месторождениях, не обладают достаточным сырьевым запасом драгоценного металла и не могут осуществлять долгосрочное планирование.

При сохранении объемов годовой добычи золота на уровне 12 т прогнозируется снижение доли добычи россыпного золота к 2030 году. Практически исчерпан потенциал прогнозных ресурсов высоких категорий и запасов категории С2 на новых перспективных рудно-россыпных полях и площадях. Причиной этого является резкое сокращение объемов геологоразведочных работ в целом, концентрация их на уже известных объектах, отсутствие работ, обеспечивающих выявление перспективных месторождений с новыми типами минерализации. Значительно отстает научное обеспечение отрасли геологического направления, особенно в части эффективного прогнозирования новых типов золоторудных месторождений в разрабатываемых и вновь осваиваемых районах. Не все добывающие предприятия имеют финансовые возможности заниматься детальной разведкой. Недостаточная работа по приросту запасов нарушила баланс погашения и прироста запасов, объемы погашения стали намного превышать прирост.

Из всего комплекса факторов, влияющих на эффективность разведки и разработки россыпных месторождений Северо-Востока России, основное внимание уделяется исследованиям по совершенствованию техники и системам разработки [6–9]. В большинстве своем исследования не носят комплексного характера. Основное внимание обращено на технику и технологии. Другие аспекты повышения эффективности — геометризация и экономическое обоснование контуров карьеров на россыпных месторождениях — почти не затрагивается. Это приводит к общим негативным последствиям. Несмотря на значительный технический прогресс, производительность труда по конечному продукту (металлу) падает, что отражается в росте себестоимости добытого металла.

Достаточно велико разубоживание при разработке, возникающее вследствие недостоверного определения контуров. Исследования в ИГДС СО РАН, начатые в 80-е годы под руководством С.А. Батугина, по оценке влияния точности оконтуривания на технико-экономические показатели деятельности предприятия показывают, что только за счет более достоверного определения промышленного контура можно исключить из отработки до 20–30 % песков и снизить себестоимость 1 г металла на 10–15 % [3, 10].

При этом геометризация горно-геологических показателей месторождения не полностью определяет месторождение как элемент динамической системы экономики. Как отмечали в работах

В.Л. Яковлев и С.А. Батугин [10], само понятие «месторождение полезного ископаемого» является двойственным. С одной стороны, это понятие геологическое статистическое, характеризующее скопление в недрах какого-либо вещества, которое потенциально может быть использовано промышленностью. С другой стороны, это понятие экономическое — та часть скопления полезного ископаемого, которая в планируемый период пригодна для эффективной отработки, что обусловлено достигнутым уровнем техники, технологии, организации использования недр.

Для оценки факторов, влияющих на технико-экономические показатели горнодобывающих предприятий, разрабатывающих россыпные месторождения золота, проведен анализ деятельности 22 месторождений россыпного золота в Оймяконском, Алданском, Нерюнгринском районах Республики Саха (Якутия) за период с 2008 по 2020 г. Были установлены стоимостные зависимости, которые можно применить для геометризации экономических показателей россыпных месторождений [2]. Установлено, что себестоимость единицы добытого металла зависит от комплексного показателя — количества перерабатываемой на промприборах горной массы на единицу добытого металла. Показатель включает как горно-геологические (мощность торфов, мощность песков, содержание металла в песках), так и технологические (разубоживание, потери, содержание металла в песках) факторы.

Применение установленной зависимости позволяет реализовать концепцию динамических кондиций и запасов, количественно оценивать категории разведанности запасов как меру надежности получения экономического эффекта как для недропользователя, так и для государства от разработки месторождения, составлять экономические планы развития горных работ в виде планов затрат, прибыли, рентабельности, исключать из добычи убыточные пески, уменьшать потери металла в недрах и тем самым улучшить экономические показатели деятельности горного предприятия.

Эффективное управление запасами россыпных месторождений золота можно рассматривать с разных точек зрения:

- управление в плане развития золотодобывающей промышленности в регионе;
- управление в плане комплексного развития территорий;
- управление и воспроизводство запасов данного вида сырья;
- управление в плане производственной деятельности горнодобывающего предприятия.

деятельности предприятия, которое будет разрабатывать оцениваемое месторождение.

На стадии геолого-разведочных работ технико-экономическое обоснование реализуется в виде проектов постоянных (временных) разведочных кондиций, на стадии начала освоения (добычи) месторождения — в виде проекта горнодобывающего предприятия.

Основными недостатками разработки ТЭО в настоящее время являются:

- несоответствие ТЭО в подавляющем большинстве случаев (исключая проектирование разработки отдельных крупных месторождений) реальному техническому, технологическому и организационному обеспечению горно-добывающих предприятий;

- разработка кондиций в отрыве от перспективного плана развития горнодобывающего предприятия, если месторождение находится в районе его деятельности;

- разработка стоимостных характеристик предстоящей добычи без учета взаимозависимости с запасами и структурой месторождения и с достоверностью определения последних.

2. Оценка горно-геологической и экономической структуры месторождения.

Этот элемент блока подготовки запасов предназначен для оценки дифференциальных и интегральных характеристик месторождения по данным геолого-разведочных работ и ТЭО. Подобная оценка должна проводиться в процессе как разведочных, так и добычных работ и является исходным пунктом, основой для их планирования. Применяемые в настоящее время методы геометризации и подсчета запасов месторождений ориентированы в основном на определение интегральных характеристик месторождения — оценки средних параметров в крупных блоках, контуров месторождения в целом. Экономический эффект от разработки месторождения оценивается в ТЭО упрощенно, как правило, для россыпных месторождений для определенного выбранного способа разработки. При этом внутренняя структура, дифференциальные характеристики оцениваются только качественно. Детальная оценка по блокам стоимостных параметров не производится.

Непрерывная оценка и переоценка структуры месторождения позволяет по-иному подойти к проблеме кондиций. В настоящее время под кондициями понимаются граничные величины горно-геологических показателей, которые предназначены для оконтуривания месторождения в рамках методики подсчета запасов. Для россыпных месторож-

дений, вследствие большой трудоемкости, обычно рассматриваются не более 3–5 вариантов оконтуривания месторождений. Из-за малого количества вариантов кондиции могут быть далеки от оптимальных.

В целом система предназначена для оперативного информирования о состоянии наших знаний об объекте на момент принятия решений и о возможных экономически рациональных управляющих воздействиях для эффективного освоения россыпных месторождений.

Выводы

В условиях ухудшения качества минерально-сырьевой базы золотодобычи значимость более точной и достоверной оценки основных показателей на разных стадиях разведки и оценки россыпных месторождений и их участков возрастает.

Установлено, что себестоимость единицы добытого металла зависит от комплексного показателя — количества перерабатываемой на промприборах горной массы на единицу добытого металла. Показатель включает как горно-геологические (мощность торфов, мощность песков, содержание металла в песках), так и технологические (разубоживание, потери, содержание металла в песках) факторы.

Эффективное управление запасами россыпных месторождений золота можно рассматривать с разных точек зрения: управление в плане развития золотодобывающей промышленности в регионе; управление в плане комплексного развития территорий; управление и воспроизводство запасов данного вида сырья; управление в плане производственной деятельности горнодобывающего предприятия.

Предложена принципиальная схема управления запасами россыпных месторождений, которая позволяет перейти к оптимальному планированию геологоразведочных и эксплуатационных работ на уровне управления золотодобывающим предприятием. Система предназначена для выработки приемлемых управленческих решений по отработке запасов россыпных месторождений, что позволяет при принятии решения количественно оценить экономический риск этого решения.

Список литературы

1. О комплексном освоении недр и территорий в сложных природно-климатических условиях / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. Ю. Рассказов, С.М. Ткач // Горный журнал. – 2019. – № 6. – С. 84–89.

2. Батугина Н. С. Оценка влияния количества горной массы на единицу металла на эффективность освоения россыпных месторождений золота / Н.С. Батугина, Е.А. Хоютанов, С.М. Ткач // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 39–47.
3. Ткач С.М. Классификация рудных и россыпных месторождений с кластерной организацией запасов / С.М. Ткач, С.А. Батугин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 6. – С. 16–23.
4. Батугина Н.С. Оценка точности расчета минимально-промышленного содержания золота в россыпных месторождениях / Н.С. Батугина, С.М. Ткач, Е.А. Хоютанов // Горный журнал. – 2020. – № 12. – С. 45–48.
5. Ермакова Ю. В. Оценка достоверности разведочных работ на россыпном месторождении платины в нижнем течении р. Уоргалан / Ю. В. Ермакова, В. И. Куторгин // Руды и металлы. – 2015. – № 2. – С. 36–44.
6. Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы / А. В. Лаломов, А. А. Бочнева, Р. М. Чефранов, А. В. Чефранова // Арктика: экология и экономика. – 2015. – № 2 (18). – С. 66–77.
7. Перспективные технологии разработки золотороссыпных месторождений Забайкальского края / В. Н. Опарин, А. Г. Секисов, А. И. Трубачев, Б.Н. Смоляницкий, В. С. Салихов, Н. В. Зыков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 3 (53). – С. 489–496.
8. Александрова Т. Н. К вопросу извлечения мелкодисперсного золота из песков россыпных месторождений / Т. Н. Александрова, Н. М. Литвинова, Р. В. Богомяков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 14. – С. 505–512.
9. Перспективная техника и технология разведки техногенных золотосодержащих минеральных образований / В. А. Косьянов, О. С. Брюховецкий, А.Г. Секисов, А. А. Грабский // Горный журнал. – 2020. – № 12. – С. 16–20.
10. Батугин С. А. Закономерности развития горного дела / С. А. Батугин, В. Л. Яковлев ; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние. Ин-т горн. дела Севера. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 1992. – 113 с.

Критерии оценки результатов сейсморазведочного мониторинга техногенного воздействия на породный массив урбанизированных территорий

И.А. Санфиров, А.И. Никифорова, Т.В. Байбакова, И.Ю. Герасимова

Одним из наиболее масштабных и значимых видов техногенного воздействия на породный массив является разработка различных видов и типов месторождений полезных ископаемых. Подчас при успешном завершении этапов поиска и разведки месторождений твердых полезных ископаемых инфраструктура, обеспечивающая этап эксплуатации, разворачивается вблизи залежи или непосредственно над ней.

На территории Пермского края несколько веков ведется подземная разработка различных видов месторождений твердых полезных ископаемых: хромитов, каменного угля, калийно-магниевых солей. Подобная активная многолетняя деятельность горнодобывающих предприятий сопряжена с целым рядом негативных последствий для вмещающих отложений от ускоренных оседаний земной поверхности до формирования провальных явлений (рис.1).

Поскольку территории шахтных полей часто совмещены с урбанизированными территориями, такие техногенные явления представляют



Рис. 1. Аварийные провалы в пределах подработанной территории
в г. Березники Пермского края

серьезную угрозу для зданий и сооружений как социального, так и индустриального значения. С целью оценки вероятности их реализации для подобных территорий сформированы два типа систем комплексного мониторинга породного массива.

Первый тип связан непосредственно с контролем изменений строения и свойств разрабатываемого интервала глубин породного массива, отвечающего за устойчивость подземных и поверхностных горнотехнических сооружений. Наблюдаемые или уже реализованные негативные изменения строения и свойств породного массива обуславливают необходимость постоянного контроля их комплексом методов, по результатам которого принимаются конкретные управленческие и технические решения. Традиционно данный комплекс включает геофизические и геомеханические наблюдения, увязанные в единый интерактивный процесс. На первом этапе выполняется визуальное обследование горных выработок, маркшейдерские и геофизические наблюдения с последующей геомеханической оценкой [1]. Далее по результатам геомеханических расчетов определяется необходимость организации геофизических мониторинговых наблюдений, включающих в основном наземные и шахтные сейсмо- и электроразведку. На основании геомеханической интерпретации сейсморазведочных данных принимается решение либо о продолжении мониторинга, либо о реализации конкретных горнотехнических мероприятий, направленных на исправление ситуации. Представленная система комплексирования геофизических и геомеханических исследований внедрена в технологический регламент сопровождения эксплуатации крупнейшего в Европе Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей [2].

Информативность подобной системы организации мониторинга позволила сформировать аналогичную в рамках и второго направления, ориентированного на контроль строения и свойств верхней части разреза (ВЧР) урбанизированных территорий над горными выработками. Наиболее совершенной на сегодняшний день представляется система мониторинга, действующая в пределах городской территории над затопленным калийным рудником. В рамках данной системы выполняются различные виды исследований: спутниковые, маркшейдерские, сейсмологические, геофизические, газогеохимические, гидрогеологические, деформационные. Несмотря на такое разнообразие методов контроля, получаемые результаты увязываются в единую интерпретационную модель на основании известных меха-

низмов воздействия дезинтеграционных процессов на контролируемые параметры.

На первом этапе оцениваются деформации ВЧР, вызванные горными работами, изменения формы или размеров зданий и сооружений. На участках с ускоренными деформациями разворачиваются остальные виды мониторинга. Контроль осуществляется комплексом инструментальных наблюдений, включающим измерения оседаний земной поверхности, геолого-геофизические исследования изменений структуры и свойств как ВЧР, так и подстилающих отложений. Геофизические наблюдения представлены в основном наземными и скважинными сейсморазведочными исследованиями в комплексе с наземной электроразведкой на постоянном токе [3]. Детальность, периодичность наблюдений и необходимость дополнительных видов мониторинга определяется с учетом получаемых результатов. На основании геолого-геофизических исследований выполняется количественная геомеханическая оценка деформаций породного массива с учетом оседаний земной поверхности. На ее основе прогнозируется их воздействие на здания и сооружения с рекомендациями по конструктивным мерам защиты и организации online мониторинга зданий и упругих свойств верхней части разреза.

Предложенная система выполнения мониторинговых наблюдений позволяет дифференцировать участки ускоренных оседаний земной поверхности по степени негативных изменений строения и свойств породного массива над горными выработками. Представляется возможным экспертно оценить временные границы нарушения сплошности породного массива в пределах зон ускоренных оседаний. В рамках данной оценки сформулированы сейсморазведочные критерии прогноза развития ситуации в пределах участков ускоренных оседаний [4].

Временной прогноз по сейсморазведочным данным базируется в основном на специфических формах волновой картины, обусловленных различными стадиями дезинтеграционных процессов в породном массиве. Рассматриваются и количественные оценки традиционного набора динамических и кинематических параметров регистрируемого волнового поля: амплитуды, частоты, когерентность, эффективные и интервальные скорости упругих волн продольного типа (рис. 2). Согласованность негативных изменений анализируемых сейсмических параметров представлена на разрезах комплексного параметра (рис. 2-г).

В качестве дополнительных критериев сейсморазведочной оценки потенциальной опасности участков ускоренных оседаний в интервале надпродуктивных отложений привлекаются изменчивость кажущегося сопротивления, наличие газогеохимических аномалий [5], необоснованные колебания уровней водоносных горизонтов и гидрохимического режима, техногенная сейсмическая активность. В целях детализации строения ВЧР в пределах потенциально-опасных участков выполняются скважинные инженерно-геологические и геофизические исследования (ГИС) с дополнениями в виде вертикального сейсмического профилирования в прямой и обращенной версиях и сейсмического скважинного профилирования по методике многократных перекрытий [6].

Наблюдения за оседаниями земной поверхности проводятся с использованием специально оборудованных наблюдательных станций (профильных линий), состоящих из группы грунтовых реперов. Профильные линии предназначены для определения закономерностей изменения параметров процесса сдвижения земной поверхности во времени и в пространстве в различных горно-геологических и горнотехнических условиях. Результаты наблюдений являются основой для прогнозирования ожидаемых оседаний и деформаций земной поверхности.

Изучение гидродинамического и гидрохимического режима подземных и поверхностных вод необходимо для предоставления исходных данных к комплексной (совместно с другими видами мониторинга) оценке развития процесса растворения пород, контролю целостности водозащитной толщи (ВЗТ).

Газогеохимическое зондирование приповерхностной части разреза проводится с целью оценки и контроля флюидопроницаемости ВЗТ на участках, потенциально опасных по нарушению ее сплошности.

Техногенная сейсмическая активность, обусловленная процессами трещинообразования и обрушения в подработанном массиве, контролируется локальными системами сейсмологического мониторинга. Данные системы позволяют регистрировать как природную, так и наведенную сейсмичность в окрестностях горных выработок.

Она нацелена на контроль процесса разрушения подработанного массива, локализацию очагов динамических событий, прогноз реализации критических ситуаций, связанных с возможностью внезапного обрушения пород [7].

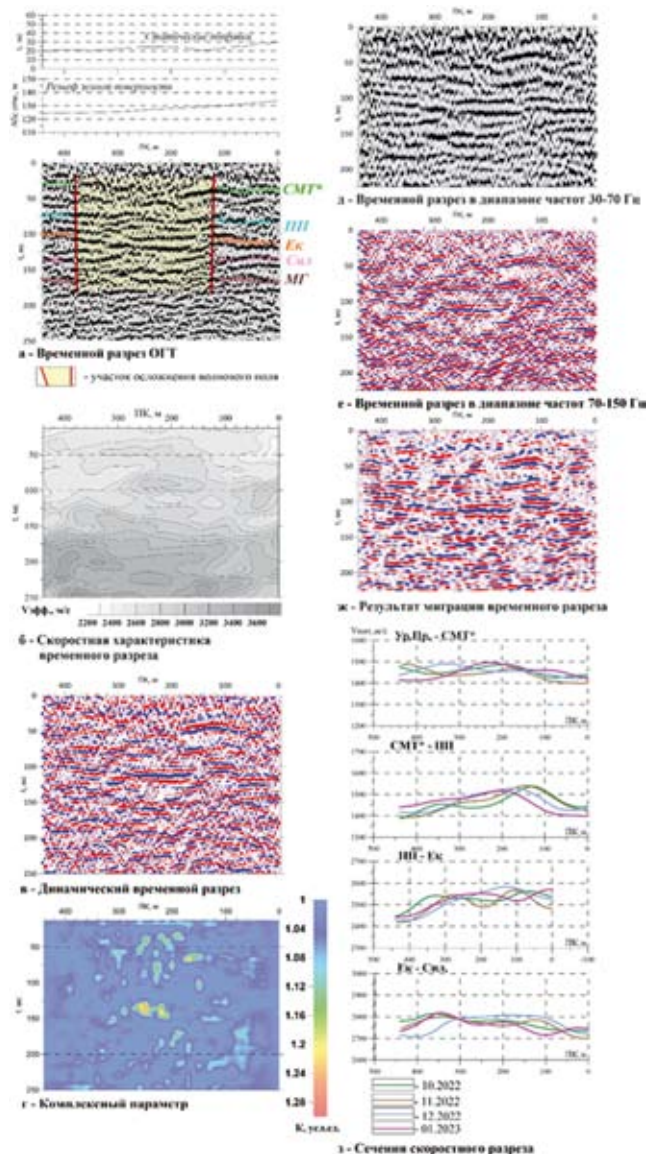


Рис. 2. Результаты цифровой обработки сейсморазведочных данных по мониторинговому профилю



Рис. 3. Локализация участка, потенциально опасного по образованию провала на земной поверхности

На заключительном этапе мониторинга потенциально опасного участка принимается решение о выделении контролируемого участка в категорию опасных. Данное решение базируется на регистрации негативных изменений совокупности контролируемых параметров и при наличии волновых форм, отражающих критическую степень

развития дезинтеграционных процессов. Несмотря на ведущую роль сейсморазведочных методов в определении степени негативных изменений строения и свойств породного массива, критерии оценки их результатов обязаны включать как можно больше дополнительных данных. Состав дополнительного набора данных определяется моделью развития контролируемых негативных процессов.

В качестве управленческих решений выполняется ограждение локального участка. Границы ограждения определяются на основании интерпретации комплекса геофизических данных с учетом конфигурации мульды оседания (рис. 3).

Многолетний опыт эксплуатации систем мониторинга в пределах шахтных полей калийных рудников показывает, что при оценке безопасности территории, находящейся в процессе динамических изменений, целесообразно включать максимальный набор независимых методов с возможностью регистрации всех известных индикаторов данных изменений.

Список литературы

1. Сейсмо-геомеханический прогноз состояния водозащитной толщи на калийных рудниках / А. А. Барях, И. А. Санфи́ров, А. К. Федосеев, А. И. Бабкин, А. А. Цаюков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2017. – № 6. – С. 10–22.
2. Барях А. А. Мониторинг последствий затопления калийного рудника / А. А. Барях, И. А. Санфи́ров, Р. А. Дягилев // Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 34–39.
3. Малоглубинные геофизические исследования на Верхнекамском месторождении калийных солей / И. А. Санфи́ров, Ю. И. Степанов, К. Б. Фаткин, И. Ю. Герасимова, А. И. Никифорова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 6. – С. 71–77.
4. Санфи́ров И. А. Сейсморазведочные прогнозы для территорий ускоренных оседаний земной поверхности / И. А. Санфи́ров, Г. Ю. Прийма // Стратегия и процессы освоения георесурсов : сборник научных трудов / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2014. – Вып. 12. – С. 164–166.
5. Бачурин Б. А. Газогеохимическое зондирование как метод контроля за развитием аварийной ситуации на БКПРУ-1 / Б. А. Бачурин, А. А. Борисов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 4. – С. 371–378.
6. Направления развития сейсморазведочного мониторинга водозащитной толщи действующих соляных рудников / И. А. Санфи́ров,

А.В. Чугаев, А.Б. Трапезникова, А. Д. Тезиков // Горный журнал. – 2023. – № 11. – С. 27–31.

7. Шулаков Д. Ю. Развитие системы сейсмологического мониторинга территории г. Березники / Д. Ю. Шулаков // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных = Modern methods of processing and interpretation of seismological data : материалы Девятой Международной сейсмологической школы, Республика Армения, 8–12 сентября 2014 г. / Геофизическая служба РАН, М-во по чрезвычайным ситуациям Респ. Армения, Служба сейсмической защиты, Michigan state univ. ; [редкол.: А. А. Маловичко (отв. ред.) и др.]. – Обнинск : Геофизическая служба РАН, 2014. – С. 358–361.

Адаптирование горнотехнической системы карьера при переходе на автомобильно-конвейерный транспорт

А.В. Глебов

Аннотация: Изложены результаты исследований по обоснованию применения различных схем циклично-поточной технологии с использованием в том числе мобильных дробильно-перегрузочных установок и крутонаклонного конвейерного подъема.

Ключевые слова: горнотехническая система, циклично-поточная технология, автомобильно-конвейерный транспорт, мобильные дробильно-перегрузочные установки, крутонаклонный конвейер, адаптирование.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Одной из важнейших проблем в области открытых горных работ является обеспечение стабильного и эффективного процесса транспортирования горной массы, а применение циклично-поточной технологии (ЦПТ) является одним из основных направлений технического перевооружения и интенсификации горных работ на горнодобывающих предприятиях.

Актуальной проблемой является снижение конкурентоспособности горнодобывающих предприятий, применяющих ЦПТ, вследствие закономерного роста затрат на транспортирование горной массы, усугубляющегося возникновением несоответствия параметров автомобильно-конвейерного транспорта и горнотехнической системы карьера, изменяющегося и накапливающегося по мере развития горных работ.

Применение ЦПТ оказывает благоприятное влияние на технико-экономические показатели транспортирования горной массы на карьерах в сравнении с автомобильным транспортом. Использование

комбинированного транспорта не только в определенной мере компенсирует ухудшающиеся горнотехнические условия с ростом глубины разработок, но и приводит к экономическим преимуществам.

Опыт проектирования и эксплуатации ЦПТ свидетельствует об экономической эффективности его использования, несмотря на большую капиталоемкость и продолжительные сроки строительства объектов. Эффективность выражается в повышении концентрации горных работ и производительности транспортного оборудования, снижении как минимум на 30–35 % себестоимости транспортирования 1 т горной массы, повышении производительности труда рабочих на 25–35 %. Она связана с достижением кратчайшего расстояния транспортирования горной массы, высокой эксплуатационной надежностью работы и значительными преимуществами конвейерного перед другими видами транспорта.

Рассматривая перспективы развития ЦПТ на глубоких карьерах, отметим, что оно должно основываться на прогрессивных технических и технологических решениях; основные из них: применение в карьерах передвижных дробильно-перегрузочных пунктов; крутонаклонный конвейерный подъем горной массы из карьера до пунктов приема на поверхности; рациональные системы вскрытия горизонтов размещения дробильно-конвейерных комплексов (ДКК) при многофункциональном использовании отдельных карьерных выработок и транспортных связей [1].

Исследование

Эффект от использования высокопроизводительного автотранспортного оборудования обусловлен зависимостями изменения производительности и себестоимости 1 т·км транспортной работы от грузоподъемности автосамосвала. Повышение грузоподъемности с 50 до 100 т приводит к снижению себестоимости транспортирования на 0,4 % на каждую тонну. Следовательно, повышение грузоподъемности автосамосвала может существенно улучшить технико-экономические показатели использования ЦПТ на карьерах. Однако при выборе автосамосвалов следует учитывать необходимое уширение автомобильных дорог с ростом грузоподъемности машин, влекущее за собой выемку дополнительных объемов вскрышных пород и увеличение размеров карьера в плане.

Установлено, что при эксплуатации карьеров со скальными горными породами доля транспорта в себестоимости добычи руды до-

стигает 40–50 %, в связи с чем проблема снижения транспортных расходов при перемещении горной массы имеет весьма важное значение. Это особенно проявляется на карьерах с небольшим объемом вскрышных работ.

При разработке карьеров с транспортированием горной массы автомобильным транспортом до дробильно-перегрузочного пункта (ДПП) в карьере и конвейерным транспортом до пунктов приема на поверхности высота подъема горной массы автосамосвалами уменьшается за счет более глубокого ввода в карьер конвейерных подъемников. Взаимное адаптирование карьерного пространства и автомобильно-конвейерного транспорта (АКТ) необходимо предусматривать еще на стадии проектирования разработки глубоких горизонтов карьеров. Адаптирование АКТ к горнотехническим условиям разработки карьеров можно рассматривать в двух аспектах:

- создание оборудования, отвечающего горнотехническим, геологическим и другим условиям разработки месторождений;
- формирование карьерного пространства с учетом конструктивных особенностей и параметров имеющегося или вновь создаваемого оборудования с целью минимизации расхода различного вида ресурсов при добыче полезного ископаемого.

Направлением адаптирования оборудования является замена техники в стационарном исполнении на мобильную, обладающую способностью быстрого перемещения в динамичном карьерном пространстве.

Формирование карьерного пространства предполагает разработку технологических схем, позволяющих в процессе ведения горных работ подготавливать необходимые выработки и площадки для размещения оборудования ДКК при его удлинении или строительстве на новом месте по мере необходимости до конца разработки карьера.

Эффективность ЦПТ может быть повышена за счет совершенствования технологических схем ДКК и способов формирования участков бортов карьера для их размещения. Они должны обеспечивать максимальное сокращение объемов выемки вскрыши и исключение потерь полезного ископаемого при формировании перегрузочных, монтажных и строительных площадок ДКК, а также минимальное расстояние транспортирования горной массы внутрикарьерным автотранспортом.

Основным достоинством мобильных дробильно-перегрузочных установок (МДПУ) является возможность их перемещения по мере

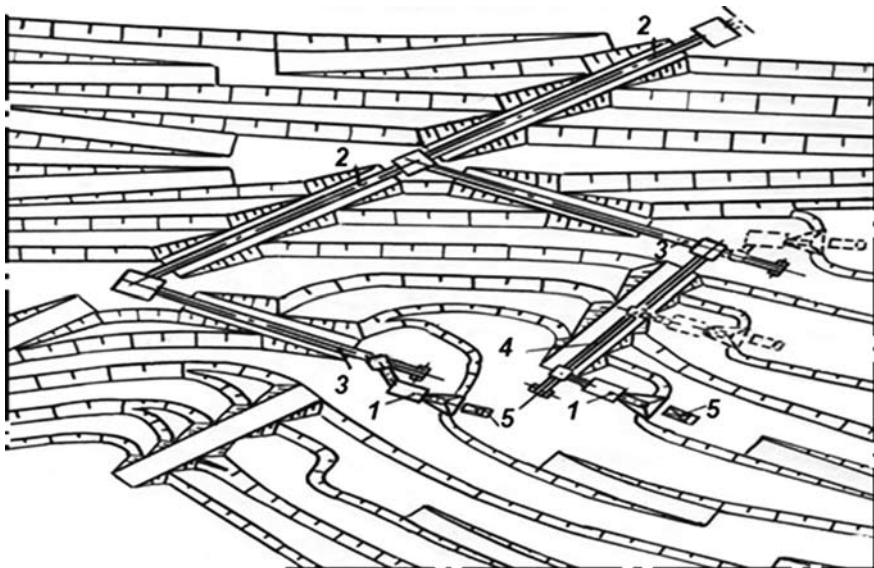


Рис. 1. Рациональная схема ДКК с МДПУ:

- 1 — МДПУ; 2 — конвейерный подъемник; 3 — передаточные конвейеры;
4 — временный подъемный конвейер; 5 — автосамосвалы

понижения горных работ в карьере, с целью уменьшения расстояния транспортирования сборочным автотранспортом. Рациональная технологическая схема автомобильно-конвейерного транспорта с МДПУ представлена на рис. 1 [2].

При необходимости выдачи по этому комплексу руды и скальной вскрыши на МДПУ, с которой горная масса разгружается на новый передаточный конвейер, выдается руда, а на МДПУ на прежнем месте установки выдается скальная вскрыша.

Размещение ДПП и МДПУ на временно нерабочих участках бортов карьера и их связь со стационарным ленточным конвейером через передаточные ленточные конвейеры, расположенные на конечном борту карьера, позволяет разработать целики пород под площадками размещения ДПП без влияния взрывных работ на стационарный конвейерный подъемник. Недостатком такой технологической схемы размещения ДКК является необходимость выемки большого объема вскрыши и оставления целика пород под площадку последнего по глубине размещения ДПП. При доработке карьера в целике пород

останется полезное ископаемое, объем которого может составить миллионы кубометров.

Выемки вскрыши и оставления целика пород можно избежать, размещая МДПУ в рабочей зоне карьера для перегрузки горной массы из забойных автосамосвалов в автосамосвалы [3], транспортирующие ее до стационарного конвейерного подъемника. Перегрузка на подъемник осуществляется через бункер с пластинчатым питателем. По мере понижения горных работ МДПУ передвигают на нижние горизонты и устанавливают на заранее оборудованном месте. Недостатком такого способа доработки карьера являются большие затраты на обустройство большого количества мест размещения МДПУ и содержание дополнительного автомобильного звена между МДПУ и стационарным конвейерным подъемником.

При доработке карьера двумя — тремя рабочими уступами возможно дробление скальной горной массы в самоходных дробильных агрегатах (СДА), загружаемых забойными карьерными экскаваторами. Дробленную в СДА горную массу перегружают в автосамосвалы и транспортируют до стационарного конвейерного подъемника, на который перегружают через бункер с пластинчатым питателем с разворотной площадки капитального съезда (рис. 2).

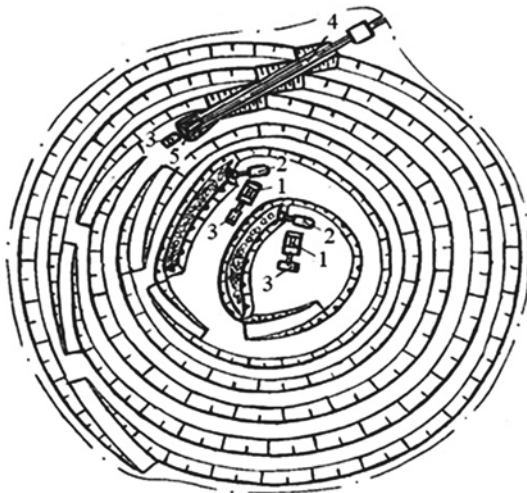


Рис. 2. Доработка карьера по ЦПТ с использованием СДА:

- 1 — СДА; 2 — экскаваторы; 3 — автосамосвалы;
4 — конвейерный подъемник; 5 — бункер с пластинчатым питателем

Следующий способ доработки карьера исключает оставление целика пород под последним местом размещения МДПУ. Способ заключается в следующем. Скальную горную массу из экскаваторных забоев автосамосвалами транспортируют и перегружают в МДПУ, установленную на временно нерабочем участке борта карьера (рис. 3).

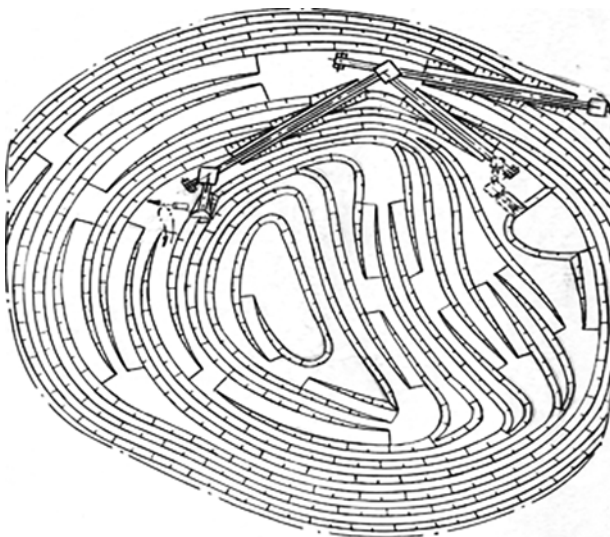


Рис. 3. Нижняя часть карьера после окончания его разработки по ЦПТ с размещением МДПУ на временном целике пород

Дробленая в МДПУ горная масса передаточным ленточным конвейером, расположенным в полутраншее на конечном борту карьера, подается на стационарный конвейерный подъемник, также расположенный в полутраншее на конечном борту карьера. После доработки карьера с размещением МДПУ на временно нерабочем участке борта карьера передаточный конвейер демонтируют, блок дробилки передвигают и устанавливают для разгрузки на стационарный конвейерный подъемник (рис. 4). В полутраншее, совмещенной с наклонной предохранительной бермой, монтируют бункер, на дне которого установлен пластинчатый питатель для загрузки блока дробилки. Блок дробилки может быть установлен над концевой частью конвейера (рис. 4, вариант 1) или около нее (рис. 4, вариант 2).

Целик пород, сформировавшийся под прежними площадками размещения МДПУ и разгрузки автосамосвалов, разрабатывают с транс-

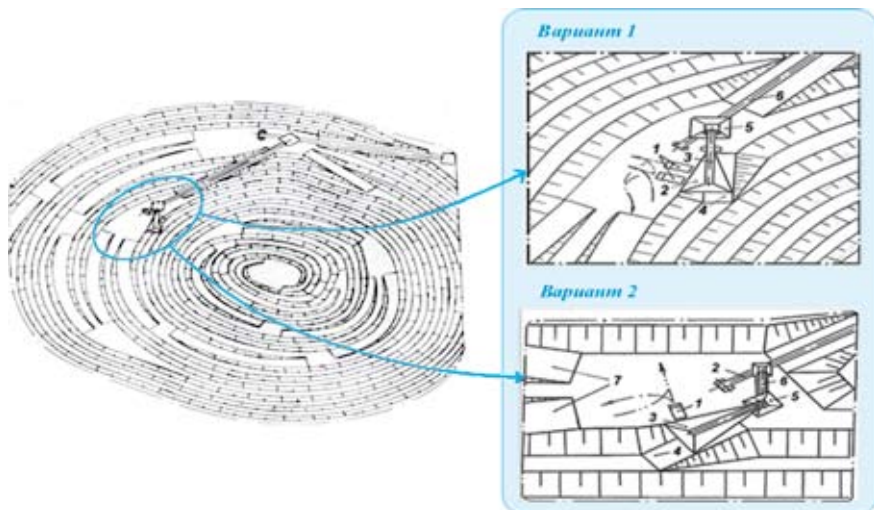


Рис. 4. Нижняя часть карьера после окончания его разработки с применением АКТ:

1 — автосамосвал; 2 — подъемник; 3 — бункер с питателем в полутраншее 4; 5 — блок дробилки; 6 — пластинчатый питатель; 7 — автомобильный съезд

портированием и перегрузкой взорванной скальной горной массы из автосамосвалов с поворотной площадки капитального съезда на конвейерный подъемник через бункер с питателем и блок дробилки от передвижной дробильной установки.

Для карьеров, разрабатывающих глубокозалегающие месторождения скальных полезных ископаемых с большой заданной производительностью, для ее обеспечения необходима высокая скорость понижения горных работ. Для таких карьеров первоначальное размещение ДПП на предельном борту карьера на глубине около 100 м от поверхности может оказаться экономически невыгодным из-за небольших оставшихся объемов разработки полезного ископаемого и срока разработки. Наиболее рациональной может быть выдача по ДКК из карьера на дробильно-обогадительную фабрику (ДОФ) всего объема полезного ископаемого. В этом случае целесообразно использовать МДПУ, которые на момент начала выдачи на ДОФ полезного ископаемого размещают во внешней траншее, расположенной за конечным контуром карьера и примыкающей к лежащему борту карьера (рис. 5).

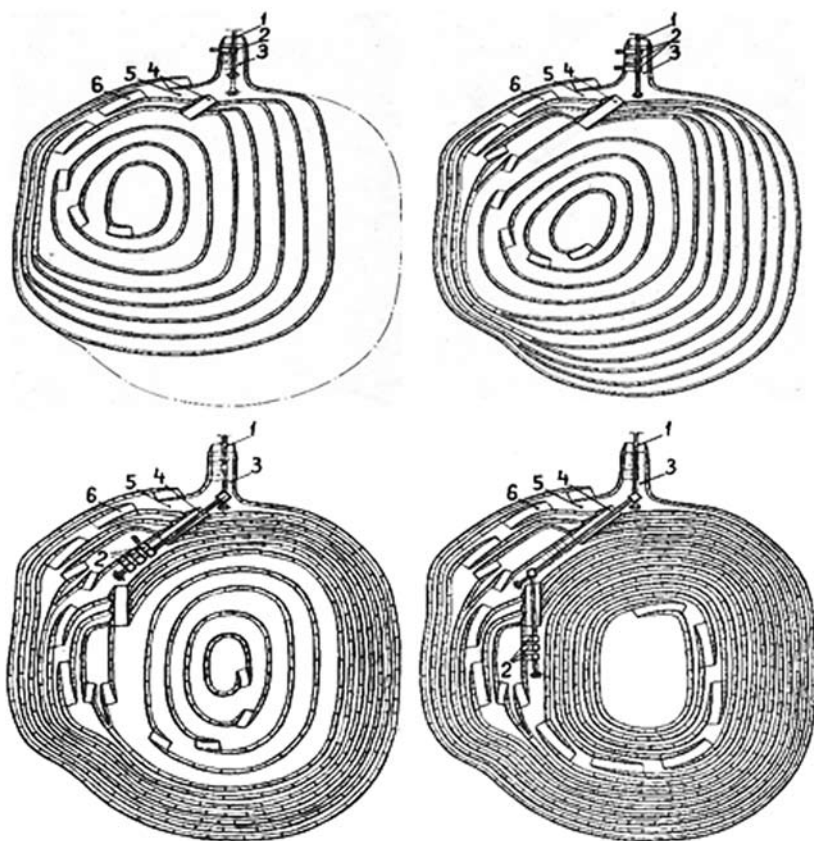


Рис. 5. Разработка карьера с выдачей всего объема полезного ископаемого на дробильно-обоганительную фабрику по ДКК при однобортowej системе разработки:

- 1 — конвейерная линия;
- 2 — передвижная дробильно-перегрузочная установка (ПДПУ);
- 3 — внешняя конвейерная траншея; 4 — конвейерная полутраншея;
- 5 — горизонтальная транспортная берма; 6 — автомобильный съезд

Из дробилок горная масса поступает на концевую часть конвейерной линии и транспортируется до обоганительной фабрики. Дно траншеи связано с бермой капитального съезда горизонтальной транспортной бермой. Глубина траншеи определяется расстоянием

по вертикали между площадкой размещения дробильных установок и разгрузочной площадкой автосамосвалов.

В качестве дробилок на МДПУ необходимо использовать щековые дробилки крупного дробления. При их использовании глубина траншеи составит 15 м. При такой глубине формирования траншеи требуется выемка относительно небольшого объема вскрышных пород. Проведение внешней траншеи для размещения в ней дробильных установок и части конвейерной линии осуществляется при выходе верхнего горизонта карьера на конечный контур.

При удлинении ДКК ленточный конвейер размещают во внутренней траншее, которая с целью наименьшего объема горно-подготовительных работ должна быть выполнена в форме полутраншеи. При перемещении дробильных установок на новое место размещения, расположенное на нижних горизонтах, их перемещают по дну внешней траншеи, горизонтальной транспортной берме, соединяющей дно внешней траншеи и берму капитального съезда, капитальному съезду и горизонту на новом месте установки. При высокой скорости понижения горных работ на разработку месторождения с ограниченными размерами в плане, разрабатываемого по центрально-кольцевой системе разработки, потребуется относительно мало времени. Поэтому ДПП, оборудованный МДПУ, целесообразно до конца разработки разместить в одном месте на предельном борту карьера, куда эти установки перемещают из внешней конвейерной траншеи.

В нижней части глубоких карьеров борта становятся округлыми и размещение на них выработок под ставы ленточного конвейерного подъемника требует выемки большого объема вскрыши от спрямления бортов или оставления больших по объему целиков пород. В этом случае для удлинения стационарного ленточного конвейерного подъемника могут быть использованы крутонаклонные конвейеры (КНК) [4], углы наклона которых совпадают с углами откосов бортов карьера (рис. 6). Также весь конвейерный подъемник, начиная с поверхности, может быть составлен из КНК, расположенных на лежащем борту по границе лежащего и висячего бортов карьера (рис. 7). Чтобы исключить формирование под площадки узлов перегрузки между КНК целиков пород, каждый конвейер в своей средней части должен размещаться в траншее и на опорах, в верхней части — только на опорах, а в нижней части — в траншее. В этом случае под перегрузочные площадки используются участки предохранительных берм карьера.

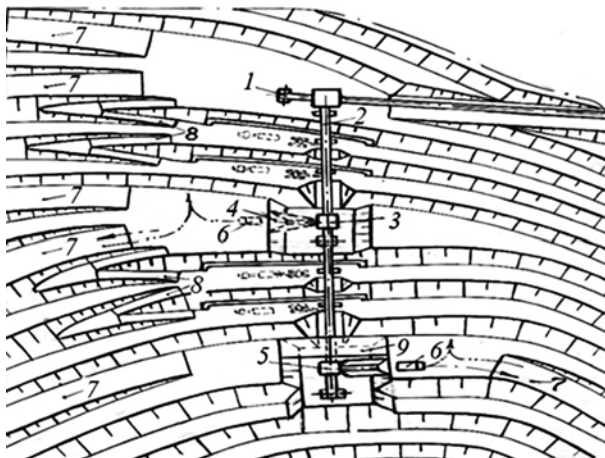


Рис. 6. Схема ДКК с удлинением ленточного конвейерного подъемника КНК:
 1 – ленточный конвейерный подъемник; 2 – крутонаклонные конвейеры;
 3 – узел перегрузки между конвейерами на месте прежней установки ДПП 4;
 5 – ДПП; 6 – автосамосвал; 7 – капитальный съезд; 8 – съезды на монтажные площадки; 9 – мост через нишу

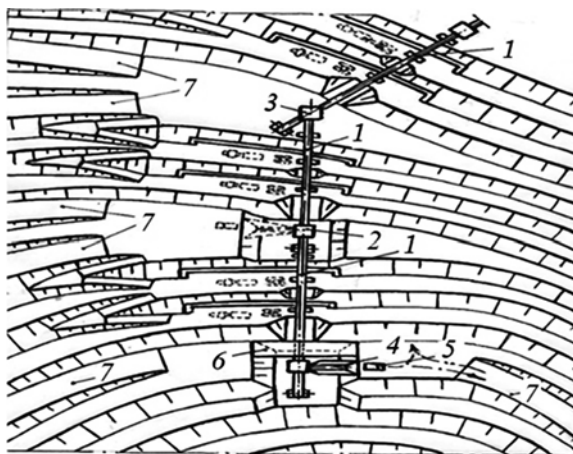


Рис. 7. Схема ДКК с крутонаклонными конвейерами:

- 1 – крутонаклонные конвейеры;
- 2 – узел перегрузки между конвейерами на месте прежней установки ДПП;
- 3 – узел перегрузки между конвейерами; 4 – ДПП; 5 – автосамосвал;
- 6 – мост через нишу; 7 – капитальный съезд

Если при использовании в верхней части конвейерного подъемника ленточных конвейерных ставов ДПП целесообразно размещать на временно нерабочих участках бортов карьера, то при использовании в нижней части КНК дробильно-перегрузочные пункты могут быть размещены только на участках конечного борта карьера. Чтобы избежать оставления под площадку ДПП постоянного целика пород, ее можно совместить с горизонтальной площадкой капитального съезда или с площадкой, сопряженной с разворотной площадкой капитального съезда. В первом случае в уступе с этой площадкой проходят нишу, в которой над концевой частью КНК устраивают ДПП или устанавливают МДПУ. Для переезда через нишу устраивают мост. При разгрузке в приемный бункер ДПП автосамосвалы устанавливают на горизонтальной площадке капитального съезда. Во втором случае нишу формируют в уступе с площадкой, сопряженной с разворотной площадкой капитального съезда. При разгрузке автосамосвалы устанавливают на разворотной площадке съезда.

Если КНК удлиняют другим КНК, то ДПП демонтируют, а на его месте устраивают узел перегрузки между конвейерами. При разгрузке автосамосвалов в приемный бункер ДПП, расположенного в нише, их движение может быть поточным или тупиковым. При поточном движении грузовая и порожняковая части съезда могут быть разделены и размещены на разных транспортных бермах, которые в условиях ограниченного пространства нижней части карьера могут полностью заменить горизонтальные предохранительные бермы карьера (рис. 8).

Недостатком КНК является большая длина их хвостовой части, для размещения которой требуется горизонтальная площадка длиной более 60 метров. Чтобы избежать выемки дополнительных объемов вскрыши при ее формировании, площадка такой длины может быть образована за счет объединения на участке ее формирования нескольких уступов карьера (см. рис. 6–8). Можно ее обустроить на участке, сопряженном с разворотной площадкой широкого автомобильного съезда. Длина этой площадки может быть увеличена за счет мостовой конструкции.

При выдаче из нижней части карьера примерно одинаковых объемов скальных руды и вскрышных пород и размещении ДОФ и отвала вскрышных пород на противоположных сторонах карьера могут быть использованы два КНК (рис. 9) [5].

Снижение затрат достигается тем, что в известном устройстве карьера, включающем конечные борта с конвейерными подъемниками,

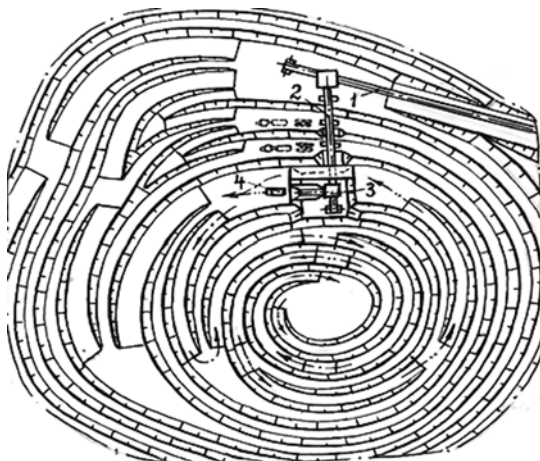


Рис. 8. Схема карьера с ДКК при совмещении грузовой и порожняковой ветвей капитального съезда с наклонными предохранительными бермами в нижней части карьера:

1 – ленточный конвейерный подъемник; 2 – КНК; 3 – ДПП; 4 – автосамосвал

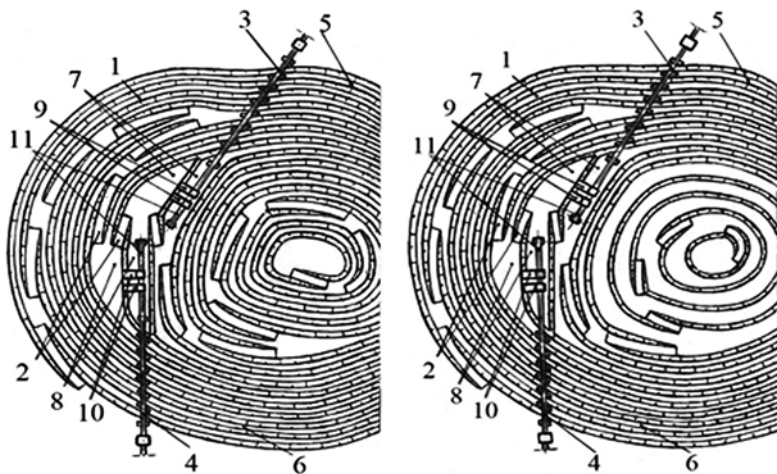


Рис. 9. Разработка глубоких горизонтов карьера с КНК, выходящими на поверхность на противоположные стороны карьера:

1 – борт карьера с капитальным автомобильным съездом;

2 – капитальный автомобильный съезд; 3, 4 – КНК;

5, 6 – противоположные борта карьера;

7, 8 – площадки ДПП; 9, 10 – ДПП; 11 – хвостовые части КНК

выходящими на поверхность на разные стороны карьера, для транспортирования на ДОФ и внешний отвал дробленых в дробилках крупного дробления скальных руды и вскрышных пород, а также борт с капитальным автомобильным съездом расположен между трассами КНК, расположенными по границам этого борта с противоположными друг другу бортами карьера, и включает площадки с ДПП и хвостовыми частями КНК, а капитальный съезд одновременно является заездом автосамосвалов из рабочей зоны карьера на разгрузочные площадки обоих ДПП. Предлагаемое устройство карьера позволяет исключить формирование на конечных бортах дополнительных автомобильных съездов от капитального съезда до перегрузочных площадок ДПП скальных руд и вскрышных пород с выемкой большого дополнительного объема вскрышных пород.

Заключение

1. Разработаны технологические схемы, позволяющие адаптировать горнотехническую систему к изменяющимся технике и технологии при переходе на автомобильно-конвейерный транспорт как на действующих, так и на вновь проектируемых карьерах с учетом особенностей формирования карьерного пространства с целью рационального размещения оборудования.

2. Повышение эффективности разработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых достигается путем использования в верхней зоне карьеров комплексов с традиционными ленточными конвейерами, а с увеличением глубины разработки более 150–200 м целесообразно применять крутонаклонные конвейерные подъемники. Последние могут использоваться как для удлинения конвейерной линии прежнего комплекса, так и в отдельном комплексе в соответствии с горнотехническими условиями разработки.

Список литературы

1. Яковлев В. Л. Перспективные решения в области циклично-поточной технологии глубоких карьеров / В. Л. Яковлев // Горный журнал. – 2003. – № 4–5. – С. 51–56.

2. Кармаев Г.Д. Опыт проектирования, эксплуатации и перспективы развития циклично-поточной технологии на рудных карьерах / Г.Д. Кармаев, А.В. Глебов, В. А. Берсенов // Горная техника. Добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-

справочник. – Санкт-Петербург : ООО "Славутич". – 2013. – № 1(11). – С. 66–70.

3. Патент № 2685592 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/26. Перегрузочный пункт карьера : № 2018126598 : заявл. 19.07.2018 : опубл. 22.04.2019 / Глебов А. В., Берсенов В. А., Кармаев Г. Д., Семенкин А. В. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН).

4. Выбор схем циклично-поточной технологии на глубоких карьерах / В. Л. Яковлев, В. А. Берсенов, А. В. Глебов, С. С. Кулнияз, М. А. Маринин. – DOI 10.15372/FTPRPI20190511 // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2019. – № 5. – С. 98–104.

5. Патент № 2632612 С1 Российская Федерация, МПК E21C 41/26. Карьер : № 2016112247 : заявл. 31.03.2016 : опубл. 06.10.2017 / Глебов А.В., Берсенов В.А., Кармаев Г.Д., Семенкин А.В. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН).

Комбинированные геотехнологии и области их эффективного применения*

И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин, И.В. Никитин

Введение

Устойчивое развитие горного предприятия в соответствии с изменяющимися внутренними и внешними условиями или новыми требованиями можно обеспечить только путем изменения (реакции, обновления) внутри предприятия. Такое изменение с целью достижения стабильного состояния и представляет собой существо переходного процесса. Исследованию переходных процессов и учету закономерностей их развития при проектировании поэтапного освоения глубокозалегающих месторождений, планировании, организации и управлении добычей и рудоподготовкой минерального сырья посвящены труды чл.-корр. РАН В.Л. Яковлева [1–3]. Новизна результатов состоит в разработке научно-технологических основ современной стратегии комплексного освоения георесурсов, базирующейся на внедрении инновационных технологических решений и изменении параметров и показателей горнотехнической системы горного предприятия по мере развития горных работ.

Любой переходный процесс является результатом целеполагания. Различные виды переходного процесса вызываются разными причинами и условиями, в ходе их реализации действуют свои особые факторы, имеют специальные цели. Одним из наиболее сложных является переход открытых горных работ (ОГР) к подземным (ПГР) при комбинированной разработке глубокозалегающих рудных месторождений. Переходный процесс реализуется в так называемой переходной зоне (ПЗ) — участке месторождения, расположенном вблизи

* Исследования выполнены в рамках Госзадания Минобрнауки №075-00412-22 ПР. Тема 1. FUWE-2022-0005.

границ применения ОГР и ПГР и подлежащем освоению комбинированной геотехнологией. Сроки вскрытия, подготовки и отработки запасов ПЗ определяют длительность переходного периода. Основная цель переходного процесса — перевод горного предприятия от одного стабильного состояния к другому.

В рамках данного направления исследований лабораторией подземной геотехнологии ИГД УрО РАН обоснована методология оценки эффективности переходного процесса при комбинированной разработке глубокозалегающих рудных месторождений [4–8], включающая:

- метод комплексного анализа условий и факторов, вызывающих начало переходного процесса и подлежащих учету при его реализации, основанный на их систематизации по типу среды и сферам влияния и установлении границ критического изменения;

- метод структурно-функционального анализа горнотехнической системы в переходный период на основе определения параметров и показателей подсистем вскрытия и очистной выемки, позволяющий прогнозировать ее состояние при изменении постоянных и специфических факторов;

- методику определения параметров и показателей основных технологических процессов добычи руды комбинированной геотехнологией, учитывающую специфические горнотехнические факторы;

- инновационные варианты комбинированной геотехнологии, основанные на этажно- или поэтажно-камерной системе разработки с сухой закладкой и использованием комплексов высокопроизводительных подземных самоходных машин и карьерного оборудования, позволяющие повысить показатели полноты (в 1,7–2,0 раза) и качества (в 1,8–3,5 раза) извлечения руды из недр, увеличить производительность труда (на 20–25 %), утилизировать пустые породы как в карьерном, так и в подземном выработанном пространстве.

Целью настоящих исследований является оценка целесообразности реализации комбинированных геотехнологий в условиях глубокозалегающего железорудного месторождения «Малый Куйбас» с определением областей их эффективного применения.

Результаты исследований и их обсуждение

Месторождение «Малый Куйбас» расположено в Магнитогорском районе Челябинской области и представлено двумя генетическими типами железных руд: скарно-магнетитовые руды; сплошные

и вкрапленные титаномagnetитовые руды. Месторождение включает две рудные зоны — северную и южную, имеющие северо-восточное простирание и западное крутое падение (70–90°). Рудные зоны представлены неравномерно расположенными рудными телами, зачастую слепыми, имеющими широкий диапазон изменения их длины (100–700 м) и мощности (20–70 м). Глубина залегания рудных тел — 670 м [9].

В настоящее время разработка месторождения ведется открытым способом на глубинах, близких к предельным. Параметры карьера в предельном контуре: по поверхности — 2300 м × 1040 м, по дну карьера — 1300 м × 150 м. Глубина карьера на конец отработки — 320 м. Производительность карьера — 2,4 млн т руды в год [10]. Расширение контуров карьера и дальнейшее развитие ОГР экономически нецелесообразно вследствие значительного увеличения коэффициента вскрыши и транспортных расходов, а также наличия внешних отвалов практически по всему периметру карьера.

Целесообразность перехода на подземный способ разработки данного месторождения рассматривалась ранее в работах [11, 12]. Однако предлагаемые в них решения, основанные на традиционной подземной геотехнологии, практически не позволяют избежать разрыва в добыче руды в переходный период.

С учетом задачи недопущения (исключения) разрыва в добыче руды в переходный период разработаны три варианта комбинированной геотехнологии, отличающиеся состоянием карьера, способом и схемой вскрытия, вентиляции и транспорта горной массы, системой разработки, способом изоляции подземного блока от карьера, способом утилизации пустых пород (табл. 1) [13].

Технологическое оборудование для проходческих и очистных работ:

— оборудование ОГР: на бурении скважин — буровой станок типа СБШ-250МН; на транспортировании горной массы — карьерный автосамосвал (КАС) типа БелАЗ-7557; на перегрузке горной массы — экскаватор типа ЭКГ-5;

— оборудование ПГР: на бурении скважин (шпуров) — самоходная буровая установка типа *Sandvik DL 431-7*; на выпуске и доставке горной массы — погрузочно-доставочная машина (ПДМ) типа *Epiroc ST 14 Battery*; на транспортировании горной массы — шахтный автосамосвал (ШАС) типа *Epiroc MT 42 Battery*; на закладочных работах — шахтный бульдозер типа Б-10Ш.

Таблица 1

Характеристика вариантов комбинированной геотехнологии

Элемент геотехнологии	Традиционная подземная геотехнология	Комбинированная геотехнология		
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Состояние карьера	Борта карьера обрушены	Борта карьера поддерживаются в устойчивом состоянии		
Способ и схема вскрытия	Вертикальными (скиповым, клетевым и фланговыми вентиляционными) стволами с поверхности	Вертикальными (скиповым и клетевым) стволами с поверхности и фланговыми автосъездами из карьера	Вертикальным (скиповым) стволом с поверхности, центральными автосъездами и фланговыми вентиляционными шурфами из карьера	Вертикальным (клетевым) стволом с поверхности и центральными и фланговыми автосъездами из карьера
Способ проветривания	Нагнетательный	Нагнетательно-всасывающий		
Вид и схема транспорта	Электро-возный на откаточном горизонте до скипового ствола	Комбинированный: электро-возный на откаточном горизонте и автомобильный по автосъездам (ШАС в карьер и КАС на поверхность)		Автомобильный по автосъездам (ШАС в карьер и КАС на поверхность)
Способ изоляции от карьера	Формирование рудной предохранительной подушки при выпуске руды	Создание на дне карьера породной предохранительной подушки	Оставление в пределах ПЗ временного рудного изолирующего целика, вынимаемого с использованием карьерных буровых станков	
Система разработки	Подэтажное обрушение с торцовым выпуском руды	Этажное принудительное обрушение с площадным выпуском руды	Этажно-камерная с сухой закладкой под рудным изолирующим целиком	Подэтажно-камерная с сухой закладкой под рудным изолирующим целиком
Способ утилизации пустых пород	Без утилизации	Размещение на дне карьера	Размещение под землей в отработанных камерах	

В вариантах комбинированной геотехнологии в полной мере реализуются преимущества ОГР (использование высокопроизводительной карьерной техники и транспортных коммуникаций) и ПГР (утилизация отходов горного производства под землей, сохранение целостности земной поверхности вне контура карьера). Принципиальные схемы отработки месторождения «Малый Куйбас» комбинированной геотехнологией приведены на рис. 1.

На основе экономико-математического моделирования (ЭММ) выполнена оценка вариантов комбинированной геотехнологии с целью определения областей их эффективного применения по критерию максимума чистого дисконтированного дохода (ЧДД) в зависимости от основных горнотехнических факторов, определяющих показатели переходного процесса [14]:

- высоты ПЗ ($H_{пз}$), изменяющейся в соответствии с мировой практикой комбинированной разработки месторождений в диапазоне от 40 до 100 м;

- производственной мощности подземного рудника ($A_{шх}$), изменяющейся по горным возможностям подземного рудника в диапазоне от 0,8 до 2,4 млн т/год (соответственно, $A_{шх} = 1/3A_{кар}$; $A_{шх} = 2/3A_{кар}$; $A_{шх} = A_{кар}$).

В качестве исходных данных для ЭММ приняты следующие условия:

- окончание эксплуатации карьера — через 4 года;
- запасы, подлежащие отработке подземным способом, — более 30 млн т, из них в ПЗ — от 5,2 до 10,4 млн т (в зависимости от высоты ПЗ);
- цена железорудного концентрата на внутреннем рынке — 8,5 тыс. руб/т, выход концентрата — от 37 до 51 %;
- скорость проходки вертикальных стволов — 45 м/мес, автосъездов и других горизонтальных выработок — 140 м/мес;
- себестоимость проходки вертикальных стволов — 15 тыс. руб/м³, автосъездов и других горизонтальных выработок — 6 тыс. руб/м³;
- себестоимость подъема руды по вертикальному стволу — 24 руб/т, внутришахтного транспорта ШАС — 30 руб/т-км, внутрикарьерного транспорта КАС — 12 руб/т-км, перегрузки руды экскаватором — 5 руб/т;
- извлекаемая ценность руды — от 3,3 до 4,0 тыс. руб/т, себестоимость добычи и обогащения руды — от 1,9 до 2,4 тыс. руб/т;
- норма дисконта — 12 %.

На первом этапе исследования для вариантов 1–3 установлены технически рациональные параметры перехода от ОГР на ПГР (в диапазоне изменения $H_{пз}$ и $A_{шх}$) исходя из задачи недопущения периодов разрыва в добыче руды ($T_{разр}$), предполагающей выполнение следующих условий:

а) обеспечение своевременного ввода подземного рудника в эксплуатацию с учетом завершения ОГР в течение ближайших 4-х лет ($T_{вв} \leq 4$);

б) обеспечение планомерного перехода ПГР на следующий этаж с учетом времени его вскрытия и подготовки ($T_{наб} \leq T_{подд}$ или $T_{подд}/T_{наб} > 1$).

На основе календарного планирования определена длительность периодов набора ($T_{наб}$) и поддержания ($T_{подд}$) производственной мощности подземного рудника (исходя из расчетных сроков ввода рудника в эксплуатацию ($T_{вв}$), сроков выхода на полную мощность ($T_{вых}$) и сроков освоения запасов ПЗ (T_o)) при различной $H_{пз}$ и $A_{шх}$ (рис. 2).

Анализ полученных результатов показал следующее:

— вариант 1 позволяет сократить $T_{вв}$ до 3,2–4,5 лет (на 18–20 %) за счет отказа от вентиляционных стволов с заменой их автосъездами из карьера, обеспечить достижение заданной $A_{шх}$ и планомерный переход на следующий этаж при соотношении $T_{подд}/T_{наб} = 1,5-1,5 > 1$. Технически нерациональные параметры, допускающие $T_{разр} : H_{пз} = 60-100$ м при $A_{шх} = A_{кар}$ и $H_{пз} = 80-100$ м при $A_{шх} = 2/3 A_{кар}$;

— вариант 2 позволяет сократить $T_{вв}$ до 2,8–4 лет (на 27–30 %) за счет отказа от скипового и вентиляционных стволов с заменой их автосъездами и вентиляционными шурфами из карьера, обеспечить достижение заданной $A_{шх}$ и планомерный переход на следующий этаж при соотношении $T_{подд}/T_{наб} = 1,2-8,5 > 1$. Технически нерациональные параметры: $H_{пз} = 40-60$ м при $A_{шх} = A_{кар}$;

— вариант 3 позволяет сократить $T_{вв}$ до 2,3–3,5 лет (на 36–42 %) за счет отказа от скипового и вентиляционных стволов с заменой их автосъездами из карьера, обеспечить достижение заданной $A_{шх}$ и планомерный переход на следующий этаж при соотношении $T_{подд}/T_{наб} = 1,1-5,5 > 1$. Технически нерациональные параметры: $H_{пз} = 40-100$ м при $A_{шх} = A_{кар}$ и $H_{пз} = 40-60$ м при $A_{шх} = 2/3 A_{кар}$.

Таким образом, варианты 1–3 в отличие от традиционной подземной геотехнологии в определенном диапазоне изменения $H_{пз}$ и $A_{шх}$ (за исключением технически нерациональных) надежно обеспечивают необходимые показатели добычи руды в переходный период.

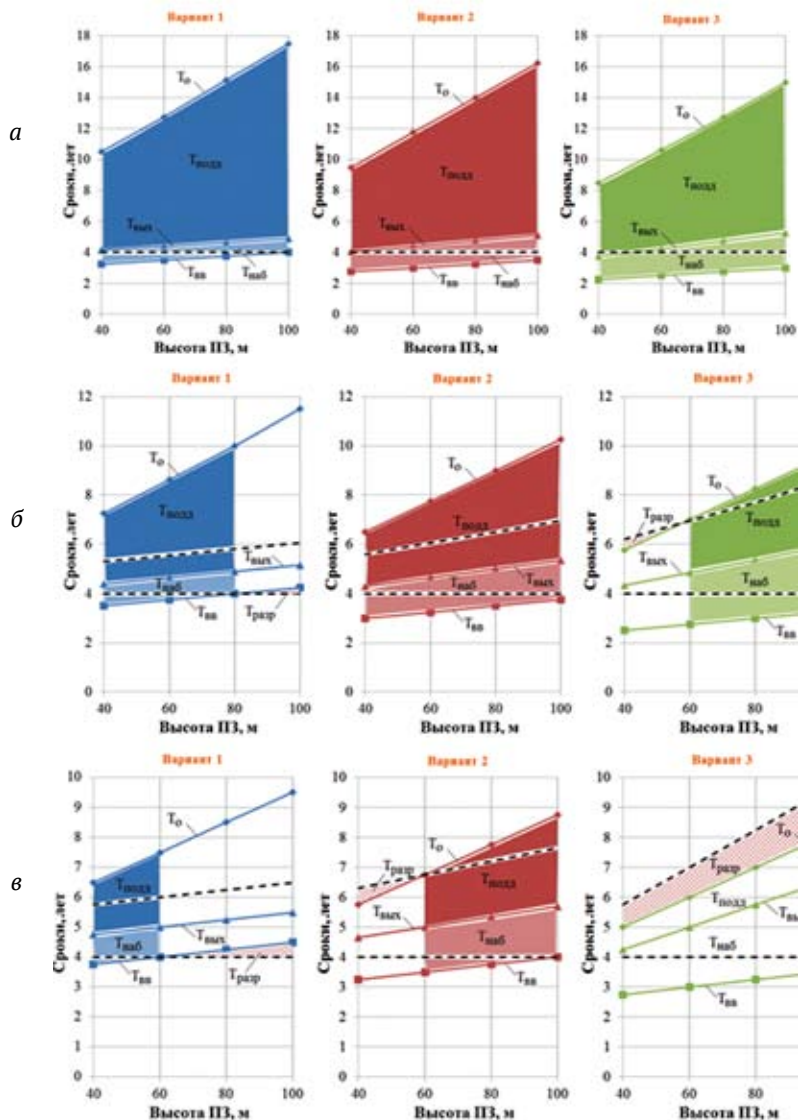


Рис. 2. Длительность периодов $T_{наб}$ и $T_{подд}$ в зависимости от $H_{пз}$ и $A_{шх}$:

а – при $A_{шх}=1/3A_{кар}$; б – при $A_{шх}=2/3A_{кар}$; в – при $A_{шх}=A_{кар}$

На втором этапе исследования на основе сравнительного анализа результатов оценки вариантов 1–3 по критерию максимума ЧДД, приведенных в табл. 2, с использованием метода пространственной интерполяции определены области эффективного применения комбинированных геотехнологий в зависимости от $H_{пз}$ и $A_{шх}$ с учетом их технической целесообразности (рис. 3):

— вариант 1 обладает более низкими эксплуатационными затратами на добычу руды по сравнению с вариантами 2 (на 15–19 %) и 3 (на 11–27 %). Области эффективного применения варианта 1:

а) $H_{пз}=85-100$ м при $A_{шх}=1/3A_{кар}$;

б) $H_{пз}=70-80$ м при $A_{шх}=2/3A_{кар}$;

в) $H_{пз}=40-60$ м при $A_{шх}=A_{кар}$;

— вариант 2 обеспечивает более высокую извлекаемую ценность руды по сравнению с вариантами 1 (на 6–20 %) и 3 (на 2–5 %). Области эффективно-го применения варианта 2:

а) $H_{пз}=70-90$ м при $A_{шх}=1/3A_{кар}$;

б) $H_{пз}=40-50$ м и $H_{пз}=80-100$ м при $A_{шх}=2/3A_{кар}$;

в) $H_{пз}=60-100$ м при $A_{шх}=A_{кар}$;

— вариант 3 имеет меньшую продолжительность строительства рудника (на 14–30 %) и более низкие капитальные затраты по сравнению с вариантами 1 (на 40–57 %) и 2 (на 24–42 %). Области эффективного применения варианта 3:

а) $H_{пз}=70-90$ м при $A_{шх}=1/3A_{кар}$;

б) $H_{пз}=40-50$ м и $H_{пз}=80-100$ м при $A_{шх}=2/3A_{кар}$.

Таким образом, учет и управление горнотехническими факторами, определяющими показатели переходного процесса, при разработке и выборе комбинированных геотехнологий являются ключевым мероприятием по обеспечению экономической устойчивости горного предприятия, характеризующейся непрерывностью добычи руды при стабильном превышении доходов над расходами.

Заключение

В результате выполненных исследований предложены комбинированные геотехнологии, обеспечивающие непрерывность добычи руды и стабилизацию доходов горного предприятия в переходный период, и установлены области их эффективного применения в зависимости от высоты переходной зоны и производственной мощности подземного рудника.

Таблица 2

Результаты оценки вариантов комбинированной геотехнологии

Показатель	Ед. изм.	Производственная мощность рудника, млн т/год											
		0,8				1,6				2,4			
		Высота ПЗ, м											
		40	60	80	100	40	60	80	100	40	60	80	100
Вариант 1													
Извлекаемая ценность	млрд руб.	17,2	24,8	32,6	40,5	17,2	24,8	32,6	-	17,2	24,8	-	-
Капитальные затраты	млрд руб.	3,29	3,35	3,40	3,44	3,68	3,74	3,80	-	4,12	4,19	-	-
Эксплуатационные затраты	млрд руб.	11,4	15,0	17,9	22,0	10,8	14,3	17,7	-	10,2	13,7	-	-
ЧДД	млрд руб.	0,9	2,4	4,2	5,1	1,2	2,9	4,7	-	1,4	4,1	-	-
Вариант 2													
Извлекаемая ценность	млрд руб.	20,7	27,4	34,1	40,1	20,7	27,4	34,1	40,1	-	27,4	34,1	40,1
Капитальные затраты	млрд руб.	2,97	3,03	3,14	3,22	3,19	3,26	3,32	3,40	-	3,62	3,71	3,78
Эксплуатационные затраты	млрд руб.	12,4	17,3	21,5	26,1	11,7	16,5	20,8	25,4	-	15,8	20,2	24,8
ЧДД	млрд руб.	2,3	3,4	5,2	3,6	2,6	3,7	4,5	4,1	-	3,9	4,7	4,2
Вариант 3													
Извлекаемая ценность	млрд руб.	19,8	26,5	33,1	39,7	-	26,5	33,1	39,7	-	-	-	-
Капитальные затраты	млрд руб.	2,09	2,15	2,30	2,44	-	2,40	2,57	2,73	-	-	-	-
Эксплуатационные затраты	млрд руб.	11,6	16,7	22,4	28,1	-	16,1	21,7	27,2	-	-	-	-
ЧДД	млрд руб.	3,6	4,3	3,8	3,1	-	3,9	3,7	2,9	-	-	-	-

Примечание: «-» – технически нерациональные параметры (оценка не производилась).

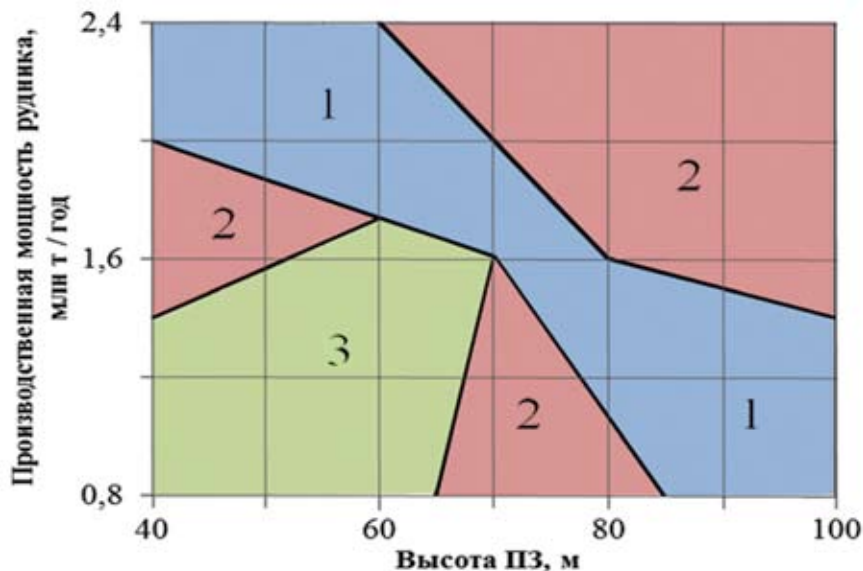


Рис. 3. Области эффективного применения комбинированных геотехнологий в зависимости от $H_{пз}$ и $A_{шх}$:

1 — вариант 1; 2 — вариант 2; 3 — вариант 3

Список литературы

1. Яковлев В. Л. Переходные процессы в технологии разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых / В. Л. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S1-1. – С. 65–76.
2. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов — новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев. – Екатеринбург : УрО РАН, 2019. – 284 с.
3. Яковлев В. Л. О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минеральносырьевой базы России / В. Л. Яковлев // Известия вузов. Горный журнал. – № 7. – 2020. – С. 5–20.
4. Теоретические основы геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений подземным способом / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин. – DOI:

10.25635/2313-1586.2019.01.014 // Проблемы недропользования. – 2019. – № 1 (20). – С. 14–22.

5. Соколов И. В. Моделирование и эколого-экономическая оценка геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений / И.В. Соколов, И. В. Никитин, Ю. М. Соломеин. – DOI: 10.25635/b7446-4481-7083-f // Известия Тульского государственного университета. – 2020. – С. 153–167. (Науки о Земле. Вып. 2)

6. Обоснование подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений с учетом особенностей переходных процессов / И.В. Соколов, Ю. Г. Антипин, А. А. Смирнов, И. В. Никитин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3–1. – С. 326–337.

7. Соколов И. В. Развитие методологии оценки эффективности переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений / И. В. Соколов, Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–1. – С. 77–87.

8. Соколов И. В. Методология выбора подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений / И. В. Соколов, Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин. – Екатеринбург : Изд-во УрФУ, 2021. – 340 с.

9. Дворник Г. П. Распределение мощности рудных тел, содержаний железа и серы в скарно-магнетитовых рудах в центральной части месторождения «Малый Куйбас» / Г. П. Дворник, Е. В. Старадубцева // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. – 2019. – № 22. – С. 243–248.

10. Бурмистров К. В. Обоснование параметров этапа открытых горных работ в переходные периоды разработки крутопадающих месторождений / К.В. Бурмистров, М. П. Овсянников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 6. – С. 20–28.

11. Обоснование рациональных вариантов перехода с открытого на подземный способ разработки месторождения «Малый Куйбас» / В. Н. Калмыков, С. Е. Гавришев, К. В. Бурмистров [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 4. – С. 132–139.

12. Калмыков В. Н. Обоснование способа выдачи рудной массы на поверхность при отработке запасов переходной зоны железорудного месторождения «Малый Куйбас» / В. Н. Калмыков, А. А. Гоготин, А. Р. Яркеев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S4-2. – С. 122–130.

13. Антипин Ю. Г. Изыскание эффективных технологических схем освоения переходной зоны железорудного месторождения «Малый Куйбас» / Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин, Ю. М. Соломеин // Известия

Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 3. – С. 105–117.

14. Смирнов А. А. Обоснование типов и методов адаптации горно-технологической системы горного предприятия к изменяющимся условиям подземной разработки / А. А. Смирнов, И. В. Никитин // Известия вузов. Горный журнал. – 2019. – № 6. – С. 14–20.

Совершенствование методов обоснования технологий снижения ущерба от переизмельчения руды при проектировании горнотехнических систем*

И.В. Соколов, А.А. Рожков, А.А. Смирнов, К.В. Барановский

Введение

Эффективность, полнота и комплексность освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых во многом определяется правильностью выбора технологических решений на различных стадиях проектирования и этапах функционирования горнотехнических систем (ГТС). Методологической основой выбора технологических решений служат принципы системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, выдвинутые членом-корреспондентом РАН Яковлевым В.Л. [1 – 4].

Одной из проблем при подземной разработке месторождений является снижение эффективности освоения запасов недр, связанное с переизмельчением руды в процессе очистной выемки. Несмотря на значительное количество и продолжительную историю исследований данного вопроса, к настоящему времени в достаточной степени не разработана универсальная и общепринятая методика по обоснованию технологий снижения ущерба от переизмельчения руды. Большая часть исследователей понимают под ущербом потери богатой рудной мелочи, остающейся в выработанном пространстве или проникающей в закладочный материал при системах разработки с естественным и искусственным поддержанием очистного пространства. Целесообразность их извлечения или предотвращения просыпи определяется разностью стоимости теряемой руды и затрат на эти дополнительные мероприятия [5]. С точки зрения оценки экономиче-

* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00412-22 ПР. Тема 1 (2022-2024). Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), пер. №1021062010531-8-1.5.1

ской эффективности отдельных технологических процессов данный подход логичен, рационален и имеет наиболее широкое распространение в настоящее время. Однако проведенный анализ показал [6], что применительно к ГТС в целом, ущерб, к которому напрямую или косвенно приводит переизмельчение руды, значительно шире. Было выделено четыре основные группы ущерба — снижение полноты извлечения запасов недр, снижение экономической эффективности функционирования ГТС, снижение интенсивности освоения участка недр и снижение безопасности очистной выемки. В рамках данных групп основные виды ущерба при подземном способе добычи зависят от типа добываемых руд (металлические, неметаллические) и применения или неприменения технологических мероприятий по его снижению (табл. 1).

Таким образом, совершенствование методов обоснования данных технологий представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Методология исследования

Перспективным путем ее решения является применение концепции системного подхода и модульного принципа проектирования ГТС [7], а именно — выделение технологий снижения ущерба от переизмельчения руды в отдельный геотехнологический модуль в рамках подсистемы очистной выемки (рис. 1).

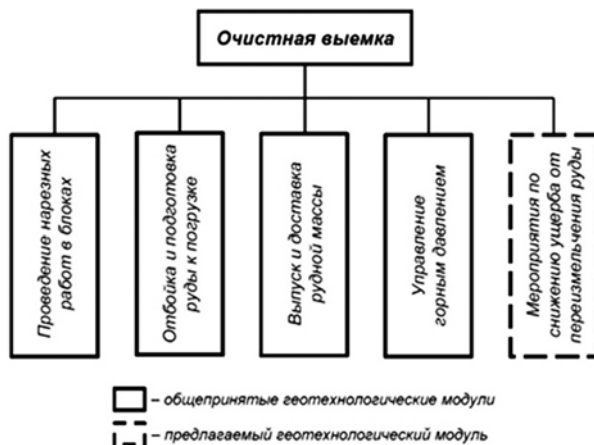


Рис. 1. Предлагаемая структура подсистемы очистной выемки

Таблица 1
Структура ущерба от переизмельчения руды при подземной разработке месторождений

Группы ущерба от переизмельчения руды		Тип добываемых руд			
		Металлические руды		Неметаллические руды	
		Применение мероприятий по снижению ущерба			
		Без применения	С применением	Без применения	С применением
		Основные виды ущерба от переизмельчения руды			
I	Снижение полноты извлечения запасов недр	Значительные потери обогащенной металлом руды	Частичные потери обогащенной металлом руды	Значительные потери руды некондиционной крупности, разрушение кристаллов, засорение мелких фракций вредными примесями	Частичные потери руды некондиционной крупности, разрушение кристаллов, засорение мелких фракций вредными примесями
		Уменьшение ширины фигуры выпуска			
		Кольматация при подземном выщелачивании			
II	Снижение интенсивности освоения участка недр	Снижение извлекаемой ценности основных запасов добытой руды	Затраты на поддержание очистного пространства после выемки основных запасов	Значительное снижение сорта и категории ценности сырья	Частичное снижение сорта и категории ценности сырья
		Ущерб от потерь обогащенной металлом руды			
				Удорожание процессов переработки сырья	

III	Снижение интенсивности освоения участка недр	Повышение степени слеживаемости рудной массы	Необходимость поддержания очистного пространства после выемки основных запасов	Выпуск, доставка и транспортирование некондиционной руды	Увеличение времени на проведение подготовительных мероприятий
		Повышение вероятности и скорости смерзания рудной массы	Затраты времени на осуществление дополнительных мероприятий по извлечению рудной мелочи	Усложнение процессов переработки сырья	Переход на селективные методы ведения очистной выемки
			Повышения выхода негабарита		
IV	Снижение безопасности освоения участка недр	Повышение риска самовозгорания рудной массы	Низкая технологичность (кустарность) дополнительных мероприятий	Высокая запыленность рудничной атмосферы	Снижение доли механизации процессов очистной выемки
		Высокая запыленность рудничной атмосферы	Нахождение людей в очистном пространстве		
			Увеличение количества стадий процесса очистной выемки в техногенно-нарушенных условиях	Пыление складов некондиционной руды на поверхности	Увеличение количества стадий процесса очистной выемки в техногенно-нарушенных условиях
		Повышение риска взрывов сульфидной пыли	Снижение устойчивости элементов конструкции при проведении дополнительных работ		

Признаками возможности такого выделения являются самостоятельность и цикличность мероприятий, поскольку для их реализации требуются специальные технологические или организационные действия, которые также возможно полностью исключить из цикла очистной выемки, непосредственное влияние на эффективность и безопасность функционирования ГТС [8–12].

Для реализации модульного принципа проектирования необходима объективная параметризация модуля, под которой понимается структуризация горно-геологических, горнотехнических, экономических, природно-климатических и других условий осваиваемого участка недр, необходимых для определения параметров взаимосвязи мероприятий со смежными модулями подсистемы очистной выемки. Применительно к технологическому воздействию на основной источник ущерба (потери рудной мелочи) более значимы складывающиеся горнотехнические и специфические условия. Для их учета предложена классификация потерь рудной мелочи по категориям, состоянию и условиям нахождения в очистном пространстве (табл. 2).

Таблица 2

**Горнотехническая классификация потерь рудной мелочи
в очистном пространстве**

Классификационные признаки		Горнотехническая характеристика очистного пространства			
Категория теряемой рудной мелочи	Состояние в очистном пространстве	Подстилающая поверхность			Кровля
		Тип	Вид	Угол наклона	Состояние кровли
I. Обогащенная II. Рядовая III. Некондиционная а) по качеству б) по содержанию	1. Свободное а) связанное (уплотнение, слеживание, смерзание) б) несвязное	Монолитная	Рудный массив	1. Пологий (0°–20°) 2. Наклонный (20°–60°) 3. Крутой (60°–90°)	1. Устойчивое а) контролируемое б) неконтролируемое 2. Обрушенное
			Породный массив		
			Твердеющая закладка		
	2. Стесненное а) под обрушенными породами б) в закладочном материале	Разрыхленная	Рудная масса		
			Породная масса		
			Сухая закладка		

Категория теряемой мелочи характеризует ее извлекаемую ценность. Состояние нахождения рудной мелочи в очистном пространстве характеризует способ выпуска, специфику свойств рудной массы и температурного режима в горных выработках. Характеристики подстилающей поверхности очистного пространства определяют рациональные способы преобразования горнотехнических условий или воздействия на рудную мелочь. Состояние кровли характеризует очистное пространство с точки зрения безопасности и возможности нахождения в нем людей, оборудования и техники.

До настоящего времени основным признаком технологии снижения ущерба от переизмельчения руды являлись применяемые силы и инструменты воздействия (ручной, гидравлический, механический и др.) [13–16]. Для системного подхода данный признак недостаточен, поскольку не обладает пространственно-временными свойствами. Поскольку пространственные условия (горнотехническая характеристика очистного пространства) определяются применяемой системой разработки, временной характеристикой является последовательность осуществления мероприятий относительно цикла очистной выемки. Признаком разделения на виды служит известный принцип применяемых сил и инструментов воздействия, на варианты — способ технологического воздействия (табл. 3) [17–19].

Таблица 3

Систематизация технологий снижения ущерба от переизмельчения руды

Группа	Вид	Вариант
Последовательность осуществления относительно цикла очистной выемки	Силы и инструменты воздействия	Способ технологического воздействия
1	2	3
Превентивные	Безвзрывной	Самообрушение руды
		Невзрывные расширяющиеся смеси
		Отбойка гидромолотом
		Комбайновая выемка
		Выбуривание керна или выпиливание блоков

Таблица 3, продолжение

1	2	3
Превентивные	Экранирующий	Отбойка руды на неразборные настилы
		Отбойка руды на разборные настилы
		Формирование экрана тампонированием
		Формирование экранирующей щели
	Буровзрывной	Сетка скважин или шпуров
		Конструкция зарядов и тип ВВ
		Порядок инициирования
		Комбинированный
	Конструктивный	Создание «гладких» поверхностей выпуска
		Увеличение угла поверхностей выпуска
	Селективный	Уменьшение площади поверхностей выпуска
		Крупное дробление руды и переизмельчение породы для последующего разделения
	Конструктивно-буровзрывной	Щадящая отбойка с созданием условий само-течного выпуска мелочи
Реактивные	Ручной	Ручные немеханизированные инструменты
	Гидравлический	Напорный водный поток
		Слабонапорный водный поток
		Безнапорный водный поток
	Вакуумный	Сбор вакуумной установкой
	Пневматический	Энергия сжатого воздуха
	Механический	Самоходное оборудование
		Переносное оборудование
	Кинетический	Сброс крупнофракционного материала
	Взрывокинетический	Сотрясательное взрывание
		Накладной заряд
		Фугасный заряд
	Гидромеханический	Водный поток с последующим перемещением смывтой мелочи механическими средствами
		Механические средства с водонапорным оборудованием
	Вакуумно-механический	Вакуумная установка, оборудованная механическими средствами для разупрочнения
	Пневмомеханический	Разупрочнение механическими средствами, перемещение энергией сжатого воздуха

Таблица 3, окончание

1	2	3
Комбинированные	Буровзрыво-гидравлический	Формирование грансостава, позволяющего повысить эффективность использования энергии водного потока
	Конструктивно-гидравлический	Создание «гладких» поверхностей, повышающих эффективность гидрозащитки
	Конструктивно-механический	Создание «гладких» поверхностей, повышающих эффективность работы механических средств
	Прочие	Прочие сочетания превентивных и реактивных способов

С учетом вышесказанного выполнена параметризация структуры предлагаемого геотехнологического модуля (рис. 2). Внешние условия модуля оказывают значительное влияние на выбор конкретной технологии снижения ущерба от переизмельчения руды через внутренние условия. В частности, определяют технологию отработки основных запасов выемочной единицы. Каждому классу систем разработки соответствуют определенные группы технологий по последовательности их осуществления.



Рис. 2. Структура условий и параметров геотехнологического модуля «Снижение ущерба от переизмельчения руды»

В зависимости от горно-геологических, экономических и инфраструктурных условий, технологии характерны определенные уровни интенсивности и концентрации горных работ. В системе внутренних условий эти факторы становятся ограничительными и определяют временные и пространственные рамки. Специфическим внутренним условием становится категория теряемой рудной мелочи, зависящая от экономических условий и определяющая целесообразность внедрения рассматриваемого модуля и необходимую последовательность осуществления технологических мероприятий относительно цикла по извлечению запасов полезного ископаемого. Локальные внутренние условия определяют рациональные виды способов и параметры вариантов технологического воздействия. Состояние нахождения рудной мелочи в очистном пространстве зависит от класса системы разработки, применяемых на очистной выемке технических средств и природно-климатических условий.

В зависимости от совокупности внешних и внутренних условий формируются основные входные параметры геотехнологического модуля — последовательность и способ технологического воздействия, необходимые для этого ресурсы. Основным выходным параметром модуля является степень технологической интегрированности с другими модулями подсистемы очистной выемки в пространстве, времени, используемых технических средствах и других ресурсах.

Качество учета совокупности внешних и внутренних условий на стадии проектирования, выбор рациональных входных и выходных параметров модуля с учетом имеющихся ограничений и других факторов определяют уровень показателей эффективности и безопасности технологии снижения ущерба от переизмельчения руды.

Результаты исследований

Самыми неблагоприятными с точки зрения потерь обогащенной рудной мелочи являются месторождения пологого залегания с низкими содержаниями полезных компонентов [20]. Пологий угол падения сводит к минимуму потенциал самотечной доставки руды и способствует осаждению мелких фракций на почве очистного пространства.

В частности, опыт освоения Норильских месторождений вкрапленных руд показывает, что содержание Cu и Ni в мелких фракциях руды в 1,5–2 раза выше, чем в крупных фракциях [21]. Со-

держание Ni в кусках отбитой руды с ростом крупности от 5 до 35 см снижается с 0,34 до 0,2 %, Cu — с 1,3 до 0,22 %. Применительно к таким металлам, как Au и Pt, данное соотношение может достигать 2–4 и более раз.

При камерной выемке отбойка руды на плоское днище возможна как восходящими веерами скважин, так и нисходящими. В первом случае, в силу невозможности бурения скважин параллельно контакту рудного тела и подстилающих пород на уровне почвы камеры, затруднительно сформировать достаточно ровную поверхность, что затрудняет качественную зачистку руды. Аналогичная ситуация наблюдается и при отбойке нисходящими скважинами, когда помимо неровности почвы камеры формируется зона неполной отбойки, высота которой постепенно увеличивается по направлению движения фронта очистного забоя. Применительно к рассматриваемым условиям схема образования потерь обогащенной рудной мелочи и неотбитой руды в почве камеры приведена на рис. 3.



Рис. 3. Схема образования потерь обогащенной рудной мелочи и неотбитой руды в почве камеры с плоским днищем

Величина стоимости теряемой обогащенной рудной мелочи на 1 м^2 днища камеры, зависящая от высоты ее слоя, изменяющегося в диапазоне от 0,1 до 0,5 м, и увеличения ее извлекаемой ценности относительно эксплуатационных запасов руды в диапазоне 1,5–2,5 раза, представлена на рис. 4.

Для устранения данного недостатка плоского днища камер предложен комбинированный, конструктивно-механический способ снижения потерь рудной мелочи. Технология заключается в формировании ровной поверхности очистного пространства при помощи

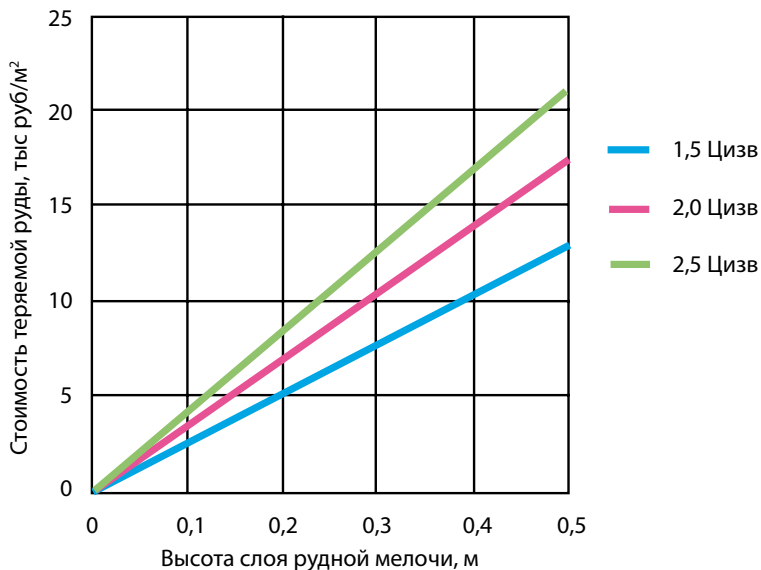


Рис. 4. Зависимость стоимости теряемой руды от высоты ее слоя и извлекаемой ценности

наклонного веера скважин с их перебуром ниже контакта рудного тела и пород лежащего бока с последующей зачисткой дна погрузо-доставочной машиной с дистанционным управлением (ПДМ с ДУ) в процессе выпуска основной части руды (рис. 5).

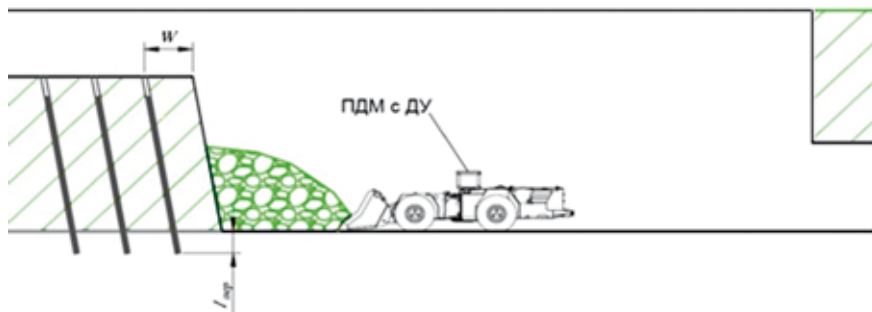


Рис. 5. Комбинированный конструктивно-механический способ снижения потерь обогащенной рудной мелочи с формированием ровной почвы и ее зачисткой ПДМ с ДУ

При выемке междукammerных целиков технологией с обрушением руды и налегающих пород отбойка производится послойно, при этом на откосе траншеи формируются неровности, обусловленные характером действия взрыва скважинного заряда в краевой части веера [22].

При выпуске под обрушенными породами в силу сегрегационных процессов обогащенная рудная мелочь скапливается в данных неровностях, после чего ее доизвлечение в условиях пологого падения рудных тел становится практически невозможным. Принимая допущение, что содержание переизмельченных фракций в общих потерях отбитой руды при данной технологии пропорционально выходу переизмельчаемой руды при отбойке, установлена зависимость стоимости теряемой мелочи на один отбиваемый слой от извлекаемой ценности при базовом уровне потерь по системе разработки в 20 % (рис. 6).

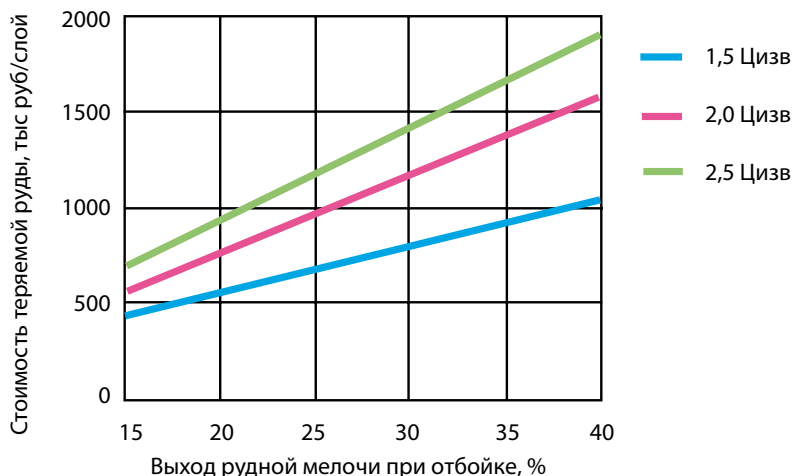


Рис. 6. Зависимость стоимости теряемой руды при отбойке одного слоя от выхода рудной мелочи и извлекаемой ценности при уровне общих потерь 20 %

Для данных условий предложен конструктивный способ снижения потерь рудной мелочи — формирование гладкой поверхности выпуска на откосах траншеи путем предварительного щелеобразования взрыванием ряда контурных зарядов уменьшенного диаметра и рассредоточенной конструкции до начала очистной выемки, тем самым снижается возможность оседания обогащенных фракций (рис. 7).

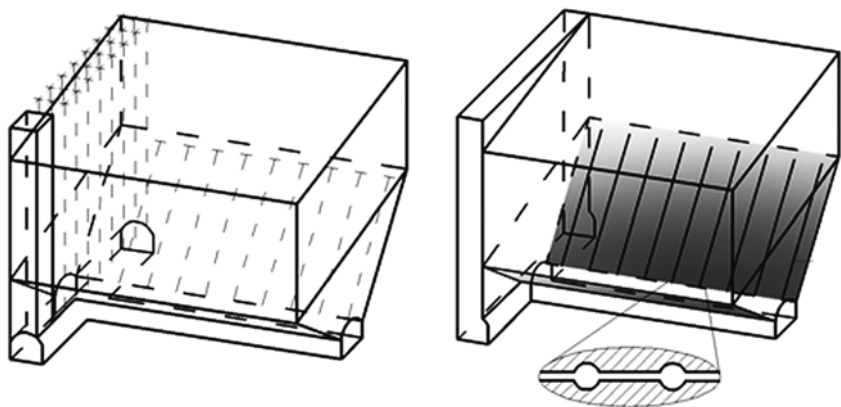


Рис. 7. Схема подготовки дна при отработке запасов МКЦ системой с обрушением руды и налегающих пород:

- а) схема разбуривания отрезной щели и формируемой поверхности откоса перед началом отработки панели;
- б) сформированные отрезная щель и «гладкая» поверхность выпуска перед началом очистной выемки

Даже при минимальном прогнозном снижении данного вида потерь на 20–30 % потенциальный экономический эффект при отработке одного МКЦ длиной 75 м может составить порядка 300–1000 тыс. руб. без значительного повышения себестоимости процесса очистной выемки.

Заключение

На основе модульного принципа проектирования ГТС предложено выделение технологий снижения ущерба от переизмельчения руды в отдельный геотехнологический модуль подсистемы очистной выемки. Показано, что данные технологии отвечают критерию самостоятельности, а их наличие или отсутствие в значительной мере влияет на показатели эффективности и безопасности функционирования ГТС. Для повышения объективности обоснования таких технологий на стадии проектирования ГТС определены системные признаки основного источника ущерба, места его формирования и технологических способов воздействия на него. Выполнена параметризация геотехнологического модуля, позволившая структурировать взаимосвязи технологии снижения ущерба от переизмельчения

руды со смежными модулями подсистемы очистной выемки, горно-геологическими, горнотехническими, природно-климатическими и другими условиями осваиваемого участка недр.

Предложены технические решения, в наибольшей степени соответствующие неблагоприятным условиям подземной разработки пологих месторождений бедных вкрапленных руд. Разработанные решения позволяют повысить полноту выемки и экономическую эффективность за счет снижения потерь ценного компонента, обеспечить необходимую интенсивность и безопасность добычи за счет применения способов, неразрывно связанных с основными технологическими процессами.

Направлением дальнейших исследований является совершенствование критериев, принципов, алгоритма и методики выбора технических решений по снижению ущерба от переизмельчения руды и оптимизации их параметров на базе исследования структурных взаимосвязей между элементами ГТС в сложных горно-геологических, горнотехнических и геомеханических условиях подземной разработки месторождений с учетом фактора интенсификации процессов добычи.

Список литературы

1. Яковлев В. Л. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений / В. Л. Яковлев. – DOI: 10.25018/0236_1493_2021_51_0_6// Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–1. – С. 6–18.

2. Яковлев В. Л. Основные этапы и результаты исследований по разработке методологических основ стратегии развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых / В. Л. Яковлев. – DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-34-45. // Горная промышленность. – 2022. – № S1. – С. 34–45.

3. Яковлев В. Л. Обсуждение назревшей проблемы особенно современного периода исследований по проблемам комплексного освоения недр и развития минерально-сырьевой базы России / В. Л. Яковлев. – DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.021. // Проблемы недропользования. – 2023. – № 3(38). – С. 21–34.

4. Корнилков С. В. О методологическом подходе к исследованиям в области освоения недр на основе системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности /

С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев. – DOI: 10.17580/gzh.2015.01.01. // Горный журнал. – 2015. – № 1. – С. 4–9.

5. Агошков М. И. Техничко-экономическая оценка извлечения полезных ископаемых из недр / М. И. Агошков, В. И. Никаноров, Е. И. Панфилов. – Москва : Недра, 1974. – 312 с.

6. Соколов И. В. Методический подход к обоснованию технологий снижения ущерба от переизмельчения руды при подземной разработке / И. В. Соколов, А. А. Рожков, Ю. Г. Антипин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 3. – С. 352–367.

7. Каплунов Д. Р. Научно-методическое обоснование модульного принципа проектирования горнотехнических систем / Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова, В. Н. Калмыков // Недропользование XXI век. – 2009. – № 5. – С. 74–78.

8. Pickering R. G. Long hole drilling applied to narrow reef mining / R. G. Pickering // Platinum Surges Ahead : Proceedings of the International Platinum Conference / South African Institute of Mining and Metallurgy. – Sun City, Rustenburg, South Africa, 2006. – P. 199–207.

9. Соколов И. В. Параметризация технологии снижения ущерба от переизмельчения руды при подземной разработке месторождений / И. В. Соколов, А.А. Рожков, К. В. Барановский. – DOI: 10.30686/1609-9192-2023-5-124-128 // Горная промышленность. – 2023. – № 5. – С. 124–128.

10. Otgieter G. S. Preliminary evaluation of the proposed mining method at Eland Platinum Mine / G. S. Otgieter, D. F. Malan // The 4th International Platinum Conference, Platinum in transition «Boom or Bust», The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2010. – P. 345–352.

11. Esterhuizen G. S. Pillar strength in underground stone mines in the United States / G. S. Esterhuizen, D. R. Dolinar, J. L. Ellenberger. – DOI: 10.1016/j.ijrmms.2010.06.003 // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2011. – Vol. 48(1). – P. 42–50.

12. Wu J. Research on sublevel open stoping recovery processes of inclined medium thick ore body on the basis of physical simulation experiments / J. Wu // PLoS ONE. – 2020. – Vol. 15(5). – P. e0232640.

13. Лизункин М. В. Исследование гидромеханического способа зачистки обогащенной рудной мелочи с почвы выработанного пространства / М. В. Лизункин, В. М. Лизункин, Р. В. Ситников. – DOI: 10.25791/infizik.11.2020.1177 // Инженерная физика. – 2020. – № 11. – С. 54–60.

14. Ломоносов Г. Г. Повышение извлечения мелких фракций золотосодержащих руд при подземной разработке маломощных месторождений / Г. Г. Ломоносов, С. С. Шангин, Б. В. Юсимов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № S27. – С. 12–18.

15. Павлов А. М. Применение вакуумной технологии при зачистке руды в условиях криолитозоны рудника «Ирокинда» / А. М. Павлов,

Ю. М. Семенов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 11. – С. 24–29.

16. Попов Н. И. Снижение потерь отбитой руды при разработке наклонных залежей / Н. И. Попов, А. А. Иванов. – Магадан : Книжное изд-во, 1979. – 62 с.

17. Соколов И. В. Систематизация способов снижения потерь рудной мелочи в очистном пространстве / И. В. Соколов, А. А. Рожков. – DOI: 10.21440/0536-1028-2022-5-14-24. // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2022. – № 5. – С. 14–24.

18. Рожков А. А. Систематизация способов снижения потерь рудной мелочи при подземной разработке месторождений / А. А. Рожков. – DOI: 10.25635/2313-1586.2021.03.016. // Проблемы недропользования. – 2021. – № 3(30). – С. 16–28.

19. Смирнов А. А. Применение принципов ресурсосбережения при отбойке крепких трещиноватых руд веерами скважинных зарядов / А. А. Смирнов, К. В. Барановский, А. А. Рожков. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-300-312. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3–1. – С. 300–312.

20. Исследование влияния показателей извлечения на эффективность подземной отработки месторождений бедных комплексных руд / Ю. Г. Антипин, К. В. Барановский, А. А. Рожков [и др.]. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-46-52. // Горная промышленность. – 2022. – № S1. – С. 46–52.

21. Ломоносов Г. Г. Явление сегрегации рудной массы и его влияние на формирование качества продукции горнорудного производства / Г. Г. Ломоносов, Н. А. Туртыгина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 6. – С. 37–40.

22. Белин В. А. Итоги развития теории разрушения горных пород взрывом / В. А. Белин, Г. М. Крюков // Взрывное дело. Теория и практика взрывного дела : научно-технический сборник. – 2011. – № 105/62. – С. 3–17.

Технологические схемы перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами и тоннелем спиральной формы при разработке глубоких кимберлитовых карьеров

Ю.И. Лель, И.А. Глебов, Р.С. Ганиев

Аннотация: В статье рассмотрены технологические схемы перехода на вскрытие глубоких горизонтов алмазородных карьеров крутонаклонными автосъездами на основе методологических подходов, сформулированных член-корр. Яковлевым В.Л. Технологическая схема перехода представляет собой технологию формирования нерабочих бортов карьера при переходе с определенной глубины на вскрытие крутонаклонными автосъездами или тоннелем спиральной формы.

Ключевые слова: карьер, схема вскрытия, технологическая схема перехода, автотранспорт, полноприводный самосвал, тоннель спиральной формы, крутонаклонные автосъезды.

Введение

Одним из технологических решений по повышению эффективности отработки глубоких карьеров и расширению области применения открытого способа разработки при освоении коренных месторождений алмазов является переход с определенной глубины на вскрытие крутонаклонными автосъездами и тоннелями спиральной формы при использовании полноприводных автосамосвалов.

Главные преимущества полноприводных шарнирно-сочлененных автосамосвалов заключаются в использовании автосъездов с уклоном до 18–24 % и транспортных бERM меньшей ширины по сравнению с автосамосвалами с колесной формулой 4×2, что позволяет увеличить углы наклона нерабочих бортов карьеров и сократить дополнительный объем вскрыши от размещения вскрывающих выработок.

Основная часть

Эффективность перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами в значительной степени определяется технологической схемой перехода, под которой понимается технология формирования нерабочих бортов карьера при переходе с определенной глубины на вскрытие крутонаклонными автосъездами или тоннелем спиральной формы.

В трудах член-корр. РАН В.Л. Яковлева сформулированы методологические подходы обоснования переходных процессов при проектировании и разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений [1–3].

На их основе были рассмотрены четыре технологические схемы перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами при разработке глубоких кимберлитовых карьеров (рис. 1).

При схеме А в начальный период разработки нерабочий борт карьера формируется под углом γ_1 , соответствующим руководящему уклону вскрывающих выработок i_1 автосамосвалов с колесной формулой 4×2. Проектное положение нерабочего борта на конец разработки соответствует линии АВО. При достижении глубины карьера Нп принимается решение о переходе на полноприводные автосамосвалы и вскрытие автосъездами с повышенным уклоном i_2 ($i_2 > i_1$). Это

Схема А

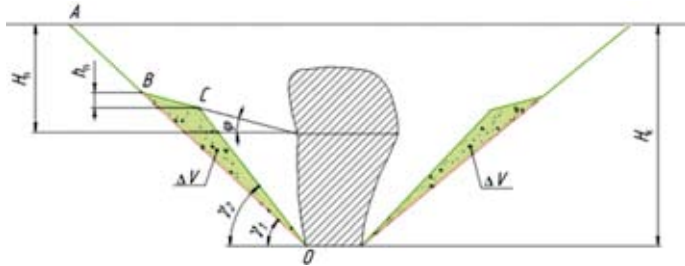
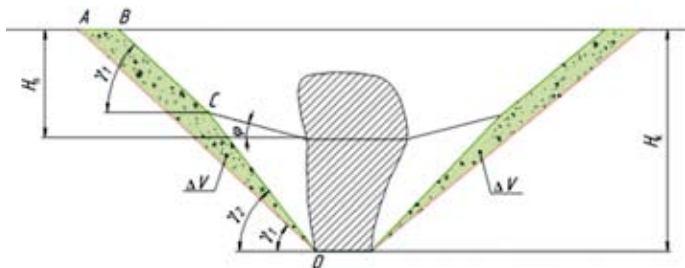


Схема В



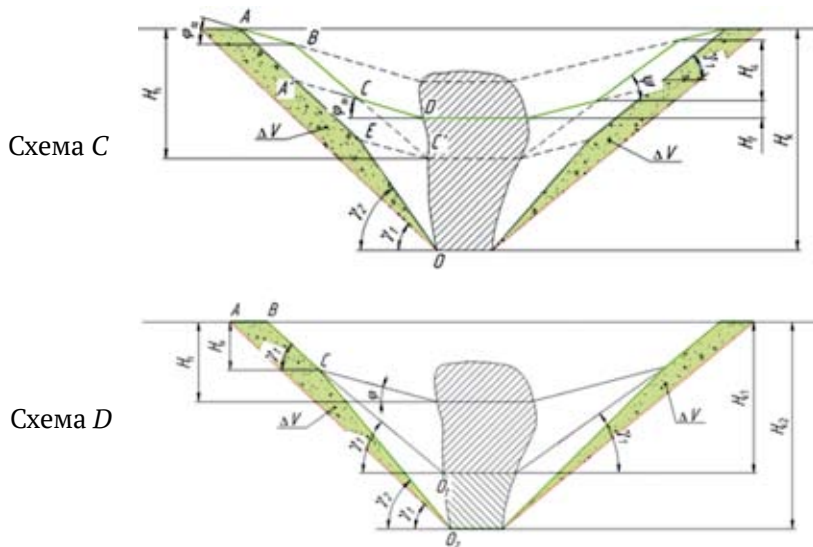


Рис. 1. Технологические схемы перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами:

H_k (H_{k1} , H_{k2}) – конечная (проектная) глубина карьера; γ_1 – угол откоса нерабочего борта при использовании автосамосвалов с колесной формулой 4×2; γ_2 – угол откоса нерабочего борта при вскрытии крутонаклонными автосъездами; H_n – глубина перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами; h_n – высота переходной зоны; φ – угол откоса рабочего борта; $H_{ц}$ – высота целика; H_r , φ_n – высота рабочего борта и угол его наклона на участке между контактом рудного тела и нижним основанием целика; ΔV – сокращение объема разноработы бортов карьера от размещения транспортных коммуникаций; ΔP – дополнительный объем добычи полезного ископаемого при переходе на вскрытие крутонаклонными автосъездами; $\varphi_{ц}$ – угол наклона рабочего борта на участке по разнорудности целика; Ψ – угол наклона борта целика

позволяет формировать нерабочий борт карьера с углом погашения γ_2 ($\gamma_2 > \gamma_1$) и обеспечить сокращение объемов вскрышных работ ΔV . Новое проектное положение нерабочего борта будет соответствовать линии СО и углу погашения γ_2 . При этом образуется переходная зона ВС высотой h_n , которая представляет собой выположенный участок нерабочего борта.

К достоинствам данной схемы можно отнести простоту реализации на практике, возможность принятия решения о переходе на

вскрытие крутонаклонными автосъездами в любой период разработки карьера, а также возможность организации внутреннего отвалообразования и перегрузочных пунктов в переходной зоне при вывозке вскрышных пород с глубоких горизонтов.

Основным недостатком схемы является то, что объемы вскрыши, которые можно сократить при переходе на вскрытие крутонаклонными автосъездами, резко падают с увеличением глубины перехода (рис. 2).

Практическая реализация указанной технологической схемы осложняется также тем, что в процессе отработки кимберлитовых карьеров проектные контуры постоянно корректируются в связи с дозаведкой запасов и изменением проектной глубины.

При технологической схеме *В* нерабочий борт карьера формируется по линии *BCO*, причем верхняя часть нерабочего борта *BC* отстраивается под углом γ_1 , соответствующим руководящему уклону i_1 , автосамосвалов с колесной формулой 4×2, а нижняя часть *CO* под углом γ_2 , соответствующим уклону i_2 , полноприводных автосамосвалов ($i_2 > i_1$; $\gamma_2 > \gamma_1$). Переход на вскрытие крутонаклонными автосъездами осуществляется при глубине карьера H_{Π} . Переходная зона отсутствует.

К достоинству схемы можно отнести то, что с увеличением глубины карьера (глубины перехода) сокращаемые объемы вскрыши падают медленно, что позволяет получить ощутимый эффект даже при значительных глубинах перехода.

К недостаткам схемы следует отнести ограниченность ее применения стадией проектирования или первоначальной стадией разработки, когда нерабочие борта карьера не вышли на предельный контур. Сохраняются также недостатки, присущие схеме *А* и связанные с корректировкой проектных контуров карьеров при разработке.

Технологическая схема *С* представляет схему с выделением временно нерабочих бортов (ВНБ). Технология с временной консервацией бортов позволяет снизить текущий коэффициент вскрыши, перенести на более поздние периоды формирование нерабочих бортов в конечное положение в верхней зоне карьера и совместить окончание разнора с переходом на вскрытие крутонаклонными автосъездами. Это позволяет принимать решения о переходе на вскрытие крутонаклонными автосъездами не только на стадии проектирования, но и на стадии эксплуатации карьера.

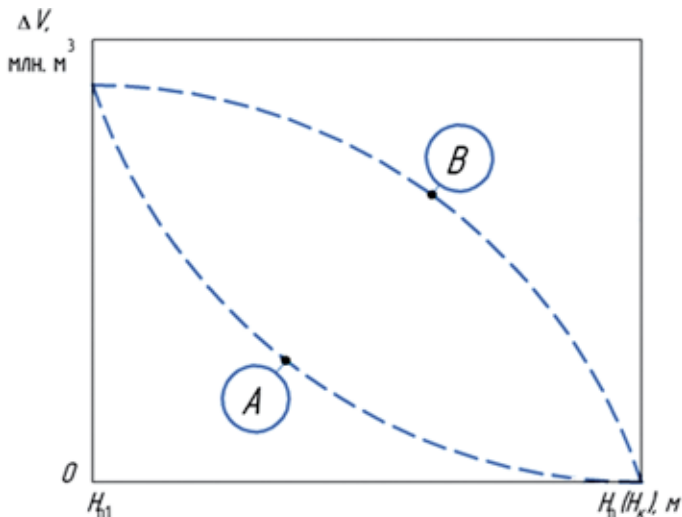


Рис. 2. Зависимость сокращаемых объемов вскрышных работ от размещения транспортных коммуникаций (ΔV) от глубины перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами (H_p):
 A, B – индекс технологической схемы перехода; H_k – конечная (проектная) глубина карьера; $H_{п1}$ – глубина перехода, соответствующая выходу нерабочих бортов карьера на предельный контур

При понижении горных работ по контакту рудного тела из точки D в точку C' новое положение рабочего борта изобразится линией C'E. Чтобы не допустить сокращения рудной площади за то же время, из точки B в точку C' должны опуститься работы по разному целика. Для этого необходимо, чтобы скорость подвигания фронта горных работ по разному целика превышала скорость подвигания фронта на рабочем участке CD под целиком.

Допустимое соотношение между высотой целика и рабочего борта на участке под целиком составит [4]:

$$H_{ц} \leq H_t \frac{v_{ц}(\operatorname{ctg} \gamma_{п} - \operatorname{ctg} \psi) - v_{п}(\operatorname{ctg} \gamma_{ц} - \operatorname{ctg} \psi)}{h_r(\operatorname{ctg} \psi \pm \operatorname{ctg} \delta)(\operatorname{ctg} \gamma_{ц} - \operatorname{ctg} \psi)}, \quad (1)$$

где $H_{ц}$ – высота целика, м;

ψ – угол наклона борта целика, град;

$H_r, \varphi_{п}$ – высота рабочего борта и угол его наклона на участке между контактом рудного тела и нижним основанием целика, м, град;

$\varphi_{\text{ц}}$ — угол наклона рабочего борта на участке по разному целика, град;

$v_{\text{ц}}$ — скорость подвигания фронта на рабочем участке борта по разному целика, м/год;

$v_{\text{п}}$ — скорость подвигания фронта горных работ на рабочем участке под целиком, м/год;

$h_{\text{г}}$ — вертикальная скорость углубки карьера, м/год; δ — угол направления углубки (падения рудного тела), град.

В условиях кимберлитовых карьеров при $\varphi_{\text{п}} = \varphi_{\text{ц}} = \varphi$, $\delta = 85 \dots 90$ град, формула (1) принимает следующий вид:

$$H_{\text{ц}} \leq H_{\text{т}} \frac{(v_{\text{ц}} - v_{\text{п}})}{h_{\text{г}} \operatorname{ctg} \psi}. \quad (2)$$

В условиях Нюрбинского карьера при $h_{\text{г}} = 20 \text{--} 25$ м/год, $v_{\text{п}} = 60 \text{--} 70$ м/год контролирующим параметром при работе с ВНБ является текущая величина $H_{\text{т}}$, а управляющими параметрами — скорость подвигания фронта горных работ по разному целика $v_{\text{ц}}$ и угол наклона его борта ψ .

Окончание разноса целика совмещается с переходом на вскрытие крутонаклонными автосъездами. При этом нерабочий борт ЕО формируется с углом погашения γ_2 , соответствующим применению полноприводных самосвалов с руководящим уклоном автосъездов i_2 , а нерабочий борт АА'Е с углом погашения γ_1 , соответствующим применению автосамосвалов с колесной формулой 4×2 с руководящим уклоном автосъездов i_1 ($i_2 > i_1$; $\gamma_2 > \gamma_1$).

Технологическая схема D позволяет увеличить проектную глубину карьера $H_{\text{к1}}$ и получить дополнительную прибыль от реализации полезного ископаемого ΔP . При расчетах ее можно свести к схеме B, рассматривая эффективность перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами при разработке карьера глубиной $H_{\text{к2}}$ ($H_{\text{к2}} > H_{\text{к1}}$). Условием применения схемы является наличие разведанных запасов полезного ископаемого на глубине, превышающей первоначальную проектную глубину $H_{\text{к1}}$, а также решение вопроса о целесообразности разработки доразведанных запасов открытым, подземным или комбинированным способом. Технологическая схема обеспечивает увеличение проектной глубины разработки без изменения контуров карьера по поверхности.

Глубина перехода ($H_{\text{п}}$, м) на вскрытие крутонаклонными автосъездами определяется из выражения [5]:

$$H_{\Pi} = \frac{H_{\kappa 1} - (H_{\kappa 2} - H_{\kappa 1}) \cos \gamma_2 \sin (\gamma_2 - \varphi)}{\sin (\gamma_2 - \gamma_1) \cos \varphi}, \quad (3)$$

где γ_1 — угол откоса нерабочего борта при использовании автосамосвалов с колесной формулой 4×2, град;

γ_2 — угол откоса нерабочего борта при вскрытии крутонаклонными автосъездами, град.

Высота нерабочего борта (H_{Π} , м) при переходе на вскрытие крутонаклонными автосъездами:

$$H_{\Pi} = H_{\kappa 1} - \frac{(H_{\kappa 2} - H_{\kappa 1}) \cos \gamma_2 \sin \gamma_1}{\sin (\gamma_2 - \gamma_1)}. \quad (4)$$

Как видно, указанные параметры определяются в основном проектными глубинами карьеров и разницей величин углов нерабочих бортов при различных схемах вскрытия. Зависимости (3) и (4) рекомендуется использовать для предварительной оценки предельной глубины перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами. Превышение этой глубины приводит к необходимости реконструкции карьера, начиная с верхних горизонтов. В противном случае будет невозможно отработать карьер до проектной глубины $H_{\kappa 2}$, предусмотренной новой схемой вскрытия.

Окончательное решение по оптимальной глубине перехода принимается по экономическому критерию, учитывающему сокращение объема вскрышных работ, объемы перевозок полноприводными автосамосвалами и автосамосвалами с колесной формулой 4×2, себестоимость вскрышных работ и автоперевозок, затраты на приобретение различных моделей автосамосвалов, проходку и содержание подземных выработок, а также динамику этих показателей.

Переход на вскрытие законтурным тоннелем спиральной формы осуществляется на заключительном этапе разработки карьера. При этом технологические схемы перехода не имеют принципиальных отличий от схем перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами. Разница заключается в том, что угол откоса нерабочего борта (γ_2) в зоне тоннельного вскрытия не зависит от уклона и ширины транспортных берм, а определяется условиями устойчивости и технологией постановки в конечное положение.

Заключение

При обосновании технологии вскрытия глубоких горизонтов Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» к детальной оценке были приняты технологические схемы перехода *С* и *Д* как наиболее реализуемые в конкретных горнотехнических условиях.

Предварительными расчетами установлено, что внедрение схемы вскрытия глубоких горизонтов с использованием крутонаклонных авосьездов и законтурного автомобильного тоннеля спиральной формы позволяет отработать Нюрбинский карьер до 750 м (глубина разведанных запасов) и сократить объем вскрыши до 6–8 раз по сравнению с традиционной схемой вскрытия. Экономический эффект составит 13,7 млрд руб.

Основные результаты исследования были удостоены диплома в номинации «Инновационный проект» открытого конкурса инновационных проектов АК «АЛРОСА» (ПАО) и приняты к внедрению.

Список литературы

1. Яковлев В. Л. Развитие идей Е.Ф. Шешко по теории вскрытия карьерных полей / В.Л. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 12. – С. 117–121.
2. Яковлев В. Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В.Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов. – Екатеринбург : Уральское отделение РАН, 2018. – 360 с.
3. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов — новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев. – Екатеринбург : Институт горного дела УрО РАН, 2019. – 284 с.
4. Линев В. П. Определение параметров рабочей зоны карьера с участками временно нерабочего борта / В. П. Линев // Горный журнал. – 1986. – № 5. – С. 15–17.
5. Акишев А. Н. Инновационная технология вскрытия и разработки глубоких кимберлитовых карьеров / А. Н. Акишев, Ю. И. Лель, И. А. Глебов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – № 3. – С. 111–123.

Вопросы карьерного транспорта при добыче открытым способом на больших глубинах

А.Г. Журавлев, В.А. Черепанов, И.А. Глебов, М.А. Чендырев

Аннотация: Комплексный научно-методический подход позволяет найти технологические решения в карьерном транспорте. Разработка месторождений на глубинах более 600 м требует поиска и применения специальных технологий. Разработке научных основ таких технологий посвящены работы ИГД УрО РАН в последние десятилетия. Среди рассматриваемых подходов: специальные схемы вскрытия с автомобильно-конвейерным транспортом на базе крутонаклонных конвейеров, оптимизированных дробильно-перегрузочных пунктов; внутрикарьерные наклонные автомобильные и скиповые подъемники увеличенной производительности; применение вскрытия нижней зоны карьера крутонаклонными съездами; тоннельное вскрытие глубинной части карьера с использованием автомобильного транспорта с малыми габаритами или автопоездов.

Ключевые слова: карьерный транспорт, крутонаклонный съезд, подъемники, глубокий карьер, схемы вскрытия, методические основы.

Введение

Транспортирование горной массы является одним из ведущих процессов открытых горных работ, определяя до 50–70 % себестоимости добычи товарной руды. Карьерный транспорт непосредственно связан со смежными процессами: экскавация и первичная переработка и зависит от параметров подготовки горной массы к выемке и транспортированию (буровзрывные работы). В связи с этим правильный выбор структуры и параметров транспортной системы карьера напрямую определяет производительность, технологические параметры и экономическую эффективность добычи полезного ископаемого. Существенный вклад в развитие

теории карьерного транспорта внесен член-корреспондентом РАН В.Л. Яковлевым [1].

Основная тенденция при разработке глубоких месторождений открытым способом — неуклонный рост глубины открытых горных работ и связанное с этим усложнение условий ведения добычи (рис. 1) [2]. В последнее десятилетие интенсивность освоения месторождений увеличивается. Технологической основой такой интенсификации являются рост мощности применяемого выемочно-погрузочного и транспортного оборудования, а также специальные схемы этапной разработки, обеспечивающие минимизацию эксплуатационных коэффициентов вскрыши. Увеличивающиеся с глубиной затраты на добычу, а также неизбежно возрастающий коэффициент вскрыши ведут к росту себестоимости добычи и в итоге ограничивают предельную глубину разработки.

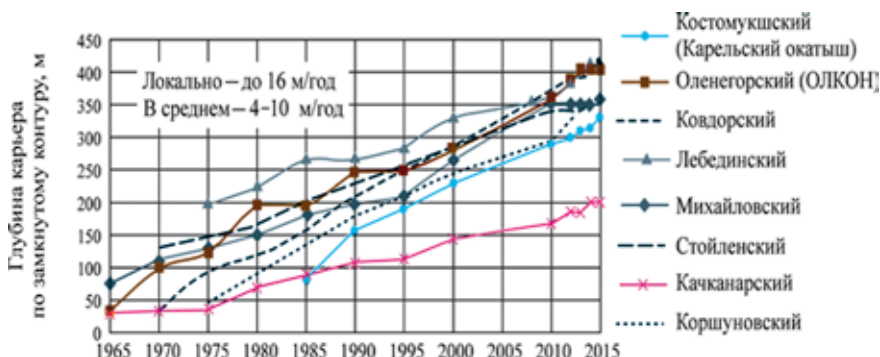


Рис. 1. Динамика роста глубины крупнейших железорудных карьеров

Наиболее производительным, дешевым и безопасным является открытый способ разработки месторождений. Поэтому расширение границ его эффективного применения является актуальной научной задачей.

Основная часть

Методологическим подходом, который позволяет обеспечить глубокую оптимизацию технологических процессов и, в частности, карьерного транспорта, является парадигма переходных процессов [3]. Учет процессов и явлений в процессе функционирования горнотехнической системы, какой является карьер, а также ее адаптация по

мере изменения условий и факторов как внешнего, так и внутреннего характера, путем осуществления целенаправленных переходных процессов позволяет достигать более высокой эффективности процессов за счет более детального их рассмотрения во взаимной увязке.

Ведущими тенденциями совершенствования открытой геотехнологии являются уменьшение расходов на добычу и повышение полноты освоения запасов при неуклонном обеспечении промышленной и экологической безопасности, что в большинстве случаев связано с увеличением экономически эффективной и технологически достижимой глубины открытых горных работ. Поэтому разработка технологий добычи полезных ископаемых на больших глубинах открытым способом, обеспечивающая безопасность и экономическую эффективность, является актуальной проблемой. С учетом вышесказанного одной из ключевых задач в этой части является разработка методологии обоснования параметров транспортной системы карьера, тесно связанной с параметрами карьера, и соответствующих технологических и технических решений.

Расчетами установлено, что наибольшее негативное влияние от разноса бортов карьера для размещения на них транспортных коммуникаций наблюдается для карьеров с относительно малыми размерами дна 50–100 м при глубинах 100–500 м [4]. Именно эта группа карьеров требует более глубокой оптимизации при выборе проектных решений во взаимосвязи параметров транспорта и конечного контура.

Эффективность того или иного вида и параметров карьерного транспорта реализуется через несколько механизмов: непосредственно через расход ресурсов на единицу транспортной работы (тонно-километр), через дальность транспортирования, определяемую руководящими уклонами, а также через дополнительный объем вскрыши, который вынужден перемещать транспорт, связанный с разносом бортов для размещения на них транспортных коммуникаций. Оценить комплексно вышеуказанные факторы можно с помощью показателя энергоемкости, который учитывает как удельные энергозатраты конкретного вида транспорта, так и объем дополнительно перемещаемой вскрыши, обусловленный формой бортов карьера под размещение тех транспортных коммуникаций, которые присущи рассматриваемому виду транспорта.

На рис. 2 приведено сравнение видов транспорта по суммарной относительной энергоемкости, учитывающей как удельную энергоемкость транспортных средств, так и разнос бортов под транспортные

коммуникации: чем меньше показатель, тем более эффективен вариант, расположенный в числителе дроби. Видно, что автомобильно-железнодорожный транспорт характеризуется

- высокой экономичностью при углах откоса бортов карьера, обусловленных горно-геологическими условиями, менее 35° на глубинах до 600 м (учитывается, что нижняя зона до 200 м по высоте вскрывается автомобильным транспортом);

- ограниченным преимуществом при глубине разработки до 300 м, когда угол откоса бортов при автомобильном транспорте может быть увеличен до 40° ;

- расширением области энергоэкономичного преимущества до 400–450 м при увеличении размеров дна более 200 м, обусловленных горно-геологическими условиями.

Сопоставление автомобильно-конвейерного (АКТ) и автомобильного транспорта показывает, что

- АКТ имеет меньшую энергоемкость во всем диапазоне глубин за счет большей удельной экономичности конвейерного транспорта;

- АКТ становится менее экономичным за счет разноса бортов под размещение конвейеров в карьерах с крутыми (более 40°) бортами, обусловленными горно-геологическими условиями;

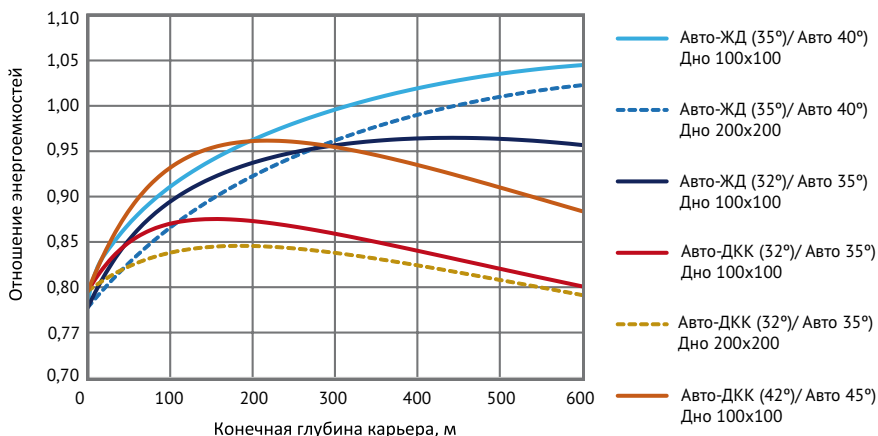


Рис. 2. Отношение полных энергоемкостей транспортирования горной массы на поверхность карьера по видам транспорта:

Авто-ЖД – автомобильно-железнодорожный транспорт;

Авто-ДКК – автомобильно-конвейерный транспорт.

В скобках указан средний угол откоса бортов карьера

— теоретическое повышение энергоэффективности АКТ при глубине карьера более 300 м трудно достижимо на практике ввиду сложности оптимизации размещения конвейерных линий при минимальном разnose их бортов и может быть достигнуто только в благоприятных горно-геологических условиях за счет оптимизации схемы размещения конвейерных линий на бортах карьера [5, 6].

Таким образом, комплексный научно-методический подход позволяет найти технологические решения в карьерном транспорте из числа имеющихся (промышленно применяемых) технических решений. Разработка месторождений на глубинах более 600 м требует поиска и применения специальных технологий. Разработке научных основ таких технологий посвящены работы ИГД УрО РАН в последние десятилетия. Среди рассматриваемых подходов:

— специальные схемы вскрытия с автомобильно-конвейерным транспортом на базе крутонаклонных конвейеров, оптимизированных дробильно-перегрузочных пунктов и их трансформации по мере развития (понижения) горных работ;

— внутрикарьерные наклонные автомобильные и скиповые подъемники увеличенной (относительно известных конструкций) производительности, высоты подъема и возможности переноса нижнего загрузочного пункта;

— применение вскрытия нижней зоны карьера крутонаклонными съездами;

— тоннельное вскрытие глубинной части карьера с использованием автомобильного транспорта с малыми габаритами или автопоездов.

Весьма сложной является задача разработки схемы формирования карьерного пространства при поэтапном развитии автомобильно-конвейерного транспорта с наращиванием конвейера и переносом дробильно-перегрузочного пункта (ДПП). Особой задачей является обеспечение долгосрочного конвейерного звена транспорта, в том числе за счет выполнения основного объема горно-подготовительных и строительно-монтажных работ по наращиванию конвейерной линии в период функционирования выше лежащей его части. Из рис. 3в видно, что крутонаклонный конвейер (КНК) эффективнее по удельным показателям традиционного ленточного в широком диапазоне горнотехнических условий. Однако он требует более сложных технических и строительных решений при его внедрении.

Результаты моделирования карьера по вариантам, некоторые из которых приведены на рис. 3а и 3б, показали, что удастся достичь рационального разноса бортов не более 10–15 %, а для карьеров глубиной более 300 м — всего 4–6 %. Вариант с размещением ДПП при совмещении с разворотными площадками петлевых автосъездов (схема «а») удастся оптимизировать только при применении «гибкого» во всех плоскостях трубчатого крутонаклонного конвейера, а применение КНК с прижимной лентой в такой схеме заметно разносит борт.

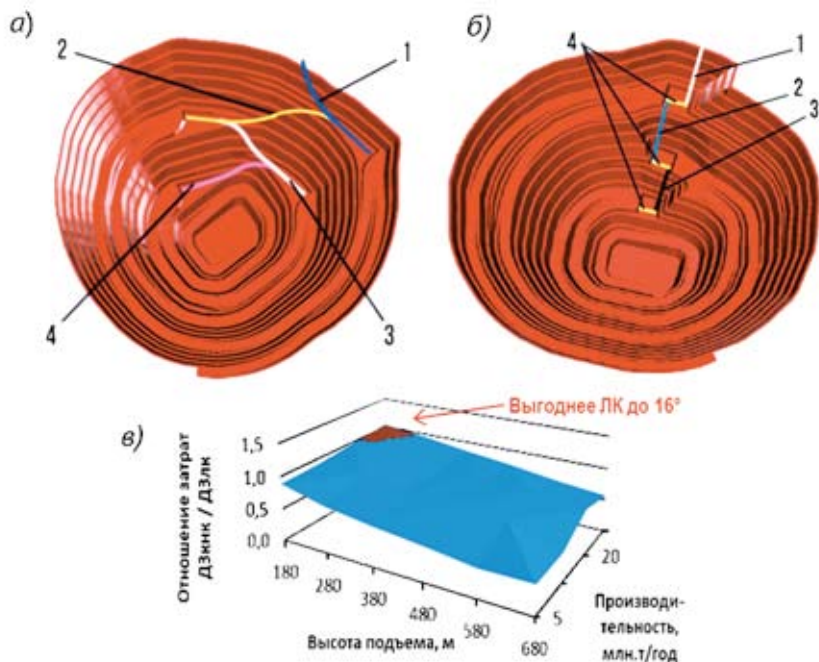


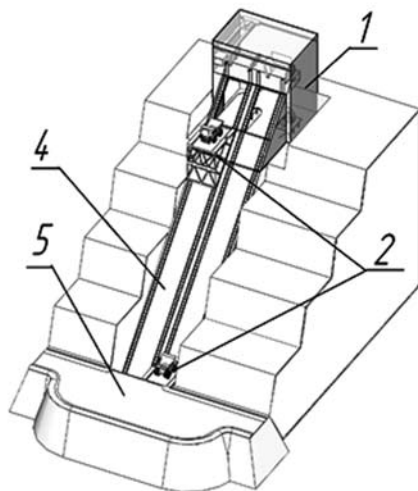
Рис. 3. Модели карьеров с размещением крутонаклонных конвейеров (цифрами обозначены отдельные конвейеры в порядке ввода в эксплуатацию):
 а) – трубчатый конвейер, петлевая схема автосъездов;
 б) – конвейер с прижимной лентой при размещении подъемников ДКК в шахматном порядке и спиральными автосъездами;
 в) – сравнение дисконтированных затрат (ДЗ) на применение АКТ на базе КНК и ДЗ на применение АКТ с традиционным ленточным конвейером (угол наклона 16°)

Наряду с конвейером оптимизации требуют дробильно-перегрузочные пункты, ключевым оборудованием которых выступает дробильно-перегрузочная установка (ДПУ). Исследования ИГД УрО РАН совместно с крупнейшим изготовителем тяжелого горного оборудования «Уралмашзаводом» и отечественными горнодобывающими предприятиями позволили разработать и внедрить первую российскую полустационарную ДПУ на металлоконструкциях, имеющую при этом высокую производительность 7200 т/ч [7].

Еще одним специальным видом транспорта, который обеспечивает возможность увеличения глубины карьеров, формируемых по углубочной системе разработки, являются карьерные наклонные канатные подъемники (КНКП). В общем виде рассматриваемая схема размещения КНКП при разработке месторождения открытым способом представлена на рис. 4. Необходимо заблаговременно привести борт карьера в конечное или временно консервированное положение (1 этап) (рис. 5). После запуска КНКП в эксплуатацию развитие фронта работ сконцентрировано на соседних и противоположном бортах, причем транспортные бермы в зоне действия подъемника могут быть заужены ввиду отсутствия по ним технологического грузопотока, что обеспечивает рост угла откоса бортов карьера и возможность увеличить глубину карьера в конечном контуре (этап 2). В большинстве случаев размещение КНКП целесообразно на лежащем боку карьера. Дополнительный эффект применения КНКП может быть реализован при открыто-подземной разработке месторождения, если подъемник будет использоваться после завершения открытой добычи для доставки горной массы, добываемой подземным способом (этап 3) [8–9].

Оптимизация КНКП под конкретные горно-технологические условия выполняется с применением разработанного в ИГД УРО РАН комплекса компьютерных и математических моделей. Установлено, что КНКП имеет ограниченную производительность, которая для наиболее вероятных высот 300–450 м составляет 8–12 млн т/год на один подъемник при грузоподъемности автосамосвалов 136 т. Более высокую производительность карьера до 14–23 млн т/год можно обеспечить за счет установки нескольких подъемников либо применения автосамосвалов (или скипов) более высокой грузоподъемности (однако такой вариант целесообразен только при достаточной прочности вмещающих пород для размещения массивного подъемника). С учетом этого установленная область применения карьерных

а) Автомобильный подъемник



б) Скиповой подъемник

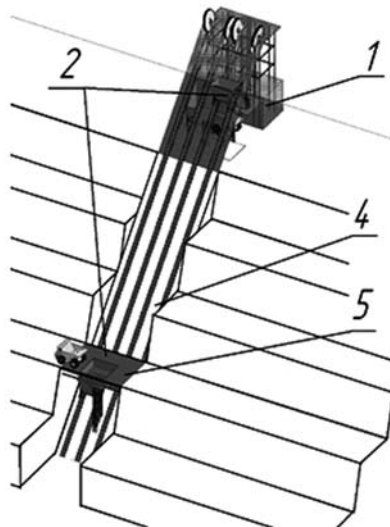


Рис. 4. Схемы карьерных наклонных канатных подъемных установок:
 1 – здание подъемных машин; 2 – автомобильная платформа; 3 – скип;
 4 – траншея с рельсовыми путями; 5 – нижний загрузочный пункт

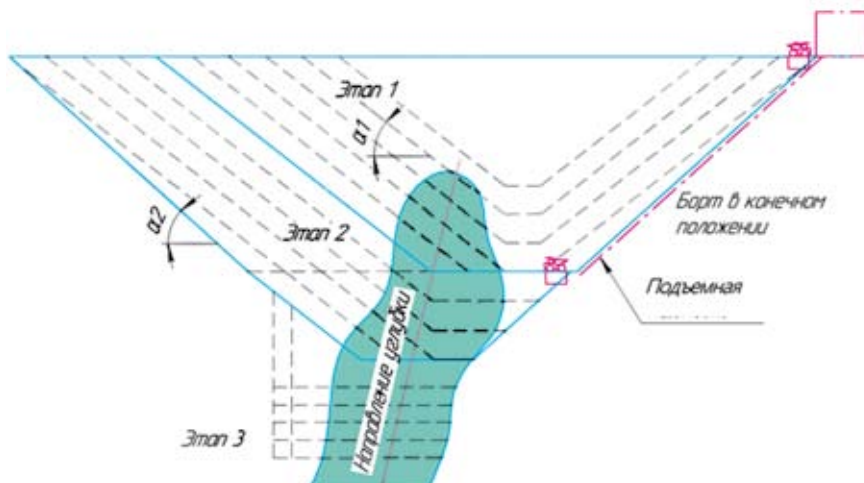


Рис. 5. Этапы разработки карьера с применением КНКП

канатных наклонных подъемных установок [10] ограничивается возможностью выемки прямолинейной траншеи в борту карьера для движения платформ и достаточно крепких вмещающих пород, возможностью выведения борта установки в конечное положение либо его заморозки на время действия подъемной установки, сроком эксплуатации карьера после введения в эксплуатацию установки (не менее 15–20 лет), для лучшей окупаемости, сжатыми размерами в плане и малой площадью рудного тела «в свету», большой глубиной карьера (не менее 350–400 м). При этом производительность карьера ограничена относительно невысокой производительностью одной установки – 14–17 млн т/год для автомобильной и 20–23 млн т/год для скиповой подъемной установки. Применение КНКП при более высокой производительности необходимо рассматривать отдельно в каждом конкретном случае при наличии технико-экономических предпосылок.

Исследованиями [11–13] установлено, что крутонаклонные съезды позволяют обеспечить меньшую длину спиральной трассы, размещаемой на бортах карьера и за счет этого увеличить углы откоса бортов, что при том же контуре карьера по поверхности позволяет увеличить глубину открытой разработки при минимальном объеме дополнительно вынимаемой вскрыши. В качестве транспорта могут применяться полноприводные колесные или гусеничные самосвалы, которые из-за конструктивно определяемой меньшей грузоподъемности не позволяют экономично транспортировать горную массу на большие расстояния. Поэтому применение крутонаклонной схемы вскрытия для глубоких карьеров целесообразно в глубинной их зоне.

В 2007–2012 г. Институтом «Якутнипроалмаз» и Институтом горного дела УрО РАН были разработаны научно-методические основы по вскрытию глубоких горизонтов карьеров АК «АЛРОСА», которые реализованы в проектных решениях по карьерам трубков «Удачная» и «Ботуобинская» с применением шарнирно-сочлененных самосвалов. В рамках опытно-промышленного участка по испытанию технологических решений на карьере «Удачный» горная масса поднималась с нижних горизонтов карьера по автодорогам со средневзвешенным уклоном 24 % до перегрузочного пункта в карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 136 т с колесной формулой 4×2 [14].

Дальнейшее развитие исследований позволило разработать рациональные параметры транспортной системы карьеров со вскрытием крутонаклонными съездами как глубоких карьеров (рис. 6), так

и относительно неглубоких для обеспечения их экономической эффективности благодаря существенному сокращению разноса бортов и объема вскрыши при той же глубине разработки. Обоснованы схемы проведения крутонаклонных выработок и параметры гусеничных самосвалов для доставки горной массы по ним при уклонах более 27–30 %.

Расчеты показали, что такая технология позволяет вовлечь в разработку малые месторождения высокоценных полезных ископаемых, которые при традиционной технологии нерентабельны, а также увеличить экономически достижимую глубину карьеров на 50–200 м с соответствующим повышением полноты выемки запасов месторождений.



Рис. 6. Схема доработки карьера с применением вскрытия крутонаклонными автосъездами нижних горизонтов

Также для увеличения глубины разработки открытым способом возможен вариант размещения автосъездов в подземных выработках за контурами карьера (рис. 7) [15]. Данная технология позволяет минимизировать влияние транспортных коммуникаций на разнос бортов карьера и сократить дополнительный объем вскрыши. В 2017 г. Институтом «Якутнипроалмаз» и Уральским государственным горным университетом была предложена схема доработки глубоких горизонтов Нюрбинского карьера, которая позволяет увеличить проектную глубину с 570 до 750 м [16]. В данной схеме вскрытие горизонтов

производится крутонаклонными съездами (с уклоном 24%), а затем законтурными тоннельными съездами с применением шарнирно-сочлененных самосвалов (с уклоном 18–20%).

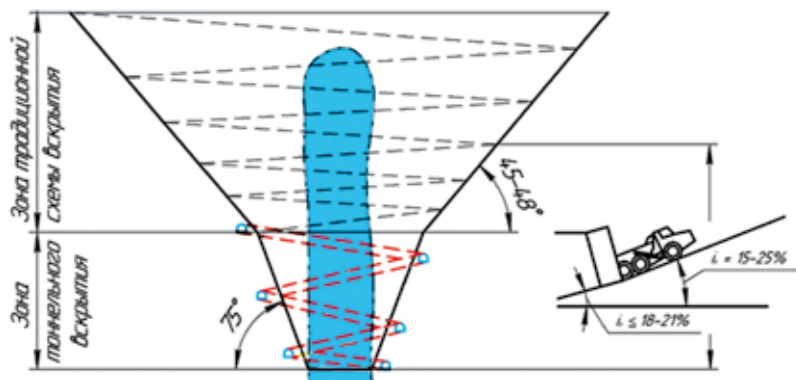


Рис. 7. Схема размещения тоннельных съездов на примере карьера «Нюрбинский» [5]

Исследования, проведенные ИГД УрО РАН в 2021 г., показали, что тоннельное вскрытие выгодно только вкупе с традиционным или крутонаклонным. Поэтому обоснование момента осуществления переходного процесса (глубины перехода) на новую схему вскрытия должно выполняться для конкретных горнотехнических условий. Разработан алгоритм расчета технико-экономических параметров, позволяющий решить данную задачу [17].

Технология вскрытия тоннельными съездами может иметь развитие при доработке подкарьерных запасов руды. В этом случае добыча данных запасов выполняется подземным способом, а доставка руды на поверхность осуществляется через карьерное пространство по имеющимся там транспортным коммуникациям (рис. 8).

С учетом существенной глубины карьера дальность транспортирования будет измеряться многими километрами. В этих условиях необходимо применить такой вид транспорта, который обеспечил бы низкую себестоимость в руб./ткм, высокую производительность, а значит, характеризовался бы большой грузоподъемностью (не менее 75–120 т) и при этом имел небольшие габаритные параметры, пригодные для применения в ограниченных по сечению подземных выработках [18].

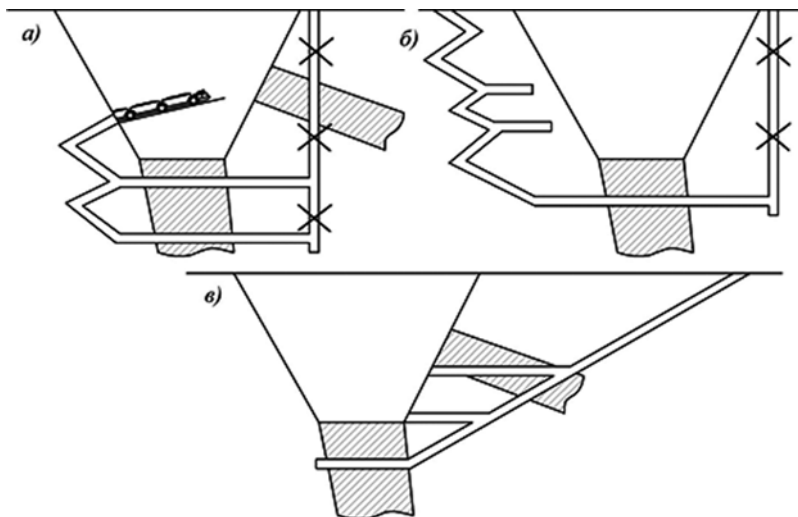


Рис. 8. Варианты вскрытия подкарьерных запасов с применением автоуклонов и специальных автопоездов без строительства вертикальных скиповых стволов:

- а) – с автоуклоном, используя карьерное пространство;
- б) – с автоуклоном до поверхности;
- в) – с наклонным стволом до поверхности

В качестве транспорта предлагается применение автопоезда, аналогом которого может стать шахтный автопоезд АШ-75, ранее разработанный в конце 80-х годов с участием Института горного дела МЧМ СССР. Автопоезд имеет низкий профиль и небольшие габаритные размеры, состоит из нескольких вагонов с кабинами управления в начале и конце состава, в отличие от автопоездов, применяющихся на магистральных перевозках или в карьерах, за счет чего он может двигаться без разворота в прямом и обратном направлении и вписываться в подземные транспортные выработки с минимальным сечением. В результате этого экономия затрат на капитальное строительство таких выработок при применении автопоездов достигает 1,5 раз по сравнению с подземными самосвалами грузоподъемностью 20–30 т и 2,25–2,5 раз по сравнению с подземными самосвалами грузоподъемностью 60–80 т. Дополнительная экономия в части эксплуатационных затрат связана с большой производительностью и высокой единичной мощностью автопоездов по сравнению с аналогичным автотранспортом [19].

Эффективность процесса транспортирования руды на поверхность (либо в карьер) при комбинированной разработке месторождений, основанного на использовании автоуклонов и автопоездов, по сравнению с традиционной технологией вскрытия и разработки запасов, может быть достигнута за счет меньших удельных капитальных затрат на проведение наклонных транспортных выработок, уменьшения длины и сечения вскрывающих выработок (по сравнению с традиционными автосамосвалами для подземных горных работ) и возможности поэтапного (поэтажного) ввода подземного рудника в эксплуатацию, а также снижением эксплуатационных затрат на транспортирование.

Предлагаемая автопоездная компоновка накладывает определенные ограничения, связанные с технологическими особенностями

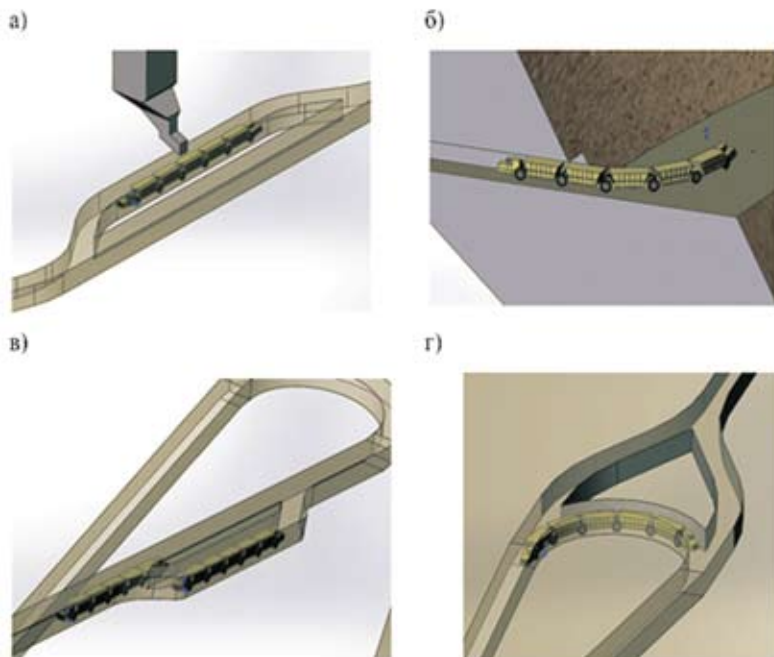


Рис. 9. Схемы движения автопоезда в подземных выработках:
а) – схема погрузки АП; б) – вариант выезда АП в карьерное пространство;
в) – схема разминовки АП в подземных транспортных выработках;
г) – схема разминовки АП при подъеме/спуске на новый горизонт

его применения: для высокопроизводительной работы необходимы стационарные пункты погрузки и разгрузки; при движении в шахте требуется организация разминок или регулирование движения; увеличенные радиусы поворота (до 15 м при грузоподъемности 75–100 т) потребуют соответствующих подземных выработок, и также должны учитываться при проектировании и строительстве выработок для выезда в карьерное пространство (рис. 9).

Заключение

Все вышеуказанные разработки требуют применения детальных расчетов, сочетающих методы аналитического моделирования, аппроксимации экспериментальных данных и имитационного компьютерного моделирования. Отмеченные методики разработаны и применяются для вышеуказанных исследований. Благодаря реализованной в виде программного обеспечения модели сложной транспортной системы, включающей в свой состав автомобильный, железнодорожный и конвейерный транспорт, обеспечивается решение как теоретических, так и прикладных задач (рис. 10).

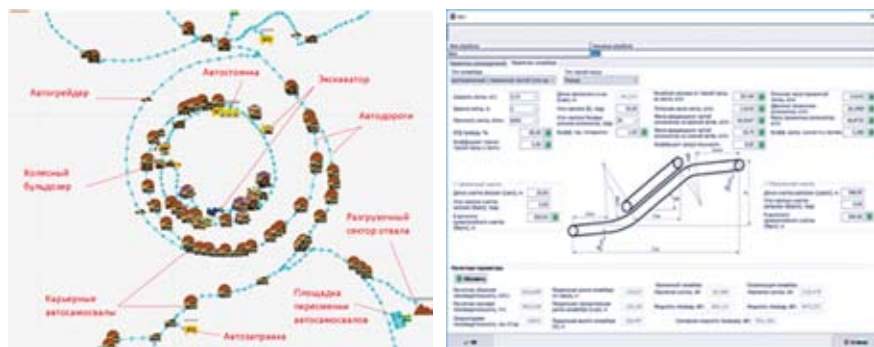


Рис. 10. Окна программы для моделирования автотранспортной системы карьера и конвейерного транспорта, разработанной в ИГД УрО РАН

Современная геополитическая обстановка в очередной раз показала, что для такой крупной и ресурсно обеспеченной страны как Россия совершенствование собственных базовых отраслей промышленности и геотехнологий является необходимым условием развития. В этом плане необходимо развитие на основе собственных научных разработок следующих направлений:

- горное и тяжелое транспортное машиностроение;
- разработка геотехнологий и проектирование предприятий по добыче полезных ископаемых;
- автоматизация и цифровые технологии.

По всем указанным направлениям, несмотря на упадок развития в течение ряда лет в недавнем прошлом, сохранены в том или ином виде базовые как научные, так и инженерные школы, научно-архивные материалы и система передачи знаний, а по цифровым технологиям наработаны новые решения. Имеется необходимый задел для качественного развития горной отрасли в условиях импортозамещения и импортонезависимости. В ИГД УрО РАН во многом это достигнуто благодаря многолетней работе под руководством В.Л. Яковлева [20].

В этой связи гармоничным развитием исследований будет интеграция следующих направлений:

- методологические основы выбора параметров сложных транспортных систем карьеров и поверхностного промышленного технологического транспорта горнодобывающих предприятий, базирующихся на динамике развития горнотехнических систем с учетом переходных процессов [21];
- методические основы определения рациональных параметров горных и транспортных машин для конкретных горнотехнологических условий, обеспечивающих достижение заданных технологических показателей и высокую экономичность;
- обоснование систем технической эксплуатации горных и транспортных машин, позволяющих достигать высоких коэффициентов их технического использования во времени и по производительности.

В части третьего из перечисленных направлений в ИГД УрО РАН за последние 8 лет накоплен существенный опыт прикладных работ, который требует научно-методической проработки. В частности, обоснованы системы технической эксплуатации для конусных и щековых дробилок, выпускаемых Уралмашзаводом [22], мощных рудоразмольных мельниц [23], а также наиболее крупных карьерных экскаваторов с вместимостью ковша 20–35 м³ [24]. Перспективным направлением является разработка методических основ и алгоритмов автоматизированной системы поддержки эксплуатации горного оборудования, обеспечивающей накопление статистики о функционировании машин, и прогнозирование динамики износа узлов и агрегатов, соответственно, времени и объема необходимых ремонтных воздействий

для поддержания их высокого технического уровня и производительной работы (предиктивная аналитика).

Список литературы

1. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев. – Новосибирск : Наука, 1989. – 246 с.
2. Техничко-экономические показатели горных предприятий за 1990–2015 гг. / ИГД УрО РАН ; [сост.: О. В. Падучева [и др.]]. – Екатеринбург : [б. и.], 2017. – 255 с.
3. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев. – Екатеринбург : УрО РАН, 2019. – 284 с. – DOI: 10.25635/IM.2020.54.57311.
4. Журавлев А. Г. Закономерности изменения энергоёмкости транспортирования горной массы транспортом глубоких карьеров / А. Г. Журавлев, И. А. Глебов, В. В. Черных. – DOI: 10.17073/2500-0632-2022-09-12 // Горные науки и технологии. – 2023. – № 1. – С. 68–77.
5. Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров / А. Г. Журавлев, А. В. Семенкин, В. А. Черепанов, И. А. Глебов [и др.]. – DOI: 10.3686/1609-9192-2022-1S-53-62 // Горная промышленность. – 2022. – № 1S. – С. 53–62.
6. Схемы циклично-поточной технологии при различном залегании месторождений полезных ископаемых / В. А. Берснев, Г. Д. Кармаев, А. В. Семенкин, И. Г. Сумина // Проблемы недропользования. – 2018. – № 4 (19). – С. 13–21.
7. Исмагилов Р. И. Проектирование современных российских дробильно-перегрузочных установок для комплексов ЦПТ / Р. И. Исмагилов, А. Г. Журавлев, В. О. Фурин // Горная промышленность. – 2024. – № 4. – С. 23–35.
8. Исследование переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений / В. Л. Яковлев, И. В. Соколов, Г. Г. Саканцев, И. Л. Кравчук // Горный журнал. – 2017. – № 7. – С. 46–50.
9. Применение ресурсосберегающих технологических схем транспортирования горной массы на заключительных этапах открытых горных работ / К. В. Бурмистров, В. А. Кидяев, Н. Г. Томилина, С. Е. Гавришев // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2013. – Т. 3, № 1. – С. 168–179.
10. Чендырев М. А. Обоснование условий эффективного применения карьерных канатных подъёмных установок / М. А. Чендырев // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 26. – С. 114–127.

11. Схемы вскрытия и отработки глубоких горизонтов алмазных карьеров крутонаклонными выработками / А. С. Чаадаев, А. Н. Акишев, В. А. Бахтин, С.Л. Бабаскин // Горная промышленность. – 2008. – № 2. – С. 71–74.

12. Конструктивные схемы гусеничных самосвалов для работы в карьерах с повышенными уклонами выработок / П. И. Тарасов, А. В. Глебов, В. О. Фурин, А. Г. Ворошилов [и др.] // Горная промышленность. – 2008. – № 2. – С. 63–68.

13. Разработка безопасной технологии при доработке глубоких алмазных карьеров Якутии / Г. В. Шубин, Б. Н. Заровняев, А. Н. Акишев, А. Г. Журавлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № S7. – С. 180–188.

14. Зырянов И. В. Испытания САТ-740В на крутонаклонных съездах карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» / И. В. Зырянов, А. И. Цымбалова // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 9. – С. 22–25.

15. Черепанов В. А. Факторы, влияющие на схему вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением наклонных подземных транспортных выработок / В. А. Черепанов, И. А. Глебов. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-351-367 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 3-1. – С. 351 – 367.

16. Технологические решения по вскрытию и отработке глубоких горизонтов Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» / А. Н. Акишев, Ю. И. Лель, Д. Х. Ильбульдин, О. В. Мусихина [и др.] // Известия вузов. Горный журнал. – 2017. – № 7. – С. 4–12.

17. Глебов И. А. Обоснование момента переходного процесса при трансформации транспортной системы в нижней зоне глубоких карьеров / И. А. Глебов, А. Г. Журавлев. – DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_95 // Гор-ный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5. – С. 95–107.

18. Черепанов В. А. К вопросу применения автопоездов на горных работах / В. А. Черепанов. –DOI 10.25635/2313-1586.2020.04.073 // Проблемы недропользования. – 2020. – № 4(27). – С. 73–88.

19. Черепанов В. А. Концепция создания комплексной модели для оптимизации параметров открыто-подземной технологии доработки прибортовых и подкарьерных запасов / В. А. Черепанов, И. А. Глебов. – DOI10.25018/0236-1493-2019-11-37-290-299//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S37. – С. 290–299.

20. Корнилков С. В. Член-корреспондент В. Л. Яковлев – от юбилея до юбилея / С. В. Корнилков, А. В. Глебов // Проблемы недропользования. – 2014. – № 3. – С. 7–14.

21. Яковлев В. Л. Переходные процессы при формировании транспортных систем карьеров / В. Л. Яковлев, А. В. Глебов, А. Г. Журавлев. – DOI: 10.25635/IM.2019.74.42881 // Рациональное освоение недр. – 2019. – № 1. – С. 54–59.

22. Методический подход к разработке регламентов технического обслуживания и ремонта дробильного оборудования горнодобывающих предприятий / А. Г. Журавлев, М. А. Чендырев, И. А. Глебов, В. А. Черепанов. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-543-556 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 543–556.

23. Журавлев А. Г. К вопросу повышения производительности и технической готовности мощных отечественных экскаваторов / А. Г. Журавлев, И. А. Глебов, В. А. Черепанов. – DOI: 10.25635/2313-1586.2023.04.076 // Проблемы недропользования. – 2023. – № 4. – С. 76–88.

24. Журавлев А. Г. Методические аспекты регламентации технической эксплуатации тяжелых рудоразмольных мельниц / А. Г. Журавлев, И. А. Глебов, В. А. Черепанов. – DOI: 10.25635/2313-1586.2024.01.068 // Проблемы недропользования. – 2024. – № 1. – С. 68–80.

МЕТОДЫ РУДОПОДГОТОВКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ОСВОЕНИИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

***В.Л. Яковлев, В.Д. Кантемиров, А.М. Яковлев,
Р.С. Титов, А.В. Тимохин***

Аннотация: В статье дается оценка существующих методов управления качеством минерального сырья при добыче и возможные способы повышения их эффективности. Приведены критерии оценки рудного массива в зависимости от минерального и химического состава, структурных и других особенностей. Представлены результаты разработки методики районирования в карьерном пространстве технологических типов руд с учетом комплексной оценки качественных характеристик полезного ископаемого на основе современных геоинформационных технологий (ГИС). Для интерпретации данных в ГИС предлагается 2 основных метода: экспресс- и детальный методы, которые требуют предварительного создания геологической базы данных и позволяют достоверно производить оценку и районирование в карьере руд по качественным признакам. Методы различаются трудоемкостью выполнения, детальностью и возможностью корректировок построенных моделей в зависимости от установленных или изменившихся требований к качеству полезного ископаемого. Усовершенствованная горногеологическая информационная система позволяет с высокой достоверностью районировать в карьерном пространстве технологические типы и сорта руд, что способствует на этапе планирования горных работ выбору наиболее эффективного способа рудоподготовки в режиме управления качеством руды для конкретных горно-геологических условий. Приведены примеры районирования технологических типов руд в карьерном пространстве и методологические подходы к выбору эффективных способов управления качеством минерального сырья в условиях ухудшающихся горно-геологических условий отработки месторождений и повышения требований к качеству продукции.

Ключевые слова: полезное ископаемое, горно-геологические условия разработки, качество руд, технологические типы руд, управление качеством, рудоподготовка, минералогический состав, блочное моделирование, ГИС, горно-геологическая информационная система.

Снижение кондиций добываемого полезного ископаемого, ухудшение горно-геологических условий его разработки при одновременном росте требований к качеству минерального сырья, поступающего на обогатительный передел, является одной из современных тенденций совершенствования горнорудного производства [1, 2]. В этих условиях повышается значение инновационных методов управления качеством добываемого минерального сырья и научно обоснованного периодического перехода на новые эффективные технологии рудоподготовки с учетом изменяющихся геологических параметров и требований к качеству продукции.

Выбор технологий управления качеством минерального сырья производится по результатам оценки качественных характеристик полезного ископаемого (ПИ), выделения в рудном массиве на основе геологической информации природных типов руд, обоснования характеристик технологических типов руд и их районирования в карьерном пространстве с помощью геоинформационного моделирования.

Пространственное распределение типов руд и их количественное соотношение формируют стратегию отработки месторождения в режиме управления качеством минерального сырья [2, 3].

Природный (геологический) тип руды – руда, обладающая относительно устойчивыми минеральным составом, текстурой и структурой, специфическими физическими свойствами, имеющая достаточно четкую пространственную обособленность. Название природного типа руды дается на основе главных рудообразующих минералов.

Природная разновидность руды – руда, выделяемая на основе более мелких признаков: присутствие второстепенных и редких минералов, минералов – носителей полезных и вредных примесей, текстурно-структурных особенностей и др.

Технологический тип руды – руда устойчивого минерального и химического состава, которая перерабатывается по определенной схеме обогащения. Основное условие выделения технологического типа – возможность его раздельной добычи и переработки. Технологический тип подразделяется на сорта.

Технологический сорт руды – руда, имеющая общую для данного технологического типа схему переработки, но отличающаяся технологическими показателями переработки (например, извлечение, содержание металла в концентрате).

В настоящее время на ряде крупных месторождений руд черных металлов выделяется до 5–6 технологических сортов руды (АО «ЕВРАЗ КГОК»). Технологические сорта одного и того же типа, как правило, перерабатываются совместно в определенных соотношениях. Технологический сорт может соответствовать природной разновидности руд в составе природного типа руды, отличающейся качеством руды.

Большинство технологических типов руд подвергаются многостадийному обогащению перед подачей их на металлургическое производство, при этом ставится задача по максимальному извлечению ценного компонента в концентрат, которая более полно реализуется при раздельной добыче и обогащении типов и сортов руд [4, 5].

Методы управления качеством минерального сырья (рис. 1) для конкретных горно-геологических условий разработки месторождения подбираются на основе технико-экономической оценки следующих основных технологических операций:

- усреднение по нормируемым качественным параметрам добываемой руды с организацией в карьере усреднительных перегрузочных (аккумулирующих) складов или посредством организации управления рудопотоками в карьерном пространстве;
- разделение грузопотоков полезного ископаемого в карьере на отдельные потоки, отличающиеся по технологическим свойствам;
- при необходимости усреднение качественных показателей рудных потоков внутри технологических типов руд в целях формирования отдельных партий кондиционной руды для обогатительной фабрики;
- раздельная или селективная выемка и переработка руды с организацией в карьере или на поверхности многокомпонентных перегрузочных складов (по технологическим типам добываемой руды), раздельная добыча с использованием циклично-поточной технологии (ЦПТ);
- предобогащение руды в карьере, на борту карьера или на отвале с отделением включений пустой породы или некондиционной руды (посредством грохочения, сухой магнитной сепарации и др.).

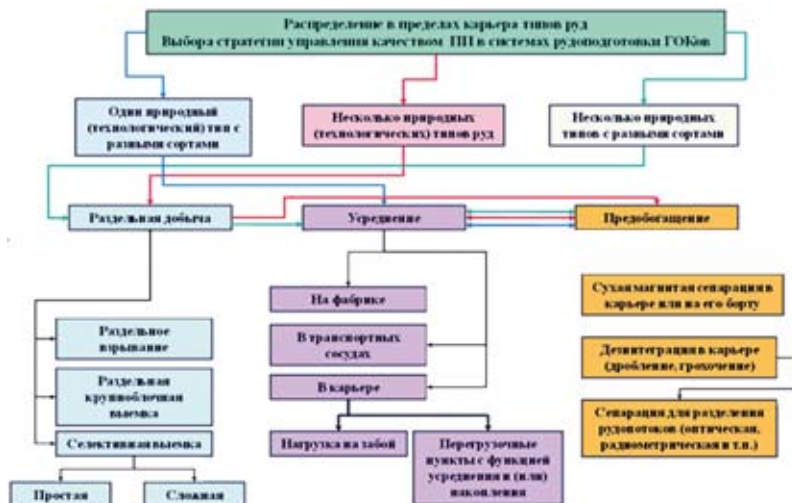


Рис. 1. Схема выбора методов управления качеством руды

Выбор способа управления качеством рудного сырья производится при условии:

- если дисперсия показателей качества незначительна и представлена высокочастотной составляющей спектра (коэффициент вариации $v < 30\%$), то рассматривается возможность усреднения ПИ на усреднительных складах;
- если дисперсия показателей характеризуется коэффициентом вариации $v > 30\%$, то целесообразно оценить варианты раздельной добычи руды с отличительными качественными признаками.

Эффективность освоения запасов минерального сырья существенно зависит от достоверности геологической информации о параметрах залегания и природной изменчивости месторождений полезных ископаемых.

Большинство рудных месторождений залегают в сложной геологической обстановке в виде линз, жил и пластов переменной мощности. Тела ПИ во многих случаях имеют включения пустых пород или некондиционных руд разных размеров и формы, мощность и элементы залегания рудных тел меняются в широких пределах. В еще большей степени изменяется качественный состав ПИ. Имеет место закономерная или случайная зональность общего баланса минералов, высоко-

кая неравномерность их содержаний и гранулометрического состава от сплошных до тонковкрапленных руд, которые связаны между собой сложными взаимопереходами.

В процессе разработки месторождения условия добычи и рудоподготовки постоянно меняются. На современном этапе механизации горных работ, больших скоростях перемещения фронта работ, трудоемкости процессов переработки минерального сырья изменчивость геологической среды оказывает решающее влияние на полноту и комплексность использования запасов, а также эффективность всех процессов добычи и последующих процессов переработки минерального сырья.

В связи с этим совершенствование методов рудоподготовки минерального сырья, особенно при разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений карьерами горно-обогажительных комбинатов является актуальной научной задачей, имеющей большое практическое значение [1].

Одним из направлений повышения эффективности рудоподготовки минерального сырья является широкое внедрение в практику планирования горных работ горно-геологических информационных систем (ГГИС), с помощью которых можно с высокой достоверностью районировать в карьерном пространстве технологические типы и сорта руд [6–8].

Для разработки методологических подходов по обоснованию систем управления качеством минерального сырья и отработке технологий и критериев районирования типов рудного сырья в карьерах сектором УКР ИГД УрО РАН проведены исследования на основе геологической базы данных Гусевогорского месторождения титаномагнетитов (ОАО «ЕВРАЗ КГОК»).

На рис. 2 представлены результаты районирования технологических типов руд в пределах гор. +160 м Северного карьера по разным методикам: по комплексному показателю обогатимости (содержанию железа в магнитной фракции проб и размера вкрапленности); по показателю контрастности; по коэффициенту вариации качественных характеристик.

Сравнительный анализ прогноза распределения в карьере различных типов руд, выполненного по представленным методикам оценки, свидетельствует о достаточно схожих результатах районирования.

Комплексные исследования руд Гусевогорского месторождения показали, что малотитанистая их разновидность по сравнению с нормаль-

Районирование титаномagnetитовых руд на Северном карьере ОАО «ЕВРАЗ КГОК» по:

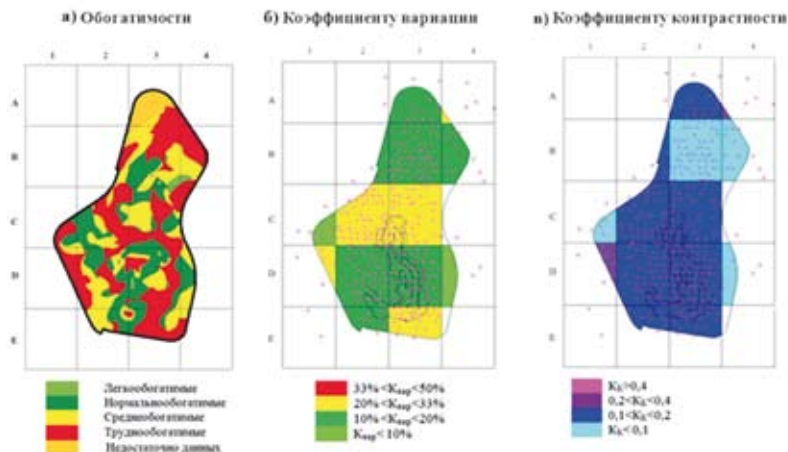


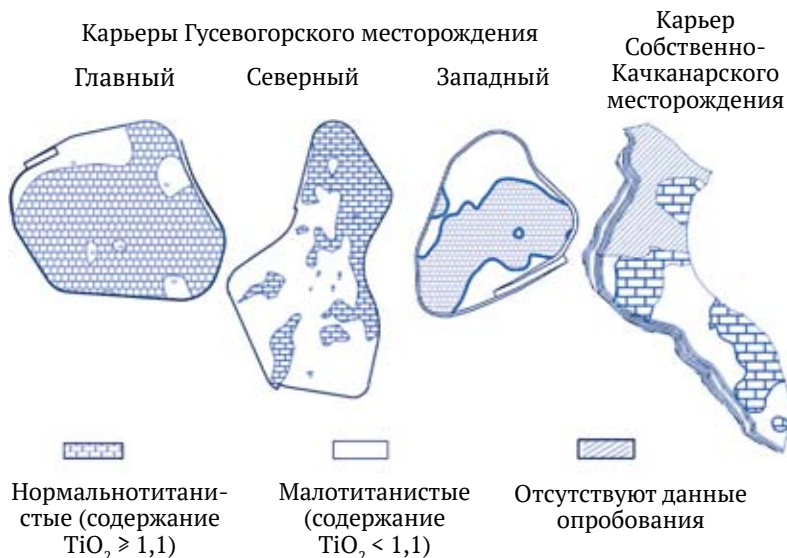
Рис. 2. Районирование титаномagnetитовых руд на гор. +160 м Северного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК» по разным критериям

нотитанистой имеет более высокую обогащенность и измельчаемость и меньшую магнитную жесткость. Учитывая большие отличия в обогащенности и измельчаемости малотитанистой и нормальнотитанистой разновидностей этих руд, целесообразно их выделить в разные технологические типы [9]. Таким образом, выделение технологических типов руд по содержанию TiO_2 имеет существенное значение при переработке этих руд. На рис. 3 представлена схема распределения в карьерах АО «ЕВРАЗ КГОК» технологических типов руд по содержанию TiO_2 .

Руды Собственно-Качканарского месторождения имеют аналогичное распределение типов руды относительно содержания ценных компонентов.

Выбор системы управления качеством минерального сырья для конкретных горно-геологических условий открытой разработки ПИ состоит из последовательного решения взаимосвязанного блока задач с использованием разработанных методик оценки:

- выявления и районирования (геометризации) в карьерном пространстве технологических типов и сортов руд;
- выбора способа (комплекса способов в составе технологии) рудоподготовки в режиме управления качеством минерального сырья для установленного распределения в карьере типов и сортов руд;



Тип руды	Распределение типов руды по содержанию TiO_2 в карьерах ОАО "ЕВРАЗ КГОК"				
	Действующие карьеры				Проектный карьер
	Главный	Северный	Западный	Итого по действующим карьерам:	Собственно- Качканарский
Нормальнотитани- стая (%)	83	30	62	54	52
Малотитанистая (%)	17	70	38	45	48
Добыча сырой руды (млн. т)	18,9	27,2	13,2	59,3	31

Рис. 3. Распределение в карьерах АО «ЕВРАЗ КГОК»
технологических типов руд по содержанию TiO_2

– технико-экономической оценки предварительно принятой технологии (способа) управления качеством минерального сырья и корректировки принятых решений после оценки горно-геологических, технико-технологических, экологических и экономических факторов (получение эколого-экономического эффекта).

На рис. 4 представлена блок-схема методики геометризации в карьерном пространстве качественных характеристик руд.

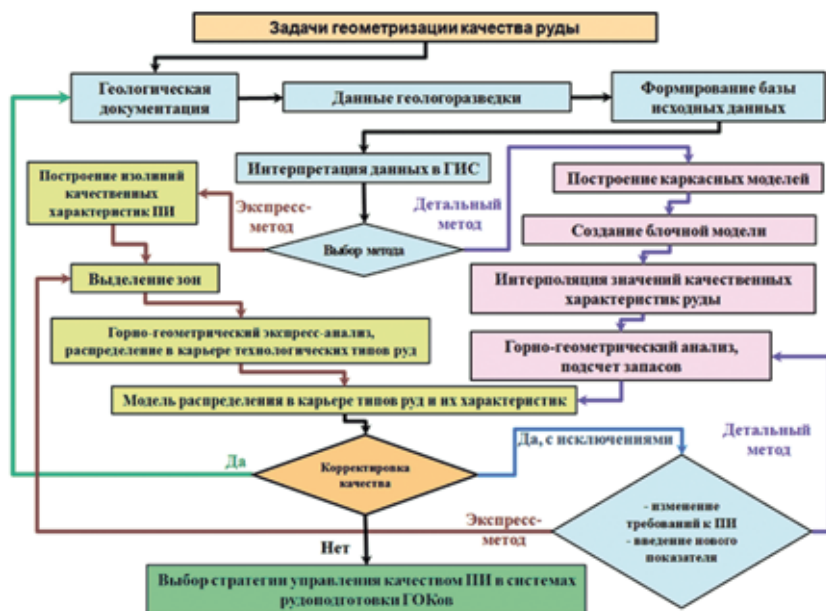


Рис. 4. Блок-схема геоинформационной модели геометризации качественных характеристик руд

Краткое описание методики геометризации качественных характеристик руд

1. Геометризация качественных характеристик руд производится с использованием программных продуктов ГГИС (GEOVIA Surpac, Mineframe, Datamine и др.) на основе сформированной базы исходных данных. База исходных данных для создания блочной модели в ГГИС формируется из данных детальной и эксплуатационной разведки месторождения (участков), геофизического исследования массива, результатов дополнительных минералогических и других исследований кернов горных пород. На рис. 5 представлена расширенная блок-схема формирования информационной базы по оценке рудного сырья.

Блок-схема (см. рис. 5) состоит из 3-х основных блоков по формированию базы данных о параметрах добываемой руды, в том числе:

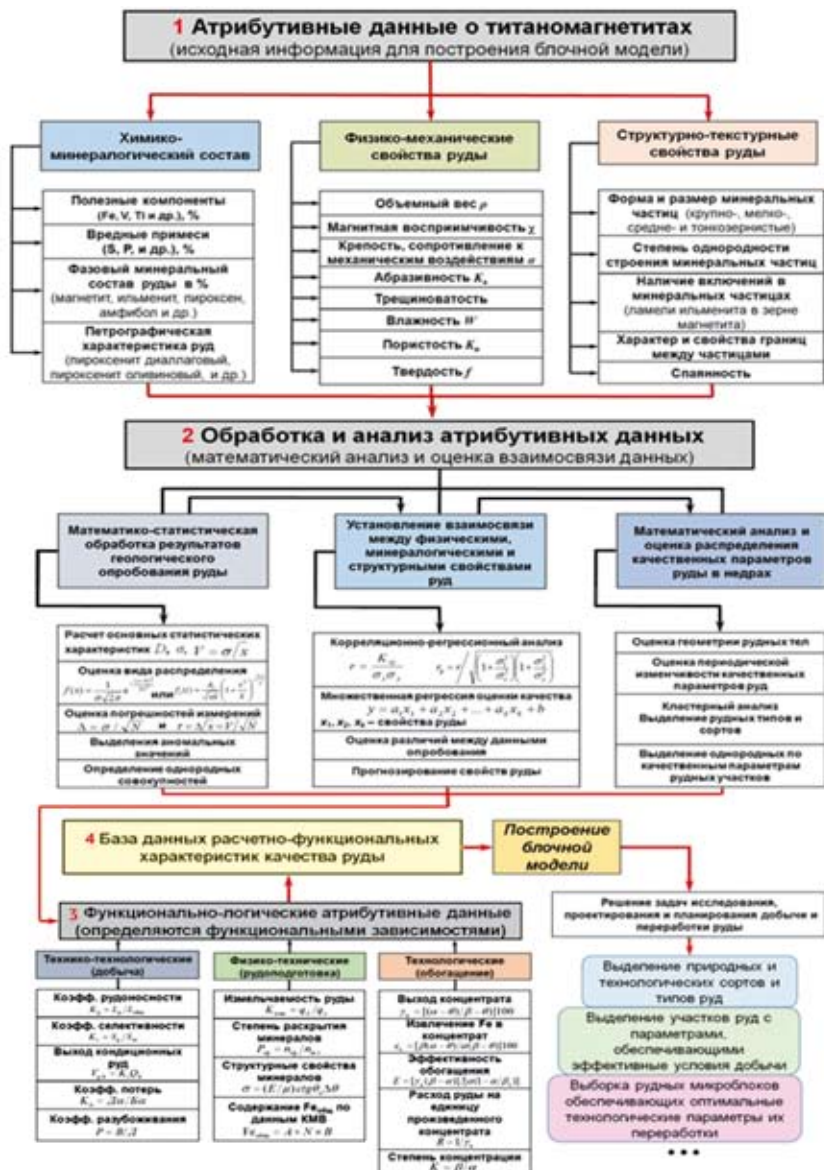


Рис. 5. Блок-схема по оценке качества руды и формирования баз данных

– Блок 1 – включает в себя атрибутивные данные о природных химико-минералогических, физико-механических и структурно-текстурных свойствах руды;

– Блок 2 – формируется на основе обработки и анализа атрибутивных данных блока 1;

– Блок 3 – составляют функциональные зависимости, в которых в качестве аргументов используются атрибутивные данные блока 2.

Формируемая база данных включает в себя все компоненты (атрибутивные данные) блоков 1–3, что позволяет получить наиболее полное представление о рудном сырье для последующего анализа и планирования комплексного освоения сложноструктурных месторождений.

2. Формирование базы исходных данных производится в формах файлов программ Excel или Access. Производится оценка объема полученных данных и выбор метода их интерпретации в ГИС для блочного моделирования.

3. Для интерпретации данных в ГИС предлагается 2 основных метода: экспресс- и детальный методы. Оба метода требуют предварительного создания геологической базы данных и позволяют достоверно производить оценку и районирование в карьере руд по качественным признакам. Методы различаются трудоемкостью выполнения, детальностью и возможностью корректировок построенных моделей в зависимости от установленных или изменившихся требований к качеству полезного ископаемого.

На рис. 6 представлена блок-схема выбора метода моделирования и интерпретации геоданных.

Выбор метода зависит от объема геоданных в сформированной базе, решаемых задач и сроков их выполнения. Рекомендуется при сравнительно небольшом объеме геоданных (блок, уступ, участок карьера) использовать экспресс-метод на основе метода обратных расстояний (детерминистический способ), при большом объеме исходных данных предлагается использовать детальный метод блочного моделирования на основе методов геостатистики (кригинга с линейной вариограммой).

Достоинства методов геоинформационного моделирования:

– экспресс-метод позволяет оперативно в кратчайшие сроки (в полуавтоматическом режиме при непосредственном контроле оператора) получать представления об основных закономерностях пространственного размещения компонентов полезного ископаемого при минимальном количестве вычислительных операций;

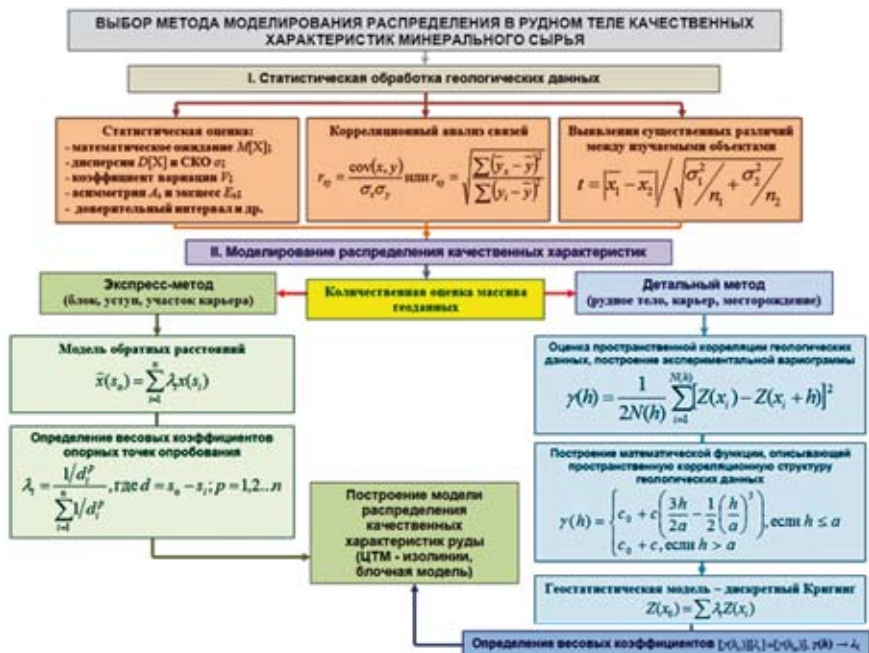


Рис. 6. Блок-схема выбора метода геоинформационного моделирования качественных характеристик руд

– детальный метод позволяет в автоматическом режиме производить подсчет запасов на ПК ЭВМ, выделять технологические типы и сорта руд, минимизировать затраты времени на представление результатов, производить моделирование параметров системы разработки, оценить календарный план и т.п;

Недостатки методов геоинформационного моделирования:

– экспресс-метод при изменениях исходных данных и требований к кондициям руд или критериям принадлежности руды к определенному технологическому сорту (содержание полезных и вредных компонентов и др.) предполагает трудоемкую ручную обработку изменившихся границ (параметров) зон районирования, а комплексный показатель качества потребует дополнительных расчетов на стадии корректировки геологической базы;

– детальный метод более трудоемкий, т.к. при его применении необходимо производить большой объем дополнительных иссле-

дований и вычислений (геостатистика, создание каркасных моделей, интерполяция в блочную модель и т.п), а первоначальные затраты времени превышают по сравнению с экспресс-методом в 5–10 раз.

4. Результатом моделирования обоими методами является модель распределения в карьерном пространстве качественных показателей технологических типов руд. Следовательно, оба метода имеют свои области применения в зависимости от постановки задачи и сроков ее выполнения и при необходимости могут дополнять друг друга.

Полученная в результате геометризации информация является основой для выбора методов управления качеством минерального сырья с учетом требований к качеству сырья, подаваемому на обоганительную фабрику (ОФ). На рис. 7 представлена блок-схема выбора способа управления качеством руды.

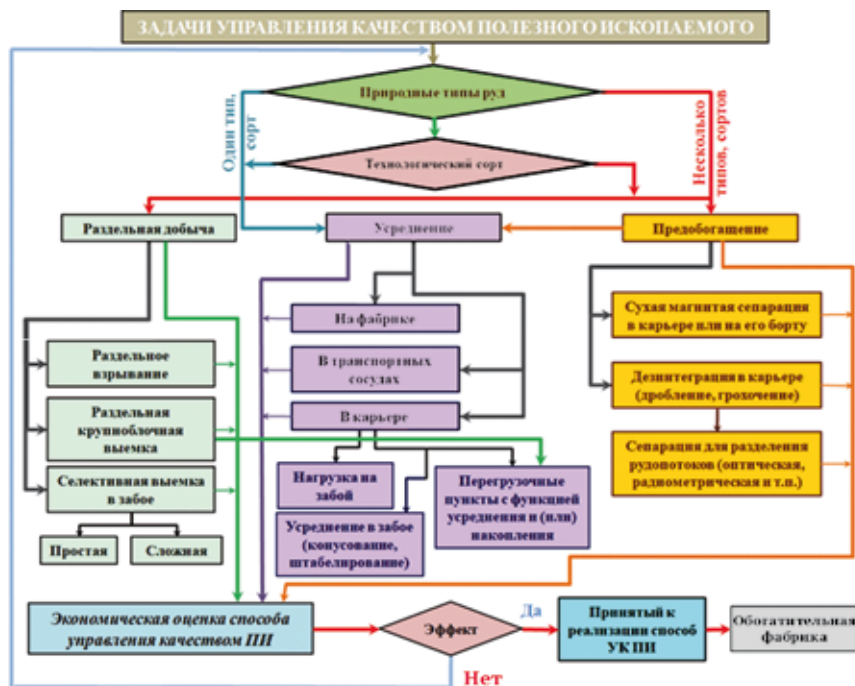


Рис. 7. Блок-схема методики выбора способа управления качеством руды

Краткое описание методики

1. С учетом выделенных технологических типов (сортов) руд и требований ОФ выбираются способы и технические решения по управлению качеством при рудоподготовке в карьере.

Основные способы управления качеством минерального сырья: раздельная добыча технологических сортов ПИ, усреднение качественных характеристик, предобогащение.

2. Выбор способа и технических решений по управлению качеством рудного сырья производится с учетом ряда факторов, при этом определяющим является установленное количество технологических типов и сортов руды. На рис. 8 представлена схема с оценкой основных факторов, влияющих на выбор способа управления качеством минерального сырья.



Рис. 8. Основные факторы, определяющие выбор способа управления качеством сырья

Экономическая оценка мероприятий по управлению качеством минерального сырья является необходимым элементом выбора технологий рудоподготовки.

На рис. 9 представлена схема основных факторов, определяющих эффективность внедрения на предприятии системы рудоподготовки с управлением качеством минерального сырья.

Приведенные факторы оказывают разнонаправленное влияние на общий эффект от внедрения инновационного проекта по управлению качеством продукции.

Положительный результат оказывает увеличение выхода полезных компонентов и повышение качества продуктов обогащения (концентратов), оптимизацию режимов работы обогатительного оборудования, сокращение отходов производства, экологической нагрузки и платежей за счет комплексного использования сырья и выпуска дополнительной продукции.

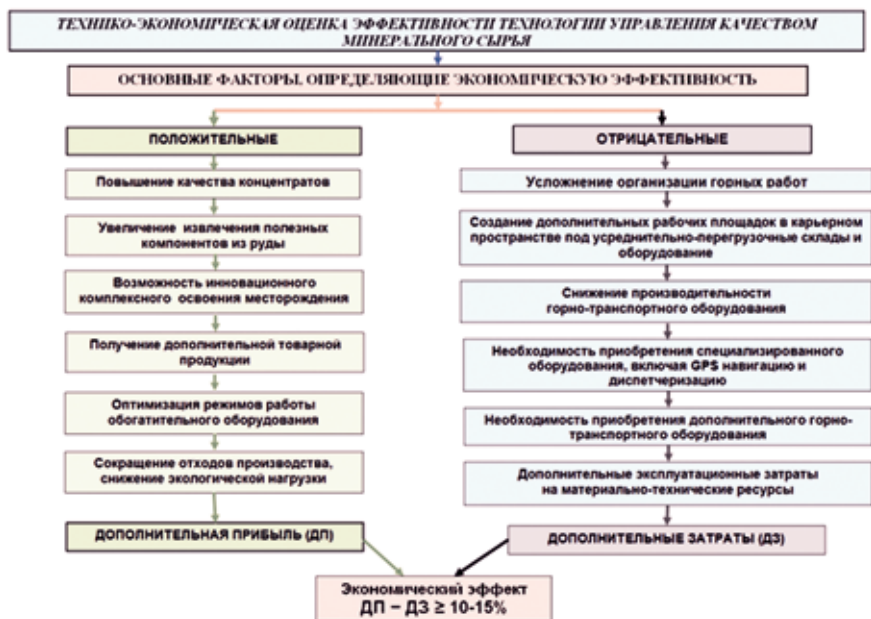


Рис. 9. Схема основных факторов, определяющих экономическую эффективность от внедрения управления качеством минерального сырья

Однако внедрение мероприятий по управлению качеством сырья одно-временно связано с существенным усложнением организации горных работ по сравнению с валовой добычей, снижением производительности горного оборудования и увеличением выемочно-погрузочных и транспортных работ, возможным приобретением дополнительного дорогостоящего оборудования (сепараторы, GPS-навигация и т.п.), с организацией рабочих мест, ростом эксплуатационных затрат, что должно учитываться при выборе технологии управления качеством при рудоподготовке перед обогащением.

Полный учет всех возможных плюсов и минусов от внедрения технологий управления качеством для условий конкретного предприятия производится в результате технико-экономических расчетов на основе положений методики оценки инвестиционных проектов [10, 11]. В соответствии с общемировой практикой допустимый дисконтированный коэффициент рентабельности инвестиций должен составлять не менее 10–15 %.

При невозможности обеспечить приемлемый экономический результат для данных условий и исходных данных необходимо повторно рассмотреть все возможные варианты при выборе способа управления качеством минерального сырья, начиная с формирования базы исходных данных и далее в соответствии с положениями, изложенными выше.

Выводы

1. Первым этапом разработки систем управления качеством минерального сырья является всестороннее изучение качественных характеристик ПИ, в т.ч. по данным геологоразведки, лабораторных исследований, результатов опытно-промышленных экспериментов и промышленной эксплуатации месторождений.

2. Следующим этапом является моделирование качественных характеристик полезного ископаемого с помощью ГИС технологий (программных комплексов типа GEOVIA Surpac и др.), включая блочное моделирование и геометризацию параметров объектов (рудных тел, распределения в рудном теле рудообразующих минералов, показателя обогатимости, контрастности, засоренности, содержания ценных компонентов и др.).

Основной целью этого этапа является выделение природных и технологических типов и сортов руд и их районирование в карьерном пространстве. При этом на этапе планирования горных работ закладываются основные стратегические решения по отработке месторождения в режиме управления качеством продукции.

3. Основные способы управления качеством минерального сырья: раздельная добыча технологических сортов ПИ, усреднение качественных характеристик, предобогащение в карьерном пространстве.

Для конкретных горно-геологических условий месторождения технологии рудоподготовки включают в себя набор следующих технологических операций:

- разделение грузопотоков полезного ископаемого в карьере на отдельные потоки, отличающиеся по технологическим свойствам; при необходимости усреднение качественных показателей рудных потоков внутри технологических типов руд в целях формирования отдельных партий кондиционной руды для поставки на ОФ;
- раздельная или селективная выемка и переработка руды, с организацией в карьере или на поверхности многокомпонентных перегрузочных складов (по технологическим типам руд);
- раздельная добыча с использованием ЦПТ;
- усреднение по нормируемым качественным параметрам руды (содержанию ценных компонентов, количеству вредных примесей и др.) с организацией в карьере усреднительных перегрузочных (аккумулирующих) складов или посредством организации управления грузопотоками в карьерном пространстве;
- предобогащение руды в карьере, на борту карьера или на отвале с отделением включений пустой породы или некондиций (посредством грохочения, сухой магнитной сепарации и др.).
- комплексная технико-эколого-экономическая оценка эффективности мероприятий по управлению качеством минерального сырья на ГОКе.

4. Систему управления качеством минерального сырья необходимо предусматривать от забоя до обогатительной фабрики. При этом эффективное управление качеством рудоподготовки может быть основано на следующих принципах:

- постоянное уточнение данных о качественных характеристиках ПИ по результатам эксплуатационной разведки, магнитного каротажа буровых скважин, химического анализа сырья на всех стадиях его переработки и др., внедрение инновационных методов для уточнения и расширения сведений о качественных характеристиках ПИ;
- использование ГИС при планировании горных работ (годовом, месячном, недельно-суточном, сменном), непрерывное пополнение ГИС уточненными данными о ПИ;
- управление порядком взрывания обуренных блоков ПИ; GPS-позиционирование экскавации (траекторией ковша и положением экскаватора в забое) и навигации транспортирования (с учетом качества сырья в транспортных сосудах);
- внедрение систем АСУ для автоматизированного управления грузопотоками в карьере с учетом качества сырья (управление качеством рудопотоков).

Разработка современных инновационных технологий управления качеством минерального сырья позволит решать задачи моделирования обрабатываемых рудных тел и выемочных единиц, планирования горных работ и стабилизации качественных показателей руды перед подачей ее на обогащение.

Предусмотренные проектом параметры способов управления качеством поставляемой на обогатительную фабрику рудной массы, при нарастании (изменении) информации о закономерностях распределения в карьерном пространстве участков залежей с различными геологическими и технологическими характеристиками, подлежат периодическому уточнению, корректировке, т. е. переходу к новым параметрам технологических процессов добычи, рудоподготовки и обогащения с учетом более полного извлечения основных и попутных компонентов полезных ископаемых конкретного месторождения.

Список литературы

1. Яковлев В. Л. Закономерности развития горного дела / В. Л. Яковлев, С. А. Батугин ; [отв. ред. и авт. предисл. Е. Н. Чemezov] ; ИГДС СО РАН. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 1992. – 114 с.
2. Яковлев В. Л. Особенности методологического подхода к обоснованию стратегии освоения сложноструктурных месторождений на основе исследования переходных процессов / В. Л. Яковлев // Геомеханические и геотехнологические проблемы освоения недр Севера : Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва : Горная книга, 2015. – Специальный выпуск № 30. – С. 22–35.
3. Бастан П. П. Смешивание и сортировка руд / П. П. Бастан, Н. К. Костина. – Москва : Недра. 1990. – 168 с.
4. Козин В. З. Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов: учебник / В. З. Козин, О. Н. Тихонов. – Москва : Недра, 1990. – 344 с.
5. Гальянов А. В. Рудоподготовка на карьерах (Вопросы теории и практики) / А. В. Гальянов, Ю. В. Лаптев. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 1999. – 426 с.
6. Яковлев В. Л. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов ; под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева. – Екатеринбург : УрО РАН, 2018. – 360 с.

7. Выделение технологических типов руд Гусевогорского месторождения титаномагнетитов методами геоинформационного моделирования и предварительной оценки их обогатимости / С. В. Корнилков, В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов, А. М. Яковлев. – DOI: 10.1051/e3sconf/20185603014. // Проблемы комплексного освоения георесурсов 25–27 сент. 2018 г. : материалы VII междунаро. научн. конф. – Хабаровск : ИГД ДВО РАН, 2018. – URL: https://www.e3s-con-fernces.org/articles/e3sconf/abs/2018/31/e3sconf_pcdg2018_03014/e3sconf_pcdg2018_03014.html (дата обращения: 20.01.2024)
8. Кантемиров В. Д. Возможности компьютерного моделирования для решения вопросов управления качеством минерального сырья / В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов, А. М. Яковлев. – DOI: 10.184554/2313-1586.2016.04.170 // Проблемы недропользования / ИГД УрО РАН. – 2016. – № 4. – С. 170–176.
9. Раздельная переработка руд Гусевогорского месторождения / С. В. Корнилков, А. Н. Дмитриев, А. Е. Пелевин, А. М. Яковлев. – DOI: 10.17580/gzh.2016.05.12 // Горный журнал. – 2016. – № 5. – С. 89–90.
10. Корнилков С. В. Железорудные месторождения Приполярного Урала как перспективная сырьевая база уральской металлургии / С. В. Корнилков, В. Д. Кантемиров // Изв. вузов. Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 22–28.
11. Кантемиров В. Д. Оценка влияния минерального состава титаномагнетитовой руды на результаты магнитного обогащения / В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов, А. М. Яковлев // Обогащение руд. – 2017. – № 4. – С. 36–40.

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ РИСКОВ НЕГАТИВНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ*

В.М. Аленичев

Аннотация: В настоящее время оценка техногенных рисков при недропользовании производится с использованием качественных, полуколичественных и количественных методов. По результатам количественной оценки возможно обоснование допустимого уровня риска на основе сравнения различных вариантов формирования техногенного объекта. При наличии ограниченного числа статистических данных использование теории вероятностей позволяет привести обработку их без знания полной характеристики случайных величин и существенно снизить трудоемкость решения многих вероятностных задач. Выявлена аналитическая зависимость, позволяющая определить вероятность возникновения риска при использовании числовых характеристик учитываемых аргументов.

Ключевые слова: риск, техногенный объект, вероятностные оценки, статистические данные, устойчивое значение параметра, вероятность риска.

Введение

Известные способы оценки рисков классифицируются на качественные, полуколичественные и количественные. Первый класс базируется на вербальном описании вероятности негативного события и его возможных последствий. Второй класс – ранжирование рисков – учитывает шкалы или взвешивающие коэффициенты, повышающие достоверность отражения характера риска. Сочетание этих способов с количественной оценкой вероятностей оказыва-

* Исследования выполнены в соответствии с Госзаданием № 075-00412-22-ПР, пер. ПТНИ №1021062020536-3-1.5.1., пер. № 123012300007-7

ется полезным при ранжировании и определении приоритетности рисков.

Распространенным способом определения вероятности наступления рисков с учетом критериев допустимости или опасности является использование матрицы рисков, учитывающей качественные и полуколичественные характеристики рисков. В количественных методах привлекаются численные характеристики вероятности, точность и полнота которых зависит от используемых статистических данных и достоверности расчетных моделей. Инструмент анализа рисков достаточно обширен, и в мире насчитывается более 72 методов, направленных на определение его характера и получение информации на различных стадиях развития. Отмечено, что на стадии эксплуатации наиболее целесообразен численный метод. При этом процесс принятия решений и критерии допустимости рисков должны отвечать степени погрешности исходных данных и расчетов.

Основная часть

Оценка негативных явлений при недропользовании обусловлена главной проблемой геомеханики – отсутствием достоверного аппарата для определения и прогнозирования устойчивого состояния бортов карьеров откосов уступов, отвалов, дамб хвостохранилищ, опорных целиков и т.д. [1–5]. Статическая неопределенность, свойственная описанию природных и техногенных объектов, затрудняет выбор критериев оценки устойчивости вышеуказанных объектов, формулирование условий необходимости и достаточности равновесия и теоретическое обоснование положения критических поверхностей разрушения в массиве. Кроме того, не разработаны достаточно надежные методы определения границы зоны сдвижения горных пород с разрывом сплошности и плавного деформирования как квазисплошной среды [4].

Причиной такого состояния является несоответствие представлений физической науки о поведении материалов. Установлено, что использование простой экстраполяции для перехода от атомного строения материалов к практическому определению их свойств и прочности неправомерно. Теоретическое значение прочности, исходя из физических предпосылок на молекулярно-ионном уровне, выше прочности реальных твердых тел в 500–1000 раз. Данный факт обусловил развитие технического (феноменологического, континуального или

сплошносреднего) подхода к обоснованию прочности твердых тел. На микромасштабном уровне объектом исследования является реальная кристаллическая решетка со своими дефектами структуры, на макромасштабном – сплошная или континуальная среда. В результате только в рамках многоуровневого подхода (мезоскопический уровень) физики и механики твердого тела удалось корректно описать синергетическую природу пластической деформации и разрушения твердых тел [6, 7].

В большинстве исследований, посвященных устойчивости геотехногенных объектов, откос рассматривается как сплошная среда, характеризующаяся внутренним трением и сцеплением, что в первом приближении соответствует процессу разрушения уступа, сложенного из рыхлых пород. Разрушение откосов с блочным строением происходит аналогично процессам, происходящим в очаге землетрясений. Строгого теоретического описания процесса разрушения блочных сред, характеризующихся трещинами сложной геометрии (фракталом) и непонятным процессом деформирования, на сегодняшний день не существует. Несмотря на трудности выявления закономерностей разрушения, исследования в этом направлении проводятся, и достигнуты серьезные научные результаты.

В настоящее время при определении устойчивости горнотехнических сооружений откос рассматривают как сплошную среду, обладающую внутренним трением и сцеплением. Поэтому для скальных трещиноватых массивов (откосов) горных пород (блочные среды) применяется тот же подход, что и для рыхлых отложений (представление сплошной средой). Пробелы в понимании процессов, происходящих при пластическом деформировании и разрушении блочных сред, исследователи вкладывают в собирательную и абстрактную величину – сцепление трещиноватого горного массива. Использование этого понятия позволяет ввести некую эквивалентную величину сцепления, характеризующую сдвиговое свойство блочного массива. Дальнейшее развитие его направлено на создание теории устойчивости откосов горнотехнических сооружений как сплошной среды с внутренним трением и сцеплением на основе критерия прочности Кулона по методу предельного равновесия и учета пластичности и прочности горных пород как твердых тел [8].

Причиной негативных событий при недропользовании являются, во-первых, природные факторы, во-вторых, принимаемые технические решения на стадии проектирования и строительства горно-

го предприятия, основную роль при этом играют организационно-технологические мероприятия, реализуемые на стадии разработки месторождения. Источником природных факторов является генезис месторождений полезных ископаемых, а также процессы физического и химического выветривания, метаморфизма, тектонической активности и др. Прежде всего это относится к рудным месторождениям [9–12].

Разработка месторождений полезных ископаемых сопровождается изменением естественных полей напряжений в зоне горных выработок за счет перегруппировки элементов систем трещин в массиве, а следовательно, иерархический блочности массива горных пород.

Объективное определение свойств горного массива затруднено высокой изменчивостью свойств ненарушенных пород в виде образцов (коэффициенты вариации лабораторных определений свойств горных пород достигают сотен процентов), небольшим объемом выборки при определении свойств пород и процессами, происходящими при разрушении отколов с блочным строением.

На современном этапе развития технических наук достаточно широко используются вероятностно-статистические методы, способствующие при одновременном детальном изучении событий выявлению основных закономерностей их протекания. Следует отметить, что теория вероятностей по своей природе в наибольшей мере отвечает задаче исследования массовых случайных явлений. Начало систематических исследований задач, характерных для массовых случайных событий, и появление соответствующего математического обеспечения относится к началу XVII века, когда знаменитый физик Галилей приступил к научному исследованию ошибок физических измерений, представляя их как случайные и оценивая их вероятность.

Любое исследование в области случайных явлений, даже несмотря на его некоторую, казалось бы, отвлеченность, по существу всегда своими корнями связано с системой наблюдений, лабораторными и промышленными экспериментами и опытными данными. При обработке материала с недостаточным объемом экспериментальных статистических данных, что характерно для недропользования, возникает вопрос определения законов распределения исследуемых случайных величин. На основании этих данных возможно определение только приближенных «оценок» или «подходящих значений» для исследуемых функций, которые приводят к меньшим ошибкам в случае их массового применения по сравнению с другими. Методика

обработки случайных величин предусматривает определение характеристик положения (математическое ожидание, мода, медиана), которые указывают положение случайной величины на числовой оси, т.е. некоторое среднее, ориентировочное значение, около которого группируются все возможные значения случайной величины. Среднее значение случайной величины есть некоторое число, являющееся как бы ее «представителем» и заменяющее ее при грубо ориентировочных расчетах, и указывает определенную числовую характеристику случайной величины, описывающую ее местоположение на числовой оси. Из характеристик положения в теории вероятностей важнейшую роль играет математическое ожидание случайной величины, которое иногда называют просто средним значением случайной величины. Кроме важнейшей из характеристик положения – математического ожидания – на практике иногда применяются и другие характеристики положения, в частности мода и медиана случайной величины [13].

Сравнительно точное определение параметров при небольшом числе опытов весьма затруднительно, а практически невозможно, так как экспериментальный материал неизбежно включает значительный элемент случайности. Поэтому случайными оказываются и все параметры, вычисленные на основе этих данных, поскольку в этих условиях может быть поставлена задача определения только «подходящих значений» числовых характеристик, вычисленных с учетом их точности и надежности. В этом случае решается более узкая задача обработки наблюдений – определение некоторых числовых характеристик случайной величины или системы случайных величин.

При решении горнотехнических задач, связанных с определением устойчивости техногенных объектов и эффективным их функционированием, число используемых статистических данных, полученных в результате проведенных наблюдений, лабораторных и промышленных испытаний, в большинстве случаев недостаточно для объективного анализа. Кроме того, эта информация содержит, как правило, элементы случайности. Первоначальная обработка, свойственная для математической статистики по сглаживанию или выравниванию статистических данных, не должна нарушать типичные и специфические характеристики изучаемого явления и процесса.

Согласно теории вероятностей обработку ограниченного числа статистических данных можно привести без знания полной характеристики случайной величины. Приближенное описание случайной ве-

личины осуществляется с использованием числовых характеристик, каждая из которых выражает характерное свойство распределения. При этом исходя из конкретной ситуации необходимо выбрать только отдельные числовые параметры, определяющие функцию распределения случайной величины. Основным из них является положение случайной величины на оси абсцисс, определяющее некоторое среднее, ориентировочное значение, называемое центром рассеивания, вокруг которого группируются возможные значения случайной величины. Наряду с положением используются другие характеристики в виде центральных моментов, описывающих конкретное свойство распределения. В качестве таких оценок используются параметры, отображающие форму кривой распределения и характеризующие рассеивание случайной величины, – дисперсия и среднее квадратическое отклонение, отражающие степень разбросанности этих значений относительно среднего. Дополнительно привлекаются и другие центральные моменты: коэффициент ковариации и т. д. В совокупности эти показатели в компактном виде содержат существенную информацию о специфике случайных величин: математическом ожидании m_x , дисперсии D_x и среднем квадратическом отклонении s_x .

Закон распределения вероятностно-статистических величин, характеризующий элементы техногенных объектов, зависит от большого числа случайных аргументов, каждый из которых оказывает определенное влияние на численный результат и в общем случае не зависит от законов распределения отдельных случайных величин. В связи с этим привлечение числовых характеристик без знания закона распределения случайной величины многократно снижает трудоемкость и существенно облегчается решение многих вероятностных задач.

Вероятностный подход для оценки устойчивого состояния техногенных объектов при разработке месторождений полезных ископаемых сводится к рассмотрению текущих и предельных состояний бортов карьера, карьерного и подземного пространств, отвалов и дамб, технологических предпосылок возникновения опасных производственных ситуаций при ведении добычных, вскрышных, взрывных, погрузочных, транспортных, отвальных дренажно-осушительных работ.

Использование многофакторных статистических зависимостей позволяет определять расчетные параметры и показатели в зависимости от вероятных значений учитываемых аргументов. Разнообразие многофакторных статистических закономерностей в общем

случае целесообразно представить как функциональную зависимость в следующем математическом виде:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1)$$

где $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ – случайные аргументы с известным математическим ожиданием, дисперсией и среднеквадратическим отклонением.

Указанные числовые характеристики вычисляются по общепринятым формулам.

В качестве примера рассмотрим статистическую зависимость, по которой определяется положение вертикальной трещины отрыва, уходящей в массив на глубину H_{90} :

$$H_{90^0} = \frac{2C_m}{\gamma} \operatorname{ctg}(45^\circ - 0,5\varphi_n), \quad (2)$$

где C_m – сцепление в массиве, МПа;

γ – плотность горной породы, МН/м;

φ_n – угол внутреннего трения, град.

Величина H_{90^0} является функцией случайных аргументов C_m, γ и φ_n :

$$H_{90^0} = f(C_m, \gamma, \varphi_n). \quad (3)$$

Для определения основных числовых характеристик случайной функции Y (1) в виде математического ожидания m_y и дисперсии D_y применим к ней метод линеаризации. Линеаризация достаточно широко используется при исследованиях в других областях техники, когда результаты решения задачи, полученные обычными методами «точных наук», необходимо оценить с точки зрения погрешности, обусловленной влиянием неучтенных случайных факторов [14]. Задача определения погрешности достаточно успешно решается методом линеаризации функции. Функция (3) в общем случае является нелинейной, но в области практически возможных значений всех аргументов она проявляется как «почти линейная». Необходимо приближенно определить числовые характеристики функции (3) – математического ожидания m_y и дисперсии D_y . Функцию (3) в достаточно малой окрестности точки $m_{C_m}, m_\gamma, m_{\varphi_n}$ можно заменить линейной, что равносильно разложению ее в ряд Тейлора около точки $(m_{C_m}, m_\gamma, m_{\varphi_n})$, сохранению только членов первого порядка:

$$h_{90^0} = f(C_m, \gamma, \varphi_n) \approx f(m_{C_m}, m_\gamma, m_{\varphi_n}) + \sum_{i=1}^{n_1} f'_{C_m}(m_{C_m}) (C_{m_{n_1}} - m_{C_m}) +$$

$$H_{90^0} = m_{H_{90^0}} + t \cdot \sigma = f(m_{C_m}, m_\gamma, m_{\varphi_n}) + t \cdot \sigma$$

$$m_{H_{90^0}} = f(m_{C_m}, m_\gamma, m_{\varphi_n}),$$

$$\sigma_{H_{90^0}}^2 = \left(\frac{\partial H_{90^0}}{\partial C_m} \right)_m^2 \sigma_{C_m}^2 + \left(\frac{\partial H_{90^0}}{\partial \gamma} \right)_m^2 \sigma_\gamma^2 + \left(\frac{\partial H_{90^0}}{\partial \varphi_n} \right)_m^2 \sigma_{\varphi_n}^2$$

$$\sum_{i=1}^{n_3} f'_{\varphi_n}(m_{\varphi_n})(\varphi_{n_3} - m_{\varphi_n}) + \sum_{i=1}^{n_3} f'_{\varphi_n}(m_{\varphi_n})(\varphi_{n_3} - m_{\varphi_n}). \quad (4)$$

Исходя из (4), выражение (2) можно приближенно заменить линейной зависимостью, поскольку дисперсия случайной величины является математическим ожиданием квадрата соответствующей центрированной величины:

$$D(X) = M[(X - m_x)^2] = M[\overset{0}{X}^2].$$

Следовательно,

$$H_{90^0} = f(m_{C_m}, m_\gamma, m_{\varphi_n}) + (f'_{C_m})_m^2 D_{C_m} + (f'_\gamma)_m^2 D_\gamma + (f'_{\varphi_n})_m^2 D_{\varphi_n}, \quad (5)$$

$$\text{где } f'_{C_m}(C_m, \gamma, \varphi_n) = \left(\frac{\partial f}{\partial C_m} \right)_m; f'_\gamma(C_m, \gamma, \varphi_n) = \left(\frac{\partial f}{\partial \gamma} \right)_m; f'_{\varphi_n}(C_m, \gamma, \varphi_n) = \left(\frac{\partial f}{\partial \varphi_n} \right)_m.$$

К функции (5) применим теоремы о числовых характеристиках при предположении, что интервал возможных изменений аргументов настолько небольшой, что в его границах кривая и касательная, проведенная в точке средних значений аргументов, мало отличаются. Поэтому участок этой кривой можно заменить касательной, которая на этом интервале является практически линейной. Поскольку в функции (5) центрированные аргументы $\overset{0}{C_m}, \overset{0}{\gamma}, \overset{0}{\varphi_n}$ являются математическими ожиданиями, равными нулю, и имеют соответствующую корреляционную матрицу некоррелированных величин $\|K_{ij}\|$ получаем числовые характеристики в следующем виде:

$$m_{H_{90^0}} = f(m_{C_m}, m_\gamma, m_{\varphi_n}), \quad (6)$$

$$\sigma_{H_{90^0}}^2 = D_{H_{90^0}} = (f'_{C_m})_m^2 \sigma_{C_m}^2 + (f'_{\gamma})_m^2 \sigma_{\gamma}^2 + (f'_{\varphi_n})_m^2 \sigma_{\varphi_n}^2. \quad (7)$$

Для оценки надежности результатов расчета воспользуемся доверительной вероятностью (коэффициентом надежности), определяемым числом стандартных отклонений t (число сигм) [7]. В соответствии с универсальным и действующим в материальном мире принципом – стремлением системы к состоянию с минимальной потенциальной энергией – устойчивое значение параметра, вычисленное по многофакторной статистической функции, определяется исходя из сущности изучаемого процесса (явления) и доверительного интервала, зависящего от доверительной вероятности, задаваемой числом стандартных отклонений t (числом сигм). При обосновании оценки устойчивости следует исходить из того, что при нарушении откоса уменьшается потенциальная энергия объема горной массы в призме возможного обрушения (в «системе») и реализуется принцип минимума потенциальной энергии, обеспечивающий устойчивое состояние. Иными словами, стремлением определенного объема горной массы (как системы) занять «потенциальную яму» – положение, соответствующее освобождению энергии, накопленной при формировании откоса. В связи с этим совершенно объективно происходит развитие вертикальной трещины отрыва в глубину, что способствует при обрушении откоса уменьшению накопленной в уступе потенциальной энергии:

$$H_{90^0} = m_{H_{90^0}} + t \cdot \sigma = f(m_{C_m}, m_{\gamma}, m_{\varphi_n}) + t \cdot \sigma. \quad (8)$$

где $m_y = f(m_{x1}, m_{x2}, m_{x3} \dots m_{xn})$ – значение многофакторной вероятностно-статистической функции, определяемое математическим ожиданиям учитываемых аргументов;

t – число стандартных отклонений t (число сигм);

σ – стандартное отклонение, вычисленное по выражению (7).

Для вычисления дисперсии величины отклонения глубины трещины отрыва, обусловленной неточностью определения сцепления в массиве горных пород C_m , плотности горной породы γ и угла внутреннего трения, а также установления в дальнейшем степени влияния на нее вышеуказанных аргументов, необходимо провести дифференцирование функции (2) по этим параметрам.

При отсутствии корреляции между случайными аргументами средне-квадратическое отклонение величины H_{90^0} вычисляется по выражению:

$$\begin{aligned}
D_{H_{90^0}} &= \sigma_{H_{90^0}}^2 = \left(\frac{\partial H_{90^0}}{\partial C_m} \right)_m^2 \sigma_{C_m}^2 + \left(\frac{\partial H_{90^0}}{\partial \gamma} \right)_m^2 \sigma_{\gamma}^2 + \left(\frac{\partial H_{90^0}}{\partial \varphi_n} \right)_m^2 \sigma_{\varphi_n}^2 = \\
&= \left(\frac{2}{\gamma} \operatorname{ctg}(45^\circ - 0,5\varphi_n) \right)^2 \sigma_{C_m}^2 + \left(\frac{2C_m}{\gamma^2} \operatorname{ctg}(45^\circ - 0,5\varphi_n) \right)^2 \sigma_{\gamma}^2 + \\
&\quad + \left(\frac{C_m}{\gamma \sin^2(45^\circ - 0,5\varphi_n)} \right)^2 \sigma_{\varphi_n}^2 \quad (9)
\end{aligned}$$

Проведем оценку надежности определения положения вертикальной трещины отрыва в условиях дислоцированной осадочной толщи, характеризующейся сцеплением в массиве $C_m = 50 \cdot 10^3$ КПа (5т/м²), углом трения по ровной гладкой поверхности ослабления $\varphi_n = 150$, плотностью горной породы $\gamma = 20$ КН/м³ (2т/м³) [16] при условии, что среднеквадратические отклонения величины сцепления $\sigma(C_m)$ равны $5 \cdot 10^3$ КПа, удельного веса осадочной толщи $\sigma_{\gamma} = 1$ КН/м³, угла внутреннего трения $\varphi_n = 0,15^\circ$.

$$\begin{aligned}
D_{H_{90^0}} &= \left(\frac{2}{10^4} \cdot 1,57 \right)^2 (5 \cdot 10^3)^2 + \left(\frac{2 \cdot 50 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^8} \cdot 1,57 \right)^2 (1 \cdot 10^3)^2 + \left(\frac{50 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^4} \cdot 3,13 \right)^2 (0,15^\circ)^2 = \\
&= 2,46 + 0,61 + 1,38 = 4,45 \text{ м},
\end{aligned}$$

следовательно, среднеквадратические отклонения положения трещины отрыва $\sigma_{H_{90^0}} = 2,1$ м.

Анализ слагаемых, составляющих дисперсию $\sigma_{H_{90^0}}^2$ положение вертикальной трещины отрыва, уходящей в массив на глубину, указывает на наибольшее влияние ошибки сцепления в массиве (2,46). Ошибка угла внутреннего трения (1,38) влияет в меньшей мере. Наименьшее влияние оказывает плотность горной массы. Таким образом, в рассматриваемых горно-геологических условиях разброс положения вертикальной трещины отрыва, в первую очередь, зависит от ошибок определения сцепления в массиве и угла внутреннего трения.

При доверительной вероятности 0,95 ($t = 2$) глубина трещины отрыва достигнет 9,2 м.

Заключение

При ограниченном числе статистических данных использование теории вероятностей позволяет привести обработку их без знания полной характеристики случайных величин и существенно снизить трудоемкость решения вероятностных задач. Проявление негативных событий при недропользовании обусловлено несоответствием

реальным условиям параметров техногенных образований, рассчитанных с использованием многофакторных статистических зависимостей. Причиной этого является вероятностная природа учитываемых аргументов. В соответствии с универсальным и действующим в материальном мире принципом – стремлением системы к устойчивому состоянию – обеспечивается при ее минимальной потенциальной энергии. Исходя из сущности изучаемого процесса (явления) и принимаемых доверительных интервалов, необходимо определять параметры, зависящие от принятой доверительной вероятности, задаваемой числом стандартных отклонений t (числом сигм). Пример расчета положения вертикальной трещины отрыва указывает на возможность выявления и оценки ошибки определения наиболее влияющих аргументов, учитываемых в вероятностно-статистических зависимостях, используемых для вычисления технологических параметров техногенных объектов.

Список литературы

1. Спирин В. И. Оптимизация конструкций бортов карьеров на основе оценки рисков / В. И. Спирин, И. С. Ливинский, Э. Хормазабаль // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2019. – Вып. 3. – С. 317–332.
2. Chiwaye H. T. A comparison of the limit equilibrium and numerical modelling approaches to risk analysis for open pit mine slopes / H. T. Chiwaye // A dissertation submitted to the Faculty of Engineering and the Built Environment. University of the Witwatersrand. Johannesburg. – 2010. – 145 p.
3. Кочарян Г. Г. Деформационные процессы в массиве горных пород : учебное пособие / Г. Г. Кочарян. – Москва : МФТИ. – 2009. – 378 с.
4. Жабко А. В. Исследование закономерностей процесса дезинтеграции горных пород на основе теории устойчивости откосов горно-технических сооружений : дис. ... доктора технических наук : 25.00.20 / Жабко Андрей Викторович ; УГТУ. – Екатеринбург, 2019. – 331 с.
5. Адушкин В. В. От явления знакопеременной реакции горных пород на динамические воздействия – к волнам маятникового типа в напряженных геосредах. Ч. 4 / В. В. Адушкин, В. Н. Опарин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – № 1. – С. 3–49.
6. Панин В. Е. Синергетические принципы физической мезомеханики / В. Е. Панин // Физическая мезомеханика. – 2020. – № 3(6). – С. 5–36.

7. Малыгин Г. А. Синергетика взаимодействия подвижных и неподвижных дислокаций при формировании структур в ударной волне. Влияние энергии дефектов упаковки / Г. А. Малыгин, С. А. Огарков, А. В. Андрияш // Физика твердого тела. – 2015. – Т. 57, Вып. 1. – С. 75–81.

8. Тамм И. С. Физика твердого тела / И. С. Тамм. – Москва : Наука, 1985. – 567 с.

9. Аленичев В. М. О мониторинге безопасности хозяйственной деятельности на территории ведения горных работ / В. М. Аленичев, С. И. Корнилов. – DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.0533 // Проблемы недропользования. – 2022. – № 4. – С. 53–62.

10. Пахомов В. П. Техногенные катастрофы горнопромышленного характера / В. П. Пахомов, И. В. Рудакова // Экономика региона. – 2006. – Том 2, Вып. 2. – С. 23–36.

11. Аленичев В. М. Систематизация техногенных рисков индустриального характера на горнодобывающих предприятиях / В. М. Аленичев // Известия вузов. Горный журнал. – 2023. – № 3. – С. 97–112.

12. Аленичев В. М. Методический подход к оценке рисков возникновения негативных техногенных явлений при недропользовании / В. М. Аленичев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – Вып. 3. – С. 98–100.

13. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – Изд. 4-е, стереотипное. – Москва : Наука, 1969. – С. 576.

14. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – Москва : Наука, 1973. – 831 с.

15. Руководство по проектированию бортов карьера / под редакцией : Джон Рид, Питер Стейси ; [пер. с англ.: А. С. Бентхен]. – Екатеринбург : Правовед, 2015. – 527 с.

16. Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов : Приказ Ростехнадзора от 13.11.2020 № 439. – URL: <https://tk-expert.ru/uploads/files/ntd/ntd-809-20210108-91105.pdf?ysclid=lx2trqg1 do975264748> (дата обращения: 21.05.2024).

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ УСТУПОВ И УЧАСТКОВ БОРТОВ НА ПРЕДЕЛЬНОМ КОНТУРЕ КАРЬЕРОВ*

А. В. Яковлев, Е. С. Шимкив

Аннотация: Для обоснования условий обеспечения долговременной устойчивости уступов и участков бортов карьеров приведены этапы развития нормативной базы в области устойчивости бортов карьеров, обоснованы дополнительные факторы, влияющие на устойчивость уступов и участков бортов карьеров в гравитационно-тектоническом поле напряжений, определены основные направления изучения прибортовых массивов на действующих карьерах, показана необходимость изучения тектонических напряжений в прибортовых массивах скальных горных пород и учета их воздействия на устойчивость карьерных откосов, разработан алгоритм обоснования параметров уступов и участков бортов карьеров в тектонически напряженных массивах горных пород, сформулированы основные принципы ведения буровзрывных работ в приконтурных зонах и обоснованы способы уменьшения воздействия взрывных работ на законтурный массив.

Ключевые слова: Карьер, борт, уступ, тектонические напряжения, напряженно-деформированное состояние массива, структурное строение, трещины, устойчивость, буровзрывные работы.

Введение

Проблема обеспечения долговременной устойчивости уступов и бортов карьеров имеет особую актуальность, так как от их пара-

* Статья подготовлена при выполнении Госзадания №075-00412-22 ПР. Тема 1 (2022-2024). Ме-тодологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых по-лезных ископаемых в динамике развития гор-нотехнических систем (код темы FUWE-2022-0005, рег. ПТНИ №1021062010531-8-1.5.1, рег. №123012300005-3).

метров зависит безопасность разработки месторождений, а также объемы вскрыши и запасы полезного ископаемого в контурах карьеров.

Нашими многолетними исследованиями, проведенными на ряде глубоких карьеров, прибортовые массивы которых сложены скальными породами, обоснована необходимость изучения и учета тектонических напряжений при формировании уступов и бортов на предельном контуре карьеров [1–5].

Необходимость разработки нормативно-методической базы для обоснования параметров бортов и уступов карьеров в массивах скальных горных пород неоднократно отмечалась на многих конференциях и в публикациях [6–18].

Основой для разработки новых «Правил обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов» [19] послужило «Руководство по проектированию бортов карьеров» под редакцией Джона Рида и Питера Стейси [20]. Перевод был подготовлен и издан в 2015 г. под редакцией проф. Макарова А. Б. [21].

Проф. Зотеевым В. Г. выполнены обзор и анализ данной книги на предмет сходимости с российскими подходами [22]. При разработке «Правил...» [19] был использован зарубежный опыт обоснования устойчивости бортов и уступов карьеров [23–27].

В дополнение к «Правилам...» [19] в ИПКОН РАН разработаны «Методические указания...», рекомендованные Ростехнадзором РФ:

1) Методические указания по изучению массива горных пород для обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов [28];

2) Методические указания по определению параметров бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов [29];

3) Методические указания по оценке рисков развития деформаций, мониторингу и управлению устойчивостью бортов и уступов, карьеров, разрезов и откосов отвалов [30].

В «Методических указаниях...» [28] приведены пояснения к «Правилам...» [19], а также рекомендации по их применению.

В «Методических указаниях...» [29] приведены методы и способы оценки устойчивости бортов и уступов карьеров и откосов отвалов на всех этапах освоения месторождений. Отмечается, что методики и способы расчета носят рекомендательный характер.

Методические основы обеспечения устойчивости уступов и участков бортов в скальных породах

Важнейшими факторами, влияющими на устойчивость уступов и бортов в предельном положении, являются структура и тектоническая нарушенность массива, прочностные свойства пород в массиве, особенно по поверхностям ослабления, наличие и уровень тектонических напряжений, а также степень нарушенности естественного строения массива взрывными работами. Производство горных работ в карьере сопровождается геомеханическими процессами, происходящими в прибортовых массивах по мере углубки и формирования выработанного пространства. Прибортовой массив из-за воздействия тектонических напряжений и взрывных работ теряет свое первоначальное структурно-тектоническое строение, происходит раскрытие сомкнутых и образование новых трещин, в результате чего изменяются условия устойчивости уступов и участков бортов.

В «Правилах...» [24] определены факторы, влияющие на устойчивость уступов и бортов карьеров.

По результатам наших многолетних исследований при оценке устойчивости уступов и бортов в скальных массивах предлагается учитывать дополнительные факторы:

- вторичное поле напряжений (гравитационное и тектоническое), изменяющееся по мере развития карьерного пространства и во времени;
- тектонические деформации приоткосной части массива, которые могут проявляться на локальных участках в зависимости от структуры массива и прочностных свойств контактов пород и других поверхностей ослаблений;
- подвижность прибортовых массивов, приводящая к изменению структуры и прочностных свойств поверхностей ослабления массива;
- технология производства взрывных работ в приконтурных зонах карьера.

Для повышения надежности обоснования устойчивости прибортовых массивов рекомендуются следующие основные направления изучения прибортовых массивов на действующих карьерах:

- мониторинг подвижности прибортовых массивов (инструментальные маркшейдерские наблюдения, спутниковая геодезия);
- выявление индикаторов тектонических сдвижений (штрихи и борозды скольжения, дискование керна);

- оценка уровня и направления действия тектонических напряжений (тектонофизические методы);
- исследование влияния тектонических напряжений на устойчивость уступов и участков бортов (геомеханические расчеты);
- районирование бортов карьеров по условию устойчивости уступов и обоснование углов откоса уступов на различных участках предельного контура (картирование структуры прибортовых массивов);
- оптимизация конструкции участков бортов в зонах расположения транспортных берм (картирование структуры уступов по мере их оформления с интерполяцией протяженных трещин на нижележащие уступы);
- минимизация взрывного разрушения законтурного массива.

При формировании выработанного пространства карьера по мере углубки и расширения в плане напряженно-деформированное состояние (НДС) прибортовых массивов изменяется во времени как в части гравитационного, так и в части тектонического поля напряжений.

Одним из главных факторов, воздействующих на массив горных пород, является тектоническое поле напряжений, параметры которого можно установить только в процессе изучения на конкретном карьере в динамике развития горных работ:

- возникновение подвижности участков прибортовых массивов;
- изменение структуры массива с раскрытием существующих и формированием новых дизъюнктивов;
- формирование поверхностей скольжения и оползневых участков массива.

Для оценки НДС массива в ИГД УрО РАН применяются следующие методы:

- анализ геологического и геотектонического состояния и особенностей массива;
- метод дискования керна;
- кинематический анализ сопряженных трещин со следами штрихов и борозд скольжения (тектонофизический метод);
- модифицированный геодезическо-геомеханический метод, основанный на измерении смещений различных участков массива на больших базах, в том числе с организацией геомеханического полигона в околокарьерном и внутрикарьерном пространстве, инструментальным мониторингом смещений реперов, последующим расчетом НДС массива и изучением его трансформации во времени.

Алгоритм обоснования устойчивости бортов и уступов для действующих карьеров предлагается дополнить изучением тектонических напряжений в прибортовых массивах скальных горных пород и учетом их воздействия на устойчивость карьерных откосов (рис. 1):

- выявление признаков тектонического поля напряжений и участков тектонической подвижности прибортовых массивов;
- оценка уровня и направления действия горизонтальных тектонических напряжений;
- расчетная оценка возможности потери устойчивости уступов и участков бортов по протяженным трещинам в зависимости от действующих тектонических напряжений, ориентировки трещин относительно простирания уступа, прочностных свойств заполнителя и характеристик поверхностей трещин (ровная, волнистая, гладкая, шероховатая и т.д.).

Методика изучения влияния тектонических напряжений на устойчивость карьерных откосов должна включать:



Рис. 1. Алгоритм обоснования устойчивости бортов и уступов для действующих карьеров

- 1) изучение результатов эксплуатационного разведочного бурения;
- 2) анализ деформационных процессов, происходящих в прибортовых массивах, и результатов маркшейдерских наблюдений;
- 3) проведение полевых инженерно-геологических исследований структуры и тектоники прибортовых массивов (системы трещин, индикаторы тектонической подвижности массива, корректировка модели возможного деформирования уступов и групп уступов);
- 4) расчеты НДС массива;
- 5) оценка возможности деформаций уступов и участков бортов под воздействием горизонтальных тектонических напряжений;
- 6) в необходимых случаях внесение изменений в проектную документацию с корректировкой параметров бортов и уступов карьера на потенциально опасных участках, особенно в зонах расположения постоянных транспортных коммуникаций.

Результаты исследования и их обсуждение

Решение проблемы устойчивости уступов и участков бортов карьеров должно базироваться на расчетной оценке возможности потери устойчивости откосов по протяженным трещинам в зависимости от действующих тектонических напряжений, ориентировки трещин относительно простираия уступа, прочностных свойств заполнителя и характеристик поверхностей трещин.

Тектоническое поле напряжений способно дезинтегрировать массив не только по залеченным швам, но и некоторые области не нарушенных ранее пород. Для оценки устойчивости прибортового массива, в первую очередь, необходимо определить уровень действующих компонент поля напряжений тектонического происхождения, например, по исследованию структурных характеристик массива, образованных в результате перемещения смежных блоков. Ориентировка перемещения блоков и борозд скольжения на прочных заполнителях швов позволяет провести реконструкцию поля напряжений.

Такая реконструкция была проведена для массива северо-западного борта Главного карьера АО «ЕВРАЗ КГОК». В результате получены значения компонент тектонического поля напряжений: $\sigma_1 = 14,5$ МПа и $\sigma_3 = 5,8$ МПа [3].

Для оценки устойчивости прибортового массива были выбраны три нарушения: первое имеет шероховатую поверхность и значения угла трения и сцепления по контакту $\phi' = 20^\circ$, $C' = 0,5$ МПа, второе – сла-

бошероватую поверхность и $\varphi' = 15^\circ$, $C' = 0,3$ МПа и третье – гладкую увлажненную поверхность и $\varphi' = 12^\circ$, $C' = 0,1$ МПа.

Коэффициент запаса устойчивости определяется соотношением удерживающей и сдвигающей компонент поля напряжений:

$$n = \frac{\tau_{\text{сц}}}{\tau_{\text{сдв}}} = \frac{((\sigma_1 \sin^2 \alpha + \sigma_3 \cos^2 \alpha) \operatorname{tg} \varphi' + c')}{(0,5(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\alpha)}.$$

По результатам расчетов (таблица и рис. 2) потеря устойчивости приборного массива прогнозируется по нарушениям, которые составляют с вектором действия максимальной компоненты тензора напряжений σ_1 углы в диапазонах:

- $\alpha = 23-48^\circ$ при $\varphi' = 20^\circ$, $C' = 0,5$ МПа;
- $\alpha = 14-62^\circ$ при $\varphi' = 15^\circ$, $C' = 0,3$ МПа;
- $\alpha = 8-68^\circ$ при $\varphi' = 12^\circ$, $C' = 0,1$ МПа.

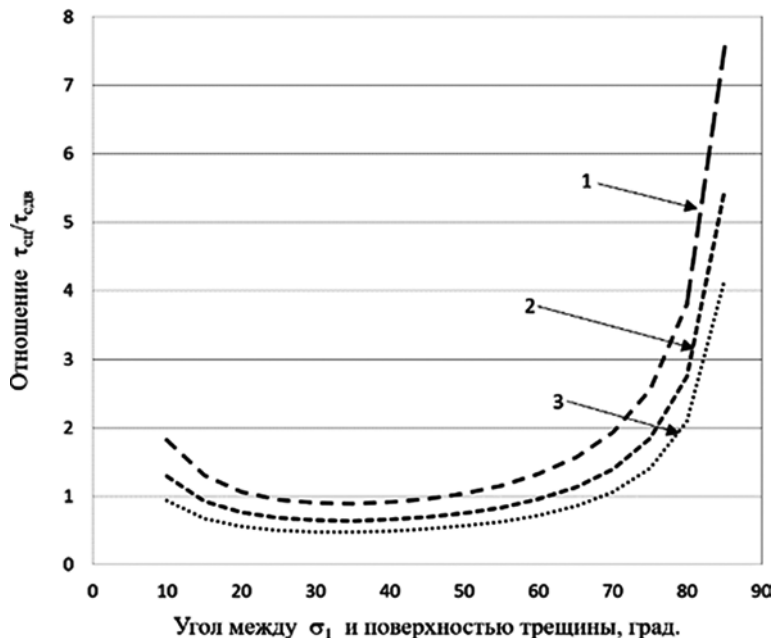


Рис. 2. Коэффициент запаса устойчивости приборного массива при различных прочностных свойствах поверхностей ослабления массива:

- 1 – шероховатый контакт при $\varphi' = 20^\circ$, $C' = 0,5$ МПа;
- 2 – слабошероховатый контакт при $\varphi' = 15^\circ$, $C' = 0,3$ МПа;
- 3 – гладкий увлажненный контакт при $\varphi' = 12^\circ$, $C' = 0,1$ МПа

Таблица

**Коэффициент запаса устойчивости прибортового массива
при различных прочностных свойствах поверхностей
ослабления массива**

α , град.	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
Шероховатый контакт $\varphi'=20^\circ$, $C'=0,5$ МПа																
$\tau_{\text{сц}}$	2,71	2,82	2,98	3,17	3,40	3,65	3,92	4,19	4,47	4,73	4,98	5,21	5,40	5,56	5,68	5,75
$\tau_{\text{сдв}}$	1,49	2,17	2,79	3,33	3,77	4,09	4,28	4,35	4,28	4,09	3,77	3,34	2,80	2,18	1,49	0,76
$\tau_{\text{сц}}/\tau_{\text{сдв}}$	1,82	1,30	1,07	0,95	0,90	0,89	0,91	0,96	1,04	1,16	1,32	1,56	1,93	2,55	3,80	7,55
Слабошероховатый контакт $\varphi'=15^\circ$, $C'=0,3$ МПа																
$\tau_{\text{сц}}$	1,92	2,01	2,13	2,27	2,44	2,62	2,82	3,02	3,22	3,42	3,60	3,77	3,91	4,03	4,11	4,17
$\tau_{\text{сдв}}$	1,49	2,17	2,79	3,33	3,77	4,09	4,28	4,35	4,28	4,09	3,77	3,34	2,80	2,18	1,49	0,76
$\tau_{\text{сц}}/\tau_{\text{сдв}}$	1,29	0,92	0,76	0,68	0,65	0,64	0,66	0,69	0,75	0,84	0,95	1,13	1,40	1,85	2,75	5,47
Гладкий увлажненный контакт $\varphi'=12^\circ$, $C'=0,1$ МПа																
$\tau_{\text{сц}}$	1,39	1,46	1,55	1,66	1,79	1,94	2,10	2,26	2,42	2,57	2,72	2,85	2,96	3,06	3,12	3,17
$\tau_{\text{сдв}}$	1,49	2,17	2,79	3,33	3,77	4,09	4,28	4,35	4,28	4,09	3,77	3,34	2,80	2,18	1,49	0,76
$\tau_{\text{сц}}/\tau_{\text{сдв}}$	0,93	0,67	0,55	0,50	0,48	0,47	0,49	0,52	0,56	0,63	0,72	0,85	1,06	1,40	2,09	4,16

Эти диапазоны углов позволяют реализоваться первичным подвижкам по трещинам и нарушениям, причем снижение прочностных свойств поверхностей ослабления массива приводит к расширению диапазона углов падения потенциально подвижных нарушений.

Таким образом, от значений компонент тектонического поля напряжений и прочностных свойств поверхностей ослабления зависит способность массива противостоять сложившимся нагрузкам и определяются условия возникновения подвижек прибортового массива по междублочным контактам.

Выводы

1. Обоснование параметров уступов и участков бортов карьеров должно базироваться на расчетной оценке возможности потери устойчивости откосов по протяженным трещинам в зависимости от действующих тектонических напряжений, ориентировки трещин относительно простирания уступа, прочностных свойств заполнителя и характеристик поверхностей трещин.

2. Для действующих карьеров важнейшими являются дополнительные факторы, влияющие на устойчивость уступов и бортов:

- гравитационно-тектоническое поле напряжений, изменяющееся по мере развития карьерного пространства и во времени;
- тектонические деформации приоткосной части массива, которые могут проявляться на локальных участках в зависимости от структуры массива и прочностных свойств контактов пород и других поверхностей ослаблений;
- подвижность прибортовых массивов, приводящая к изменению их структуры и прочностных свойств поверхностей ослабления массива;
- технология производства взрывных работ в приконтурных зонах карьера.

3. Определены основные направления изучения прибортовых массивов на действующих карьерах и разработан алгоритм обоснования параметров уступов и участков бортов карьеров в тектонически напряженных массивах горных пород, основанный на расчетной оценке их устойчивости по результатам мониторинга подвижности прибортовых массивов, ориентировки трещин относительно простирания уступа, прочностных свойств заполнителя и характеристик поверхностей трещин, выявления индикаторов тектонических движений, оценки уровня и направления действия тектонических на-

пряжений и их влияния на устойчивость уступов и участков бортов карьеров.

Список литературы

1. Яковлев А. В. Устойчивость уступов и бортов карьеров в скальных массивах / А. В. Яковлев // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения) : доклады международной конференции (06-10 июля 1998). – Екатеринбург : УрО РАН, 1998. – Т. 2. – С. 199–205.

2. Геомеханические аспекты проблемы открытой разработки месторождений / В. Л. Яковлев, А. Д. Сашурин, А. В. Зубков, А. В. Яковлев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2001. – № 4. – С. 32–35.

3. Яковлев А. В. Устойчивость бортов рудных карьеров при действии тектонических напряжений в массиве / А. В. Яковлев, Н. И. Ермаков. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2006. – 231 с.

4. Яковлев В. Л. Оценка напряженного состояния прибортовых массивов карьеров / В. Л. Яковлев, А. В. Яковлев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. – № 3. – С. 36–44.

5. Яковлев А. В. Методика изучения прибортовых массивов для прогнозирования устойчивости бортов карьеров / А. В. Яковлев, Н. И. Ермаков. – Екатеринбург : УрО РАН, 2008. – 78 с.

6. Зотеев В. Г. О необходимости совершенствования нормативно-методической базы по геомеханическому обеспечению открытых горных работ / В. Г. Зотеев, О. В. Зотеев // Горный журнал. – 2010. – № 1. – С. 66–68.

7. Комплексная методика инженерно-структурных исследований и мониторинга геомеханического состояния массива пород в целях проектирования и эксплуатации глубоких карьеров / В. В. Рыбин, Д. В. Жиров, Г. С. Мелихова, С. А. Климов // Современная тектонофизика. Методы и результаты. – Москва : ИФЗ, 2011. – С. 100–109.

8. Инновационные технологии мониторинга и прогнозирования устойчивости бортов глубокого карьера / А. В. Кожуховский, А. А. Завьялов, А. А. Козырев, С. С. Серый, В. А. Дунаев // Горный журнал. – 2012. – № 10. – С. 29–35.

9. Сопоставление российских и международных практик анализа устойчивости откосов бортов карьера / А. М. Мочалов, К. В. Морозов, Ю. А. Норватов, М. Д. Ильин [и др.] // Глубокие карьеры : сборник докладов Всероссийской научно-технич. конф. с международным участием, 18-22 июня 2012 г. / Российская акад. наук, Отдние наук о Земле РАН, Горный ин-т Кольского науч. центра РАН ; [гл. ред. Н. Н. Мельников]. – Апатиты, Мурманская обл. ; СПб. : ГИИ КНЦ РАН, 2012. – С. 340–352.

10. Оценка устойчивости бортов карьеров с использованием отечественного и зарубежного программного обеспечения / А. М. Мочалов, С. А. Ишутин, А. А. Павлович, Р. Ю. Сапачёв // Записки Горного института. – 2012. – Т. 199. – С. 219–226.

11. Tsirel S. V. The influence of earthquakes on open-pit slope stability / S. V. Tsirel, B. Yu. Zuev, A. A. Pavlovich // International Journal of Geosciences. – 2012. – Vol. 3. – P. 799–808.

12. Козырев А. А. Геомеханическое обоснование рациональных конструкций бортов карьеров в тектонически напряженных массивах / А. А. Козырев, В. В. Рыбин // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2015. – С. 245–250.

13. Ливинский И. С. Комплексное геомеханическое моделирование: структура, геология, разумная достаточность / И. С. Ливинский, А. Ф. Митрофанов, А. Б. Макаров // Горный журнал. – 2017. – № 8. – С. 51–55.

14. Ляшенко В. И. Развитие научно-технических основ мониторинга состояния горного массива сложноструктурных месторождений. Сообщение 2 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 123–141.

15. Цирель С. В. Проблемы и пути развития методов геомеханического обоснования параметров бортов карьеров / С. В. Цирель, А. А. Павлович // Горный журнал. – 2017. – № 7. – С. 39–45.

16. Захаров В. Н. Развитие научно-методических основ проектирования горнотехнических систем при открытой разработке месторождений / В. Н. Захаров, М. В. Рыльникова, И. Л. Никифорова. – DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-37-13-26 // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № S37: Открытые горные работы в XXI веке: результаты, проблемы и перспективы развития, Т. 1. – С. 13–26.

17. Зотеев В. Г. Оценка возможности использования «Руководства по проектированию бортов карьеров» при проектировании открытой разработки рудных месторождений в условиях современной России / В. Г. Зотеев, А. Б. Макаров, И. В. Эпштейн // Золото и технологии. – 2018. – № 1. – С. 52–57.

18. Рыльникова М. В. Развитие нормативной базы в области обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и отвалов / М. В. Рыльникова, О. В. Зотеев, И. Л. Никифорова // Горная промышленность. – 2018. – № 3. – С. 95–98.

19. Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов : утвержден Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 13.11.2020 № 439. – 77 с. – (Федеральные нормы и правила в области промышлен-

ленной безопасности). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573140211> (дата обращения: 09.10.2023).

20. Read J. Guidelines for open pit slope design / J. Read, P. Stacey. – Australia: CSIRO, 2009. – 496 p. – DOI: 10.1071/9780643101104.

21. Руководство по проектированию бортов карьера / под редакцией : Джон Рид, Питер Стейси ; [пер. с англ.: А. С. Бентхен]. – Екатеринбург : Правовед, 2015. – 527 с.

22. Зотеев В. Г. Проектирование бортов карьера: отечественная и зарубежная практика / В. Г. Зотеев // Горный журнал. – 2017. – № 1. – С. 85–89.

23. Bieniawski Z. T. Engineering rock mass classifications / Z. T. Bieniawski. – New York : Wiley, 1989. – 272 p.

24. Hoek E. Hoek–Brown failure criterion / E. Hoek, C. Caranza-Torres, B. Corcum // Mining Innovation and Technology : Proceedings of the North American Rock Mechanics Society. – Toronto, 2002. – P. 267–273.

25. Analysis and design of slopes for Rajo Sur, an open pit mine next to the subsidence crater of El Teniente mine in Chile / E. Hormazabal, F. Rovira, M. Walker, C. Carranza-Torres // Proceedings of Slope Stability 2009, November 9–11. – Santiago : Universidad de los Andes, 2009.

26. Tonderai Chiwaye H. A comparison of the limit equilibrium and numerical modeling approaches to risk analysis for open pit mine slopes: Dissertation for to degree of Master of Science in Engineering / Tonderai Chiwaye H. – Johannesburg: University of the Witwatersrand, 2010. – 145 p.

27. Taseko mines limited new prosperity gold-copper project. Preliminary pit slope design. – Knight Piesold Consulting, 2012. – 78 p.

28. Методические указания по изучению массива горных пород для обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов / ИПКОН им. Н. В. Мельникова РАН ; разраб.: М. В. Рыльникова [и др.]. – Москва : ИПКОН РАН, 2022. – 102 с.

29. Методические указания по определению параметров бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов / ИПКОН им. Н. В. Мельникова РАН ; разраб.: М. В. Рыльникова [и др.]. – Москва : ИПКОН РАН, 2022. – 80 с.

30. Методические указания по оценке рисков развития деформаций, мониторингу и управлению устойчивостью бортов и уступов, карьеров, разрезов и откосов отвалов / ИПКОН им. Н. В. Мельникова РАН ; разраб.: М. В. Рыльникова [и др.]. – Москва : ИПКОН РАН, 2022. – 90 с.

ПРОБЛЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА В ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЕ КАРЬЕРА*

С. Н. Жариков

Аннотация: Сейсмические волны – это неотъемлемый побочный эффект взрывов в горных породах. Распространяясь вначале в грунте в виде волн напряжений, а затем выходя с расстоянием к границе поверхности, они вызывают гармонические колебания и сотрясают массив, приводя его к межблочным подвижкам и перераспределяя другие напряжения в нем. Карьеры являются в плане построения не очень сложными горными выработками, на первый взгляд, однако они обладают спецификой: вынимаются колоссальные объемы горной массы. При этом все коммуникации вынужденно расположены на бортах, которые при значительной глубине разработки из-за выработанного пространства значительно напряжены. Борта испытывают значительные нагрузки и обеспечение их устойчивости – первостепенная задача. При производстве буровзрывных работ (БВР) на значительной глубине и в приконтурной зоне верхние уступы в основании своем начинают испытывать волновую нагрузку, что ведет к перераспределению напряжений и подвижкам. Надо полагать, что это негативно влияет на их устойчивость. Поэтому контроль трещинообразования и сейсмички взрывов в приконтурной зоне – крайне ответственная задача для обеспечения расчетной устойчивости уступов, которые ставятся в конечное положение. Статья посвящена вопросам уменьшения сейсмического действия взрыва при ведении БВР в приконтурной зоне.

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075-00412-22 ПР, темы 1 (2022-2024): Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1, а также при дополнительном привлечении хоздоговорных средств

Ключевые слова: разрушение горных пород, взрывные работы, сейсмика взрывов, заоткоска, отрезная щель, приконтурная зона карьера

Введение

Современное развитие открытых горных работ подводит к необходимости обоснования комплексной адаптации параметров буровзрывных работ к изменяющимся горнотехническим условиям при разработке глубоко залегающих сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых. При этом необходимо учитывать как динамику развития горных работ и технологические взаимосвязи, так и вызванные техногенным воздействием изменения в состоянии массива горных пород. Наиболее затруднительно оценивать влияние на устойчивое состояние уступов короткопериодного динамического воздействия от взрывных работ. Различные результаты разрушения, ввиду неоднородности массива, разнонаправленное трещинообразование, отражение и преломление волн возле границ раздела сред представляют широкий перечень факторов, учесть которые в полной мере пока практически невозможно. Тем не менее системно адаптировать параметры буровзрывных работ невозможно без учета фактора волновых процессов при взрывных работах. Поэтому так или иначе подходить к решению этого вопроса необходимо.

Распространение волн напряжений в массиве горных пород вследствие промышленных взрывов прогнозировать трудно, но в некоторой мере возможно. В зависимости от свойств геологических структур массивов горных пород распространение волн носит индивидуальный характер и требует постоянного изучения и контроля. То же самое отмечено в ряде современных зарубежных источников по вопросу исследований [1–7].

Динамика воздействия от взрывных работ проявляется в сейсмических колебаниях грунта. Допустимое сейсмическое воздействие при массовых взрывах определяется в двух направлениях. Во-первых, воздействие сейсмических колебаний от взрывных работ не должно привести к потере устойчивости массива в границах площадки объекта. Во-вторых, колебания грунта под сооружением (зданием) и площадке не должны привести к разрушению фундаментов и оснований конструкций. В основе расчетного аппарата методики определения сейсмоустойчивости массива и допустимых значений скорости колебаний для охраняемых объектов лежит комплекс проведенных в ИГД УрО РАН работ, опубликованный в материалах [8–15].

Решение задачи обеспечения сейсмической безопасности предполагает предварительные расчеты, оценку возможного воздействия взрывных работ на охраняемый объект и принятие соответствующих технических решений по ведению горных работ. На практике методика исследований включает натурные измерения величин сейсмических волн при проведении взрывных работ на карьерах и рудниках, статистическую обработку экспериментальных данных, контроль влияния взрывных работ на охраняемые объекты и расчеты допустимых величин зарядов взрывчатых веществ (ВВ) в различных условиях. После замеров полученные величины (векторное значение максимальной результирующей скорости колебаний грунта) сравнивают с расчетными допустимыми значениями скорости сейсмических колебаний. В целом такой подход осуществляется согласно схеме, указанной на рис. 1.

Далее изложено, какие проблемы возникали при анализе данных и как удалось уменьшить их влияние на результат оценки при принятии решений по применению тех или иных параметров БВР.

Повышение точности прогнозирования негативного влияния сейсмических эффектов от взрывных работ

Большой объем работ, проведенный в ИГД УрО РАН по измерениям сейсмических колебаний на большом количестве объектов, показал отклонения расчетных данных и данных измерений [12]. Рассмотрение геологических материалов по месторождениям и анализ технологических приемов производства позволил установить, что могут быть значительные отклонения колебаний от расчетных величин, связанные со структурным залеганием горных пород. Для ряда грунтовых условий отклонения представлены в табл. 1.

Таблица 1

Отклонения фактической от расчетной скорости сейсмических колебаний в различных грунтовых условиях

Грунтовые условия, ед.	Среднее отклонение, %
K = 600	8,5 %
K = 450	11 %
K = 300	16 %
K = 250	19,5 %
K = 200	24,5 %



Рис. 1. Схема к анализу сейсмического действия взрыва

При анализе причин отклонений было обращено внимание на структурное ослабление горных пород. А отнесение параметров колебаний при разном структурном ослаблении массива позволило подойти к выражению общих закономерностей, реализованных в номограмме, представленной в [12, 15] и на рис. 2. Проверка точности номограммы в данный момент проводится по данным, полученным на ряде крупных предприятий. В табл. 2 представлены результаты сравнения данных по величине зон воздействия от взрывных работ для массива горных пород Олимпиадинского месторождения. Данные получены в результате замеров в ближней зоне взрыва.

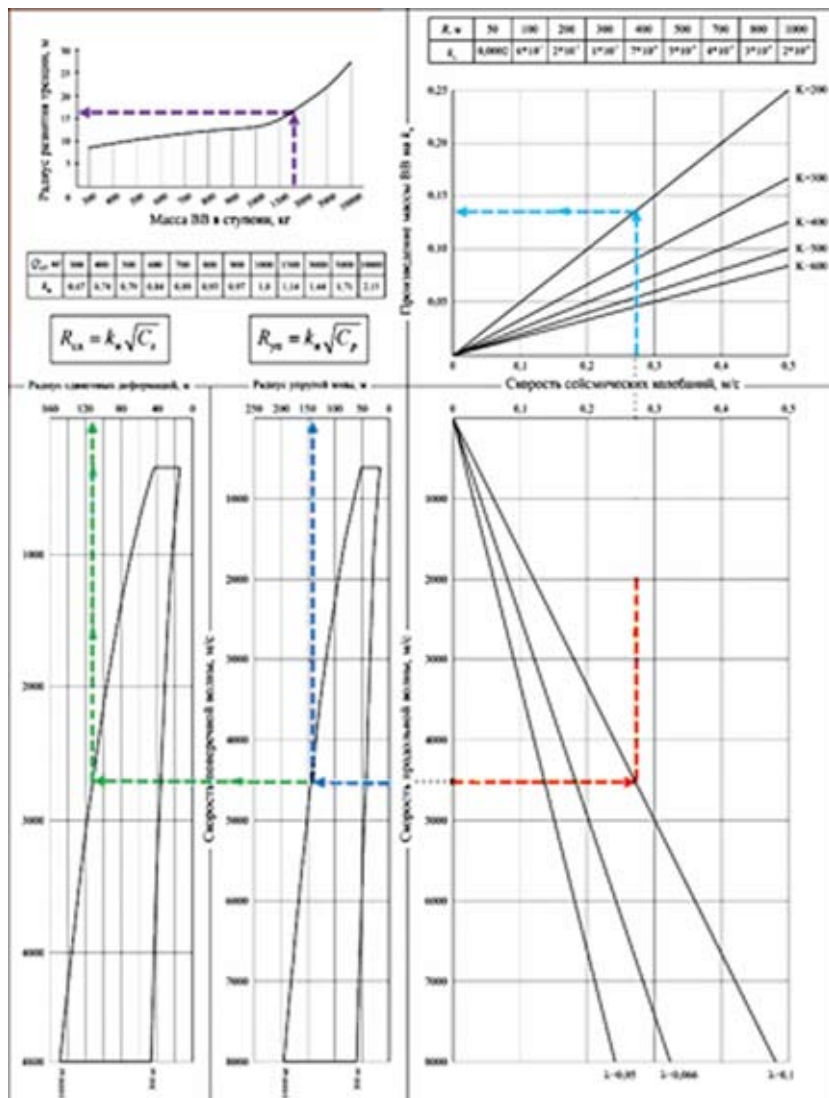


Рис. 2. Номограмма для определения допустимого сейсмического воздействия в породах с различными прочностными свойствами и допустимой массы ВВ в ступени замедления при известном расстоянии до охраняемого объекта

Таблица 2
Данные замеров и сравнение точности номограммы для определения допустимого сейсмического воздействия с расчетом параметров, определенных по данным этих замеров для пород Олимпиадинского месторождения

Породы в районе датчиков	Блок	Горизонт установки прибора			Расстояние от взрыва, м		Исходные данные по породам		Средняя скорость сейсм. колебаний, см/с	Масса ВВ на блок, кг	Масса ВВ на ступень, кг	Ср, м/с (по данным измерений)	Радиус сдвиговых деформаций, м		Отклонение, м	Радиус упругой зоны, м		Отклонение, м
		2	3	4	5	6	Ср, м/с	Коефф. структурного ослабления					по номограмме	по данным измерений		по номограмме	по данным измерений	
1																		
катаклазиты	39 +520	530	138		5232	0,43			8,2	2706	2706	4262,9	81,0	72,77	13	14	15	16
карбонат кварц.	39 +520	530	61		5159	0,61			10,1	2706	2706	4718,1	80,4	73,35	5,10	100,6	95,7	4,9
катаклазиты	9 +510	520	82		5232	0,27			8,9	95240	760	2412	51,5	35,85	15,65	64,4	44,8	19,6
карбонат кварц.	9 +510	520	41		5159	0,107			9,6	95240	760	8634	51,1	66,75	-15,61	63,9	84,8	-20,9
метаалевролиты	11 +510	520	60		5067	0,103			18,4	10780	1320	4492,9	60,9	57,88	3,05	76,2	73,5	2,7
метаалевролиты	10 +510	530	148		5067	0,03			5,7	99512,3	1260	4160,3	60,4	54,84	5,52	75,5	69,6	5,8
катаклазиты	10 +510	520	133		5232	0,022			3,3	99512,3	1260	5378,9	61,3	63,36	-2,02	76,7	79,2	-2,5
метасоматиты	41 +520	530	120		4853	0,046			7,4	119126,1	1350	5187,3	61,3	62,66	-1,36	76,6	79,6	-3,0

Таблица 2, окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
метасом. на- руш	43 +500	530	150	4718	0,035	5,1	5193,6	5193,6	5025,4	94,0	96,64	-2,67	117,5	122,7	-5,3
метасоматиты	8 +250	260	160	4853	0,019	5,2	94696,8	1760	3106,9	65,2	52,98	12,23	81,5	67,3	14,2
метасоматиты	8 +250	260	130	4853	0,046	7,1	94696,8	1760	5385,5	65,2	69,75	-4,54	81,5	88,6	-7,1
метасоматиты	1 +500	510	70	4853	0,078	7,7	138377,4	980	8423,1	55,7	71,76	-16,03	69,7	91,1	-21,5
метасоматиты	1 +500	510	120	4853	0,015	4	138377,4	980	3159,8	55,7	43,95	11,78	69,7	55,8	13,8
катаклазиты	13 +510	570	120	5232	0,032	6,5	98270,6	1260	3980,3	61,3	54,50	6,84	76,7	68,1	8,5
карбонат кварц.	13 +510	570	102	5159	0,056	9	98270,6	1260	4774,3	60,9	58,75	2,16	76,1	74,6	1,5
метасоматиты	9 +240	260	150	4853	0,039	7,3	94696,8	2670	4404,6	78,0	72,48	5,55	97,5	92,0	5,5
метасоматиты	44 +520	550	130	4853	0,028	4,2	46784,6	1260	5602,1	59,1	63,64	-4,56	73,8	80,8	-7,0
метасом. на- руш	44 +520	530	170	4718	0,017	3,9	46784,6	1260	3354	58,2	49,24	9,01	72,8	62,5	10,3
карбонат кварц.	470-174	480	176	5159	0,029	8,2	180008,45	1403,65	2680,2	63,2	45,63	17,58	79,0	58,0	21,1
катаклазиты	470-176	500	118	5232	0,105	22,4	13126,75	3180	3470,8	83,3	69,29	14,04	104,2	86,6	17,5
карбонат кварц.	470-175	480	198	5159	0,016	9,6	170595,3	840	1251,5	53,4	26,28	27,16	66,8	33,4	33,4
карбонат кварц.	470-175	480	198	5159	0,018	9,8	170595,3	840	1419,5	53,4	27,99	25,45	66,8	35,5	31,3
метасоматиты	490-176	500	130	4853	0,034	7,3	61518,5	941,7	3391,7	54,6	44,94	9,68	68,3	57,1	11,2
метасоматиты	490-176	500	93	4853	0,186	15,8	61518,5	941,7	8744,7	54,6	72,16	-17,54	68,3	91,6	-23,4

Графики отклонений по зонам воздействия взрывных работ показаны на рис. 3.



Рис. 3. Отклонения расчета по замерам от приближенного расчета по номограмме

Предельные отклонения для сдвиговых деформаций составили от -17,54 до +27,16 м. Предельные отклонения для упругой зоны – от -23,4 до +33,4 м. Средние арифметические отклонений составили: по сдвиговым деформациям +4,59 м, по упругой зоне – +4,8 м (отмечено пунктиром на рис. 3). Отрицательных отклонений из общего количества замеров (24 замера), то есть случаев, когда воздействие больше, чем определено по номограмме, – 8, что составило 33,3%. В 66,7% случаев номограмма дала запас по величине зон воздействия. Учитывая, что все блоки взрывались с применением НСИ, а у них существенные погрешности в срабатывании, то, возможно, там, где зафиксированы отрицательные отклонения, сработало больше скважин в ступени замедления, чем предполагалось схемой инициирования, и масса ВВ в ступени могла оказаться больше, что прямым образом отразилось на сейсмике взрыва. Другим важным определяющим фактором является коэффициент структурного ослабления массива горных пород на конкретном локальном участке. Чем точнее он определен, тем точнее будет расчет по номограмме. Для условий Олимпиадинского месторождения номограмма вполне может быть использована для приближенного определения зон воздействия взрывов в тыл

массива. На этой основе можно определять параметры шадящего взрывания в приконтурной зоне. Например, если расчет показал, что в породах зона сдвиговых деформаций может составить 94 м и более, то, начиная в этого расстояния, до борта необходимо БВР вести специальным образом. Обязательно предварительное взрывание контурной ленты на образование отрезной, предварительное взрывание возле отрезной щели 2–3-рядных выемочных блоков со специальными параметрами, представляющих дополнительное препятствие для волн перед отрезной щелью, переходные блоки с уменьшенной массой ВВ на ступень замедления за счет разных приемов (изменение конструкций зарядов, средств и схем инициирования). Лучшим вариантом, безусловно, был бы постоянный контроль сейсмического действия взрыва, но на большинстве предприятий обеспечить это не представляется возможным в ближайшей перспективе (специалисты, измерительное оборудование). Возможны лишь периодические работы с привлечением специализированных организаций. Поэтому в отсутствии постоянных данных номограмма рис. 2 позволяет, хоть и с погрешностью, но определить основные параметры, на которые можно опереться при проектировании взрывов в приконтурной зоне и на заоткоске.

Выводы

Распространение сейсмических колебаний может иметь прогнозную оценку, и она позволяет определять деформационные процессы в ближней зоне взрыва. Это критически важно для определения рациональных параметров буровзрывных работ в приконтурной зоне карьера и при подходе к ней.

Приближенное определение зон деформационных процессов в связи с воздействием взрыва позволяет оценить масштаб нарушений и предпринять действия для снижения сейсмического эффекта. Сокращение зон подвижек блоков, слагающих массив горных пород, ведет к сохранению устойчивости откосов уступов.

Для условий Олимпиадинского месторождения расчет по номограмме для определения допустимого сейсмического воздействия показал удовлетворительные результаты, что позволяет с приемлемой точностью прогнозировать будущие адаптационные мероприятия с учетом уточнения геологической информации о массиве горных пород.

Список литературы

1. Amiri M. Predicting ground vibration induced by rock blasting using a novel hybrid of neural network and itemset mining / M. Amiri, M. Hasanipanah, A. H. Bakhshandeh. – doi.org/10.1007/s00521-020-04822-w // *Neural Computing and Applications*. – 2020. – Vol. 32. – P. 14681–14699.
2. Risk Assessment and Prediction of Flyrock Distance by Combined Multiple Regression Analysis and Monte Carlo Simulation of Quarry Blasting / D. J. Armaghani, A. Mahdiyar, M. Hasanipanah, R. S. Faradonbeh, M. Khandelwal, H. B. Amnieh. – doi.org/10.1007/s00603-016-1015-z // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2016. – Vol. 49 (9). – P. 3631–3641.
3. A novel approach for forecasting of ground vibrations resulting from blasting: modified particle swarm optimization coupled extreme learning machine / D. Jahed Armaghani, D. Kumar, P. Samui, M. Hasanipanah, B. Roy. – doi.org/10.1007/s00366-020-00997-x // *Engineering with Computers*. – 2021. – Vol. 37 (4). – P. 3221–3235.
4. Sakiz U. Prediction of drilling rate index from rock strength and cerchar abrasivity index properties using fuzzy inference system / U. Sakiz, G. U. Kaya, O. Yarali. – doi.org/10.1007/s12517-021-06647-w // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2021. – Vol. 14, No 354.
5. A method for integrated process simulation in the mining industry / L. F. R. Camargo, L. Henrique, D. Pacheco and F. Sartori. – doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.013 // *European Journal of Operational Research*. – 2018. – Vol. 264, No. 3. – P. 1116–1129.
6. Measurement, modeling and prediction of penetration depth in rotary drilling of rocks / V. Krúpa, M. Kruláková, E. Lazarová, M. Labaš, K. Feriánčiková, L. Ivaničová. – doi.org/10.1016/j.measurement.2017.12.007 // *Measurement*. – 2018. – Vol. 117. – P. 165–175.
7. Study on prediction of rotary-impact drilling speed of rock drill / Hongli Wang, Wei Bao, Xian-tang Zhang and Tai-hui Xu. – doi.org/10.2991/icmeim-17.2017.34 // *Achievements in the field of mechanical engineering : proceedings of the International Conference on Technological Engineering and Intelligent Materials (ICMEIM 2017)*. – 2017. – Vol. 100. – P. 201–206.
8. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии / И. Ф. Бондаренко, С. Н. Жариков, И. В. Зырянов, В. Г. Шеменев. – Екатеринбург : Институт горного дела УрО РАН, 2017. – 172 с. – ISBN 978-5-7691-2481-5.
9. Щелканов В. А. Влияние массовых взрывов на устойчивость подземных выработок при комбинированной разработке железорудных месторождений / В. А. Щелканов, П. С. Миронов // *Буровзрывные*

работы на рудных карьерах : труды ИГД МЧМ СССР. – Свердловск, 1972. – Вып. 36. – С. 91–97.

10. Методика обеспечения сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ / ИГД МЧМ СССР ; сост.: М. И. Картузов [и др.]. – Свердловск : ИГД МЧМ СССР, 1984. – 12 с.

11. Методика измерений скорости сейсмических колебаний и давления на фронте ударной воздушной волны с использованием цифрового сейсморегистратора MINIMATE PLUS, устройства регистрации и анализа УРАН и автономного измерителя – регистратора АИР. – № 88-16359-118-01.00076-2011 / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2011. – 15 с.

12. Zharikov S. N. Building a Nomogram to Determine Drilling @ Blasting Parameters in the Marginal Quarry Zone / S. N. Zharikov, V. A. Kutuev. – DOI: 10.1088/1757-899X/1079/6/062081 // IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1079. – P. 1079.

13. Научное обеспечение производства особо ответственных видов взрывных работ на основе опыта лаборатории разрушения горных пород / С. Н. Жариков, П. В. Меньшиков, В. А. Кутуев, С. С. Таранжин. – DOI: 10.25635/2313-1586.2020.01.066 // Проблемы недропользования. – 2020. – № 1. – С. 66–79.

14. Жариков С. Н. Выбор параметров взрывной отбойки в приконтурной зоне карьера / С. Н. Жариков, В. А. Кутуев. – DOI: 10.15372/FTPRPI20220609 // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2022. – № 6. – С. 80–88.

15. Жариков С. Н. Построение номограммы для определения параметров БВР в приконтурной зоне карьера / С. Н. Жариков, В. А. Кутуев. – DOI: 10.25635/r0915-0037-0746-z // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2020. – № 3. – С. 161–171.

К ВОПРОСУ О «ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ» В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

А. В. Гальянов

В 2019 году вышла в свет монография член-корр. РАН, проф., д.т.н. Яковлева В.Л. «Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов», в которой нашли свое отражение опыт инженера, компетенция ученого, обобщение и систематизация результатов многолетних исследований автора [1].

Уже само название вполне определенно обозначило сектор технологических задач, объект и предмет исследований. Книга знаменует собой первый опыт изложения нового взгляда на процесс освоения недр, а именно дедуктивный подход, рассмотрение процесса горных работ через призму «положительной оптической системы» – увеличение изображения, а это значит увидеть то, что скрывалось за решением задач частного характера (и это не синоним «мелкого»).

Эта работа интересна еще и тем, что она допускает дискуссию по ряду затронутых в ней вопросов проблемного, принципиального характера. Дискуссия – это не то, что «я книгу не читал, но она мне не нравится». Дискуссия – это прежде всего обмен мнениями компетентными специалистами. Каждый имеет право на свое мнение, но и оппонирующая сторона вправе сказать: «я уважаю ваше мнение, но не разделяю его в силу своего видения обсуждаемого вопроса». Именно в творческом многостороннем обсуждении формируются основы науки.

Этим небольшим очерком я попытался заполнить «нишу молчания» горной научной мысли по отношению к идее переходных процессов в технологических схемах горного производства.

Поэтому совершенно естественно возникает необходимость сделать акцент на ряде вопросов уточняющего характера, затронутых

автором монографии и рассмотренных им с той или иной глубиной.

В науке каждое вновь вводимое понятие и термин требуют своего осмысления, четкого определения и обоснования целесообразности пополнения словаря профессиональных терминов и понятий. Все это необходимо для того, чтобы «люди говорили на одном языке». История естествознания располагает большим количеством подобных примеров, когда время шлифует основы науки, заключенные в терминах и понятиях. Взять хотя бы близкий для горной науки термин «геотехнология» – не в одночасье оно вошло в обиход горной общест-венности.

Словосочетание «переходные процессы» – не горняцкого происхождения. Оно заимствовано из физики динамических процессов: электро-гидро-аэро-термодинамики. Для горной науки это словосочетание не аналог, а скорее, прототип для идеи нового взгляда на весь технологический комплекс извлечения полезных ископаемых из недр. Автор следующим образом обозначает лейт-мотив монографии:

«Переходными принято называть процессы, связанные с выполнением совокупности технологических, технических и организационных действий при изменении границ извлекаемых запасов, способов их добычи и переработки, параметров технологий, замены технических средств, реконструкции предприятия, модернизации оборудования... Переходные процессы – это совершенно объективно необходимый путь перевода горнотехнической системы предприятия в состояние, учитывающее применение условий (внешних и внутренних) для ее успешного функционирования... Исследование переходных процессов ... является основой создания стратегии управления этими процессами в течение всего срока отработки месторождения».

Уже здесь мы прослеживаем главное содержание переходных процессов: переходный процесс – это не единичный акт, оторванный, изолированный от системы, это связующее звено между элементами системы, обеспечивающее сбалансированность всей технологической схемы. Переходный процесс индивидуален в своем инженерном решении и технологическом назначении. Эта индивидуальность определяет его место в «схеме цепи аппаратов» и технологическом режиме работы всей системы. Таким образом, переходный процесс имеет своей задачей состояние системы А привести в состояние В через элемент С (рис. 1).

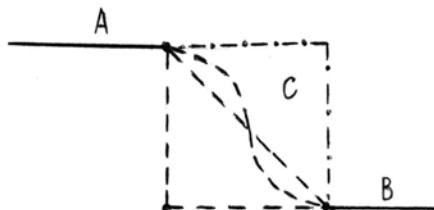


Рис. 1

Три математические модели лежат в основе аналитического представления переходных процессов: всплеск (мгновенный переход) – прототип – выключатель; линейный характер (плавное, равномерное изменение) – прототип – доведение чайника до кипения; нелинейный характер (разноускоренный процесс) – прототипом может служить волна (см. схему).

Определенный класс переходных процессов может быть формализован, то есть может обрести аналитическую форму на основе теории массового обслуживания, в основе которой лежит представление о потоке событий и динамических системах. Придадим ему статус «динамические переходные процессы». Такой подход предполагает, что любая структура, функционирующая во времени, может быть представлена в виде стационарной линейной системы, которая описывается линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами с использованием оператора преобразования Φ (рис. 2).

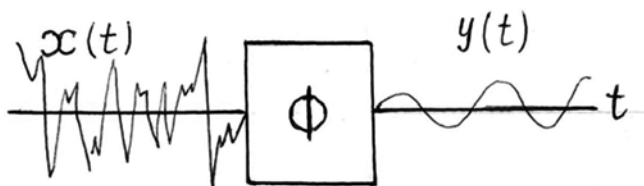


Рис. 2

Для системы первого порядка имеем:

$$|\Phi(\tau)|^2 = \frac{B_1^2 + \tau^2}{A_1^2 + \tau^2}, \quad (1)$$

где B_1 и A_1 – коэффициенты системы, соответственно, входного (x) и выходного (y) потоков.

Для системы второго порядка оператор Φ имеет следующий вид:

$$|\Phi(\tau)|^2 = \frac{B_1^2 \tau^2 + (\tau^2 - B_2)^2}{A_1^2 \tau^2 + (\tau^2 - A_2)^2} . \quad (2)$$

Оператор Φ , таким образом, описывает процесс преобразования сигнала x в y , то есть описывает переходный процесс:

$$y(t) = \Phi x(t) . \quad (3)$$

Оператор Φ имеет порядок 1, 2... n , который определяется задачей переходного процесса, его местом в схеме цепи аппаратов, принципом его функционирования. Такие процессы образуют класс динамических переходных процессов.

Самым наглядным примером такого класса переходных процессов является организация перегрузочных пунктов в пространстве карьерного поля на временно нерабочих участках. Такие перегрузочные пункты (склады) выполняют следующие технологические функции:

- связующее звено между автомобильным и ж.-д. транспортом в схемах комбинированного транспорта;
- обеспечивают непрерывность (бесперебойность) подачи руды на обогатительную фабрику;
- обеспечивают определенный резерв объемов рудной массы;
- выполняют функцию смесительного устройства за счет приема руды из нескольких добычных забоев;
- место их строительства оптимизирует работу технологического транспорта.

Перегрузочные пункты являются инженерными сооружениями, и как инженерная задача – обеспечиваются проектным решением, расчетом его параметров, оценкой технологической эффективности. На сегодня можно сказать, что этот процесс обеспечен современным уровнем теоретической разработки и методическим сопровождением.

Буровзрывной комплекс также обладает свойствами переходного процесса, т.к. переводит массив горных пород из его естественного состояния «целик» в новое качественное состояние – дробленая масса горных пород, по существу, множество кусков (частиц) различной крупности. Процесс этот разовый, дискретный, периодический, изменяющий свое пространственное положение в карьерном поле.

В его задачу входит не просто разрушить массив горных пород, но разрушить его так, чтобы взорванная масса отвечала требованиям кондиционности: выход негабарита, средний кусок (грансостав), развал, внутренняя структура. Решение этих задач составляет аналитическую основу этого переходного процесса.

Технологический транспорт в схеме цепи аппаратов карьера является «пассивным» элементом – его функция перевести горные породы из одного места в другое (от забоя до перегрузочного склада или на отвал вскрышных пород). Так как он является связующим звеном между добычным забоем и местом разгрузки (перегрузочный пункт – фабрика), его функциональное назначение – обеспечить непрерывность потока подачи руды на обогатительную фабрику в режиме регулярного стационарного процесса. Круг задач, возникающих при этом, в своей основе ориентируется на теорию массового обслуживания и решение их реализуется в форме регламента (технологического паспорта) этого процесса.

Другим таким наглядным примером в практике горного производства может служить обогатительной передел, если его рассматривать крупным планом. Действительно, его назначение состоит в том, чтобы из рудной массы извлечь максимально больше полезного компонента, обладающего потребительской стоимостью, то есть востребованностью, спросом. В контексте рассматриваемого вопроса это означает, что процесс обогащения решает задачу перевода потока исходного сырья в поток товарной продукции через механическое воздействие, используя физико-химические свойства сырья. В результате крупнокусковой материал входного потока (~1000 мм) доводится до состояния крупности 0,074–0,044 мм с содержанием полезного компонента $\beta = (1,5-4,0)\alpha$ (α – содержание полезного компонента в исходной руде) для руд черных металлов и $\beta > 20\alpha$ для руд цветных металлов.

Но если рассматривать фабрику автономно, то ее технологическая схема включает элементы переходного процесса на разных этапах движения рудного потока. При этом в конструктивном плане они отличаются большим разнообразием. Из этого примера можно сделать важный вывод – рассмотрение динамических систем через призму переходных процессов в определенном смысле условно. И эта условность определяется масштабом проблемы. Так, проблема комплексного использования георесурсов ставит задачу повышения эффективности извлечения потребительских свойств недр. Эта задача

приобрела планетарный масштаб в связи с истощаемостью запасов полезных ископаемых в верхних слоях литосферы. В этом контексте весь цикл горного производства есть подготовительный этап как переходный процесс от недр до конечного потребителя. И здесь следует второе заключение – переходный процесс ограничен двумя условиями: начальное состояние системы и ее конечное (результатирующее) состояние.

Третье положение, которое необходимо обозначить, но которое непосредственно не вытекает из круга вопросов, затронутых монографией, состоит в том, что словосочетание «переходный процесс» по своей содержательной сущности выходит за пределы круга задач частного инженерного интереса. Это словосочетание допускает более широкую и гносеологическую трактовку и наполняемость. Если движение есть сменяемость состояния системы (любой), то этот процесс есть не что иное, как дифференциал функции движения. Следовательно, переходные процессы следует рассматривать в их аналитическом представлении как дифференциальную функцию рассматриваемого процесса. И это положение корреспондируется с литером «направление» исследований.

Другой класс переходных процессов можно определить как «организационно-технический». Он принципиально отличается от динамического уже тем, что не входит в структуру схемы цепи аппаратов технологического процесса, но является опосредованной составляющей переходных процессов. И в этой опосредованности аргументами являются время, целесообразность, экономическая эффективность, «что предопределяет необходимость периодического поэтапного пересмотра ранее принятых при проектировании и эксплуатации решений ... с целью адаптации горнотехнической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования», – отмечает автор и красной нитью проводит через все разделы монографии.

Какие мотивы или факторы формируют необходимость корректировки решений технического проекта? Конечно же, это в первую очередь диктат «рынка», сбыта товарной продукции предприятия – цена и качество.

Понижение горных пород на глубину имеет своим следствием удорожание непосредственно добычных работ. Как закон следует констатировать, что с глубиной снижается качество полезного ископаемого за счет перераспределения соотношения балансовых, за-

балансовых и некондиционных руд в сторону уменьшения первых. Снижение качества руды увеличивает нагрузку на обогащательный передел, а значит, приводит к увеличению затрат на товарную продукцию. С глубиной возрастает доля скальных пород, что увеличивает затраты на буровзрывные работы (БВР) и дробление на фабрике. Эти факторыобстоятельства структурируют логику развития горного производства по схеме «сверху-вниз»: рынок – обогащение – горные (добычные) работы. Поддержание конкурентоспособности, с учетом обозначенных факторов, приводит к совершенствованию технологии обогащения и увеличению мощности фабрики по переработке руды. Снижение качества в исходной руде снижает выход промпродуктов, а следовательно, требует наращивания мощностей по приему и переработке руды. Этот процесс требует времени, новых инженерных решений, модернизации оборудования. Это свидетельствует о многоплановости переходного процесса, чему и посвящена рассматриваемая работа на примере горных работ.

Рудник, как первичная структура в общей технологической схеме, находится в «вассальном» положении по отношению к процессу обогащения – его задача выполнять «технические условия» к «сырой руде», формируемые обогащательным переделом. Следовательно, в этих условиях рудник также должен увеличить свои мощности по вскрышным и добычным работам, что, в свою очередь, приводит к пересмотру проектных решений по всему фронту технологической цепочки. И на все это накладывает отпечаток фактор изменения геологической ситуации: пересмотр кондиций, пересчет запасов, изменение границ карьера вплоть до перехода на подземный способ отработки месторождения. И это тоже не единоразовый акт, он требует времени, принятия инженерных решений, научного обоснования и ясной методической проработки.

Глава 1 в реферативной, но достаточно развернутой форме представляет концепцию автора в обосновании нового методического подхода при исследовании технологических процессов горнотехнических систем, выделяя в них класс переходных процессов.

К этому классу переходных процессов считаю целесообразным отнести такой важный вопрос, как обоснование и формирование запасов по степени их подготовленности к добыче. Вопрос непосредственно связан с формированием рабочей зоны, являясь его неотъемлемой составляющей. На сегодняшний день он совершенно не обеспечен теоретической основой и методической разработкой.

А между тем, соотношение готовых, подготовленных и вскрытых запасов и есть тот фактор, который обеспечивает стабильность работы не только карьера, но и обоганительной фабрики. Вопрос этот многофакторный и многоплановый, это, если угодно, α и ω ритмичной работы всего горного комплекса. Все связано с достоверностью оценки и представления геологических сведений о характере оруденения и свойствах полезного ископаемого, его концентрации (содержания) в горных породах. Если готовые и подготовленные запасы решают вопросы текущего дня, то объем вскрытых запасов несет на себе нагрузку стратегического плана. Именно вскрытые запасы являются связующим звеном между поставщиком товара (горное предприятие) и потребителем (рынок).

В главах 2–5 с логической последовательностью рассматриваются этапы вскрытия месторождений, формирование рабочей зоны карьеров, комбинированные схемы (открыто-подземной) отработки месторождений, особенности переходных процессов в обосновании транспортных систем и совершенствования буровзрывного комплекса. Приведенные примеры демонстрируют глубокую методическую проработку проблемы.

В заключительной части этого краткого очерка хочу остановиться на вопросе научной этики – научном приоритете, авторском праве. История науки знает много примеров того, как ученые, работающие в одной области знаний, получают одинаковый научный результат в историческом плане практически одновременно, но он доходит до научной общественности так, что один несколько опережает другой.

Известна тяжба между И. Ньютоном (1643–1727) и Г. Лейбницем (1646–1716) за приоритет в разработке дифференциального исчисления. Лейбниц опубликовал работу несколько раньше Ньютона, но аббат (со скверным характером) получил результаты много раньше и, следуя правилу Р. Декарта (1596–1650) «не признавать ничего за истину, не убедившись в том самым очевидным образом, то есть надобно избежать поспешности в суждениях и предубеждений, не допуская в суждениях никаких понятий кроме осознанных нами так ясно и отчетливо, что не оставалось бы ни малейшего повода к сомнению», предложил более развернутую теоретическую разработку. История примирила двух гигантов, признав обоих создателями дифференциального исчисления. Но примечателен пример и другого плана из истории становления теории вероятностей как нового в ту пору направления в области математических знаний.

В первой половине XVII века проявился интерес к исследованию событий непредсказуемых, но возможных. П. Ферма (1601–1665) и Б. Паскаль (1623–1662), находясь в дружеских отношениях, в переписке обменивались своими размышлениями и результатами, но переписка была опубликована лишь в 1679 году. Х. Гюйгенс, будучи в Париже в 1665 году, был осведомлен о задачах, разрабатываемых Паскалем и Ферма, но не с их результатами, и он самостоятельно занялся исследованием этих задач и в 1657 году опубликовал свои результаты. Но соблюдая кодекс чести ученого, он во введении писал: «Затем нужно знать, что в течение известного времени некоторые из более знаменитых математиков всей Франции занимались этого рода расчетами, чтобы никто мне не приписывал чести первого открывателя, которая мне не принадлежит. Но эти ученые, подвергнув друг друга испытанию ... скрывали свои методы, и я должен был сам рассмотреть и углубить весь этот вопрос, начиная с основ, и мне невозможно ... утверждать, что мы исходили из одного и того же основного принципа. Но что касается результатов ... мои решения совершенно не отличаются от их решений».

Эти примеры наглядно подкрепляют ту истину, что научная мысль должна созреть, и созревает она в уме не у одного человека, а у поколения, подчиняясь логике востребованности и развития. Словосочетание «переходные процессы» не является новым по форме, но в монографии оно наполнено новым содержанием, и это побуждает обратить на нее внимание и с профессиональной компетенцией оценить ее значимость. Новизна определяется «не днем рождения» публикации, а глубиной научной проработки идеи. Нахожу уместным привести здесь еще один исторический фрагмент. На одном из чемпионатов СССР по шахматам в конце 50-х годов уже прошлого века гроссмейстер Давид Бронштейн, разыгрывая дебют «королевский гамбит», на 4 ходу задумался на целых 40 минут, после чего сделал «банальный» ход, хорошо известный в теории этого дебюта и многократно встречающийся на практике. Правда, партия довольно быстро завершилось мирным исходом, а на вопрос журналистов, чем вызвано такое долгое обдумывание «банального» хода, этот философ от шахмат сказал: «Новый ход – это не тот, который не встречался на практике, а тот, который наполнен новым содержанием». И монография интересна именно новой концепцией, новым взглядом на функционирование горного предприятия. Не 40 минут, а 40 лет автор занимался огранкой идеи, пока в 2015 году в статье «Переходные

процессы в технологии разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых» он впервые сформулировал свою концепцию, обобщая огромный опыт своей научной деятельности [2] в списке приведенной литературы к главе 1. С 2015 по 2019 годы им опубликовано 9 статей, раскрывающих отдельные аспекты проблемы.

Данная монография подвела черту этапу огранки. Подготовительный и переходный период закончены. Дебют состоялся. Вам, новое поколение, предстоит углубить и расширить сектор исследования технологических процессов.

Список литературы

1. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов / В. Л. Яковлев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2019. – 284 с. – DOI: 10.25635/IM.2020.54. 57311.

2. Яковлев В. Л. Переходные процессы в технологии разработки сложноструктурных месторождений полезных ископаемых / В. Л. Яковлев // Открытые горные работы в XXI веке – 1: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – Москва : Горная книга, 2015. – Специальный выпуск № 45–1. – С. 65–76.

МЕТОДИКА БВР ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Г. П. Берсенёв, И. С. Крапивина

Разработанная авторами статьи методика рассматривает параметры буровзрывных работ (БВР) при проведении строительных горных выработок (СГВ) – траншей, котлованов – буровзрывным способом в стесненных условиях нахождения, охраняемых наземных и заглубленных объектов в радиусах взрывоопасных зон [1], для различных типов заложения в контурах СГВ (траншей) талых и мерзлых грунтов и горных пород, а также для отдельной и совместной разработки этих грунтов и горных пород. Приводятся обоснования выбора при взрывании в зажатой среде способов расположения скважинных зарядов ВВ (продольных одно-, двух- и трехрядного) в условиях узких и широких траншей.

В «Инструкции по организации и безопасному производству взрывных работ в стесненных условиях с применением предохранительных укрытий» [2] приведена унифицированная классификация СГВ, подразделяющая эти выработки на три типа: траншеи, котлованы и планировочные работы. Определяющими факторами указанных СГВ являются их геометрические параметры: длина L , глубина H , ширина по дну B_d и по верху B_v и угол откоса траншеи (котлована) – α .

Авторами статьи уточнены параметры различных типов СГВ и с позиции взрывного разрушения горных пород сужена классификация до одного типа строительных горных выработок (*траншей*) в граничных размерах, приведенных (табл. 1) для дальнейшего применения – упрощенная классификация СГВ.

Таблица 1

Упрощенная классификация СГВ

Признак классификации	Тип траншей	Геометрические размеры
Глубина траншеи H , м	Мелкая траншея, ТГМ	$H \leq 2,0$ м
	Глубокая траншея, ТГГ	$H > 2,0$ м
Ширина траншеи по дну B_d , м	Узкая траншея ТШУ	$B_d \leq 1,0$ м – мелкая траншея
		$B_d \leq 1,5$ м – глубокая траншея
	Широкая траншея ТШШ	$B_d > 1,0$ м – мелкая траншея
		$B_d > 1,5$ м – глубокая траншея
Длина траншеи, L , м	Укороченная, ТДУ	$L \leq 3 B_d$
	Короткая, ТДК	$3 B_d < L < 10 B_d$
	Длинная, ТДД	$L > 10 B_d$

Такая упрощенная градация параметров траншей не противоречит разграничительным зонам, указанным в сборнике № 3 «Буровзрывные работы», что позволяет в дальнейшем пользоваться ею для сравнительного экономического анализа.

В методике предусмотрены *границные параметры* траншей [1]:

а) По глубине траншеи ($H_{тр}$), зависящей от ее предназначения: укладки инженерных коммуникаций (трубопроводов, кабелей, самоотечного водоканализационного отведения или других целей). Минимальная глубина ограничивается 0,5 м, а максимальная зависит от многих факторов и может *достигать* 10 м. Чаще и обоснованнее глубина траншеи в строительстве – не более 4–5 м, что приемлемо для технических (при прокладке инженерных коммуникаций), горно-геологических (талых и мерзлых грунтов) и других условий, а также недропользования, что допускает разработку таких траншей без согласований с «Недрами», т.к. при глубине более 5,0 м действует закон «О разработке общераспространенных полезных ископаемых (глин, песка, скальных пород)» [4], удорожающий стоимость строительства.

б) Ширина траншеи по дну (B_d) устанавливается в зависимости от габаритов закладываемых инженерных коммуникаций и безопасных проходов при их укладке. При прокладке магистральных трубопроводных сетей с малыми или средними диаметрами труб в городских и населенных пунктах со стесненными условиями ширина

траншей по дну (B_d) закладывается в пределах $1,0 \div 1,5$ м, а с большими диаметрами труб она достигает – 3,0 м.

в) *Ширина траншеи по верху* (B_v) зависит от глубины (H) траншеи, угла или крутизны откоса (α) траншеи. Углы откосов (α) в зависимости от крепости (f) и слоистости скальных горных пород находятся в пределах $65-85^\circ$; для пород I и II категории (в высшей степени и очень крепких) – (α) $85 \div 80^\circ$; для III категории (крепких) – $\alpha = 75-80^\circ$ и для IV категории (довольно крепких) – $\alpha = 65-75^\circ$.

Ширина траншеи по верху (B_v) определяется зависимостью

$$B_v = B_d + 2 v_1, \text{ м,}$$

где v_1 – проложение откоса траншеи $v_1 = H \operatorname{ctg} \alpha$, м.

Обоснованные проектные параметры траншеи обеспечивают *рациональный объем земляных работ* и в дальнейшем предотвращают дополнительные экономические затраты на разработку увеличенного объема при превышении этих параметров или на доработку до проектных параметров траншеи при их занижении.

Таким образом, *рациональный объем земляных работ* является основанием для определения стоимости проведения строительной горной выработки – траншеи.

Разрабатываемые горные породы

Все вмещающие горные породы при проведении СТВ классифицируются по категориям, степеням и коэффициентам крепости. Нами рассмотрены две основные: *классификация грунтов по СНиПу (для строителей)* и *классификация горных пород по шкале проф. М.М. Протодьяконова (для горняков)*.

Граничным сравнительным коэффициентом по крепости между *грунтами и горными породами* (ГП) по классификациям по СНиПу и проф. М.М. Протодьяконова принят коэффициент 4, соответствующая группа и категория грунтов и ГП – V.

Отличиями между скальными горными породами, сезонно-мерзлыми и тальными грунтами являются:

- а) крепость (грунты до $f \leq 4$, горные породы $f > 4$);
- б) резкое изменение физико-механических свойств мерзлых грунтов по сравнению с тальными, в сторону ухудшающих по условиям БВР;
- в) значительное увеличение энергии взрыва при разрушении на нагрев частиц мерзлого грунта по сравнению со скальными горными породами и, как следствие, увеличение удельного расхода ВВ;

г) различие способов их разработки: *талые грунты разрабатываются механическими способами без взрывного рыхления. Мерзлые грунты и скальные горные породы – с помощью буровзрывных работ.* Трудоемкость и стоимость разработки мерзлых грунтов значительно превышают такие же показатели при разработке талых грунтов.

По этим причинам проектными организациями, как правило, закладываются методы раздельной разработки талых и мерзлых грунтов и крепких горных пород, без учета условий залегания и безопасности их разработки. Авторами статьи определены типы заложения талых и мерзлых грунтов и горных пород в контурах строительных горных выработок-траншей (рис. 1) и предложены эффективные методы разработки горных пород и грунтов при различных типах их залегания.

В контурах строительных горных выработках (траншей) неглубокого заложения (H до 5 м), возможно размещение только шести типов заложения талых (ТГ) и мерзлых (МГ) грунтов и горных пород (ГП) (см. рис. 1):

I тип – талые грунты ($f \leq 4$), при положительной температуре воздуха (ТГ);

II тип – мерзлые грунты ($f \leq 4$), при отрицательной температуре воздуха (МГ);

III тип – мерзлые грунты верхнего слоя талых грунтов (МГ/ТГ);

IV тип – скальные горные породы (ГП);

V тип – талые грунты над горными породами (ТГ/ГП);

VI тип – мерзлые грунты над горными породами (МГ/ГП).

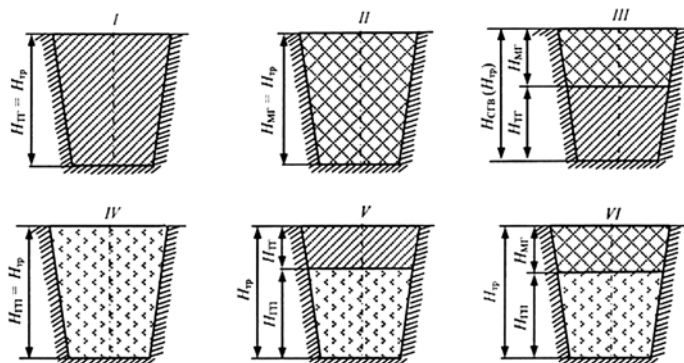


Рис. 1. Типы заложения талых (ТГ) и мерзлых (МГ) грунтов и горных пород (ГП) в контурах строительных горных выработок (траншей)

Методы разработки грунтов и горных пород

Технико-экономические показатели различных методов существующей разработки оцениваются по трем основным факторам – энергоемкости, трудоемкости и стоимости. Исходя из них, определяется рациональная область существующего применения и оценка ручных, механизированных и взрывных методов разработки горных пород и грунтов в различных типах их заложения при проведении траншей СГВ, приведенной в Методике [1] в специальной таблице, и на ее основании, а также существующей практики проведения траншей сделаны выводы:

- талые грунты разрабатываются механическими методами – мощностью до 1–1,5 м – бульдозерами и скреперами: до 5 м – экскаваторами непрерывного действия (узкие траншеи) и прерывного действия (широкие траншеи), без применения взрывных работ;
- мерзлые грунты и горные породы предварительно рыхлятся взрывным методом;
- при совместном размещении мерзлых грунтов и горных пород они разрабатываются послойно, отдельным способом;
- при взрывном методе предпочтение отдают скважинному способу, как наиболее эффективному по сравнению со шпуровым, и начинают его применение с мощности слоя более 1,0 м; механические методы с помощью гидро-пневмобутобоек и «клин-бабой», как малопроизводительные и весьма трудоемкие, применяются для малых объемов работ.
- ручной метод, как наиболее трудоемкий, применяют в исключительных стесненных условиях, в весьма малых объемах и только в тех местах, где невозможно использовать другие методы разработки.

Полезные и отрицательные действия взрыва

К полезным действиям взрыва относятся:

- качественное дробление крепких горных пород и мерзлого грунта в контурах траншеи с заданными параметрами – глубиной траншеи (H) и шириной ее по дну (B_d);
- проработка дна траншеи до проектных отметок.

К отрицательным действиям взрыва относятся:

- излишний объем взрывного дробления горных пород и мерзлого грунта за контурами траншеи и вглубь ее из-за увеличенных перебуров взрывных скважин и, вследствие этого, увеличенных масс скважинных зарядов БВ;

- образование новых макротрещин и раскрытие микротрещин за контурами траншеи СГВ;
- распространение по массиву горных пород и мерзлому грунту *сейсмических волн и газообразных продуктов взрыва*;
- разлет кусков взорванной горной массы;
- действие образовавшейся при взрыве ударно-воздушной волны;
- распространение газообразных продуктов взрыва по воздуху.

Радиусы по разлету кусков взорванной породы и действию ударно-воздушной волны взрывоопасных зон определяются по методикам, изложенным в Правилах безопасности при взрывных работах [3]. Эти Правила в основном касаются горных разработок (при $H > 8-10$ м), а при проведении строительных горных выработок неглубокого заложения (при H до 5 м), определенные по вышеуказанным методикам взрывоопасные зоны *явно завышены*.

При разлете кусков учитывается показатель действия взрыва (n) $n = r/w$, где r – радиус воронки взрыва, а w – линия наименьшего сопротивления. В зависимости от (n) взрывание может производиться на нормальное ($n \leq 1$), ослабленное ($n = 0,3-0,7$) и даже камуфлетное рыхление ($n = 0-0,2$).

Основной объем взрывных работ в стесненных условиях строительства приходится на нормальное и ослабленное рыхление.

Сейсмическое действие взрыва

Специалисты-сеймики рассматривают две основные зоны этого действия – ближнюю и дальнюю. Правила безопасности при взрывных работах [3] не учитывают эту специфику и дают единую формулу для определения безопасной по сейсмике зоны. Расчетные данные по этой формуле показывают весьма заниженные массы зарядов ВВ в ближней зоне и слишком завышенные – в дальней зоне взрыва по следующим причинам.

Влияние взрывов на охраняемые объекты в ближней и дальней зонах. В ближней действует локальный характер взрыва, вызывающий влияние коротких, высокочастотных, кратковременных сейсмических колебаний грунтов (горных пород), преобладающих продольных волн над другими видами сейсмических волн, поэтому в рамках данной работы рассматривается только *ближняя зона*, в которой возможно значительное увеличение массы зарядов, взрывааемых на одну ступень замедления.

Для защиты объектов, находящихся во взрывоопасной зоне от *разлета кусков взорванной породы* в стесненных условиях, применяются предохранительные укрытия, особенно металлические коробчатые укрытия [2, 4] или устройства, накрываемые на поверхностные плоскости взрывааемых СГВ (траншей).

Образовавшиеся *газообразные продукты взрыва* в основном выбрасываются в атмосферу в составе пылегазового облака и за счет действий ударно-воздушной волны (УВВ) распространяются по массиву горных пород (грунтов) в ближайшей зоне или по воздуху на значительные расстояния, но до 40–50 % их объема распространяются по взорванному массиву горных пород и сорбируются разрушенной породой в приконтурном массиве.

Стесненные условия производства работ рассматриваются в двух вариантах.

Первый вариант – при разработке талых грунтов и весьма слабых горных пород без применения буровзрывных работ, и второй – при разработке мерзлых грунтов и скальных пород с применением буровзрывных работ.

При первом варианте радиус опасной зоны ограничивается радиусами разворота выемочного и транспортного оборудования и дальностью падения с высоты кусков горной массы из ковшей экскаваторов (погрузчиков).

При взрывных работах существует несколько взрывоопасных зон, из которых принимается максимальная.

Взрывные работы на строительных объектах ведутся, как правило, в стесненных условиях, требующих ограничения по одному или нескольким отрицательным факторам взрыва.

Оценка оптимальности существующих параметров БВР при проведении СГВ (траншей)

Классическая методика определения параметров буровзрывных работ при проведении траншей в строительстве заимствована из опыта открытых горных работ. На основе анализа многочисленных взрывов на строительных объектах Урала были ранее предложены для применения *типовые параметры* буровзрывных работ для разработки траншей глубиной (H) до 5 м и шириной по дну (B_d) от 1,0 до 3,0 м [1, приложение].

В зависимости от ширины траншеи по дну (B_d), глубины траншеи ($H_{тр}$), крепости взрывааемых пород (f), диаметра скважин ($d_{скв}$)

скважины располагаются вдоль оси траншеи в один, два и три ряда (рис. 2).

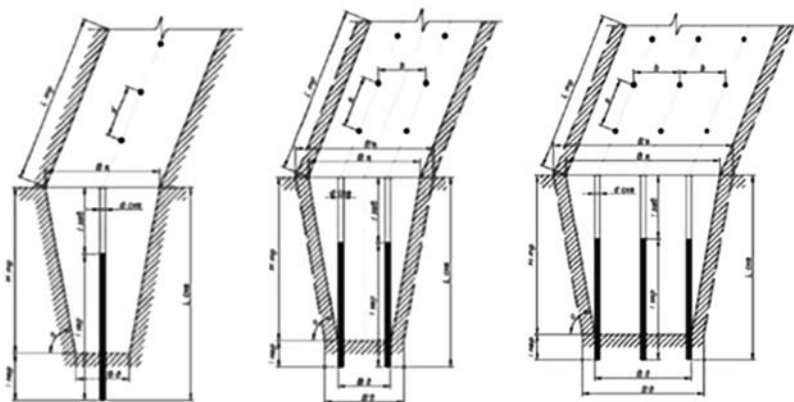


Рис. 2. Параметры БВР в узких траншеях

При двух и более многорядном расположении скважинных зарядов расчет масс зарядов ВВ (Q) ведется по классической схеме:

$$Q = qabH, \text{ кг}, \quad (1)$$

где a и b – расстояния между поперечными и продольными рядами, м;
 q – удельный расход ВВ, кг/м³;

H – глубина траншеи (слоя траншеи), м.

При однорядном продольном расположении скважинных зарядов ВВ применяется несколько формулярных зависимостей определения объема горной массы от одной скважины.

При расчете масс скважинных зарядов ВВ ($Q=qV$, кг), взрывааемых в один продольный ряд в траншее, наиболее приемлема формула:

$$V = a \frac{B_{\text{в}} + B_{\text{д}}}{2} H, \text{ кг}, \quad (2)$$

где $B_{\text{в}} = B_{\text{д}} + 2H \text{ctg } \alpha$, м и $Q = qaH (B_{\text{д}} + H \text{ctg } \alpha)$, кг.

Таким образом, на основе опытно-производственных исследований ранее были разработаны и внедрены типовые параметры БВР при проведении СГВ (траншей) с различными величинами по их ширине от $B_{\text{д}} = 1,0$ до $3,0$ и более метров с глубиной $1,0$ – $5,0$ м.

Однако в расчетах этих параметров не были учтены такие факторы, как минимально взрывааемый и извлекаемый в проектных кон-

турах траншеи объем горной массы, и минимальные затраты на буровзрывной цикл при разработке крепких горных пород и мерзлых грунтов и *недостаточно учтены*:

- физико-механические свойства взрывааемых массивов горных пород и мерзлого грунта;
- свойства взрывчатых веществ, используемых на объекте взрывных работ;
- удельные расходы ВВ завышены как для мелких траншей ($H \leq 2$ м), так и для глубоких ($H = 3-5$ м);
- параметры БВР совсем не учитывают факторы взаимодействия смежных в ряду скважинных зарядов ВВ и действие зажима породы, особенно при однорядном продольном расположении глубоких (более 2 м) скважинных зарядов ВВ;
- не разработаны экономические показатели.

Поэтому возникла необходимость корректировки существующих параметров БВР и разработки новой методики с учетом основных параметров применяемых взрывчатых веществ в конкретных горно-геологических условиях.

Суть новой методики определения эффективных, рациональных параметров БВР при проведении СГВ (траншей) состоит во взрывном *интенсивном дроблении* горных пород в ближней зоне взрывных скважин на основе использования энергии взрывчатых веществ (плотности и энергоемкости) и учета характеристик горных пород (пределов их на сжатие и на скалывание), условий взрывания («зажима» пород, фактора «глубины» и совместного взаимодействия зарядов ВВ).

Согласно принятой теории при взрыве скважинных или шпуровых зарядов ВВ, детонационная волна, образуемая во взрывчатом веществе, переходит в массив горных пород сначала в ударную, а затем в упругопластическую и в сейсмическую волны. Ударная волна формируется вблизи зарядной камеры (скважины, шпура), а радиусы дробления горных пород определяются отношением продольных (C_p) и поперечных (C_s) сейсмических волн по формуле (12), приведенной в работе [5, 6]:

$$r_{\text{др}} = \sqrt{\frac{C_s}{C_p}} \sqrt[3]{Q}, \text{ м}, \quad (3)$$

и находятся в пределах нескольких метров, где раскрываются продольные и частично поперечные трещины, но интенсивного дробления

горных пород только одним действием сейсмических волн в этой зоне невозможно достичь.

Интенсивное дробление горных пород достигается другим механизмом благодаря образуемым вновь продольным и особенно поперечным макротрещинам в горной породе, возникающим при взрыве в результате превышения пределов сопротивлений пород на сжатие ($\sigma_{\text{ск}}$) и на скалывание ($\sigma_{\text{ск}}$) или на сдвиг ($\sigma_{\text{сд}}$). При преодолении их пределов формируется зона такого *интенсивного дробления* горных пород, в результате которого создаются возможности эффективной работы выемочного оборудования – экскаваторов строительного типа с малыми параметрами.

На основе анализа многочисленных взрывов, с учетом исследований по разрушению горных пород взрывом [7, 8], влияния смежных (соседних) зарядов ВВ, энергетических характеристик применяемых взрывчатых веществ, по формуле (4) определяются радиус и величина зоны интенсивного дробления (R_i и B_i):

$$R_i = r_0 \sqrt{\frac{\sigma_{\text{ск}}}{\sigma_{\text{ск}}}} \sqrt[3]{K_{\text{вв}} Q} \times K_{\text{вз}}, \text{ м}; \quad (4)$$

$$B_i = d_{\text{скв}} + 2R_i = 2(r_0 + R_i), \text{ м}, \quad (5)$$

где Q – масса заряда эталонного ВВ (аммонита № 6ЖВ), кг;

r_0 и $d_{\text{скв}}$ – радиус заряда ВВ и диаметр скважины, м;

$\sigma_{\text{ск}}$ и $\sigma_{\text{ск}}$ – сопротивление горных пород сжатию и скалыванию, 10^5 ПА;

$K_{\text{вз}}$ – коэффициент взаимодействия смежных (соседних) зарядов ВВ;

$K_{\text{вв}}$ – коэффициент детонационного эквивалента (импеданс) применяемых взрывчатых веществ означает отношение акустических жесткостей ($P_{\text{э}} C_{\text{э}}$ и $P_{\text{ф}} C_{\text{ф}}$):

$$K_{\text{вв}} = \sqrt[3]{\frac{P_{\text{э}} C_{\text{э}}}{P_{\text{ф}} C_{\text{ф}}}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{э}}$, $P_{\text{ф}}$ и $C_{\text{э}}$, $C_{\text{ф}}$ – плотности и скорости детонации эквивалентного эталонного аммонита № 6ЖВ и фактического ВВ, кг/м³ и м/сек.

Каждая горная порода обладает свойствами на предельные значения сжатия ($\sigma_{\text{ск}}$) и растяжения ($\sigma_{\text{р}}$) и на скалывание ($\sigma_{\text{ск}}$). Исходя из классификации горных пород по шкале проф. М.М. Протодьконова и средних значений этих предельных сопротивлений усредненных

масс скважинных зарядов (Q) находятся радиусы (R_i) и зоны (B_i) интенсивного дробления горных пород скважинными зарядами эталонным $\emptyset=110$ и смежными 130 и 150 мм при глубинах рыхления (траншей) от 1,0 до 5,0 м в горных породах в 5-ти категориях (I-II, III, IIIa, IV и IVa), определенные по формулам (4) и (5).

На основании работ Белаенко Ф.А. [9], Коваженкова А.В. [10], Мосинца В.Н. [11] принят коэффициент взаимодействия смежных (соседних зарядов) при мгновенном способе взрывания до $1,06 \div 1,2$, а при короткозамедленных – до $1,2 \div 1,4$.

С учетом коэффициентов взаимодействия групповых зарядов ($K_{вз}$), зажима (K_z) и глубины заложения зарядов ВВ (K_r) разработаны параметры буровзрывных работ, которые приняты за основу расчетов.

При проведении траншей шириной по дну от 0,5 до 3 м и глубиной до 5 м взрыв работает в условиях сильного зажима горных пород, особенно при *однорядном продольном* расположении скважинных зарядов ВВ (рис. 3), в этих случаях механизм взаимодействия оказывает влияние в направлении только *вдоль главной оси траншеи*; в поперечном направлении он не действует по этой причине. Расстояние между скважинами в продольном ряду (a) принимается с учетом коэффициента взаимодействия $K_{вз}$ равным 1,2–1,4, а ширина действия зарядов по дну (B_d) рассчитывается без влияния $K_{вз}$, т.е. $v=B_d$ (рис. 3а).

При *двухрядном продольном* расположении зарядов ВВ при расчете расстояний между зарядами в продольном и поперечном рядах (v) также учитывается коэффициент взаимодействия зарядов ВВ (рис. 3б).

При трех- и более *многорядном продольном* расположении скважин влияние условий зажима не оказывается (рис. 3в). При *двухрядном продольном* расположении зарядов коэффициент зажима увеличивается на 10 %, а при *однорядном* – на 30 %.

В зависимости от условий зажима горных пород и влияния фактора взаимодействия смежных зарядов ВВ, ширина траншеи (B_d) определяется из расчета равной зонам интенсивного дробления (B_i) (см. рис. 3):

– одной без влияния $K_{вз}$ – при *однорядном продольном* расположении зарядов ВВ:

$$B_d = B_i, \text{ м}, \quad (7)$$

– по одной без и с влиянием $K_{вз}$ – при *двухрядном продольном*:

$$B_d = B_i + B_i \cdot K_{вз}, \text{ м}, \quad (8)$$

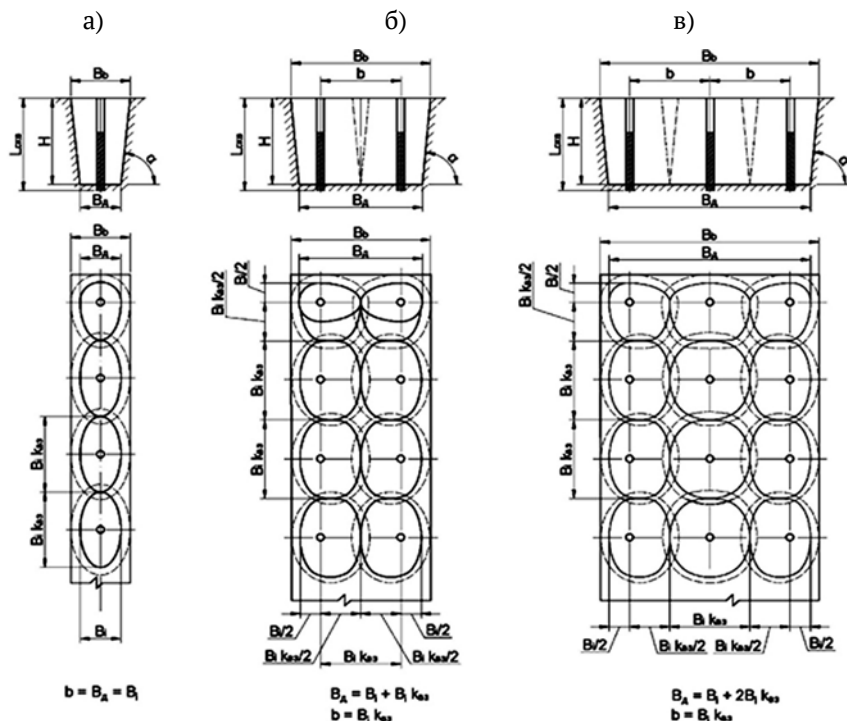


Рис. 3. Расположение скважинных зарядов в траншеях:

- а) – однорядное продольное;
- б) – двухрядное продольное;
- в) – трехрядное продольное

– одной без влияния и двумя с влиянием $K_{вз}$, при трехрядном продольном:

$$B_d = B_i + 2B_i \cdot K_{вз}, \text{ м.} \quad (9)$$

Массы скважинных зарядов (Q) определяются произведением удельного расхода $ВВ$ (q) на объем горной массы от одной скважины (V). Расчет удельного расхода $ВВ$ (q) основан на сравнении B_i – зон интенсивного дробления, с учетом поправочных коэффициентов (K_i) на глубину траншеи, чем крепче порода и мельче траншея, тем больше удельный расход $ВВ$.

На основании анализа производственных взрывов при выборе q за базовую зону принимается III степень крепких горных пород (границы

тов, диоритов) при их взрывании эталонным ВВ – аммонитом М6ЖВ (граммонитом 79/21) эталонными скважинными зарядами $\varnothing 110$ мм с тремя продольными рядами, с коэффициентом зажима $K_3 = 1$ в траншеях глубиной 5,0 м, $q = 1,0$ кг/м³ [1].

На основании этих расчетов определены рациональные, эффективные параметры буровзрывных работ при проведении траншей [1] (приложение 3) и разработан соответствующий алгоритм.

При разработке параметров БВР для крепких горных пород соблюдены допущения: а) при глубине скважины $H = 1-2$ м длина заряда ВВ не должна быть больше ее половины скважины и б) при глубине скважин более 2 м длина забойки не должна быть меньше 12–15 диаметров скважин. Эти допущения необходимы, чтобы не допустить излишнего разлета взорванной горной массы.

Экономическое обоснование выбора эффективных методов проведения строительных горных выработок в стесненных условиях позволяет сделать выбор рациональных вариантов расположения скважин в траншеях (рис. 4).

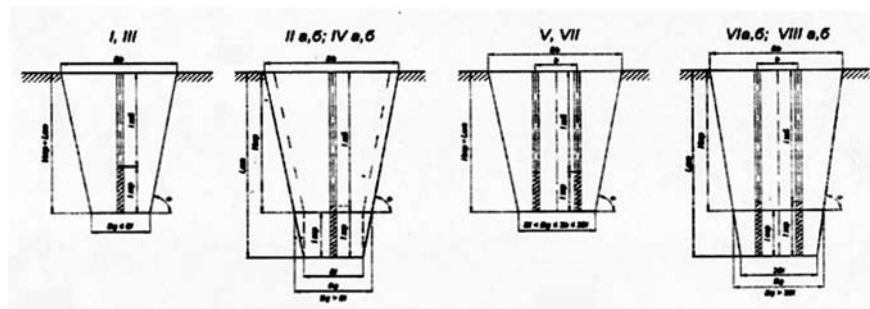


Рис. 4. Варианты расположения скважинных зарядов в траншеях
(Варианты: I, II, V и VI – $d_{\text{скв}} = 110$ мм; III, IV, VII и VIII – $d_{\text{скв}} = 130$ мм;
I, III, V и VII – без перебура, II, IV, VI и VIII – с перебуром)

Эффективность проведения СГВ-траншей оценивается по трем основным факторам – *энергоёмкости*, *трудоемкости* и *стоимости*, а также с учетом сохранности объектов, находящихся во взрывоопасных зонах.

Для оценки буровзрывных работ применен показатель сравнительной эффективности – минимум приведенных затрат по каждому варианту ($Z_{\text{пр}}$) (см. рис. 4), представляющих сумму текущих

затрат (себестоимости – C) и капитальных вложений (K), приведенных к одинаковой размерности в соответствии с нормативом эффективности ($E_n > 0,12$):

$$C + E_n K = \text{минимум.} \quad (10)$$

В сравнительных вариантах рассмотрены вопросы

- по технологии разработки талых и мерзлых грунтов, мерзлых грунтов и горных пород;
- по послойной разработке или на всю глубину траншеи;
- по разработке узких и широких траншей;
- по однорядному и двух- и более рядному продольному расположению скважинных зарядов ВВ;
- по применению различных типов предохранительных укрытий;
- по использованию различных мер по снижению или локализации негативных (вредных) действий взрыва.

Рекомендованные авторами *Методики* [1], приняты на производстве следующие схемы проведения траншей по указанным на рис. 2 типам заложения талых и мерзлых грунтов и горных пород, с учетом технологической и экономической направленностей [1].

Так как разработка 1-го типа заложения только мягких пород (грунтов) производится без буровзрывных работ, самая дешевая и выгодная, поэтому она не рассматривается в данной работе.

При разработке одних мерзлых грунтов 2-го типа заложения принята однослойная схема, ввиду ограниченной (до 2÷3 м) глубины промерзания грунтов. Разработка с буровзрывным комплексом малопроизводительна, но часто необходима.

Раздельная (послойная) разработка мягких (талых) или мерзлых грунтов и крепких горных пород (типы V и VI) для проектантов и производителей является *классической* схемой, но ввиду ее трудоемкости для 3, 5 и 6-го типов заложения горных пород нами рекомендуется принятие весьма *рациональной* схемы *совместной* разработки всех вмещающих пород, которая по сравнению с раздельной дает больший экономический эффект за счет значительного уменьшения объема извлекаемой из траншеи горной массы.

При наличии в траншее в верхней ее части мягких (талых) грунтов (тип V) затраты при совместной разработке уменьшаются за счет использования мягких (талых) грунтов в качестве предохранительных укрытий для снижения разлета взорванных крепких горных пород нижнего слоя вместо применения специальных дорогостоящих

предохранительных укрытий. Подобную эффективную работу взрыва можно рассматривать при разработке вмещающих горных пород VI типа (мерзлых грунтов и крепких горных пород).

При разработке мерзлых грунтов над слоем талых грунтов (III тип) рациональным предложен выбор глубины бурения взрывных скважин до *контакта промерзания*.

Недобур мерзлых грунтов или размещение взрывчатых веществ в талом нижнем слое грунтов влекут или к неполной проработке мерзлого слоя, что приводит к дополнительному применению механического способа, применению мелкошпурового бурения и увеличению общих затрат; или к значительному увеличению расхода дорогостоящих взрывчатых материалов (на $15 \div 20\%$), увеличению затрат на взрывные работы и на предотвращение увеличенного разлета взорванного мерзлого грунта, особенно нежелательного последнего в стесненных условиях.

В *рекомендованном* варианте бурения до контакта промерзания за счет замерзания дна скважины создаются условия эффективного действия взрыва, нормального разрыхления мерзлого грунта при оптимальном расходе взрывчатых материалов и *минимизации* объема рыхления мерзлых грунтов, ликвидации малопродуктивных работ по зачистке остатков мерзлых грунтов, доходящих до $10 \div 15\%$ их общего объема.

На примере преобладающих на строительных горных выработках на Среднем Урале горных пород III степени (гранитосодержащих пород) проведен сравнительный анализ по расходу ВМ (Q) и трудоемкости (T_p) при глубине рыхления (L_p), равной менее или более $L_p = H_{тр}$, $L_p < H_{тр}$, недобур и $L_p > H_{тр}$ перебур, глубине траншеи, приведен на рис. 5.

Аналогичное сравнение указанных на рис. 5 показателей V , Q и T_p для других категорий горных пород (I – II, IIIa, IV и IVa) отражает идентичную картину.

Более сложный анализ проведен авторами статьи для сравнения вариантов методов проведения строительных горных выработок – траншей с различными параметрами – $H_{тр}$, B_d , α .

Для этого проведены расчеты по затратам рабочей силы (чел./час), оборудования (машино/час), материалов, трудоемкости затрат разработки 100 м³ горной массы с перерасчетом на 100 м длины траншей (B_d) по $1,0 \div 1,5$ и $1,5 \div 3,0$ м.

Перерасчет трудоемкости затрат необходим из-за указанных в расчетах руководящих документов [13, 14] *измерителей* в кубических

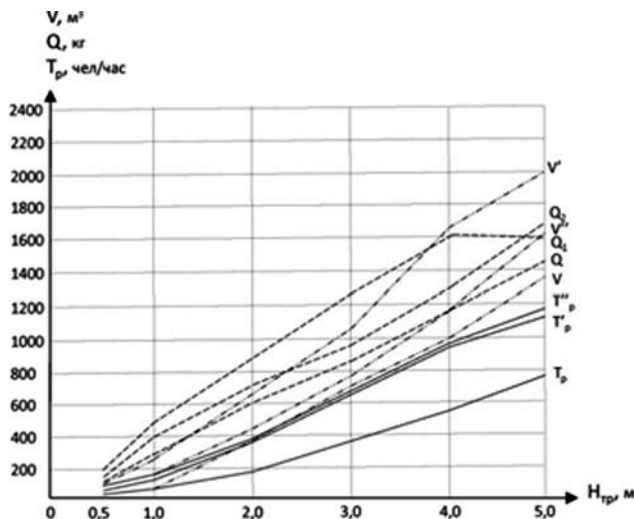


Рис. 5. Сравнительные варианты объемов БВР (V), расхода ВМ (Q) и трудоемкости (T_p) при глубинах рыхления (L), равной менее (1 штрих) и более (2 штриха) глубины траншеи ($H_{тр}$)

метрах, который не характерен для траншей с различными глубинами (H) и откосами (α), ввиду равнозначности вмещающих объемов горных пород в траншеях с различными их длинами.

Выводы

При анализе приведенных в Методике [1] расчетных данных, таблиц и методов проведения траншей скважинным способом следуют выводы:

1. При ширине траншеи по дну (B_d), равной или менее зоны интенсивного дробления (B_i) $B_d \leq B_i$, применять только однорядное продольное расположение скважинных зарядов диаметром 110 или 130 мм, без перебура, т. е. $L_{скв} = H_{тр}$ (варианты I, III, рис. 4).

2. При превышении ширины траншеи по дну (B_d) зоны интенсивного дробления (B_i) $B_d > B_i$, однорядное продольное расположение скважинных зарядов диаметром 110 или 130 мм возможно с учетом перебура скважин ($l_{пер}$) от минимальных до максимальных значений для достижения проектных данных по ширине траншеи по дну (B_d) на

уровне проектной глубины траншеи ($H_{\text{тр}}$) – варианты II, для диаметра скважин 110 мм и IV – для диаметра скважин 130 мм.

3. При дальнейшем превышении ширины траншеи ($B_{\text{д}}$) зоны интенсивного дробления (B_i) целесообразен переход на двухрядное продольное расположение скважинных зарядов диаметром 110 или 130 мм без перебура (варианты V и VII, соответственно) при условии $B_i < B_{\text{д}} \leq 2\varphi \leq 2B_i$, где φ – расстояние между продольными рядами, и с перебурами ($l_{\text{пер}}$) при условии $B_{\text{д}} > \varphi$, но меньше двукратного значения зоны интенсивного дробления ($2B_i$) – варианты VI (для диаметра 110 мм) и VIII (для диаметра 130 мм).

4. При проведении в особо крепких породах мелких траншей ($H_{\text{тр}}$ до 2,0 м), но широких по дну ($B_{\text{д}} > 2,0 \div 2,5$ м) экономически целесообразно увеличить количество продольных рядов скважин до 3÷4-х без или с перебором.

5. Увеличение глубины скважины ($l_{\text{скв}}$) сверх глубины траншеи ($H_{\text{тр}}$) приводит к увеличению объема траншеи ($V_{\text{тр}}$) и к увеличению трудоемкости и затрат на рыхление горной массы (V , м³), на ее экскавацию, перевалку или транспортирование, на обратную засыпку и на расход дорогостоящих взрывчатых материалов на взрывное рыхление крепких горных пород, а в зимний период и мерзлых грунтов [14].

Выбор рациональных и экономичных предохранительных и защитных мер от отрицательных действий взрыва

Для устранения или снижения влияния отрицательных действий взрыва на охраняемые объекты дополнительно к существовавшим предохранительным и защитным мерам авторами статьи предложены методики и устройства по разлету взорванной горной массы, сейсмоздействию, распространению газообразных продуктов взрыва по массиву горных пород и по воздуху [1].

Наряду с применяемыми конструкциями предохранительных укрытий коробчатого типа была предложена и применена новая конструкция комбинированного гибкого предохранительного укрытия (рис. 6), представляющего собой комбинацию гибкого сетчатого мата из металлической сетки Рабица и канатных растяжек (укрытие М2), утяжеленного с двух боковых сторон фундаментными бетонными блоками (укрытие ПЗ) [4, 15].

При проведенном авторами сравнительном анализе расхода материалов на изготовление коробчатых и гибких укрытий, стоимости их изготовления и организационных затрат при их применении,

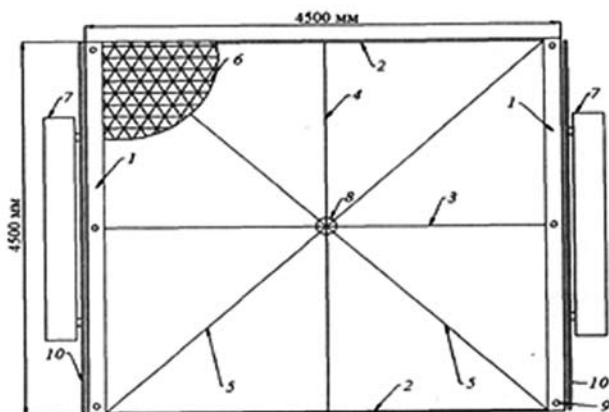


Рис. 6. Комбинированное предохранительное гибкое укрытие:

- 1 – металлическая труба ($\varnothing = 219$ мм толщина стенки не менее 8 мм);
- 2 – каркасный металлический канат ($\varnothing = 18 - 22$ мм);
- 3 – центральная поперечная канатная растяжка;
- 4 – центральная продольная канатная растяжка;
- 5 – диагональные канатные растяжки;
- 6 – трехслойная неоцинкованная металлическая сетка Рабица с ячейками 20×20 мм;
- 7 – фундаментный бетонный блок (ФБС 24-4-6);
- 8 – строповочное кольцо; 9 – строповочные узлы;
- 10 – канат крепления бетонного блока (ФБС 24-4-6)

выявлено резкое снижение комплексных затрат применения гибких укрытий по сравнению с коробчатыми:

- многократное (в 6–7 раз) снижение расхода стальных труб и металлических материалов на их изготовление;
- в 4–5 раз уменьшение затрат на изготовление, монтаж, перевозку и передвижку укрытий за счет упрощения организации работ;
- неприменение сварочных работ при изготовлении;
- значительное удлинение межремонтного периода;
- снижение влияния сейсмике взрыва.

По сейсмике взрыва

Проводя обоснование применения ближней сейсмической зоны, по предотвращению нарушений заглубленных охраняемых объектов,

находящихся от взрыва на максимальном расстоянии до 40 м, приняты действенные эффективные меры:

- переход на поуступную (двухслойную) разработку глубоких строительных горных выработок;
- снижение массы единичного заряда ВВ;
- применение диагональных или поперечных схем короткозамедленного взрывания при двух- и трехрядном продольном расположении скважин вдоль оси строительной горной выработки;
- использование интервалов замедления не менее 42 мс и предотвращение возникновения резонансных колебаний грунта (горных пород) и охраняемых зданий, неприменение интервалов замедления в 100 мс;
- первоначальное взрывание ближних к охраняемым объектам скважинных зарядов с уменьшенной массой ВВ для достижения экранирующего действия разрыхленной зоны и значительного снижения сейсмического действия от последующих зарядов с увеличенной массой ВВ;
- проходка в мерзлом грунте механическим способом экранирующих пионерных щелей вдоль охраняемых объектов [5, 6].

При проведении указанных мер обеспечивается *надежность сохранности охраняемых объектов от сейсмического воздействия* при производстве взрывных работ в стесненных условиях и даже снижается радиус ближней зоны взрыва в 1,5–2,0 раза, а при применении экранирующей плоскости – до минимума (4÷5 м).

По действию ударно-воздушной волны (УВВ)

На основании рекомендуемых авторами параметров БВР [1] определены радиусы [16] взрывоопасной зоны по действию ударно-воздушной волны на застекление, в результате которых для мелких траншей ($H \leq 2$ м) они находятся в пределах 40÷60 м, а для глубоких траншей ($H = 2 \div 5$ м) составляют $\approx 10 \div 40$ м.

С применением сплошных предохранительных укрытий с добавлением к комбинированному плотного синтетического материала, взрывоопасная зона по действию ударно-воздушной волны на застекление снизится $\approx$ в 3 раза, а зону забойки в наиболее опасных по УВВ необходимо увеличить размещением на поверхности взрываемого массива пригрузочным мелкофракционным материалом (песком, отсевом или рыхлым грунтом), что впредь и было применено производственными специализированными предприятиями Урала.

По снижению проникновения газообразных продуктов взрыва в массив пород при проведении строительных горных выработок предложены для применения эффективные меры по локализации этого вредного действия на основе теории и практики взрыва в приконтурном массиве. В зоны дробления (r_d) и упругих деформаций (r_o) проникают продукты детонации из взорванной горной массы «аккумулятора газов». Предельные границы зоны упругих деформаций (r_o) и зоны дробления (r_d) возможно определить по формулам [5, 6]:

$$r_o = \frac{\sqrt{C_p}}{10} \cdot \sqrt[3]{Q} \text{ м}; \quad (11)$$

$$r_d = \frac{\sqrt{C_s}}{10} \cdot \sqrt[3]{Q} \text{ м}, \quad (12)$$

где Q – масса взрываемого заряда ВВ, кг;

C_p и C_s – скорости, соответственно, продольных и поперечных (сдвиговых) волн, км/с.

Авторами Методики [1] проведены расчеты по формулам для траншей глубиной до 5 м и массой одновременно взрываемого ВВ до 30 кг, проводимых в грунтах (глина, песок) и горных породах (сланцы, известняк, гранит).

Использование их на стадии проектирования и организации проведения специальных горно-строительных выработок оценки размеров опасных по токсичным газам зон и определения возможности попадания охраняемых объектов в эти зоны позволяет предусмотреть меры предотвращения загазованности объектов и исключить опасность отравления находящихся в них людей.

Для практического применения разработан и предложен алгоритм выбора эффективного проведения специальных горных выработок в стесненных условиях, представляющий собой очередность процесса [1].

В результате внедрения данной работы сделаны выводы, обеспечивающие:

- выбор оптимальных параметров буровзрывных работ для качественной проработки вмещающих горных пород, с минимальным объемом дробимой и извлекаемой горной массы;
- применение экономичных мероприятий и мер защиты охраняемых объектов от отрицательных действий взрыва;

– безопасное и эффективное проведение взрывным способом строительных горных выработок (траншей) в различных стесненных условиях строительства.

Список литературы

1. Крапивина И. С. Методика эффективного проведения буровзрывным способом строительных горных выработок в стесненных условиях / И. С. Крапивина, Г. П. Берсенов ; Ассоциация "Взрывники Урала", ООО "НПП "Взрывтехнология". – Екатеринбург : Сонет, 2022. – 80 с.
2. Инструкция по организации и безопасному производству взрывных работ в стесненных условиях с применением 5 м предохранительных укрытий / Г. П. Берсенов, В. Г. Шеменев, А. Н. Кравченко [и др.]. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2010. – 32 с.
3. Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения : утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 декабря 2020 г. № 494 ; зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 25 декабря 2020 г. – URL: [https://normativ.kontur.ru/document? moduleId=1&documentId=431880&ysclid=lx1dn3aka1489345937](https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=431880&ysclid=lx1dn3aka1489345937) (дата обращения 20.05.2024). – (Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности).
4. Предохранительные укрытия при производстве взрывных работ в стесненных условиях / Г. П. Берсенов, А. Н. Кравченко, В. М. Слепенков, В. Г. Шеменев // Технология и безопасность взрывных работ : материалы научно-технических семинаров (22 - 23 апр. 2010 г.) / ИГД УрО РАН. – 2011. – С. 188–211.
5. Мосинец В. М. Основные научно-технические проблемы сейсмики ближней зоны / В. М. Мосинец, В. Ф. Богацкий // Взрывное дело : Сейсмика промышленных взрывов / Научно-техническое горное общество ; под ред. В. Н. Мосинца, В. Ф. Богацкого. – Москва : Недра, 1983. – № 85/42. – С. 89–101.
6. Цейтлин Я. И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Я. И. Цейтлин, Н. И. Смолий. – Москва : Недра, 1981. – 192 с.
7. Мосинец В. Н. Разрушение горных пород / В. Н. Мосинец, А. Д. Пашков, В. А. Латышев. – Москва : Недра, 1975. – 216 с.
8. Миронов П. С. Закономерность дробления горных пород взрывом / П. С. Миронов // Горный журнал. Известия вузов. – 2014. – № 3. – 62–65 с.

9. Белаенко Ф. А. Исследование полей напряжений и процесса образования трещин при взрыве колонковых зарядов в скальных породах / Ф. А. Белаенко // Вопросы теории разрушения горных пород действием взрыва. – Москва : Изд-во АН СССР, 1988. – С. 126–140.

10. Коваженков А. В. Исследование разрушения горных пород взрывом одиночных колонковых зарядов / А. В. Коваженков // Вопросы теории разрушения горных пород действием взрыва. – Москва : Изд. АН СССР, 1958. – С. 77–99.

11. Мосинец В. Н. Энергетические и корреляционные связи процесса разрушения пород взрывом / В. Н. Мосинец. – Фрунзе : Изд-во АН Киргизской ССР, 1963. – 233 с.

12. Экономика горного предприятия : учебное пособие / Уральская государственная горно-геологическая академия ; под ред. В. Е. Стровского, С. В. Макаровой, В. Г. Жукова. – Екатеринбург : УГГА, 2003. – 411 с.

13. Государственные элементные сметные нормы на строительные работы. ГЭСН-2001-03. Сборник № 3. Буровзрывные работы / Госстрой России. – Москва, 2001. – 52 с.

14. Крапивина И. С. Трудоемкость затрат на буровзрывные работы при проведении строительных горных выработок / И. С. Крапивина, Г. П. Берсенев // Технология и безопасность взрывных работ : материалы научно-производственного семинара по взрывным работам, 2016 / отв. ред. Г. П. Берсенев. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2017. – С. 106–111.

15. Берсенёв Г. П. Комбинированное гибкое предохранительное укрытие / Г. П. Берсенёв, И. С. Емельянова (Крапивина) // Технология и безопасность взрывных работ : материалы научно-технической конференции «Развитие ресурсосберегающих технологий во взрывном деле», 2011 г. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2012. – 227–275 с.

16. Барон В. Л. Руководство по определению радиуса опасной зоны действия ударно-воздушной волны при взрывах на земной поверхности / В. Л. Барон, М. И. Ганопольский. – Москва : МГИ, 2013. – 12 с.

Постскрипtum

О юбиляре

Судьба свела юбиляра **Яковлева Виктора Леонтьевича** и моего двоюродного брата Берсенёва Геннадия Александровича в далеком 1951 году, когда они на пять лет оказались однокурсниками горного факультета Свердловского горного института им. В.В. Вахрушева. А через 10 лет Виктор Леонтьевич стал руководителем моего дипломного проекта на том же факультете СГИ.

С тех пор наши жизненные и научные пути шли параллельными дорогами. И я благодарен юбиляру и моей судьбе за все годы работы и общения с замечательным человеком и большим специалистом!

Желаю Виктору Леонтьевичу доброго здоровья и неиссякаемой энергии до 100 и более лет жизни!

*С уважением,
Геннадий Порфирьевич Берсенёв,
кандидат технических наук, академик АГН,
Заслуженный строитель РФ, Почетный строитель России*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- 1 **Аленичев Виктор Михайлович**, д.т.н., проф., гл.н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.
- 2 **Андреева Людмила Ивановна**, д.т.н., гл.н.с., Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, Россия, г. Челябинск.
- 3 **Антипин Юрий Георгиевич**, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.
- 4 **Архипова Юлия Александровна**, вед.н.с, Институт горного дела ДВО РАН, Россия, г. Хабаровск.
- 5 **Бортников Николай Стефанович**, д.г-м.н., академик РАН, Россия, г. Москва.
- 6 **Барях Александр Абрамович**, д.т.н., проф., академик РАН, ГИ УрО РАН, Россия, г. Пермь.
- 7 **Берсенёв Геннадий Порфирьевич**, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.
- 8 **Батугина Наталья Сергеевна**, д.э.н., Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Россия, Республики Саха (Якутия), г. Якутск.
- 9 **Байбакова Татьяна Викторовна**, к.т.н., ГИ УрО РАН, Россия, г. Пермь.
- 10 **Барановский Кирилл Васильевич**, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.
- 11 **Галкин Алексей Валерьевич**, д.т.н., ООО НИИОГР, Россия, г. Челябинск.
- 12 **Галкин Владимир Алексеевич**, д.т.н., проф., ООО НИИОГР, Россия, г. Челябинск.
- 13 **Галкина Наталья Владимировна**, д.э.н, вед.н.с., ООО НИИОГР, Россия, г. Челябинск.
- 14 **Ганиев Руслан Салаватович**, ст.препод., УГТУ, Россия, г. Екатеринбург.

- 15 **Герасимова Ирина Юрьевна**, к.г.-м.н., ГИ УрО РАН, Россия, г. Пермь.
- 16 **Глебов Андрей Валерьевич**, д.т.н., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.
- 17 **Гальянов Алексей Владимирович**, д.т.н., проф., Россия, г. Екатеринбург.
- 18 **Глебов Игорь Андреевич**, н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.
- 19 **Дмитриев Андрей Николаевич**, д.т.н., ФГБУН Институт металлургии УрО РАН (ИМЕТ УрО РАН), Россия, г. Екатеринбург.
- 20 **Довженок Александр Сергеевич**, д.т.н., гл.н.с. Челябинского филиала Института горного дела УрО РАН, Россия, г. Челябинск.
- 21 **Журавлев Артем Геннадиевич**, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.
- 22 **Жариков Сергей Николаевич**, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.
- 23 **Захаров Валерий Николаевич**, д.т.н., проф., академик РАН, ИПКОН РАН, Россия, г. Москва.
- 24 **Захаров Святослав Игоревич**, д.э.н., ООО НИИОГР, Россия, г. Челябинск.
- 25 **Корнилков Сергей Викторович**, д.т.н., проф., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.
- 26 **Крапивина Ирина Станиславовна**, инж.-экономист, аспирант УГГУ, Россия, г. Екатеринбург.
- 27 **Каплан Алексей Владимирович**, д.э.н., вед.н.с., ООО НИИОГР, Россия, г. Челябинск.
- 28 **Кантемиров Валерий Даниилович**, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.
- 29 **Каплунов Давид Родионович**, д.т.н., проф., член-корр. РАН, гл.н.с., ИПКОН РАН, Россия, г. Москва.
- 30 **Коркина Татьяна Александровна**, д.э.н., проф. кафедры менеджмента Челябинского государственного университета, ООО НИИОГР, Россия, г. Челябинск.
- 31 **Кравчук Игорь Леонидович**, д.т.н., Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, Россия, г. Челябинск.
- 32 **Лель Юрий Иванович**, д.т.н., проф., УГГУ, Россия, г. Екатеринбург.
- 33 **Лапаева Оксана Анатольевна**, д.э.н., вед.н.с., ООО НИИОГР, Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, Россия, г. Челябинск.

34 **Макаров Александр Михайлович**, д.т.н., проф., ООО НИИ-ОГР, Россия, г. Челябинск.

35 **Никифорова Анастасия Игоревна**, к.т.н., ГИ УрО РАН, Россия, г. Пермь.

36 **Никитин Игорь Владимирович**, н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

37 **Пелевин Алексей Евгеньевич**, д.т.н., проф. УГТУ, Россия, г. Екатеринбург.

38 **Пикалов Вячеслав Анатольевич**, д.т.н., ООО НИИОГР, Россия, г. Челябинск.

39 **Радченко Дмитрий Николаевич**, к.т.н., доцент, с.н.с., ИП-КОН РАН, Россия, г. Москва.

40 **Рассказов Игорь Юрьевич**, член-корр. РАН, ХФИЦ ДВО РАН, Россия, г. Хабаровск.

41 **Рожков Артём Андреевич**, к.т.н., ст.н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

42 **Руденко Виктор Николаевич**, д.ю.н., проф., академик РАН.

43 **Санфиоров Игорь Александрович**, д.т.н., проф., ГИ УрО РАН, Россия, г. Пермь.

44 **Смирнов Алексей Алексеевич**, к.т.н., ст.н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

45 **Соколов Игорь Владимирович**, д.т.н., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

46 **Соколовский Александр Валентинович**, д.т.н., ООО НИИ-ОГР, Россия, г. Челябинск.

47 **Тимохин Александр Владимирович**, н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

48 **Титов Роман Сергеевич**, ст.н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

49 **Ткач Сергей Михайлович**, д.т.н., Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Россия, г. Якутск.

50 **Федотенко Виктор Сергеевич**, д.т.н., вед.н.с., ИПКОН РАН, Россия, г. Москва.

51 **Хажиев Вадим Аслямович**, д.т.н., ООО НИИОГР, Россия, г. Челябинск.

52 **Чендырев Михаил Андреевич**, н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

53 **Черепанов Владимир Александрович**, н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

54 **Шимкив Екатерина Сергеевна**, н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

55 **Шулюпин Александр Николаевич**, д.т.н., Институт горного дела ДВО РАН, Россия, г. Хабаровск.

56 **Яковлев Алексей Викторович**, к.т.н., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

57 **Яковлев Андрей Михайлович**, к.т.н., ст.н.с., Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

58 **Яковлев Виктор Леонтьевич**, д.т.н., проф., гл.н.с., член-корр. РАН, академик АН РС (Я), Советник РАН, Институт горного дела УрО РАН, Россия, г. Екатеринбург.

Приложение.
Из фотоархива члена-корреспондента РАН
В.Л. Яковлева



СГИ им. В. В. Вахрушева, 1953 г.



Первый шаг к «Полному кавалеру
знака Шахтерская слава»
(г. Копейск, 1954 г.)



Мама В.Л. Яковлева
Дарья Филипповна
с внуками



Виктор Леонтьевич с женой Викторией и сыном Мишей, 1960 г.



Профессора Уральского горного университета
Ю.И. Лель, В.Л. Яковлев, С.В. Корнилков



Сотрудники кафедры «Разработка месторождений открытым способом»
Уральского горного университета



Подписание соглашения между РАН и Республикой Саха (Якутия)
о развитии науки в республике (Москва, 8 апреля 1992г.)



Обсуждение с академиком РАН В.А. Черешневым вопроса взаимодействия с Челябинским филиалом ИГД УрО РАН



В зале заседаний РАН с академиками РАН К.Н. Трубецким и В.А. Чантурия и членом-корреспондентом РАН Д.Р. Коплуновым



На общем собрании РАН с академиком М.В. Курленей
и членом-корреспондентом Г.И. Грицко (Москва, 1995 г.)



Совет директоров горных институтов РАН (Увильды, 2006 г.)



На вручении Демидовских премий в резиденции
губернатора Свердловской области с академиками РАН
Н.П.Юшкиным, О.А. Богатиковым, В.А. Коротеевым



25 лет Академии наук Республики Саха (Якутия) (2018 год)



С академиком РАН В.М. Счастливцевым
и членами-корреспондентами РАН В.И. Бердышевым и В.Б. Бамбуровым



Президиум горной секции под председательством В.Л. Яковлева
на конференции, посвященной 300-летию металлургии на Урале
(2001 год)



С заместителями директора по науке
д.т.н. А.В. Гальяновым, д.т.н. А.В. Зубковым



С академиком РАН Н.Н. Мельниковым
и членом-корреспондентом РАН М.Д. Новопашиным



Заседание ученого совета ИГД Уро РАН
по обсуждению результатов комплексной проверки (2006 г.)



В Доме ученых с академиками РАН Н.И. Юшкиным и Н.А. Ватолиным



С директором ИГД УрО РАН И.В. Соколовым
на юбилейном собрании РАН в Кремлевском
дворце (8 февраля 2024 г.)



В кабинете директора ИГДС СО РАН.
На стене фото предыдущих директоров Института



Члены УрО РАН на общем юбилейном собрании РАН (2024 г.)



В.Л. Яковлев с сыновьями



В.Л. Яковлев с внуками



В.Л. Яковлев с внуками и их семьями

Содержание

Благодарственное письмо Президента РФ	3
Бортников Н.С., Руденко В.Н., Барях А.А., Захаров В.Н. О научно-организационной деятельности члена-корреспондента РАН, Советника РАН Яковлева Виктора Леонтьевича	4
Соколов И.В., Глебов А.В. Виктор Леонтьевич Яковлев – в ногу со временем. Продолжение.....	11
Список основных научных трудов В.Л. Яковлева с 1972 по 2023	20
Перечень докладов В.Л. Яковлева на научно-технических конференциях и горнопромышленных форумах (1989–2024 гг)	24
Галкин В.А., Кравчук И.Л., Пикалов В.А., Андреева Л.И., Хажиев В.А., Макаров А.М., Соколовский А.В., Довженок А.С., Галкин А.В., Галкина Н.В., Коркина Т.А, Каплан А.В., Лапаева О.А., Захаров С.И. Роль и значение Виктора Леонтьевича Яковлева в развитии НИИОГР	28
Каплунов Д.Р., Радченко Д.Н., Федотенко В.С. Значение современных геотехнологических решений при обеспечении устойчивого развития горнодобывающих предприятий.....	34
Хохряков В.С. В.Л. Яковлев – ученый и педагог.....	44
Яковлев В.Л. Обсуждение назревшей проблемы особенности современного периода исследований по проблемам комплексного освоения недр и развития минерально-сырьевой базы России	49
Корнилов С.В., Дмитриев А.Н., Пелевин А.Е. О современных подходах к поддержанию и развитию минерально-сырьевой базы регионов	70
Яковлев В.Л. О роли горных наук и вкладе автора в разработку и реализацию стратегии освоения минеральных ресурсов России.....	81
Яковлев В.Л. Особенности современного этапа исследований и решения проблем комплексного освоения георесурсов Дальневосточного Федерального округа	100

Рассказов И.Ю., Шулюпин А.Н., Архипова Ю.А. Проблемы комплексного освоения георесурсов Дальневосточного Федерального округа	112
Ткач С.М., Батугина Н.С. Повышение эффективности освоения и разработки россыпных месторождений золота Якутии	128
Санфиоров И.А., Никифорова А.И., Байбакова Т.В., Герасимова И.Ю. Критерии оценки результатов сейсморазведочного мониторинга техногенного воздействия на породный массив урбанизированных территорий.....	137
Глебов А.В. Адаптирование горнотехнической системы карьера при переходе на автомобильно-конвейерный транспорт.....	145
Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. Комбинированные геотехнологии и области их эффективного применения.....	159
Соколов И.В., Рожков А.А., Смирнов А.А., Барановский К.В. Совершенствование методов обоснования технологий снижения ущерба от переизмельчения руды при проектировании горнотехнических систем	172
Лель Ю.И., Глебов И.А., Ганиев Р.С. Технологические схемы перехода на вскрытие крутонаклонными автосъездами и тоннелем спиральной формы при разработке глубоких кимберлитовых карьеров	188
Журавлев А.Г., Черепанов В.А., Глебов И.А., Чендырев М.А. Вопросы карьерного транспорта при добыче открытым способом на больших глубинах	196
Яковлев В.Л., Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С., Тимохин А.В. Методы рудоподготовки минерального сырья при освоении сложноструктурных месторождений	214
Аленичев В.М. Проблема оценки рисков негативных техногенных явлений при недропользовании	232
Яковлев А.В., Шимкив Е.С. Методические основы формирования уступов и участков бортов на предельном контуре карьеров	244
Жариков С.Н. Проблема сейсмического действия взрыва в приконтурной зоне карьера.....	256
Гальянов А.В. К вопросу о «переходных процессах» в технологических схемах отработки месторождений полезных ископаемых.....	267
Берсенёв Г.П., Крапивина И.С. Методика БВР при проведении строительных горных выработок в стесненных условиях	277
Сведения об авторах	300

Научное издание

Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр

**Сборник научных трудов
Института горного дела УрО РАН
вып. 6 (96)**

Рекомендовано к изданию решением
Объединенного ученого совета УрО РАН
по наукам о Земле
и Уральским отделением РАН

Ответственные за выпуск Е.А. Катаева, А.В. Глебов

Редактор О.А. Истомина
Компьютерная верстка А. Якубовский

Подписано в печать 10.09.2024. Формат 60х90/16
Бумага ВХИ. Уч.-изд. л. 13,6. Усл. печ. л. 20.
Тираж 500. Заказ

ISBN 978-5-7691-2576-8

