Российская академия наук
Уральское отделение Российской академии наук
Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук

В.Л. Яковлев, С.В. Корнилков, И.В. Соколов

Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья

Под редакцией член-корр. РАН В.Л. Яковлева

Екатеринбург
2018

УДК [622.014.3 : 533.042]: 001.895
Я47

Рецензенты: академик РАН В.А. Коротеев,
профессор, доктор технических наук В.А. Галкин,
профессор, доктор технических наук Ю.И. Лель

Яковлев В.Л., Корнилков С.В., Соколов И.В.

Я47 Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / Под ред. член-корр. РАН В. Л. Яковлева. — Екатеринбург : УрО РАН, 2018. — 360 с.

ISBN 978-5-7691-2514-0

Обоснована необходимость новых методологических подходов к решению проблем освоения недр на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарной направленности.

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.

Предложена новая схема подземной геотехнологии добычи и переработки железных руд.

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

Книга предназначена не только для специалистов горного дела, но также для широкого круга читателей. Она может быть использована в качестве справочника для руководителей предприятий, предпринимателей, специалистов управленческих структур, а также в качестве учебного пособия для студентов, магистрантов и аспирантов.

© Уральское отделение РАН, 2018
© Институт горного дела УрО РАН, 2018
© Авторы, текст, 2018

ISBN 978-5-7691-2514-0

Оглавление

Введение..... 7

Глава 1. Методологические проблемы стратегии освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений

1.1. Развитие научных идей и методологических подходов к обоснованию технологий и параметров горных работ 11

1.2. Методологические особенности решения проблем освоения недр на современном этапе 19

1.3. О методологической взаимосвязи геологического исследования месторождений и геотехнологических проблем их освоения 31

1.4. О новых подходах к освоению минерально-сырьевых ресурсов Уральского Севера 42

1.5. Методические подходы к учету общих закономерностей и региональных особенностей при выборе стратегии освоения месторождений полезных ископаемых 48

Глава 2. Ресурсный потенциал и перспективы развития минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала

2.1. Концепция сырьевого обеспечения металлургического производства 55

2.2. Перспективы разработки месторождений Полярного Урала 57

2.3. Железные руды 68

2.4. Медные руды 77

2.5. Хромитовое и марганцевое сырье 84

2.6. Бокситы 91

2.7. Кварцевое сырье 92

2.8. Уголь Урала 96

Глава 3. Технологическая возможность и экологическая эффективность вовлечения в эксплуатацию отходов добычи и переработки руд цветных и черных металлов Урала

3.1. Концептуальные вопросы изучения техногенных минеральных объектов и прогноз их формирования и комплексного освоения 101

3.2. Основные типы отходов и факторы, определяющие эффективность их вовлечения в эксплуатацию 112

3.3. Оценка запасов цветных металлов в техногенных образованиях Урала и возможные технологии их освоения 121

3.4. Экологические аспекты вовлечения в эксплуатацию техногенных источников сырья цветных металлов 129

3.5. Химический, вещественный и фракционный состав отходов добывающей промышленности 134

Глава 4. Создание минерально-сырьевых центров — основа освоения месторождений в сложных природно-климатических условиях

4.1. О необходимости комплексного решения проблемы освоения недр и территорий при вовлечении в эксплуатацию месторождений в сложных природно-климатических условиях 139

4.2. Особенности формирования горнопромышленных комплексов Дальневосточного и Уральского регионов 143

Глава 5. Инновационные технологические процессы

5.1. Научное обоснование разработки ресурсосберегающих технологий 163

5.2. Прогноз технологического развития в горнодобывающих отраслях промышленности 171

5.3. Краткая оценка инновационного потенциала основных процессов горного производства 180

5.4. Организация прикарьерной (внутришахтной) рудоподготовки сырья к обогащению 189

5.5. Раздельная добыча и переработка руд по типам, организация комплексной переработки 196

Глава 6. Формирование транспортных систем глубоких карьеров

6.1. Транспорт глубоких карьеров: история становления и развития 205

6.2. Основные факторы, учет которых необходим при формировании транспортных систем карьеров при освоении запасов глубокозалегающих сложноструктурных месторождений 217

6.3. Основные принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров 221
6.4. Формирование транспортной системы карьера на основе циклично-поточной технологии горных работ 228

Глава 7. ГИС технологии — инструмент для оценки и принятия решений

7.1. Горнодобывающее предприятие как объект моделирования 239
7.2. Общая последовательность создания геоинформационных моделей при решении комплексных задач горного производства 244
7.3. Прогноз качественных показателей добываемого сырья на основе геоинформационных технологий 252
7.4. Обобщенная структура пилотной геоинформационной модели «Комплексное освоение природного и техногенного сырья Урала» 260
7.5. Формализация процесса накопления, пополнения и корректировки данных в ГИС 267
7.6. Концепция создания геоинформационной подсистемы «Безопасность природо- и недропользования» 275

Глава 8. Обоснование стратегии освоения глубокозалегающих рудных месторождений инновационными эколого-ориентированными подземными геотехнологиями

8.1 Основные положения формирования геотехнологической стратегии освоения глубокозалегающих рудных месторождений подземным способом 285
8.1.1 Анализ условий и факторов, влияющих на формирование геотехнологической стратегии освоения месторождения 285
8.1.2 Основные принципы формирования геотехнологической стратегии 291
8.1.3 Основные направления развития подземной геотехнологии 294
8.1.4 Методология конструирования горнотехнических систем 303
8.2 Варианты геотехнологической стратегии и методика их выбора 304
8.2.1 Обоснование вариантов геотехнологической стратегии 304
8.2.2 Камерная система разработки при восходящем порядке освоения месторождений 311
8.2.3 Технологическая и конструктивная схемы комплексов подземного обогащения железных руд 316
8.2.4 Методика расчета параметров и показателей вариантов геотехнологической стратегии 322
8.3 Экономико-математическое моделирование и выбор оптимального варианта геотехнологической стратегии 327

8.3.1 Методика определения замкнутости ГТС 327
8.3.2 Методика выбора оптимального варианта геотехнологической стратегии по эколого-экономическому критерию 334
8.3.3 Технико-экономическая оценка и выбор оптимального варианта геотехнологической стратегии 335

Заключение 343

Список использованных источников 349

Введение

Новый этап развития горных наук, в том числе в методологии выполнения исследований, связан с изданием коллективной монографии «Освоение и сохранение недр Земли» [34], где систематизированы ресурсы недр Земли и приведена новая классификация горных наук как системы знаний об освоении и сохранении недр — сформированы 4 группы: горное недроведение, горная системология, геотехнология и обогащение полезных ископаемых. Для каждой группы даны названия входящих в нее научных дисциплин, определены объекты, цели и задачи горного производства и связанные с ними методы их исследования, а также перспективы развития при освоении недр Земли. Новые подходы к оценке состояния, проблем и перспектив развития горнодобывающих отраслей промышленности России и стран СНГ, методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов [147], геотехнологическая оценка минерально-сырьевой базы России, проблемы комплексного освоения месторождений [51] явились дальнейшим развитием методологических основ в публикациях этого периода. Уже тогда было ясно, что есть широкий круг проблемных вопросов, определяющих долговременную стратегию развития горного производства:

— разработка генеральных схем размещения и развития подотраслей горнодобывающей промышленности;

— этапность развития отдельных горнодобывающих и перерабатывающих предприятий;

— способы разработки конкретных месторождений, границы открытых и подземных горных работ;

— способы вскрытия месторождений и последовательность формирования их транспортных систем от начала и до конца разработки;

— системы и технологии горных работ дифференцированно для различных по глубине и физико-механическим свойствам горных пород зон и участков месторождений.

Для решения задач научно-технического прогресса такого уровня необходим переход на другой качественный уровень, на промышленные автоматизированные системы как в производственной сфере — в проектировании, планировании и управлении горными работами — так и в научных исследованиях, ибо месторождения и горные предприятия по их разработке являются сложными многофакторными эколого-технологическими комплексами, развивающимися в течение длительного времени (20–25 и более лет) в пространстве и во времени, и характеризующиеся

как объекты исследования управления большим массивом информации — геологической, геометрической, экологической, технической, технологической, экономической, находящихся в сложной взаимосвязи. Возрастает уровень и значимость математического моделирования, при котором вычислительную технику станет возможным рассматривать не только как эффективное средство многовариантных расчетов, но и как инструмент новой технологии научного исследования.

Современный этап развития горного дела характеризуется необходимостью создания технологий и техники для вскрытия и отработки глубоких горизонтов действующих горных предприятий и освоения новых месторождений, в том числе в северных регионах страны. 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. К середине 1970-х годов на большинстве глубоких карьеров железорудных горно-обогатительных комбинатов наметилось и стало увеличиваться отставание фактических объемов добычи и, особенно, вскрыши от проектных, возникли сложности со вскрытием глубоких горизонтов. Причин оказалось в основном две: несовершенство методов проектирования и отставание в развитии транспортных систем карьеров от необходимых темпов понижения горных работ с ростом глубины карьеров.

С началом перестройки в стране и последующим изменением социально-экономических условий, с переходом от плановой к рыночной экономике перед горной наукой и горным производством встали новые задачи. Публикации этого периода еще предлагали традиционное решение проблем, но уже был необходим новый методологический подход к освоению недр. Основным направлением развития горных наук является применение программно-целевых методов исследований на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности [148], с учетом особенностей формирования горнопромышленных комплексов в разных регионах страны (в частности Дальневосточного и Уральского [114, 141]). Новый подход необходим для обеспечения устойчивого развития горного производства.

В число актуальных направлений освоения недр входит исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при разработке инновационных технологий оценки, добычи и рудоподготовки минерального сырья. Переходными принято называть процессы, связанные с выполнением совокупности технологических, технических и организационных действий при изменении границ извлекаемых запасов, способа их добычи и переработки, параметров технологий, заменой технических средств, реконструкцией предприятия, модернизацией оборудования.

В народном хозяйстве России особое место Урала обусловлено комплексом природных и социально-экономических факторов. Наличие стратегических запасов железной и медной руды еще 300 лет назад предопределило специализацию уральской промышленности. Горно-металлургический комплекс был и является основой социально-экономического развития Уральского региона. Вместе с тем в результате интенсивной эксплуатации месторождений и сокращения, особенно в последние десятилетия, объемов геологоразведочных работ привело к тому, что на Урале образо-

вался дефицит многих видов минерального сырья. Следует отметить, что, несмотря на огромный в целом по России минерально-сырьевой потенциал, ряд крупных металлургических центров, прежде всего на Урале, испытывает недостаток в конкурентоспособном сырье, особенно железорудном. Проблему обостряет то обстоятельство, что в регионе сосредоточены основные мощности черной и цветной металлургии страны, а имеющаяся здесь рудно-сырьевая база только на треть обеспечивает текущий спрос. Так, по состоянию на 2016 г. потребность уральских металлургических заводов в железорудном сырье в 32,8 млн т лишь на 15,5 млн т удовлетворялась местными горнообогатительными предприятиями, 6,8 — завозилось из Казахстана, что исторически оправдано стратегией развития горно-металлургического комплекса СССР, 10,5 — из Центра, 1,3 — с Северо-Запада и 2,7 доставлялось на Урал из Сибири. При этом расстояние перевозок железорудного сырья достигает 2000–3000 км, медных руд и угля — 2000 км.

Подтверждением глобализации экономики и роли горного производства в социально-экономическом развитии страны могут служить сложившиеся связи поставщиков и потребителей железорудного сырья. Для уральского горно-металлургического комплекса представляется целесообразной экономически обоснованная замена дальнепривозного минерального сырья местным, в том числе с сопредельных северных территорий, и вовлечение в разработку ранее разведанных месторождений Среднего и Южного Урала.

На основе анализа исторического опыта развития научных идей и методологических подходов к обоснованию технологий и параметров горных работ с послевоенного до современного периода и по результатам фундаментальных и прикладных исследований ИГД УрО РАН по проектам программ Президиума РАН, Отделения наук о Земле РАН, Комплексной программы УрО РАН авторы излагают обоснование основных элементов инновационного базиса как научно-технологической основы современной стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья, отражающих существо современных воззрений на развитие горной науки, техники и технологии горного производства.

В книге изложены результаты фундаментальных исследований, выполняемых в ИГД УрО РАН по плану научных исследований № 0405-2015-0010 и № 0405-2015-0011 (руководители тем член-корр. РАН В.Л. Яковлев, проф., д.т.н. С.В. Корнилков); по проектам № 18-5-5-10 и № 18-5-2345-56 Комплексной программы УрО РАН (рук. проектов член-корр. РАН В.Л. Яковлев, проф., д.т.н. С.В. Корнилков).

Книга написана:

Введение, заключение, главы 1–7: член-корр. РАН В.Л. Яковлев, проф., д.т.н. С.В. Корнилков;

Глава 8 — д.т.н. И.В. Соколов.

В выполнении исследований и подготовке текста разделов глав соавторское участие принимали:

Глава 2:

Разд. 2.1–2.6 — к.т.н. В.Д. Кантемиров, научн. сотр. Р.С. Титов, научн. сотр. А.М. Яковлев;

Разд. 2.1, 2.2 — д.т.н. И.В. Соколов;

Разд. 2.3 — к.т.н. С.В. Исаков, к.т.н. А.Д. Стариков, к.т.н. О.В. Мусихина.

Глава 3:

Разд. 3.1–3.3 — д.т.н. О.В. Зотеев;

Разд. 3.3–3.5 — к.т.н. Н.Ю. Антонинова, к.г.-м.н. Л.С. Рыбникова, к.г.-м.н. П.А. Рыбников, к.э.н. Ю.О. Славиковская, научн.сотр. Л.А. Шубина.

Глава 4:

Разд. 4.1, 4.2 — д.т.н. И.Ю. Рассказов, д.т.н. Ю.А. Мамаев, д.т.н. А.П. Вае-Ван-Е, д.т.н. В.С. Литвинцев, вед.научн.сотр. Г.Ф. Склярова, д.т.н. Ю.В. Лаптев;

Разд. 4.3 — к.т.н. Н.Ю. Антонинова.

Глава 5:

Разд. 5.2, 5.3 – д.т.н. Г.Г. Саканцев, к.т.н. А.В. Яковлев, к.т.н. А.Г. Журавлев, к.т.н. Г.Д. Кармаев, к.т.н. В.А. Берсенев, к.т.н. Р.И. Сухов, к.т.н. В.Г. Шеменев, д.т.н. И.В. Соколов, д.т.н. И.Л. Кравчук;

Разд. 5.4, 5.5 — к.т.н. В.Д. Кантемиров, д.т.н. Ю.В. Лаптев, ст. научн. сотр. А.М. Яковлев, ст. научн. сотр. Р.С. Титов, к.т.н. Ф.Ф. Борисков.

Глава 6:

Разд. 6.2, 6.3 — к.т.н. А.Г. Журавлев, научн.сотр. В.А. Яковлев;

Разд. 6.4 — к.т.н. Г.Д. Кармаев, к.т.н. В.А. Берсенев.

Глава 7:

Разд. 7.2 — к.т.н. С.В. Исаков, к.т.н. А.Д. Стариков, к.т.н. О.В. Мусихина, ст.научн. сотр. А.М. Яковлев;

Разд. 7.3 — ст.научн.сотр. А.М. Яковлев, д.т.н. В.М. Аленичев, д.т.н. Ю.В. Лаптев;

Разд. 7.4 — к.г.-м.н. П.А. Рыбников, к.г.-м.н. Л.С. Рыбникова;

Разд. 7.5 — к.г.-м.н. П.А. Рыбников, ст. научн. сотр. А.М. Яковлев, научн. сотр. А.С. Ведерников;

Разд. 7.6 — к.т.н. А.А. Панжин, научн. сотр. А.С. Ведерников.

Глава 8:

Разд. 1.2 — к.т.н. Ю.Г. Антипин;

Разд. 2.3 — к.т.н. А.А. Смирнов, к.т.н. Н.В. Гобов, инж. И.В. Никитин, инж. Ю.М. Соломеин.

Глава 1. Методологические проблемы стратегии освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений

1.1. Развитие научных идей и методологических подходов к обоснованию технологий и параметров горных работ

За более чем 300-летний период развития горного дела в России наибольший интерес для изучения исторического опыта развития научных идей, методологических подходов к обоснованию технологий, параметров горных работ и стратегии освоения недр представляет 50–70-летний период перехода от ручных и фрагментарно механизированных технологий до современных горно-обогатительных комбинатов с полным циклом технологических процессов комплексно механизированного и автоматизированного производства, а также фактические параметры и технико-экономические показатели горных предприятий России и стран СНГ [123].

Безусловно, к числу основополагающих фундаментальных исследований, положивших начало обоснования проблем горных наук, следует отнести труды академиков Л.Д. Шевякова [138], М.И. Агошкова [10,11], Н.В. Мельникова [69], Н.Н. Мельникова [72], В.В. Ржевского [108,109], проф. Е.Ф. Шешко [139], охватывающие значительный период становления и развития горного дела и наук начала и середины XX века.

При обосновании развития открытых горных разработок вформирование основ теории проектирования карьеров, систематизацию способов вскрытия и систем разработки, создание классификаций структур комплексной механизации решающий вклад также внесли М.Г. Новожилов [82,83], А.И. Арсентьев [13,14], В.С. Хохряков [131–133] и многие их ученики и последователи.

В таблице 1.1 в хронологическом порядке приведены этапы развития горнодобывающих отраслей промышленности и основных направлений научных исследований, которые были наиболее актуальны и соответствовали целям проектирования, строительства и эксплуатации шахт, рудников и карьеров, горно-обогатительных комбинатов.

В 1945–1960 гг. были разработаны методы определения производительности рудников, основы теории проектирования угольных шахт, вскрытия и систем открытой разработки месторождений полезных ископаемых [139]. Уже в этот период решались вопросы разработки железных руд сложного состава, что послужило в дальнейшем основой развития важного направления — селективной разработки и усреднения руд и весьма важным вкладом явились работы П.Э. Зуркова [39] и П.П. Бастана [15,16]. Хотя глубина действовавших карьеров была еще, по современным представлениям,

Таблица 1.1

Этапы развития технологий и методологии освоения недр России и стран СНГ

Годы	Особенности этапов развития горного дела	Основные направления научных исследований
1945–1960 гг.	Послевоенный период восстановления и развития народного хозяйства	Научные основы проектирования и строительства комплексно- механизированных предприятий
1960–1975 гг.	Интенсивное развитие открытых горных разработок, строительство крупных горно-обогатительных комбинатов для обеспечения сырьем заводов черной и цветной металлургии, строительство угольных разрезов большой мощности	Научное обоснование приоритетного развития открытых разработок, зарождение методов экономико-математического моделирования, ЭВМ для планирования и управления производством на карьерах
1975–1987 гг.	На основе анализа опыта эксплуатации ГОКов установлено отставание фактических объемов добычи и вскрыши от проектных	Необходимость новых подходов к исследованию, проектированию и планированию горных работ, схем вскрытия, систем разработки, формированию транспортных систем карьеров с учетом роста их глубины
1987–1996 гг.	Изменение социально-эконо-мических условий. Переход от плановой к рыночной экономике. Резкое снижение объемов добычных и вскрышных работ	Необходимость разработки принципиально новых подходов к исследованию и решению проблем горного производства
1997–2010 гг.	Восстановление объемов добычи полезных ископаемых на действующих ГОКах. Дефицит рудного сырья на Урале и необходимость завоза товарной руды на металлургические предприятия из других регионов	Новый этап в развитии горных наук – «Освоение и сохранение недр». Классификация горных наук
С 2010 г.	Освоение глубоких горизонтов на действующих горных предприятиях и новых месторождениях, в том числе в северных регионах УрФО и ДФО	Программно-целевые методы исследований на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности

незначительной, вопросы устойчивости бортов карьеров послужили темой докторских диссертаций М.Г. Новожилова и С.И. Попова, а в дальнейшем проблема оценки и обеспечения устойчивости бортов глубоких карьеров вошла в разряд наиболее актуальных.

1960–1975 гг. характеризуются интенсивным приоритетным развитием открытых горных разработок. С ростом глубины карьеров одной их важнейших стали проблемы транспорта, в том числе автомобильного [22], и основы поточной технологии [69]. Своевременной стала публикация «Глубокие карьеры» [82], в которой впервые было дано обоснование понятия глубокий карьер, в дальнейшем этот термин видоизменялся и дополнялся и авторами других публикаций [24,71]. М.В. Васильевым [22–24] не только обоснована необходимость самостоятельного научного направления карьерный транспорт, но и координировались усилия специалистов научных и проектных институтов и вузов горного профиля, представителей горных пред-

приятий, заводов горного и транспортного машиностроения по широкому кругу проблем карьерного транспорта. Значительный вклад в решение данный проблемы внесли А.О. Спиваковский [121], М.Г. Потапов [101], Ю.И. Анистратов, В.Л. Яковлев [153,156,157] и многие другие исследователи.

К началу 1960-х годов относится зарождение методов экономико-математического моделирования и применения ЭВМ первых поколений. Н.В. Мельников указывал, что эффективное использование капитальных вложений при строительстве крупных горно-обогатительных комбинатов черной и цветной металлургии и разрезов в угольной промышленности возможно только в том случае, если принимаемые при проектировании решения будут оптимальными, чего можно достичь, применяя методы экономико-математического моделирования. В Москве центром развития этого нового направления были Московский горный институт (МИРГЭМ) и ИГД им. А.А. Скочинского, а в Свердловске — СГИ и ИГД УФАН СССР (с 1965 г. ИГД МЧМ СССР).

В эти годы с использованием методов линейного программирования и ЭЦВМ были рассмотрены вопросы планирования горно-транспортных работ на карьерах, проектирования, планирования и управления производством посредством ЭВМ [105]. Важным вкладом явились работы [69,70,72,83].

К середине 1970-х годов Н.В. Мельниковым были выделены главные тенденции развития карьерных технологий, характерных для того периода, в том числе:

— комплексная механизация горных работ и оптимизация параметров оборудования;

— преобладающее применение транспортных систем разработки;

— увеличение объема перевозок комбинированными видами транспорта;

— увеличение доли циклично-поточной технологии (ЦПТ) при разработке скальных пород с применением автомобильно-конвейерного транспорта и самоходных забойных дробильных агрегатов.

Существенный вклад в обоснование целесообразности применения циклично-поточной технологии при отработке месторождений на большой глубине и большой производительности внесли К.Е. Виницкий [26], Б.В. Фаддеев, М.В. Васильев [23], А.Н. Шилин и другие ученые, однако, к сожалению, широкого распространения на карьерах России, Украины и Казахстана ЦПТ не нашла, хотя объективных причин этого не было.

В этот период исследования многих научных школ были направлены на создание мощной прогрессивной техники; решение проблем разрушения горных пород; внедрение поточной и циклично-поточной технологии; создание новых видов транспорта и подъема; создание новых методов расчета и управления откосами бортов; обеспечение надлежащих параметров воздушной среды в карьерах; решение технологических задач комплексного использования ископаемых и уменьшения их потерь и др.

В эти годы резко возрос масштаб работ как в целом по горно-добывающим отраслям, так и по отдельным карьерам. Так, в железорудной промышленности вошли в эксплуатацию и интенсивно развивались такие крупные карьеры, как Соколовский и Сарбайский в Казахстане, Первомайский, Анновский и Ингулецкий на Украине, Качканарский на Урале, Лебединский, Михайловский и Стойленский в КМА, Оленегорский и Ковдорский на Кольском полуострове, Коршуновский в Сибири.

Произошло техническое перевооружение карьеров: на погрузке горной массы наряду с ЭКГ-4 начали применяться экскаваторы ЭКГ-8, на железнодорожном транспорте осуществлялся переход на электротягу, налажен серийный выпуск автосамосвалов БелАЗ-540. Глубина карьеров была относительно небольшой, ее отрицательное воздействие на усложнение работы транспорта и ухудшение технико-экономических показателей не проявлялось.

На большинстве глубоких карьеров железорудных горно-обогатительных комбинатов наметилось и возрастало отставание фактических объемов добычных и, особенно, вскрышных работ от проектных, возникли сложности со вскрытием глубоких горизонтов. Предстояло выяснить причины этих явлений, их оказалось в основном две: несовершенство методов проектирования и отставание в развитии транспортных систем от необходимых темпов понижения горных работ с ростом глубины карьеров.

Действовавшие в то время методические подходы к решению технологических задач сводились к тому, что в большинстве проектов оценки вариантов осуществлялись «статически» — исходя из минимума приведенных затрат на расчетный год, а не во времени. При поэтапной разработке месторождений поэтому решение основных вопросов горной части проекта недостаточно увязывалось с развитием горных работ, а динамика вскрытия глубоких горизонтов на конец разработки в большинстве случаев даже не рассматривалась, как и вопросы перехода к очередному этапу ведения горных работ. Решению этих проблем, оценке состояния производства того периода, а также проблемы транспорта для глубоких карьеров как необходимой основы эффективной разработки глубокозалегающих месторождений были посвящены труды [14,157].

В период, соответствовавший началу перестройки, прогноз показывал, что развитие горного производства на ближайшие 15–20 лет будет характеризоваться следующим:

1. Относительной стабильностью объемов и размещения основных объектов горного производства. Однако в связи с необходимостью существенного повышения его эффективности потребуется интенсификация, увеличение производительности труда в 2–3 раза и снижение удельных затрат на единицу конечной продукции. К сожалению, этот прогноз не оправдался.

2. Существенным возрастанием актуальности рационального использования минеральных ресурсов и охраны окружающей среды, освоением техногенных месторождений, комплексным использованием недр. Реализация этих прогнозов оказалась сдвинутой на 20 лет по совокупности причин политического и социально-экономического характера.

Для интенсификации и повышения эффективности горного производства был необходим переход на уровень наукоемкого производства. При этом было выделено две группы научных проблем: во-первых, совершенствование отдельных технологических процессов и, во-вторых, выбор стратегии развития горного производства, способов вскрытия месторождений и систем их разработки в условиях непрерывного увеличения глубины карьеров и шахт.

С началом перестройки и последующим изменением социально-экономических условий хозяйствования перед горной наукой и горным производством сформулированы новые задачи, и, хотя публикации этого периода еще предлагали пути реше-

ния проблем открытых и подземных разработок [44,62], необходимым был новый методологический подход.

Новый этап развития горных наук, в том числе методологии выполнения исследований, связан с изданием коллективной монографии «Освоение и сохранение недр Земли» [34]. Монографией обоснована новая классификация горных наук, в которой были систематизированы ресурсы недр Земли, приведена новая классификация горных наук как системы знаний об освоении и сохранении недр, объединенных в 4 группы: горное недроведение, горная системология, геотехнология и обогащение полезных ископаемых. Для каждой группы сформулированы названия входящих в нее научных дисциплин, объекты,цели и задачи горного производства и связанные с ними методы их изучения и исследования, а также перспективы их развития при освоении недр Земли.

Новые подходы к оценке состояния, проблем и перспектив развития горнодобывающих отраслей промышленности России и стран СНГ, методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов [146,147,149,151], геотехнологическая оценка минерально-сырьевой базы России, проблемы комплексного освоения месторождений [51] явились дальнейшим развитием методологических основ в публикациях этого периода. Но уже тогда было ясно, что есть широкий круг проблемных вопросов, определяющих долговременную стратегию развития горного производства:

— разработка генеральных схем размещения и развития подотраслей горнодобывающей промышленности;

— этапность развития отдельных горнодобывающих и перерабатывающих предприятий;

— способы разработки конкретных месторождений, границы открытых и подземных горных работ;

— способы вскрытия месторождений и последовательность формирования их транспортных систем от начала и до конца разработки;

— системы и технологии горных работ, дифференцированно для различных зон по глубине и физико-механическим свойствам горных пород и участков месторождений.

Для решения такого уровня задач научно-технического прогресса необходим переход на новый качественный уровень, на промышленные автоматизированные системы как в производственной сфере — в проектировании, планировании и управлении горными работами, так и в научных исследованиях, ибо месторождения полезных ископаемых и горные предприятия являются сложными многофакторными эколого-технологическими комплексами, развивающимися в течение длительного времени (20–25 и более лет) в пространстве и во времени, и характеризующиеся как объекты исследования управления большим массивом информации — геологической, геометрической, экологической, технической, технологической, экономической, находящихся в сложной взаимосвязи. Возрастает уровень и значимость математического моделирования, при котором вычислительную технику станет возможным рассматривать не только как эффективное средство многовариантных расчетов, но и как инструмент новой технологии научного исследования.

Современный этап развития горного дела характеризуется необходимостью создания технологий и техники для вскрытия и отработки глубоких горизонтов

действующих горных предприятий и освоения новых месторождений, в том числе в северных регионах страны.

На основании выполненных комплексных исследований следует отметить тот факт, что целевое планирование развития горно-металлургического комплекса УрФО и системный прогноз технологических и экологических последствий развития железорудной базы уральских металлургических предприятий следует связывать с отработкой титано-магнетитовых руд.

Одним из основных направлений исследований является обоснование технологий комплексного освоения месторождений, изучение особенностей формирования региональных горнопромышленных комплексов, нового подхода к обеспечению устойчивого развития горного производства [130], разработка новых методов эффективного и экологически безопасного освоения природных и техногенных месторождений Урала [80].

К числу актуальных направлений дальнейших исследований следует также отнести изучение переходных процессов и учет закономерностей их развития при разработке инновационных технологий оценки, добычи и предварительной рудоподготовки минерального сырья.

Совершенствование параметров технологических процессов горного производства и стабилизации его показателей с ростом глубины карьеров при ухудшении условий эксплуатации прежде всего обеспечивается за счет технического перевооружения и модернизации геотехники, обеспечивающей энерго- и ресурсосбережение. При этом следует исходить из тенденций целенаправленной типизации технологических схем и производственных процессов, ориентированных на наибольшее соответствие реальным горно-геологическим и горнотехническим условиям ведения работ, т.е. использовать специализированные горные комплексы.

На большинстве действующих предприятий с открытым способом разработки глубокозалегающих месторождений руд черных и цветных металлов, горнохимического сырья, угля, алмазов освоение глубоких горизонтов пойдет тремя путями:

— вскрытие глубоких горизонтов с формированием крутых углов откоса уступов и бортов карьеров, применением специальной горной и транспортной техники, повышенными до 20–30° уклонами транспортных коммуникаций и т.п.;

— переход на подземные горные работы с возможным использованием транспортного комплекса и вскрывающих выработок карьера;

— комбинированная разработка глубоких горизонтов с одновременным ведением открытых и подземных горных работ с различными вариантами взаимного использования транспортных коммуникаций и выработанных пространств для складирования вскрышных пород.

Удорожание природного сырья, а также ухудшение качества полезного ископаемого в недрах приводит к тому, что вовлечение в разработку некондиционного сырья и бедных руд становится экономически целесообразным. Возобновлена, например, отработка ранее списанных запасов Алапаевского хромитоносного массив, а также бедных титан-циркониевых песков.

Компенсация ухудшения качества минеральных ресурсов недр и повышение степени использования забалансовых руд могут быть достигнуты организацией рудоподготовки на местах ведения горных работ, которая значительно уменьшает

риски реализации инвестиционных проектов за счет общего снижения совокупных эксплуатационных затрат, обеспечивающегося улучшением логистической составляющей перемещаемых и перерабатываемых объемов горной массы, а также некоторым сокращением капиталоемкости горно-обогатительного производства.

В качестве основного принципа размещения рудоподготовительного комплекса как звена, повышающего эффективность переработки сырой руды, следует предусматривать его максимальное приближение к местам выемки. Для карьеров — размещение в прибортовой зоне или в непосредственной близости к отвалам пустых пород, для подземных рудников — организация подземных рудоподготовительных комплексов. Изменение порядка образования и мест складирования отходов предварительной рудоподготовки приводит к сокращению общего объема перевозок и перегрузок руды, а также уменьшению нагрузки на ДОФ, что ведет к существенному снижению уровня загрязнения атмосферы.

Применительно к уральскому региону развитие научных исследований связано прежде всего с необходимостью поддержания минерально-сырьевой базы промышленности, что влечет за собой:

— освоение месторождений газа и нефти и расширение инфраструктуры этих регионов в комплексе с организацией или расширением добычи других видов минерального сырья, в частности строительных материалов;

— изменение требований к увеличению добычи металлов и легирующих добавок в связи с начавшейся модернизацией промышленности (металлургии, машиностроения, транспорта и т.п.), связанной с техническим перевооружением ряда отраслей;

— необходимость кооперации при добыче и поставках определенных видов традиционно потребляемого на Урале минерального сырья — железных, марганцевых и хромитовых руд, энергетического и коксующегося угля и пр., так как в регионе отмечается их дефицит;

— выполнение комплекса работ, связанных с расширением или поддержанием сырьевой базы уральской промышленности, поскольку подготовленные к промышленной эксплуатации запасы некоторых полезных ископаемых, в частности медных руд, значительно сокращаются.

Современный этап развития добывающих отраслей уральской промышленности требует:

— поддержания и развития минерально-сырьевой базы перерабатывающих предприятий;

— концентрации сил и средств при реализации стратегических задач комплексного развития новых территорий, в том числе в сложных природно-климатических условиях;

— кооперации регионов в целях развития приоритетных направлений промышленной и экономической политики.

Для этого необходима разработка стратегии ускоренного освоения неосвоенных территорий, основанное на опережающем ускоренном комплексном геологическом изучении и разведке месторождений твердых полезных ископаемых, углей, редких земель, драгоценных и благородных металлов и пр.

Минерально-сырьевая база уральских предприятий не истощается, она или недоразведана, или не обеспечена современной проектной документацией, или нуждается в совершенствовании технологии добычи и переработки. Геологическая

изученность ряда уральских регионов, в основном северных и приполярных, явно недостаточна для дальнейшего их промышленного освоения. Большинство технико-экономических предложений на стадии конкурсов на получение лицензий на право пользования недрами и бизнес-планов предполагаемого финансирования разработки основываются на запасах категории С2 или, в большей мере — прогнозных ресурсах. Фактически на порядок возрастает и риск освоения таких минеральных объектов.

Нуждаются в совершенствовании подходы к эксплуатации месторождений, характеризующиеся прежде всего переходом от экстенсивных технологий использования недр к интенсивным, комплексным.

Увеличение глубины разработки и ухудшение горнотехнических условий влечет за собой необходимость компенсации увеличения непроизводительных потерь используемых ресурсов. При ведении горных работ на больших глубинах резко снижается эксплуатируемая площадь залежи, что обусловлено необходимостью размещения вскрывающих выработок в карьерном пространстве, возрастают потери рабочего времени оборудования, энергия на вскрытие и подготовку новых горизонтов, эксплуатационные потери и разубоживание. Это требует, прежде всего, специальных технологий ведения горных работ в стесненных условиях. В связи с этим необходимо продолжать для большинства горнодобывающих предприятий комплекс исследований по управлению параметрами рабочей зоны карьеров и применению новых технологических схем ведения горных работ, повышающих степень их концентрации. Кроме того необходима технолого-экономическая переоценка запасов и пересмотр границ отработки многих месторождений.

Опыт экспертизы планов и проектов в части потерь и разубоживания при добыче твердых полезных ископаемых свидетельствует о том, что нормативная база их обоснования, а также законодательная база, регламентирующая порядок и условия недропользования, требуют совершенствования и обновления в связи с изменившимися экономическими условиями, поскольку в совокупности не стимулируют наибольшей полноты извлечения из недр, а в ряде случаев являются тормозом вовлечения некондиционных и забалансовых запасов руд в разработку.

Использование компьютерных технологий при планировании и проектировании горных работ является одним из определяющих технических факторов повышения надежности и экономической эффективности принимаемых решений. Необходимость совершенствования методики компьютерного проектирования горных работ, программных средств и технологии комплексных автоматизированных расчетов при комплексном освоении недр уже доказана. С этих позиций необходимы обоснование и разработка: компьютерных экспресс-технологий для геолого-технологической и эколого-экономической оценки минерально-сырьевой базы; региональных мониторинговых баз данных и разветвленной сети ГИС горных предприятий; технолого-экономических моделей оценки рисков и прогноза региональных и локальных стратегий развития горных предприятий и горнодобывающей промышленности.

1.2. Методологические особенности решения проблем освоения недр на современном этапе

Минерально-сырьевой потенциал России оценивается как достаточный для проведения независимой и эффективной экономической политики и обеспечения национальной безопасности. Россия сегодня — это 2,6 % населения Земли, 12,5 % суши континентов, 30 % шельфовых акваторий, 22 % лесных ресурсов, 20 % запасов пресных вод, 16 % всех минерально-сырьевых ресурсов мира. Россия среди 10 стран-лидеров по добыче минерального сырья; ее доля в мировых запасах: алмазы — 45%, газ — 32, калийные соли — 31, железо — 26, кобальт — 21, уголь — более 17, цинк — 13, нефть — 13, свинец — 10.

Несмотря на периодически происходящие в мире и в России экономические кризисы, спады производства, в обозримом историческом развитии цивилизации сохраняются тенденции непрерывного роста объемов производства и потребления минерально-сырьевых ресурсов. У нас наиболее ощутимый спад объемов горного производства происходил в начале 90-х годов XX столетия, а в первом десятилетии XXI по большинству видов минерального сырья достигнут уровень 1990 года — периода наивысших достигнутых показателей горнодобывающей промышленности в Советском Союзе и в России.

Освоение недр, в частности разработка месторождений полезных ископаемых, связано с необходимостью учета не только закономерностей развития горного производства, но и особенностей минерального состава и особенностей добываемых руд. Континентальная часть земной коры, являющаяся источником всех видов минерального сырья, представлена практически всем набором химических элементов с различным фоновым содержанием (*рис.1.1*), но все они находятся в связном агрегатном состоянии.

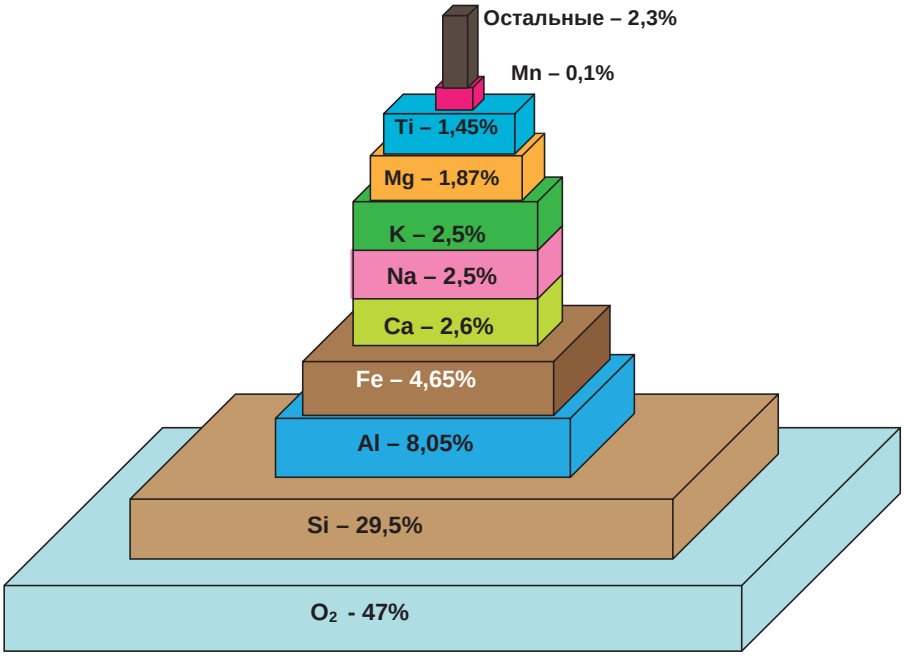


Рисунок 1.1. Распределение химических элементов в земной коре

Все черные и цветные металлы окислены, поэтому созданные природой месторождения являются, как правило, комплексными и обладают уникальными свойствами и параметрами по масштабам запасов полезных ископаемых, форме и виду залегания продуктивных рудных тел и пластов, физико-механическим свойствам слагающих их минералов и вмещающих пород, природно-климатическим условиям районов их размещения. Все эти особенности требуют детального изучения минерального вещества, так как от разведанных, подсчитанных и утвержденных запасов до получения товарной продукции ему предстоит пройти длинный и сложный путь (*рис.1.2*) [147].

В настоящее время из недр извлекается около 200 видов полезных ископаемых, объединяемых, согласно геолого-экономической классификации минерального сырья, в 8 групп и 35 подгрупп. В структуре общей стоимости добываемого ныне минерального сырья на первом месте стоит топливно-энергетическое сырье (около 70 %), на втором — цветные, на третьем — черные металлы. Особенности условий развития горнодобывающей отрасли обусловлены главным образом ценностью и востребованностью объекта освоения, многообразием природных условий районов расположения месторождений, состоянием экономики, науки и техники страны [17]. При освоении недр необходимо исходить из следующих постулатов:

1. Запасы конкретных месторождений полезных ископаемых исчерпаемы и невозобновимы.

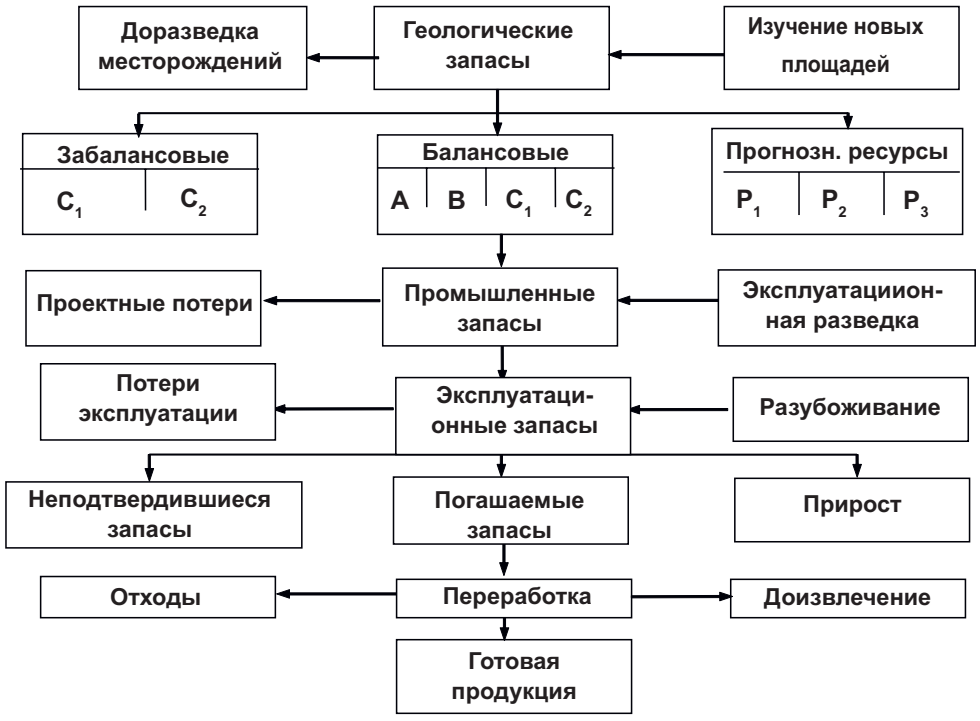


Рисунок 1.2. Структура разведуемых и погашаемых запасов

2. Месторождения минерального сырья являются комплексными, поэтому при их геолого-технолого-экономической оценке, проведении научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ, принятии решений о целесообразности и очередности отработки, а также обосновании интенсивности и сроков их разработки, выборе способов производства горных работ в обязательном порядке должна учитываться возможность комплексного извлечения полезных компонентов из добываемого минерального сырья.

3. Технологические свойства, а, соответственно, и условия переработки минерального сырья во многом индивидуальны [17].

В настоящее время в народном хозяйстве добывается и используется более 200 видов полезных ископаемых, каждое из которых по своим технологическим свойствам классифицируется еще на 5–15 типов. Технологические свойства минерального сырья в основном определяются химическим и минеральным составом, гранулометрией основного и попутных ценных минералов, характером срастаний и прорастаний рудных и нерудных минералов, балансом минералов и элементов в целом, наличием и характером вредных примесей в рудных минералах, прочностью и различием прочности рудных и нерудных минералов, большой гаммой их физических свойств, текстурой и структурой руд.

4. Распределение разных видов топливно-энергетических и минеральных ресурсов по территориям и регионам неравномерно. Примерами могут быть следующие данные (по состоянию на 1986 г.): СССР, США, Канада, Австралия и ЮАР обладают более чем четвертью мировых ресурсов важнейших видов минерального сырья (кроме нефти, вольфрама и олова); более 80 % добычи нефти приходится на СССР, США, Иран, Саудовскую Аравию, Мексику, Ливию, Венесуэлу; добыча каменного угля производится в 60 странах, однако более 80 % добычи приходится на СССР, США, КНР, ПНР, ФРГ; добыча меди ведется почти в 50 странах, но более 70 % добычи приходится на 5 стран; в 20 месторождениях мира заключено более 80 % разведанных запасов молибдена; в весьма крупных месторождениях, составляющих всего 5 % общего количества оловорудных месторождений, сосредоточено 42 % олова.

5. Природные условия разработки одноименного минерального сырья разнообразны, а природная изменчивость геологических параметров в пределах даже одного месторождения достаточно высока. Иллюстрацией этой особенности могут быть диапазоны изменения различных природных факторов: климата региона, рельефа местности, глубины залегания, мощности угольных пластов или рудных тел, обводненности и др. С другой стороны, каждому месторождению присущи закономерная и случайная зональность общего баланса минералов, высокая неравномерность их содержаний и гранулометрического состава от сплошных до тонковкрапленных руд, которые связаны между собой сложными взаимопереходами.

6. Горное производство характеризуется многопроцессностью и рассредоточенностью в пространстве и времени, а также относительной нестационарностью активной части основных фондов.

7. Обеспечение заданного объема выпуска продукции имеет достаточно большое число альтернативных способов и источников.

8. Информация о месторождении по мере его освоения нарастает, а основные решения, принятые ранее в условиях неопределенности данных, периодически корректируются и видоизменяются.

Таким образом, развитие горнодобывающей промышленности объективно обусловлено законами развития природы и общества, общими закономерностями развития научно-технического прогресса, а также особенностями распределения и концентрации минерального сырья в недрах планеты. При этом основными тенденциями развития горного производства являются:

1. Рост объемов добычи полезных ископаемых.

2. Рост глубины разработки месторождений полезных ископаемых.

3. Ухудшение естественных и горно-технических условий функционирования технологических процессов добычи и переработки минерального сырья вследствие уменьшения среднего содержания полезных компонентов в добываемом сырье, роста глубины разработки и пр.

4. Опережающий рост извлекаемых из недр объемов горной массы по сравнению с ростом объемов основного конечного продукта.

5. Повышение доли попутных компонентов в общей ценности минерального сырья и рост доли комплексных месторождений.

6. Расширение и смена номенклатуры источников минерального сырья и направлений его использования.

7. Решающая зависимость технико-экономических показателей работы горных предприятий от природных условий разработки.

8. Изменение характера взаимодействия горного дела и естествознания под воздействием научно-технического прогресса.

9. Необходимость комплексного использования добываемого сырья и сложность реализации этого важного источника минеральных ресурсов вследствие имевшего место долгие годы отраслевого подхода к освоению недр, когда все технологические процессы от забоя до товарной продукции горно-обогатительных комбинатов были нацелены на извлечение основного полезного компонента (железа, меди, асбеста и др.).

Что касается вовлечения в эксплуатацию новых месторождений, то это связано с решением ряда проблем, связанных с более сложными условиями вследствие:

— природно-климатических факторов, особенно при создании горнопромышленных комплексов в Северных и Полярных регионах;

— удаленности от транспортных магистралей и источников энергоснабжения и др.;

— отсутствия развитой инфраструктуры и действующих в регионе промышленных, в том числе горнодобывающих предприятий, опыт и кадры которых способствовали бы сокращению сроков и эффективности освоения новых месторождений.

Учитывая, что ранее освоенные месторождения имели наиболее благоприятные горно-геологические и горно-технические условия их разработки, ввод новых месторождений связан, как правило, с необходимостью решения более сложных задач по вскрытию и системам разработки, выбору порядка развития рабочей зоны и режима горных работ, методов селективной разработки и усреднения руд и др.

В современных условиях методологический подход, как совокупность методов, обеспечивающих решение разнообразных задач расширения и поддержания минерально-сырьевой базы, когда от научных организаций требуется создание научного базиса для значительного роста экономического благосостояния страны, в значительной мере совершенствуется и видоизменяется. Исследования характери-

зуется укрупнением тематики, концентрацией усилий на наиболее актуальных научных направлениях, применением конкурсного принципа отбора научных коллективов.

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 [148].

Реализация этих новых подходов нашла отражение в разрабатываемой технологической платформе «Твердые полезные ископаемые» [18], интегрированный предмет деятельности которой представлен на рис.1.3.

Принцип системности наиболее эффективно реализуется в тех случаях, когда ставится задача развития большого региона — Якутии, Полярного и Приполярного Урала, Дальнего Востока и т.д.; отрасли — развития машиностроения, расширения производства легированных сталей, титана, редкоземельных элементов и пр.;

Рисунок 1.3. Интегрированный предмет деятельности технологической платформы «Твердые полезные ископаемые»

объединений и холдингов — расширения или поддержания сырьевой базы, диверсификации производства, выпуска новой продукции предприятия, как природной организационно-технологической системы и т.п.

Использование программно-целевых методов вкупе с предлагаемым методологическим подходом применительно к разработке теоретических основ стратегии освоения и комплексного использования минеральных ресурсов может быть представлено в виде следующей взаимосвязанной совокупности научных дисциплин:

— разработка теоретических основ стратегии освоения и комплексного использования минеральных ресурсов с учетом мировых тенденций производства и потребления в условиях критической экологической обстановки и дефицита минерального сырья;

— изучение основных закономерностей физических и химических процессов разделения и извлечения полезных компонентов из природных и техногенных месторождений;

— оптимизация параметров горнотехнических систем, изучение природных явлений и поведения горных объектов при освоении недр как информационных процессов;

— развитие теоретических основ и методологии стратегии экологической безопасности при отработке месторождений полезных ископаемых;

— прогнозно-динамическое моделирование пространственно-временной динамики состояния компонентов природно-техногенных комплексов, формирующихся на нарушенных горными работами территориях, с оценкой эколого-экономического риска;

— экспериментальные исследования современных биотехнологий реабилитации нарушенных экосистем;

— развитие теоретических основ и методологии проектирования социальноориентированных горнотехнических систем.

При этом результаты исследований при разработке стратегии ускоренного поэтапного освоения недр должны реализовать методику ускоренного комплексного изучения и разведки месторождений; экспрессную геолого-технолого-экономическую оценку горнотехнических возможностей каждого рудного района; создание системы геоинформационного обеспечения с целью моделирования месторождений и программных комплексов для решения технологических, технических, экологических, экономических и других задач проектирования и планирования горных работ; достижение приоритетности целей сокращения численности работающих за счет повышения производительности труда и отказа от непрофильных и вспомогательных производств.

Задача выбора стратегии освоения недр должна решаться на нескольких иерархических уровнях (*табл.1.2*) 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.

Используемый при исследованиях принцип инновационной направленности, тесно связанный с их системностью и комплексностью, позволил сформулировать общий методический подход к формированию стратегии поддержания и развития минерально-сырьевой базы крупных горнодобывающих предприятий [80,130]. При-

Таблица 1.2

Основы, цели и задачи выбора стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов.

Основа	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 и комплексных механизмов рационального недропользования (Закон о недрах); • разработка стратегии сырьевого обеспечения страны с учетом основных тенденций развития мировой экономики • выработка долгосрочной политики развития страны, регионов, отраслей (государственные программы, национальные проекты)
Федеральный округ • роль и место округа в долгосрочной программе социально-экономического развития страны; • существующие и перспективные хозяйственные связи между субъектами федерации	• концепции развития горно-промышленного, 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 экономического развития субъектов региона и межсубъектных хозяйственных связей	
Субъект • долгосрочная программа социально-экономического развития; • сложившаяся структура производства; • ресурсный потенциал; • состояние и перспективы развития основных отраслей производства	
Недропользователь • стратегия присутствия на рынке, долгосрочная программа развития и поддержания сырьевой базы; • наличие лицензий на право разработки месторождений; • финансовые возможности; • нормативно-законодательные акты о недропользовании, безопасности эксплуатации недр и охране окружающей среды	• эффективная разработка месторождений (бизнес-планы, проекты, планы развития)

менительно к действующим предприятиям предусматривается следующая научно-методическая постановка решения проблем их развития:

1. Разработка долгосрочной стратегии инновационно-технологического развития, включающей решение комплексных задач:

— анализа горно-геологической информации об объемах, качестве и пространственном расположении оставшихся запасов основных и попутных полезных компонентов;

— обоснования кондиций с учетом уточненных качественных признаков добываемого сырья и конъюнктуры отечественного и мирового рынка на товарную продукцию;

— уточнения границ открытых и подземных горных работ и их последовательного, параллельного или комбинированного применения;

— обоснования объемов добычи и номенклатуры товарной продукции, как основы для выработки и принятия управленческих воздействий в технологическом и организационно-экономическом развитии на краткосрочную и долгосрочную перспективу.

2. Выработка подходов к развитию технологии горного производства, включая:

— исследование режима горных работ в увязке с порядком их развития и формированием рабочей зоны (очистного пространства), обеспечивающим предпосылки для управления качеством добываемого сырья;

— аудит и анализ структуры парка оборудования и на их основе — модернизацию действующих, а также создание и применение новых машин и механизмов;

— целевую оптимизацию параметров технологических процессов и их взаимодействие применительно к конкретным, специфичным условиям функционирования.

3. Разработка комплекса организационно-экономических мероприятий и управленческих воздействий с целью выхода из кризисных ситуаций или их предотвращения, в том числе:

— обоснование способов резервирования и управления ресурсами предприятия всех видов (товарная продукция, финансы, оборудование, материалы и т.п.);

— ситуационный технико-технологический анализ организационной структуры горного производства и поиск «узких мест», сдерживающих снижение текущих издержек или повышение доходности, а также обеспечивающих безопасность ведения работ;

— комплексный анализ управленческих решений и системная увязка элементов и подсистем горного предприятия как организационно-экономической и финансовой системы и пр.

Вышеизложенные проблемно-ориентированные целевые подходы позволили определить основные направления инновационного развития уральских градообразующих горнодобывающих предприятий. В числе указанных путей — необходимость расширения МСБ предприятий, строительства новых объектов и реконструкции действующих производств, комплексной глубокой переработки техногенного сырья, комплексного использования минерального сырья и освоения выпуска новых видов продукции, модернизации и технического перевооружения производств с использованием энергоэффективного оборудования большой единичной мощности.

Комплексный подход обеспечивает решение вопросов создания новых технологий разработки глубокозалегающих месторождений с учетом закономерностей геомеханического обеспечения и особенностей разрушения локальных массивов горных пород в процессе эксплуатации, включая:

— изучение геотехнологических направлений энерго- и ресурсосбережения при освоении рудных месторождений;

— разработку научных основ формирования энерго- и ресурсосберегающих транспортных систем карьеров;

— исследование процессов и технических устройств, обеспечивающих разрушение горных пород;

— разработку и создание инновационной геотехники для подготовки горной массы к выемке и транспортированию;

— создание научных основ управления качеством минерального сырья на основе применения геоинформационных и геофизических методов оценки литологических и петрографических свойств горного массива;

— развитие методологии выбора параметров и конструкции горнотехнических систем при открытой, подземной и комбинированной разработке глубокозалегающих рудных месторождений;

— изыскание комплексной подземной геотехнологии добычи и обогащения на основе применения подземных обогатительных комплексов;

— разработку теоретических основ и методов эффективного и безопасного освоения глубокозалегающих месторождений на базе исследования динамики развития горных работ, изучения механизмов разрушения локальных массивов горных пород, изучения геодинамических особенностей, структурного строения и напряженно-деформированного состояния отрабатываемого массива для обеспечения устойчивости бортов карьеров;

— обоснование методологии исследования и контроля, а также прогноз изменения во времени напряженно-деформированного состояния массива пород;

— теоретическое обоснование обеспечения устойчивости горных выработок и конструктивных элементов систем разработки;

— исследование геомеханического состояния массива горных пород и инженерно-геологических процессов и явлений, происходящих в нем, с целью выявления причин природно-техногенных катастроф и решения проблем их предотвращения и ликвидации;

— теоретические исследования генезиса, механизма и параметров геомеханических явлений при недропользовании;

— разработку научных основ контроля, прогноза и предотвращения опасных геомеханических процессов и явлений;

— исследование процессов техногенного нарушения целостности природных структур локальных массивов горных пород.

В методологическом плане комплексность исследований рассматривается в нескольких аспектах:

— совместное рассмотрение и учет организационно и технологически связанных машин, процессов;

— сочетание методов исследований, учитывающих характер решаемых задач;

— обработка и унификация данных, в том числе по качественному составу и свойствам руд и пород;

— комплексная переработка — разделение полезных ископаемых на конечные продукты с извлечением всех содержащихся в исходном сырье ценных компонентов, производство которых технически возможно и экономически эффективно.

К числу комплексных проблем, решение которых способствует энерго- и ресурсосбережению в процессе добычи, относятся:

— формирование бортов карьеров на предельном контуре на основе изучения состояния прибортовых массивов горных пород, применения щадящих технологий отработки уступов в прибортовой зоне и разработки способов управления разрушением массива [158];

— обоснование механизма разрушения пород при бурении и методики раздельного учета энергии бурения горных пород, что позволяет установить рациональный расход энергии, а с другой стороны, оперативно скорректировать параметры буровзрывных работ для достижения качественного дробления горной массы [107];

— развитие теории и разработкаметодики выбора последовательности формирования транспортных систем карьеров, в том числе с использованием современных средств циклично-поточной технологии [33];

— оптимизация показателей извлечения руды, снижающих материальные, трудовые и энергетические затраты на транспорт и подъем пустой разубоживающей породы на поверхность, а также ее переработку при обогащении [49];

— применение при освоении глубоких горизонтов восходящего способа подземной отработки с закладкой, обеспечивающего использование выработанного пространства для складирования породы и отходов горно-обогатительного производства, повышение безопасности отработки за счет снижения напряжений в зоне ведения очистных работ в 1,5–2 раза и пр. [28];

— реализация методов обеспечения устойчивого развития горных предприятий на основе создания систем организации и управления технологическими процессами [159];

— разработка методов экологической и технологической оценки техногенных месторождений, как дополнительных источников минерального сырья [19,32].

Задачи энерго- и ресурсосбережения периодически ставились в ряд актуальных, однако отраслевой принцип разработки месторождений не способствовал постановке вопросов комплексного освоения недр, а без этого невозможно сформулировать проблему энерго- и ресурсосбережения в ее полном объеме. В связи с этим для обеспечения эффективного функционирования горного предприятия на основе современных технологий производства рекомендуется выделять следующие направления технологического воздействия:

— увеличение или выдерживание проектной производительности, что является существенным резервом снижения удельных издержек предприятия в целом;

— реструктуризация сырьевой базы и интенсивность эксплуатации недр в первую очередь на основе уточнения кондиций и определения «технологичности» балансовых запасов предприятия, а также внедрения новых технологий переработки минерального сырья;

— регулирование интенсивности отработки, применение разнообразных технологических схем перемещения уступов в карьерном пространстве, рациональное управление рабочей зоной карьеров для достижения в любой момент времени необходимых коэффициентов вскрыши;

— изыскание путей снижения землеемкости процесса ведения горных работ; реконструкция схем транспортирования горной массы, как резерва снижения расхода дизельного топлива;

— комплексность технического перевооружения и модернизации оборудования с соответствующим изменением параметров систем разработки и вскрытия;

— выпуск продукции более высокого качества, поиск новых ее видов, расширение перечня внешних услуг.

Всем вышеперечисленным инженерным мероприятиям должно предшествовать введение обязательного технологического и организационно-технического аудита как метода оценки внутрипроизводственных резервов горнодобывающего предприятия.

Эффективность междисциплинарных проектов может быть проиллюстрирована на примере междисциплинарных исследований в области разработки технологий глубокой переработки титаномагнетитовых руд Гусевогорского и Собственно Качканарского месторождений.

На начальной стадии освоения Гусевогорского месторождения в результате первичного обследования руд были выделены титанистые, ванадиевые и рядовые руды, которые характеризовались весьма сложным минеральным и вещественным составом. В связи с тем, что такого рода месторождения осваивались впервые, было принято решение о валовой выемке и переработке руд без выделения технологических сортов. Поэтому ванадистые и титанистые типы руд в настоящий момент усредняются с рядовыми, что не позволяет достаточно полно извлекать все имеющиеся в них металлы.

Поэтапно выполняемые институтами горного дела, металлургии, геологии и геохимии, геофизики, промышленной экологии, экологии растений и животных, ботаническим садом УрО РАН междисциплинарные исследования в комплексе обосновывают пути экономически эффективной компенсации выбывающей на Урале скарно-магнетитовой сырьевой базы черной металлургии за счет разработки совокупности инновационных мероприятий и технологий разведки, добычи и глубокой переработки титаномагнетитов при допустимом уровне экологической нагрузки на окружающую среду [127].

В результате изучения особенностей минерализации контактов титаномагнетитовых руд с плагиоклазитовыми дайками выявлен эффект частичной потери магнитных свойств титаномагнетитов за счет температурных фазовых переходов на контактах с плагиоклазитами, что позволяет уточнить методику текущего опробования титаномагнетитовых руд при планировании горных работ (ИГГ УрО РАН). В свою очередь анализ (ИГФ УрО РАН) отражения разных типов титаномагнетитовых руд на вертикальной и горизонтальной составляющих геомагнитного поля по результатам измерений во взрывных скважинах и данным трехкомпонентной магнитной съемки, выполненных в Главном карьере Качканарского ГОКа, а также в параметрах магнитоакустической эмиссии, измеренной на образцах, свидетельствует о реальной возможности совершенствования методики магнитного каротажа аналогичных месторождений.

Для отработки методики картирования месторождения по типам руд ИГД УрО РАН произведена поступная статистическая обработка геологических данных Гусевогорского месторождения. Конечным результатом этих работ является разработка технологий селективной добычи и предварительной рудоподготовки. В качестве дополнительных экспериментальных исследований выполнен комплекс измерений, направленных на совершенствование методики экспресс-опробования бурового шлама [42].

Изучение режимов обогащения выделенных технологических сортов с целью повышения выхода полезного компонента в концентрат (УГГУ) и металлургических

свойств полученных концентратов с целью повышения энергоэффективности металлургического передела и выхода титана и ванадия основывается на анализе технологий, обосновании факторов, рисков и резервов. Разработана адаптированная к условиям руд Качканарской группы месторождений титаномагнетитов методика оценки влияния металлургических характеристик железорудного сырья на показатели доменной плавки, обеспечивающая обоснование режимов опытных плавок концентратов, полученных в результате раздельного обогащения проб выделенных типов руд.

Экологическими исследованиями, выполняемыми при разработке оценочных комплексных геолого-технолого-экологических моделей горнорудных регионов, выявлена общая тенденция к стабилизации функционирования техногенных экосистем с обратимыми изменениями, что обеспечивается проведением необходимого набора эффективных природоохранных мероприятий, а также повышением эффективности мониторинга, производственного контроля и управления.

Предложена и совершенствуется шкала оценки значимости экологических аспектов для оценки суммарного воздействия на почвенный покров в районе месторождения. Исследованиями показано, что количественной мерой степени техногенной нагрузки может служить ущерб от деградации почв и земель в денежном выражении. При этом получены новые данные о состоянии растительности и уровне загрязнения почвы в районах отработки железорудных месторождений (на примере Качканарского ГОКа). Суммарный индекс загрязнения почв в г. Качканар не превышает допустимую категорию загрязнения.

Таким образом, уже первые результаты междисциплинарных исследований на примере Качканарского ГОКа открывают перспективы для совершенствования системы опробования железо-ванадиевых руд, повышения надежности исходных данных об их качестве для текущего и оперативного планирования, совершенствования технологий раздельной добычи и обогащения, а также глубокой металлургической переработки полученных концентратов, создают предпосылки для расширения экологически безопасного производства при условии выполнения ряда современных и технически реализуемых инженерных мероприятий.

Инновационная направленность исследований тесно связана с их системностью и комплексностью. Использование описанных подходов позволило определить основные направления инновационного развития уральских градообразующих горнодобывающих предприятий, в числе которых необходимость: расширения минерально-сырьевой базы предприятий; строительства новых объектов и реконструкции действующих производств; комплексного использования минерального сырья и освоения выпуска новых видов продукции; модернизации и технического перевооружения производств с использованием энергоэффективного оборудования большой единичной мощности; комплексной глубокой переработки техногенного сырья.

Актуальным является внедрение инновационных технологий управления качеством минерального сырья на действующих горных предпрятиях, среди них технологии предварительной рудоподготовки, в том числе прикарьерного грохочения; управления качеством взорванного минерального сырья; экспрессного опробования в транспортных сосудах, на подготавливаемых блоках; раздельной добычи и переработки типов и сортов руд.

1.3. О методологической взаимосвязи геологического исследования месторождений и геотехнологических проблем их освоения

В истории освоения каждого месторождения полезных ископаемых неизменно выделяются три основных периода: разведка, проектирование и разработка, в каждом из них, в свою очередь, можно выделить несколько этапов принятия технических, технологических и иных решений, обусловленных пополнением геологической информации и изменением горнотехнических условий по мере роста глубины извлекаемых запасов, достижений технического прогресса в горно-обогатительном производстве и смежных отраслях, с учетом мировых тенденций в производстве и потреблении минерального сырья и других внешних факторов.

На протяжении практически всего XX века разработка месторождений осуществлялась горнодобывающими (горно-обогатительными) предприятиями соответствующих отраслевых министерств, имевших в своем распоряжении научно-исследовательские и проектные институты, перед которыми ставились конкретные задачи в форме тематических планов, заданий на проектирование, где государственными планирующими органами предписывалось осуществить технологическую подготовку производства определенного объема товарной продукции основного полезного ископаемого соответствующего качества, поставляемого конкретным потребителям. В качестве основной исходной информации представлялся утвержденный геологический отчет, подготовленный государственными геологическими организациями о геологических параметрах и характеристиках месторождения, запасах и содержании полезных ископаемых, физико-механических свойствах продуктивных залежей и вмещающих горных пород. При этом совокупность принятых в проекте технологических и технических решений должна была обеспечить достижение экономических показателей, гарантирующих установленную рентабельность производства. С позиций современного подхода к освоению недр недостатки такого подхода к проектированию разработки месторождений совершенно очевидны:

— планировалось производство минерального монопродукта и не предусматривалась комплексность извлечения попутных компонентов минерального сырья;

— не учитывались в полной мере экологические последствия горно-обогатительного производства;

— отсутствовала возможность учета мирового технического и технологического опыта горного производства и перспектив технического прогресса, в том числе, в смежных отраслях промышленности.

Особую сложность при разработке стратегий освоения представляют глубокозалегающие сложноструктурные месторождения, в процессе отработки которых постоянно или периодически пополняются данные о геологическом строении, в связи с чем требуется уточнение кондиций и запасов с соответствующим изменением границ разработки (*табл.1.3*).

Периодическое в течение всего срока отработки месторождения уточнение сведений о геологическом строении месторождения требует также и соответствующей системной корректировки стратегии его отработки, уточнения технологий добычи и переработки руд в связи с изменением сведений об объекте эксплуатации. Следует также учитывать, что при сформированной стратегии поддержания и развития минерально-сырьевой базы как совокупности минеральных ресурсов,

Таблица 1.3

Нарастание информации о месторождении и принятие основных технологических решений

Этап разведки	Результат	Принимаемое решение
Предварительная	Обоснование кондиций. Подсчет запасов по категориям C_1 и C_2	Разрабатывается ТЭД: обосновывается целесообразность освоения, способ разработки, технологии добычи и переработки, степень и характер комплексности месторождения, определяются ТЭП добычи, обогащения и металлургического передела
Детальная	Уточнение геологического строения, формы, условий залегания тел полезного ископаемого, его качества, гидрогеологических и горнотехнических условий предполагаемой разработки. Перевод запасов категорий C_1 и C_2 в категории А и В	При положительной оценке принимается решение о проектировании горного предприятия. Основные геологические параметры, определяющие выбор способа разработки, техники и технологии добычи и переработки, принимаются обычно с ошибками вследствие недостаточной достоверности информации
Эксплуатационная	Устранение неопределенности в геологической обстановке	Планирование добычи полезного ископаемого по сортам, корректировка типоразмеров горных машин и технологии добычи, режимов усреднения и обогащения

средств их добычи, переработки и инфраструктуры региона освоения недр, реализация принятых решений базируется на скоординированном действии технических служб, функционирующих на каждом горнодобывающем предприятии. Они не могут оперативно устранить или компенсировать недостатки ранее принятых проектных решений на основе накопленной уточненной информации в пределах технических и технологических возможностей предприятия. Это возможно лишь при коренной его реконструкции, сопровождаемой соответствующими исследованиями, предпроектными и проектными обоснованиями. Между накоплением данных и разработкой нового проекта проходит некоторый срок, как правило, 10–14 лет, необходимый для:

— получения и накопления данных об изменении горно-геологических условий разработки;

— исследований и промышленных экспериментов, накопления научного и практического опыта добычи и переработки полезного ископаемого;

— формулирования существа технологической проблемы, изучения соответствующей мировой и отечественной практики действия горного предприятия в изменившихся горно-геологических условиях;

— технико-экономических расчетов, обосновывающих параметры будущих технологических изменений;

— разработки технического задания на создание проектной документации;

— подготовки, согласования и утверждения проектной документации, а также, собственно, реализации проекта.

Современные условия требуют создания научно-методического обоснования для надежного и достаточно оперативного создания перспективной рудной базы горно-

обогатительных предприятий, которая характеризуется значительной степенью неопределенности, что объясняется: достаточно большим количеством объектов — месторождений, подлежащих отработке или предварительному доизучению; разной величиной и степенью достоверности запасов; неоднородностью минерального и качественного состава руд, определяющего их обогатимость и потребительские свойства; неодинаковой инфраструктурной обустроенностью районов разработки; разнообразными и, как правило, сложными природно-экологическими условиями ведения горных работ, отличиями в логистике доставки добытого полезного ископаемого к местам переработки и пр.

На современном этапе развития техники и технологии горного и обогатительного производстввзаимодействие специалистов геологического, горного и металлургического профиля, а также экономистов и экологов становится главным условием дальнейшей эффективной отработки запасов минерального сырья при эксплуатации действующих и создании новых горнопромышленных комплексов, особенно в северных регионах, где разведаны и установлены прогнозные ресурсы многих видов минерального сырья и требуется их дальнейшее геологическое изучение, геолого-технолого-экономическая оценка и разработка программ и планов, обеспечивающих комплексное освоение территорий, комплексное освоение недр, экологическую и промышленную безопасность производства.

При геолого-технолого-экономической оценке месторождений, проведении научно-исследовательских, проектно-изыскательских работ, принятии решений о целесообразности и очередности отработки месторождений, обосновании интенсивности и сроков их разработки, выборе способов производства горных работ в обязательном порядке должны учитываться: комплексность месторождений, индивидуальность технологических свойств сырья и условий его переработки, высокая природная изменчивость геологических параметров в пределах одного месторождения, нарастание информации о месторождении по мере его освоения.

Указанные обстоятельства потребовали разработки и апробации комплексного метода геолого-технолого-эколого-экономической оценки минерально-сырьевой базы, основанного на:

— поэтапном геолого-технологическом обосновании параметров будущих предприятий;

— использовании совокупности геоинформационных моделей пространственного размещения оцениваемых объектов, их вещественного состава;

— учете совокупности факторов, обеспечивающих создание условий для эффективного природо- и недропользования,

— экспресс-оценке основных параметров будущих горнодобывающих предприятий [59].

Отличительной особенностью таких оценок является:

— целевой поиск полезных ископаемых, обеспечивающих реализацию приоритетных программ на оцениваемой территории;

— обоснование объемов и направлений поэтапной ускоренной разведки, сопровождающееся экспрессными геолого-технолого-экономическими и экологическими расчетами;

— геоинформационные расчеты при разработке проектно-технологического обеспечения комплексного освоения недр и освоения территорий;

— обеспечение максимального полезного вовлечения всех видов местных ресурсов обследуемого региона;

— заблаговременное использование результатов научных исследований при выработке решений, с учетом основных ограничивающих условий при недропользовании.

В целях максимального совмещения времени на исследовательскую и проектную подготовку к разработке месторождений, находящихся в сложных природных и горнотехнических условиях, предлагается поэтапная стратегия геолого-технолого-экономического обоснования параметров будущих горнодобывающих предприятий (*табл.1.4*). При этом сокращение времени оценочных работ достигается за счет использования опережающих или параллельных оценок, базирующихся на геоинформационном моделировании, позволяющих заблаговременно использовать результаты научных исследований при выработке основных ограничивающих условий недропользования; снижения информационной насыщенности и избыточности используемых для технологических расчетов данных при целевой компьютерной обработке исходных горно-геологических графических и текстовых материалов; использования выявленных системообразующих правил поиска и оптимизации технических решений, экспертных и других оценок. При этом нужно твердо понимать, что этапность проектирования при освоении крупных и сложных месторождений — не прихоть, а пошаговое получение новых знаний об объекте, оформленное в виде конкретных инженерных решений по стадиям проектного прогноза.

В процессе решения задач поддержания и оценки минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала разработана методика генерирования и выбора вариантов при формировании стратегий развития крупных горнодобывающих предприятий.

Предложенная методика основана на идеологии анализа сложных систем, разработанных методах ранговой оценки МСБ, доказательстве возможности совместного использования апробированных методов технико-экономической оценки и технологических показателей (критериев-заместителей) при первичной отбраковке конкурирующих вариантов, что позволяет в кратчайшие сроки сформировать стратегию развития МСБ в условиях неопределенности исходных данных.

Необходимость согласования значительного количества ограничений при формировании стратегии поддержания рудной базы горно-обогатительного предприятия обуславливает порождение значительного количество вариантов. Поэтому одной из главных задач является обоснование методики целенаправленного поиска и генерирования вариантов последовательности отработки, освоения и разведки месторождений. На рис.1.4 представлен общий порядок принятия решений при формировании таких стратегий.

Подход к общему порядку анализа, а также генерирования и оценки вариантов фрагментарно проиллюстрирован на примерах разработки стратегии поддержания минерально-сырьевой базы комбината «Магнезит» [73] и ОАО «Высокогорский ГОК». При установленной потребности в продукции горного предприятия на первом этапе работ осуществляется предварительный анализ известных объектов, которые могут слагать минерально-сырьевую базу предприятия. Первичная оценка осуществляется ранжированием объектов по степени разведанности объектов и их готовности к освоению. Анализ распределения запасов магнезита в балансовых запасах

Таблица 1.4

Схема комплексных геолого-технолого-экономических исследований при освоении и развитии минерально-сырьевой базы труднодоступных регионов

Объекты и задачи	Заказчик, цели и задачи исследований		Результат исследований
	Государство	Частные компании	
Постановка задачи исходя из специфичных целей	Геополитические задачи	Спрос на сырье, экономическая безопасность	Порядок и методы изучения объекта, региона
Оценка рудопроявлений	Ускоренная комплексная геологическая съемка и поиски	Участие трудовыми и материальными ресурсами	Экспресс-анализ ресурсов, геолого-технолого- экономические оценки
Ресурсы полезного ископаемого	Учет и апробация, обоснование первоочередных объектов разведки	Участие в конкурсах на изучение и отработку	Предварительная оценка способов разработки, технологий переработки и лицензионных требований
Запасы C_2	Продолжение финансирования поисково-оценочных работ	Финансирование доразведки месторождения, составление ТЭО кондиций	Выработка основных условий недропользования. Организация освоения месторождения
Запасы A, B, C_1	Контроль лицензионного соглашения	Финансирование проектных работ и освоение площадки месторождения	Разработка проекта, научное сопровождение проектных работ
Эксплуатация месторождения	Контроль условий недропользования	Инвестирование добычи и переработки	Адаптация проекта, научное сопровождение работ

по оцениваемым участкам Саткинского месторождения и характеристики их качества (*рис.1.5*) показывают, что перспективная программа может быть выполнена за счет эксплуатации наиболее подготовленных участков открытой добычи, а все действующие карьеры будут отработаны. При этом Мельнично-Паленихинский участок является основным для получения качественного магнезита, Березовский участок следует эксплуатировать в любом случае, а Ельничный является резервным, в зависимости от принятой стратегии развития подземного рудника. Часть Карагайского участка и Гологорский участок, предназначенные для отработки подземным способом, в целом являются основой для получения качественного магнезита.

На этапе выявления системообразующих элементов минерально-сырьевой базы предприятия производится обоснование главных параметров добывающих и перерабатывающих объектов. Определяется способ и примерная глубина отработки, ориентировочная производительность горного предприятия, отрабатывающего анализируемый элемент МСБ, предварительно оцениваются его обогатительные свойства. Производительность предприятия устанавливается по данным проектных (предпроектных) проработок или ориентировочно принимается максимальной по горно-техническим факторам. Показатели извлечения полезного ископаемого в концентрат по каждому объекту рассчитываются на основании технологических

	Требуемый объем производства готовой продукции	
	Анализ известных месторождений и рудопроявлений. Оценка технологий добычи	Анализ технологий переработки минерального сырья и производства готовой продукции
1. Предварительный анализ минерально-сырьевой базы	Оценка достоверности данных. Отбраковка объектов МСБ по условиям разведанности	Оценка технологий получения готовой продукции и ее минеральной структуры
2.Выявление системообразующих элементов минерально-сырьевой базы предприятия	Оценка способов и технологий отработки месторождений, горно-технических возможностей и качества добываемых руд	Анализ технологических балансов обогащения руд обследованных месторождений
3. Формирование краевых вариантов очередности вовлечения в отработку месторождений	Оценка предпочтительности и очередности отработки обследованных месторождений	Обоснование ограничений на объем и качество добываемой сырой руды
4. Предварительное формирование стратегий поддержания МСБ предприятия	Технологическая оценка графиков добычи и погашения разведанных запасов	Обоснование объемов и технологий переработки сырой руды и промпродукта
5. Формирование программы геологоразведочных работ	Оценка объемов и очередности разведочных работ на перспективных участках	Прогноз технологий переработки минерального сырья, в т.ч. техногенного
6. Инвестиционные предложения по реализации программы развития МСБ	Технико-экономическая оценка вариантов распределения во времени объемов добычи, горнокапитальных и геологоразведочных работ, маршруты транспортирования и пр.	

Рисунок 1.4. Порядок направленного поиска стратегий поддержания и развития минерально-сырьевой базы горно-обогатительного предприятия

балансов, установленных опытным путем, или принимаются по данным переработки руд аналогичных месторождений.

Применительно к условиям комбината «Магнезит» установлено, что около 90% оставшихся запасов предназначено для подземной добычи, поэтому дальнейшие перспективы отработки Саткинской группы месторождений магнезита связаны с развитием горных работ на шахте «Магнезитовая», которая на перспективу является системообразующим элементом сырьевой базы комбината. Тем не менее, дополнительный анализ горнотехнических возможностей открытой разработки выявил некоторые резервы поддержания рудной базы и качества сырой руды.

На основании таких исследований устанавливается перечень объектов — элементов МСБ, в наибольшей степени влияющих на достижение выпуска готовой продукции с требуемыми качественными показателями.

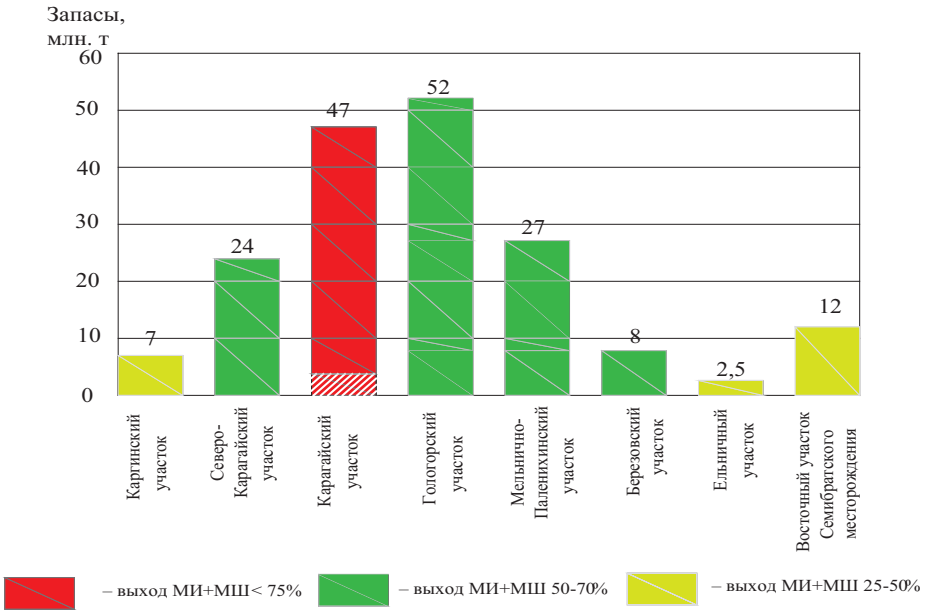


Рисунок 1.5. Распределение запасов и качества магнезитового сырья по анализируемым объектам

Формирование краевых вариантов очередности вовлечения в отработку месторождений достигается построением прогнозных календарных графиков погашения запасов, обосновывающих ряд ограничений на разрабатываемую стратегию поддержания МСБ, в том числе основной способ добычи; содержание полезного компонента в сырой руде и ежегодный объем добычи, обеспечивающий выпуск требуемого объема продукции; вовлечение в переработку шихтующих добавок в виде некондиционного сырья, техногенных отходов и пр.

Для примера на рис.1.6 приведены варианты календарных графиков развития производственной мощности ВГОК при условии, что шх. Ново-Естюнинская строится в соответствии с проектом Уралгипроруды в течение 15 лет или строится в соответствии с рекомендациями ИПКОН РАН в течение 7 лет. Анализ указанных вариантов поддержания заданной производственной мощности комбината свидетельствует о том, что срок строительства шх. Естюнинская может быть увеличен до 10–12 лет. Вместе с этим для поддержания установленного уровня производства, как это следует из графиков, в первый анализируемый период открытый способ отработки запасов будет превалирующим.

В дополнение к ранее разработанному и опробованному на практике методу квазиоптимизации параметров горного производства, основанному на последовательном представлении карьеров или шахт как горно-геометрических, технологических и организационно-экономических систем, для ускорения технологических оценок и сокращения количества рассматриваемых вариантов при обосновании предпочтительности освоения или вовлечения в отработку минеральных объектов

Рисунок 1.6. Доля добычи открытым и подземным способами при разной интенсивности строительства шахты Ново-Естюнинская. Варианты 15, 7 и 10 лет.

прогнозируемого или действующего горного предприятия разработана методика их ранжирования [60], позволяющая осуществлять предварительную оценку и отбраковку значительного числа вариантов — элементов сырьевой базы.

Для примера применительно к условиям Высокогорского ГОКа проведена ранжировка ряда месторождений по степени предпочтительности вовлечения их в эксплуатацию, результаты которой представлены в табл.1.5. Предварительная оценка и отбраковка значительного числа вариантов была осуществлена с использованием ранговых оценок. При обоснованиях принята балльная оценка: 0 баллов — низкая; 1 балл — средняя; 2 балла — высокая оценки. Сумма рангов характеризует по каждому из оцениваемых объектов МСБ: среднее содержание полезных и вредных компонентов в руде, подаваемой на обогащение; запасы полезного ископаемого дифференцированно для открытого и подземного способов разработки; производительность по полезному ископаемому; требования по специальной охране поверхности; нарушенность земель; удаленность предприятия; промышленную освоенность района работ и пр. Таким образом, появляется возможность предварительной оценки качественных, количественных, технических, экологических и правовых условий вовлечения месторождений в разработку в сравнении с конкурирующими.

Стадия предварительного формирования стратегий поддержания МСБ предприятия связана прежде всего с организационной и технологической оценкой вариантов, сформированных на предыдущем этапе работ. При этом анализу подлежат имеющиеся и предполагаемые к строительству добывающие и перерабатывающие

Таблица 1.5

Ранжировка месторождений по степени предпочтительности вовлечения в эксплуатацию

Месторождение	Ранговая оценка	Запасы, млн т	Направление инвестиций
Собственно Естюнинское	18	161	Новое строительство, реконструкция
Ново-Естюнинское	15	107	
Осокинско-Александровское	15	36	Доразведка, реконструкция
Гороблагодатское	14	86	Реконструкция
Песчанское	14	66	Приобретение сырой руды, долевое участие в реконструкции, строительство установки для экстрагирования серы
Высокогорское	14	35	Доразведка, вскрытие глубоких горизонтов
Валуевское	14	4,7	Возобновление отработки
Северо-Гороблагодатское	12	101	Новое строительство
Лебяжинское	11	74	Вскрытие глубоких горизонтов, компенсация за снос объектов в зоне обрушения
Третье Северное	9	16/34*	Освоение непромышленной территории
Большереченское	9	14,5	Освоение непромышленной территории

* – 16/34 - запасы на открытую/подземную разработку, млн т.

мощности, динамика качественных показателей добываемого сырья, правовые основания для ведения горных работ, состояние проектной проработки каждого из элементов, слагающих перспективную МСБ и др. Например, для условий комбината «Магнезит» проведенный технологический аудит, а также переоценка запасов руды с уточнением проектных или прогнозных контуров открытых горных работ и вовлечением в переработку отвала некондиционных руд свидетельствуют о том, что ранее принятые показатели эффективности отработки и обогащения руд характеризуют экстенсивную эксплуатацию минерально-сырьевой базы. Исходя из этих соображений были сформированы следующие варианты стратегий поддержания МСБ комбината «Магнезит»: Стратегия 1. Экстенсивная — получение высших сортов магнезита за счет пропорционального увеличения добычи без изменения технологии переработки сырой руды. Стратегия 2. Интенсивная — комплексное использование кондиционных и некондиционных руд с предварительным обогащением и расширением цеха тяжелосредной сепарации. В любом случае принят постепенный рост производительности шахты «Магнезитовая» к 2016 г. до 1,6 млн т/год. Недостающий объем руды компенсируется за счет открытой разработки.

Комплексный анализ позволяет, при необходимости, сформировать программу работ по геологическому изучению перспективных рудопроявлений и площадей, обеспечивающую восполнение запасов минерального сырья на перспективу. На этих же этапах оцениваются перспективные методы переработки и добычи, формирующие техническую политику предприятия. В частности, дальнейшие перспективы собственной рудной базы открытых горных работ для комбината «Магнезит» просматриваются при организации разведки Семибратского месторождения.

Для отобранных стратегий, характеризующихся прежде всего различиями распределения во времени объемов добычи, горнокапитальных и геологоразведочных работ, маршрутах транспортирования сырья и промпродукта и пр., производится экономическая оценка. Наиболее сложным моментом в таких расчетах, как показал опыт, является обоснование исходных удельных экономических показателей, которые могут быть приняты по аналогам и фактическим данным действующих предприятий, по данным ранее выполненных проектных работ с учетом коэффициентов-дефляторов, с использованием корреляционных моделей и т.п. В любом случае долгосрочный прогноз имеет достаточно большую погрешность, поэтому варианты стратегий, отличающиеся не более чем на 10–15%, могут быть признаны равнозначными, что требует дополнительных оценочных показателей. Проведенный экономический анализ является базой для разработки мероприятий и рекомендаций по сокращению текущих издержек производства, снижению капитальных вложений в новое строительство, оптимизации расходов на геологоразведочные работы.

Сформулированные подходы и методики опробованы в процессе научного обеспечения и технологической подготовки к промышленному освоению ряда перспективных месторождений, для которых разработаны технико-экономические обоснования (ТЭО) кондиций, технико-экономические предложения (ТЭП), технологические регламенты (ТР) и проекты (Пр) их разработки (*табл. 1.6)*:

— Южная Якутия и Дальний Восток: Эльгинское каменноугольное, Тарыннахское, Горкитское, Гаринское железорудные;

— Средний, Северный и Приполярный Урал: Вагранская золоторудная площадь, Жижинско-Шаромский участок хромитовых руд (Свердловская обл.), Яны-

Турьинское железорудное месторождение (ХМАО); доказана целесообразность и технолого-экономическая эффективность возобновления отработки Малышевского изумрудно-бериллиевого месторождения (Свердловская обл.) и кварцевой жилы №175 Кыштымского ГОКа (Челябинская обл.).

На разработанной методической основе произведена геолого-технолого-экономическая оценка перспектив эксплуатации ранее оцененных угольных, железорудных, меднорудных и хромитовых месторождений а также отработки золота, кварцевого и цементного сырья на территории Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО). Для большинства мелких месторождений Урала, ранее считавшихся нерентабельными, доказана возможность отработки при условии обеспечения наибольшей полноты извлечения из недр за счет введения дополнительного цикла прикарьерной рудоподготовки и, как следствие этого, возобновлена добыча бедных

Таблица 1.6

Характеристика изученных месторождений с позиций их значения для развития и модернизации экономики региона

Месторождение	Вид работ	Пром. запасы, млн т	Произв., млн т	Особенности освоения	Значение для экономики региона
Эльгинское	ТР	2409,5	30,0	Поэтапный рост производства с увеличением мощности оборудования	Создание крупного горно-металлургического комбината Якутии
Тарыннахское	ТЭО	791,5	12,6	Доказана целесообразность отработки объединенным ГОКом	
Горкитское	ТЭО	466,0	15,0		
Гаринское	ТЭП	388,8	12,0	Комплексное использование недр в интересах территории	
Вагранская золоторудная площадь	ТЭП	25,54*	3,8	Ускоренная разведка с параллельной опытно-промышленной добычей	Расширение уральской сырьевой базы драгметаллов
Жижинско-Шаромское хромитовое	ТЭО, Пр	0,267	0,063	Добыча на год с момента получения лицензии на изучение	Новый источник уральского хромитового сырья
Малышевское изумрудно-бериллиевое	ТЭП	9,1**	0,25	Доказана необходимость комплексной переработки и опережающей разведки	Возобновление добычи в т.ч. кристаллосырья
Кыштымское гранулированного кварца	Пр	0,176	0,024	Сокращение общешахтных потерь в 1,7-1,9 раза	Возобновление работы подотрасли
Яны-Турьинское железорудное	ТЭП	19,2	0,8-1,0	Прикарьерная рудоподготовка с производством строительных материалов	Источник железорудного сырья в ХМАО

* — Ресурсы Р2, ** — Запасы 1-й очереди.

хромитовых руд на Алапаевском хромитоносном массиве (III Поденный рудник, Вершина р. Алапаихи, Курмановское месторождение), Жижинско-Шаромском участке Невьянского массива.

1.4. О новых подходах к освоению минерально-сырьевых ресурсов Уральского Севера

Воспроизводство минерально-сырьевой базы Урала по ряду полезных ископаемых связывается, в том числе, с развитием минерально-сырьевого потенциала неосвоенных территорий Уральского Севера. Для металлургического комплекса Урала, испытывающего острую нехватку высококачественного сырья (*рис. 1.7*), поддержание и восполнение минерально-сырьевой базы, в том числе за счет местных ресурсов, особенно актуальны. В настоящее время на промышленный Урал завозится более 60 млн т различных видов полезных ископаемых, в том числе по дорогостоящему импорту.

Арктическая зона РФ, помимо значительных запасов углеводородного сырья, располагает определенными ресурсами твердых полезных ископаемых, которые могут быть востребованы в связи с истощением традиционных сырьевых баз металлургического комплекса Урала. По различным оценкам, валовая ценность МСБ уральской части УрФО колеблется в диапазоне 175–320 миллиардов долларов США. Стоимость продукции, полученной в результате разработки, может составить несколько десятков миллиардов долларов США [76,88]. Источники минерального сырья вместе с другими природными ресурсами являются основой для создания террито-

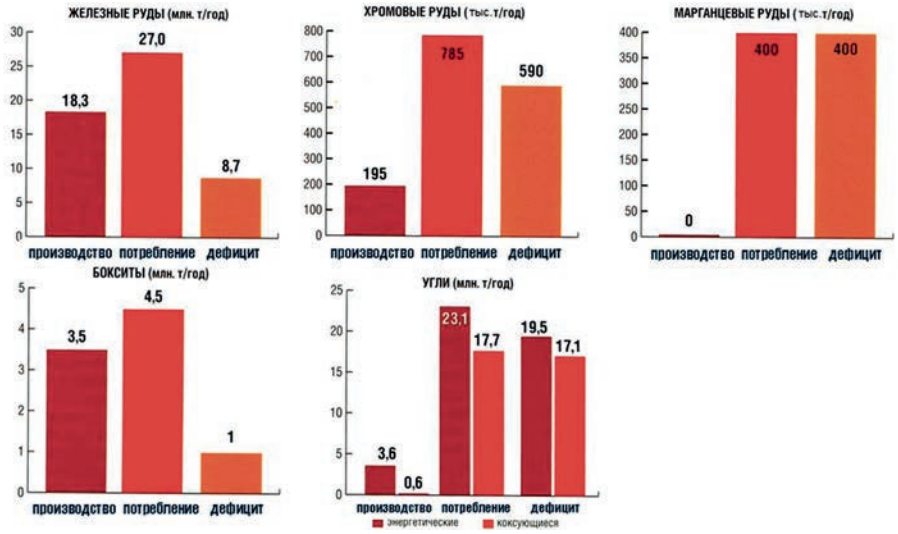


Рисунок 1.7. Баланс производства и потребления основных видов минерального сырья предприятиями уральского промышленного комплекса

риальных промышленных комплексов и, в совокупности с распределением трудовых ресурсов страны, предъявляют особые требования к комплексному освоению территорий. Поэтому нужно принимать во внимание неравномерность размещения минерально-сырьевых ресурсов в земной коре, важность заблаговременного долгосрочного планирования распределения производительных сил, а также поиска возможностей стабилизации и даже уменьшения дальности перевозок сырья, сокращения объемов встречных грузопотоков, изыскания эффективных путей передачи тепла и электроэнергии.

Для перспективных районов формирования новых МСБ характерны сложные природно-климатические условия и недостаточная степень разведанности недр, а также отсутствие развитой системы транспортных и энергетических коммуникаций и других элементов промышленной инфраструктуры, вследствие чего для их эффективного освоения необходим новый подход к организации освоения месторождений.

В качестве главных причин ускоренного и комплексного изучения, разведки и освоения месторождений твердых полезных ископаемых Севера, в том числе арктической его части, а также Полярного и Приполярного Урала, следует отметить:

— необходимость освоения месторождений газа и нефти с видоизменением инфраструктуры этих регионов совместно с организацией или расширением добычи других видов минерального сырья, в частности строительных материалов;

— начавшуюся модернизацию промышленности (металлургии, машиностроения, транспорта и т.п.), прежде всего связанную с техническим перевооружением, требующим увеличения добычи металлов и легирующих добавок;

— наметившийся дефицит производства определенных видов традиционно потребляемого сырья: железных, марганцевых и хромитовых руд, вольфрама, энергетического и коксующегося угля и пр.;

— сокращение доли подготовленных к промышленной эксплуатации запасов ряда полезных ископаемых, в частности медных руд.

При выработке современных подходов к изучению и оценке минерально-сырьевых ресурсов следует учитывать тот факт, что ранее риск последствий неподтверждения разведанных запасов, подлежащих освоению и отработке, компенсировало и принимало на себя государство. Поэтому до сих пор действующая методика геологоразведочных работ была призвана прежде всего обеспечить наибольшую надежность представляемых на экспертизу данных. Это влекло за собой увеличение сроков и общих затрат на разведку, прежде всего на бурение. Значительные объемы разведочных работ выполнялись для изучения глубинной части месторождений, которая ни в ближайшем будущем, ни даже в отдаленной перспективе не могла и не может быть эффективно отработана.

Не подвергая сомнению важность изучения недр в целом, следует отметить, что стратегия поэтапного ускоренного изучения и освоения недр в пределах перспективного рудного региона более экономична и снижает сроки подготовки месторождения к эксплуатации. В этих условиях для выработки общей стратегии освоения недр рассматриваемой территории уже на самых первых этапах разведочных работ следует осуществлять оценку горнотехнических возможностей каждого рудного района, которая позволит обосновать объемы разведочных, увязанных во времени работ, а также параметры первого и последующих этапов развития будущего предприятия, его ожидаемые возможности.

Для формирования стратегии поддержания и развития минерально-сырьевой базы арктической зоны, потребуется совокупная оценка не только ее учтенных минеральных ресурсов, но и средств их добычи и переработки, а также подходов к развитию промышленной и социальной инфраструктуры регионов предполагаемого освоения недр. Важным моментом, характеризующим эффективность реализации инфраструктурного проекта «Урал промышленный — Урал Полярный» является обоснование целесообразности строительства железной дороги и показателей ее полезной загрузки. По оценкам администрации ХМАО, нижним пределом рентабельности является объем грузоперевозок не менее 5,3 млн т/год. Однако на первых этапах освоения Приполярья такой объем может быть реализован не сразу. Поэтому очень важно предварительно решить вопрос «что возить?».

Значительные запасы имеющихся бурых углей, скорее всего, более рационально добывать и перерабатывать в электрическую энергию прямо на местах ведения горных работ, особенно с учетом планируемого в 4–6 раз возрастания потребления электроэнергии только на территории ХМАО. Поэтому железнодорожные перевозки угля будут весьма ограничены.

Наибольшее количество ресурсов, востребованных уральской промышленностью, сосредоточено в Приполярье в виде железных и хромитовых руд (*табл.1.7*). На основании проанализированных данных рассчитаны прогнозируемые к отработке запасы этих полезных ископаемых. Поскольку, как показывает практика, подтверждение оцененных ресурсов в разведанных запасах составляет около 20%, прогнозируемые к проектированию отработки запасы могут быть предварительно приняты в пределах 1,0–1,1 млрд т по железным и 230–240 млн т по хромитовым рудам. Представленные оценки совпадают с аналогичными, выполненными ВИМС. Прогнозные запасы в сопоставлении с ориентировочными нормативными сроками их отработки позволяют предварительно определить и максимально возможный объем ежегодной добычи железных и хромитовых руд, который составит 20–25 млн т/год и 4–5 млн т/год, соответственно. Указанные объемы руды не могут быть добыты в первые же годы и будут наращиваться поэтапно. Однако объем грузоперевозок будет меньше по сравнению с объемами добываемой руды, поскольку не имеет смысла перевозить необогащенную руду на Средний Урал, что приводит к удорожанию готовой продукции. Кроме того, размещение отходов обогащения железных и хромитовых руд на территории уральских металлургических комбинатов и обогатительных фабрик с экологической точки зрения не оправдано. Рациональна перевозка предварительно обогащенной, хотя бы до промпродукта, руды в непосредственной близости от места ее добычи, а глубина предварительной переработки должна быть экономически обоснована. Помимо отходов предварительного обогащения отходами горного производства являются вскрышные породы, максимальный ожидаемый ежегодный объем выемки которых определен по аналогам исходя из среднеотраслевых коэффициентов вскрыши, характерных для отработки железорудных и хромитовых месторождений.

Принципы комплексного освоения недр требуют переработки «пустых» пород. Она возможна, поскольку их физико-механические свойства удовлетворяют требованиям производства дорожного и строительного щебня. В настоящее время щебень, используемый для жилищного строительства и развития производственной инфраструктуры Севера, в большинстве своем завозится из центральных районов страны и с Урала. Освоение месторождений вдоль трассы предполагаемого строительства

Таблица 1.7

Минерально-сырьевой и прогнозно-ресурсный потенциал Полярного и Приполярного Урала. Прогноз ежегодных объемов вскрышных работ

Вид минерального сырья	P_3	P_2	P_1	C_2 (C_2 + C_1)	$\sum Z_{пр}$	Агод, млн т/год	Кср, $м^3/т$	Vгод, млн $м^3$/год
Хромовые руды, млн т[1]	293,500	430,545	149,875	16,046	235,792	До 5	4 – 5	До 40
Железные руды, млн т[2]	2769,2	1725,3	223,0	79,11	1089,51	20–25	1,2–3,0	До 75
Порфировый геолого-промыш-ленный тип[3]:								
медь (тыс т)	3300	115	1081,7	–	1223,8	0,2	1,1–1,4	До 0,28
молибден (тыс т)	74,6	2	18	–	24,3	0,05	1,1–1,4	До 0,07
Колчеданно-полиметаллический тип[3]:								
медь (тыс т)	1120	610	74,8	–	383,4	0,1	4–7	До 0,7
цинк (тыс т)	5575	3235	473	–	1998,5	0,3	4–7	До 2,1
свинец (тыс т)	835	545	87,6	–	319,8	0,05	5–8	До 0,4

[1] По Перевозчикову Б. В. и др., 2006.
[2] По Чурсину А. В. и др., 2006.
[3] По Золоеву К. К. и др., 2004.

железной дороги будет сопровождаться увеличением производства местных строительных материалов из пород вскрыши и отходов предварительного обогащения руд. Учитывая, что до 50% пород вскрыши так или иначе будут задействованы на местные нужды, следует ожидать, что до 40–50 млн $м^3$/год могут быть переработаны на щебень, перевозки которого к местам потребления позволят в значительной мере загрузить железную дорогу.

При выборе технологий освоения месторождений Полярного и Приполярного Урала следует иметь в виду, что самым затратным элементом при создании минерально-сырьевой базы будет являться организация промышленной и социальной инфраструктуры добывающих регионов.

По данным статистики, производительность труда одного работающего на горных предприятиях в России в 6–10 раз ниже зарубежных показателей. Для примера, в Швеции на руднике «Айтик» (карьер и обогатительная фабрика) трудятся 480 человек, перерабатывая при этом 47–49 млн т горной массы в год, а комбинат «Ураласбест» для выемки и переработки 52–54 млн т горной массы в год (рудоуправление и две обогатительные фабрики) содержит около 6500 работающих. Этот факт свидетельствует о том, что при существующем в стране подходе к организации горного производства, и особенно на Полярном и Приполярном Урале, неоправданно большие средства и ресурсы должны быть направлены на обеспечение жизненных потребностей работающих и членов их семей. Основными характеристиками такого дисбаланс в производительности труда работающих на отечественных и зарубежных предприятиях являются:

— применение техники большой единичной мощности как на горных работах, так и на обогащении, что резко снижает численность производственного персонала;

— резкое снижение численности персонала, занятого при производстве ремонтных работ, за счет услуг предприятий гарантийного и постгарантийного обслуживания применяемой техники;

— широкое привлечение покупных услуг и арендных предприятий при выполнении вспомогательных процессов и операций, напрямую не связанных с основным производством;

— максимальное использование поточных технологий, предусматривающих достижение наивысшей производительности труда;

— широкое использование компьютерных технологий управления производством и его технологической подготовки, снижающих эксплуатационные расходы не менее чем на 8–9%, за счет лучшей организации производства и более надежного обоснования потребных ресурсов;

— учет отличий в требованиях нормативно-технической документации: СНиП, правилах безопасности, санитарных нормах и пр. Указанные документы, действующие на территории России, во многих случаях увеличивают ресурсоемкость производства и численность персонала, особенно при ведении взрывных работ, ремонтах, строительстве.

Перечисленные отличия свидетельствуют о том, что все отечественные горные предприятия проектируются и организуются как замкнутые самообеспечивающиеся и самонастраивающиеся производственные системы, способные функционировать независимо от внешних условий, что, соответственно, требует увеличения трудовых и материальных ресурсов. Следует отметить, что если строительство будущих горных предприятий реализовать по отраслевому признаку, т.е. осваивать месторождения отдельными заинтересованными профильными компаниями, то в результате каждая из них будет создавать свою отдельную производственную и социальную инфраструктуру, в результате чего снова будут созданы «замкнутые» производственные системы, требующие значительного количества трудовых ресурсов. Зарубежные же предприятия в наибольшей степени являются открытыми производственными системами, интегрированными в общую экономическую структуру региона и страны в целом.

Таким образом, главными принципами, которые следует реализовать при формировании программы работ по развитию минерально-сырьевой базы районов со сложными природно-климатическими условиями, рекомендуется считать:

— целевой поиск полезных ископаемых, обеспечивающих реализацию приоритетных программ на оцениваемой территории (легированные стали, энергетика, машиностроение и пр.);

— поэтапную ускоренную разведку и ввод мощностей, сопровождающиеся экспрессными геолого-технолого-экономическими расчетами и обоснованиями, комплексное освоение недр;

— комплексное освоение территорий, создание управляющей компании — координатора проекта;

— формирование открытой инфраструктуры создаваемых предприятий, потребляющих минимум трудовых ресурсов.

Исходя из этих соображений технологии освоения месторождений, размещающихся на полярных и приполярных территориях, должны основываться на принципах:

— использования высокопроизводительного оборудования большой единичной мощности, соответствующего горно-геологическим условиям разработки, в том числе специального горного, транспортного и вспомогательного оборудования в северном исполнении;

— использования на первых этапах основного оборудования и вспомогательной техники с дизельным приводом, а при вводе моделей с электрическим приводом — применения мобильных мощных автономных источников электроэнергии, работающих на газе, мазуте, угле или местном топливе;

— применения, особенно в период строительства предприятия, автосамосвалов на гусеничном ходу грузоподъемностью 20–60 т, преодолевающих уклоны до 20°, технологическую подготовку к выпуску которых необходимо стимулировать уже в ближайшие годы;

— предпочтительного применения открытых горных работ в начальной стадии освоения минерально-сырьевой базы с выделением на каждом месторождении участков разработки с минимумом горнокапитальной вскрыши. При этом сама стратегия эксплуатации каждого месторождения должна основываться на этапности отработки и разведки с вводом предприятий на полную мощность очередями;

— организации специализированной сервисной и ремонтной базы обслуживания техники с узловой заменой и ремонтом, основанной на внедрении системы учета наработки на отказ оборудования и его частей, создания узловых базисных складов ВВ общего пользования или предприятий по производству ВВ (по зарубежному опыту и по опыту Кузбасса), применяемых на местах изготовления;

— введения обязательной стадии предварительной подготовки полезного ископаемого к последующему обогащению на местах добычных работ для сокращения грузоперевозок и использования пород вскрыши и отходов предварительного обогащения для производства фракционированного щебня многоцелевого назначения.

Выполненные технико-экономические обоснования и проекты свидетельствуют о том, что при создании минерально-сырьевой базы организация промышленной и социальной инфраструктуры в труднодоступных регионах является самым затратным элементом, поэтому основой стратегии создания и эксплуатации МСБ в этих случаях является комплексность освоения недр при одновременном налаживании открытой инфраструктуры эксплуатирующих предприятий, в наибольшей степени интегрированных в общую экономическую структуру региона и страны в целом.

Реализация этих положений позволит, во-первых, сократить перевозки полезного ископаемого на Средний Урал за счет повышения его качества. Во-вторых, комплексное использование пород вскрыши и отходов предварительной рудоподготовки позволит, наоборот, значительно увеличить объемы перевозок, обеспечивающих строительными материалами развитие районов Крайнего Севера. В-третьих, объемы грузоперевозок возрастут за счет введения режима открытой инфраструктуры горных предприятий и территорий, в наибольшей степени потребляющих услуги вспомогательных производств, размещенных в средней полосе Урала.

Исходя из этого следующим важным принципом освоения сырьевых ресурсов Приполярного и Полярного Урала и других труднодоступных регионов и основой для организации ведения горных и геологоразведочных работ является принцип комплексного освоения территорий, позволяющий системно решать проблемы развития региона. В соответствии с ним предусматривается осваивать месторождения по их

местонахождению на территории определенного административного образования одной управляющей компанией — холдинговой структурой, ответственной за решение задач развития региона. Это позволит сконцентрировать все виды ресурсов; выстроить рациональную тактику и график освоения недр региона и их дальнейшего изучения; загрузить уже построенный участок железной дороги; в комплексе решить проблемы развития региональной промышленной и социальной инфраструктуры. Немаловажным фактором в решении этих вопросов является также и долевое участие государства.

Опыт ведения горных работ на Тарньерском карьере показал, что проектная численность работающих на предприятии 1200 человек была значительно сокращена за счет создания открытых производственных систем. В период строительства карьера было задействовано 214 человек, а при выходе карьера на полную производственную мощность численность работающих составила 184 человека. Пример свидетельствует о том, что организация производства, потребляющего услуги и ресурсы в инфраструктуре холдинга, в значительной степени сокращает потребность в трудовых ресурсах.

Необходимость освоения недр северных и труднодоступных территорий не только Урала, но России в целом диктует целесообразность межотраслевого подхода к развитию горного, металлургического и машиностроительного комплексов. Особенностью комплексных исследований являются опережающие или параллельные оценки, позволяющие заблаговременно использовать их результаты при выработке решений, рекомендаций или обосновании основных ограничивающих условий недропользования.

1.5. Методические подходы к учету общих закономерностей и региональных особенностей при выборе стратегии освоения месторождений полезных ископаемых

При освоении новых месторождений и расширении сырьевой базы, в особенности в северных районах Урала, в Якутии, на Дальнем Востоке с недостаточно развитой инфраструктурой, требуется принципиально новый подход к выработке стратегии формирования горнопромышленных комплексов с единой открытой производственной инфраструктурой для разработки нескольких месторождений в каждом из районов их расположения, включающей источники энергии, водоснабжения, ремонтные базы, объекты социальной сферы, перерабатывающие предприятия и т.п. Таким образом, принцип комплексного освоения недр дополняется принципом комплексного освоения территорий. Применительно к стратегии расширения и развития минерально-сырьевой базы в северных и полярных районах страны, Якутии и на Дальнем Востоке существует ряд объективных региональных особенностей, без учета которых поставленные задачи не могут быть решены:

— географические и природно-климатические условия района месторождения, которые характеризуются для указанных территорий как сложные и суровые;

— степень развитости промышленной инфраструктуры, в том числе в районе месторождения (транспорт, энергетика, топливо, источники строительных материалов, воды), которая зачастую недостаточна;

— специализация и национально-этнические особенности района развития горнодобывающей промышленности, занятость населения, возможность комплектования рабочими и инженерными кадрами организуемого производства. В большинстве случаев регион не может предоставить достаточное количество людей нужных для горного предприятия профессий;

— дефицит мощностей перерабатывающих предприятий (обогатительные фабрики, металлургические предприятия и пр.), который, наряду со значительными разведанными запасами и прогнозными ресурсами полезных ископаемых, делает рассматриваемые регионы инвестиционно привлекательными;

— общее состояние экологической обстановки в районах предполагаемого ведения горных работ и возможность ликвидации последствий дополнительной антропогенной нагрузки на регион, которые в данных условиях характеризуются как трудновосстановимые.

Ниже на примерах проекта «Урал Промышленный — Урал Полярный», а также программ развития энергетики, металлургии и добывающих отраслей Якутии и Хабаровского края показаны некоторые методические подходы, учитывающие сформулированные региональные особенности отработки месторождений полезных ископаемых при решении конкретных задач освоения минерально-сырьевой базы. Освоение недр Полярного и Приполярного Урала увязываются с главными задачами, которые необходимо решить. С позиций перспективы освоения данного района предусматривается строительство железной дороги для создания транспортной связи с промышленно развитым Средним Уралом. Поскольку минеральная база Полярного и Приполярного Урала представлена в основном оцененными ресурсами, в ближайшее время необходимо организовывать масштабные работы по геологическому изучению всей территории. При этом поэтапная стратегия ускоренного изучения недр в пределах перспективных рудных регионов позволит снизить сроки подготовки месторождений к эксплуатации ипредварительно охарактеризовать целесообразность строительства железной дороги и реализации всего проекта.

Ускорение развития минерально-сырьевой базы Урала за счет освоения северных территорий предусматривает строительство в приполярном регионе объектов инфраструктуры (автомобильной и железной дорог) и энергоснабжения (электростанций, линий электропередачи и др.). Освоение георесурсов полярных и приполярных горнодобывающих районов Урала невозможно без реализации системы эффективного мониторинга комплексного освоения месторождений минерального и техногенного сырья, а также оценки и прогнозирования наносимого ими ущерба природной среде.

Значительные запасы бурых углей Приполярья скорее всего более рационально извлекать и перерабатывать в электрическую энергию прямо на местах, особенно с учетом планируемого возрастания потребления электроэнергии на территории ХМАО.

Наибольшее количество оцененных сырьевых ресурсов, востребованных уральской промышленностью, сосредоточено в Приполярье в виде железных и хромитовых руд. Их прогнозные запасы могут обеспечить ежегодную добычу до 20–25 млн т/год и 4–5 млн т/год соответственно. Для снижения перевозимых объемов на местах производства горных работ рационально организовать предварительное сухое обогащение

руды (хотя бы до промпродукта), глубина предварительной переработки которой должна быть экономически обоснована.

Освоение месторождений вдоль трассы предполагаемого строительства железной дороги будет сопровождаться увеличением производства местных строительных материалов, которые могут быть произведены из пород вскрыши и отходов предварительного обогащения руд, перевозка которых к местам потребления позволит в значительной мере загрузить железную дорогу. В настоящее время щебень, используемый для жилищного строительства и развития производственной инфраструктуры Севера, в большинстве своем завозится из центральных районов страны и с Урала.

Применительно к решению задач экспресс-оценки на самых ранних стадиях изучения месторождений, находящихся в сложных природно-климатических условиях, выбор средств для описания геообъектов во многом определяется методикой построения модели будущего горного предприятия как сложной природно-технологической геосистемы. Методика формирования модели геосистемы включает закономерности ее построения, правила изучения структуры системы, анализа взаимодействия геоинформационных подсистем и использования их элементов с целью формирования совокупности справочных, аналитических, экспертных и других оценок для решения технико-технологических задач и связанных с ними социально-экономических и экологических проблем, прогноза последствий отработки, предупреждения возникновения и развития чрезвычайных ситуаций.

При такой постановке возникает необходимость предварительного анализа будущей системы с целью формулирования основных продукционных правил ее функционирования. Предлагается производить оценку ее компонент как совокупности некоторых их свойств, показателей и параметров. Каждая из компонент — объектов среды, в которой будет осуществляться изучение и отработка месторождения, может быть описана в виде конечного числа числовых параметров, характеризующих сложность природных и технологических условий. В таблице 1.8 приведены систематизированные сведения, необходимые для выполнения предпроектных и проектных оценок вне зависимости от стадии технологической подготовки объекта к отработке. Например, параметры объектов «район отработки» и «месторождение» дают начальные сведения о внешней среде, в которой будет размещаться предприятие, а также об основных потребительских свойствах и трудности переработки оцениваемого минерального сырья. Для получения и оценки таких параметров необходимо привлечение соответствующих геоинформационных баз данных, а также начальное изучение специфических свойств участка геологического отвода. При получении указанных данных возможно объемное моделирование собственно месторождения как совокупности залежей, разведочных подсчетных блоков и распределения в их объеме показателей качества. Совместное изучение такого рода данных позволит сформулировать начальные требования-ограничения к природоохранным мероприятиям, степени комплексности освоения недр, основным условиям недропользования, а также дать понимание того, какую конечную продукцию по степени ее дальнейшего использования должно или может производить будущее горнодобывающее предприятие и какая в связи с этим у него должна быть производственная структура. Например, горное предприятие может производить сырую дробленую руду, которая перевозится к местам ее переработки, эта руда может подвергаться первичной переработке, а перевозке может подлежать только промпродукт, наконец, на месте ведения горных работ может быть по-

строен горно-обогатительный или горно-металлургический комбинат, выпускающий продукцию высшего потребительского качества. Именно эти требования закладываются в обоснование главных параметров добывающих элементов (карьеров, шахт), обеспечивающих эффективную отработку месторождения. При этом все параметры и показатели, получаемые в результате моделирования, являются расчетными, обеспечивающими результат с наперед заданными свойствами.

Практика проектирования и существующие методики технологических расчетов свидетельствуют о том, что процесс обоснования технологических решений является, во-первых, итеративным, а во-вторых, последовательным. Например, обоснование границ горного отвода неразрывно связано с расчетом геометрических размеров карьера в отработанном виде, а они, в свою очередь, зависят от принятой технологии, производительности, цен, качества производимой продукции, кондиций на полезное ископаемое и пр.

Одним из характерных примеров является освоение группы железорудных месторождений Якутии (Таежное, Десовское, Тарыннахское, Горкитское). При разработке стратегии создания новой минерально-сырьевой базы в данном регионе выявлены и экономически обоснованы следующие основные системообразующие ограничения, реализация которых позволит эффективно эксплуатировать недра:

— источником электроэнергии для горного производства является каскад ГЭС, строительство которых предполагается в ближайшем обозримом будущем;

— транспортирование готовой продукции организуемых горно-обогатительных производств осуществляется по государственной сети железных дорог, строительство которых уже развернуто;

— произведенная ГОКами продукция перерабатывается на металлургическом заводе, поэтапное строительство которого, увязанное с соответствующими этапами развития горных работ на ГОКах, предусматривается на территории Якутии;

— добытая горная масса (руда и вскрыша) используются комплексно для внутренних нужд в период строительства и для нужд региона. Переработка руд осуществляется с извлечением попутных компонентов при максимальном использовании сухих технологий обогащения, а на заключительных этапах мокрых технологий — с организацией оборотного водоснабжения при минимальных объемах шламохранилищ;

— снижение численности работающих на горно-обогатительных предприятиях обеспечивается организацией управляющей компании — металлургического холдинга, комплексно развивающего производственную инфраструктуру районов добычи;

— комплексное развитие местной горнодобывающей промышленности за счет привлечения сырьевых источников вспомогательных ресурсов для строительства.

Экономические расчеты свидетельствуют о том, что производимая горно-обогатительными предприятиями продукция достаточно конкурентоспособна на внутреннем рынке. Однако проекты отработки месторождений в удаленных от развитой промышленной инфраструктуры районах со специфичными природными и климатическими условиями весьма чувствительны к колебанию цен и текущих эксплуатационных затрат. Например, при отработке Гаринского железорудного месторождения (Амурская область), в соответствии с разработанными технико-экономическими показателями, при снижении цены продукции на 10 %, проект становится нерентабельным, а при повышении удельных затрат на производство до 10% срок окупаемости вложений сопоставим со сроком отработки месторождения. Поэтому для сокращения

Таблица 1.8

Основные свойства, показатели и параметры природно-технологическихгеосистем

Объект исследования	Характеристика объекта		
	Свойство	**Показатель**	**Параметр**
1. Район разработки	Географические и природно-климатические условия	Климатическая зона, удаленность региона, условия освоения	Перепад температур, рельеф, гидрография, сейсмичность
	Промышленная освоенность	Наличие необходимых мощностей, обеспечивающих переработку сырья на местах	Мощность транспортных и энергетических структур, местные источники вспомогательного сырья
	Национально-этнические особенности района	Заселенность и структура населения региона, исстоники комплектования рабочими кадрами	Численность населения и его профессиональный состав
	Общее состояние экологической обстановки	Наличие охраняемых территорий, водоемов, видов животных и растений	Фоновые концентрации, площади угодий и неудобий, поверхностный сток, размеры водоемов
2. Месторождение	Изученность	Соотношение ресурсов и запасов, перспективы прироста, риск неподтверждения запасов	Категория ресурсов и запасов. Площадь распространения
	Ценность, потребительские свойства	Вид полезного ископаемого, потребность в сырье, инвестиционная привлекательность	Кондиции, цены реализации, потребители, рентабельность отработки
	Доступность для освоения	Удаление от освоенных территорий, надежность (риск) возврата средств в разведку	Глубина залегания, допустимые коэффициенты вскрыши, удаленность потребителей
	Вещественный и минеральный состав. Комплексность переработки	Обогатимость, содержание полезного ископаемого, полнота и показатели комплексности извлечения и переработки	Извлечение, качество сырой руды и концентратов по видам, соотношение типов руд
3. Выемочная (структурная) единица	Залежь (пласт). Рудное тело (блок). Уступ	Пространственное размещение и распределение качества	Первичная геологическая документация, данные геометризации объемов и качества, координаты скважин, точек опробования, физико-механические свойства руд и пород, потери, разубоживание и др.

4. Перерабатывающее предприятие	Организационная форма получения готовой продукции	Горно-обогатительный комбинат, рудник, обособленный участок	Производственная мощность. Требования к качеству и агрегатному состоянию. Лицензии, условия природо – и недропользования
	Производственная структура	Структурные звенья, эффективность технологий извлечения и переработки, транспортные расходы на доставку потребителям	Мощность технологических потоков, ритмичность, непротиворечивость, увязка во времени
5. Добывающий элемент — карьер, шахта	Вид готовой продукции	Концентрат, промпродукт, руда сырая, дробленая	Соотношение типов и сортов, трудно-, средне- и легко- извлекаемых запасов
	Главные параметры карьера (шахты)	Границы отработки, производственная мощность, срок отработки	Промышленные запасы, календарный график отработки, глубина отработки, размеры горного и земельного отводов
	Технологические приемы управления карьерным (очистным) пространством	Конструкция карьерного пространства и принятые способы управления порядком отработки. Концентрация работ	Текущие и средние коэффициенты вскрыши, конструкция погашенных, законсервированных и рабочих бортов, динамика отработки
	Применяемые системы разработки	Интенсивность и качество отработки запасов.	Скорость подвигания и понижения горных работ, эксплуатационные потери и разубоживание. Протяженность фронтов работ, размеры экскаваторных блоков (камер), площадь рабочей зоны и эксплуатируемой части залежи и пр.
	Применяемые способы и схемы вскрытия	Грузооборот, грузоработа, мощность пропускаемых потоков	Расстояние транспортирования, вид и типоразмеры транспорта, конструкция выработок, объемы и интенсивность перевозок
	Структура запасов и резервов	Перспективные, текущие и оперативные запасы. Резервы материальных средств, оборудования, людей, энергии и пр.	Соотношение и качество балансовых и забалансовых запасов, общекарьерные потери. Длины фронтов работ, объемы вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов, запас пропускной способности транспортных коммуникаций. Энерго- и ресурсоемкость

ресурсоемкости производства, текущих затрат и инвестиций в капитальное строительство таких предприятий применительно к специфике района ведения работ приняты следующие решения:

— по данным космического зондирования месторождение является первым из изученных в рассматриваемом регионе — на его территории обнаружено и локализовано несколько магнитных аномалий, поэтому предусмотрено поэтапное геологическое изучение рудного узла;

— предусмотрено строительство полнопрофильного горно-обогатительного комбината, который будет базовым при создании развитой инфраструктуры региона и создаст предпосылки для экономии трудовых ресурсов при дальнейшем расширении железорудной базы;

— с целью наиболее эффективного использования капитальных вложений принят поэтапной выход горно-обогатительного предприятия на полную производственную мощность;

— для обеспечения круглогодичной работы обогатительного передела предусмотрено строительство гидротехнического каскада: верхнее водохранилище чистой воды и нижнее хвостохранилище. Это обусловлено тем, что реки в регионе имеют незначительный расход и перемерзают зимой;

— формирование стратегии по охране недр и полноте извлечения полезного ископаемого предусматривает поэтапную реконструкцию карьера с расширением его в торцах (при доразведке запасов на флангах), переход на подземные работы с использованием выработанного пространства карьера и сформированных в нем коммуникаций для вскрытия подземного рудника наклонными автомобильными тоннелями;

— при строительстве комбината и его эксплуатации предполагается привлекать население, проживающее в регионе, для чего предусмотрено строительство вахтового поселка на 1500 человек с предоставлением работающим комфортного современного жилья. Кадры предусматривается готовить путем организации горного колледжа, поставляющего производству необходимых специалистов;

— развитие транспортной сети в регионе и связь с промплощадкой строящегося ГОКа обеспечены инвестированием строительства автодороги Чагоян — Гарь, реконструкцией участка железной дороги Шимановск — Чагоян и строительством перегона Чагоян — Гарь.

Применительно к условиям Эльгинского угольного месторождения они могут быть сформулированы следующим образом:

— освоение месторождения по отраслевому принципу приводит к созданию замкнутой производственной системы с максимальной потребностью в трудовых ресурсах;

— основой стратегии эксплуатации месторождения является интенсивная отработка запасов при одновременном налаживании открытой инфраструктуры предприятия;

— реализация предложенного принципа обеспечивается организацией холдинговой структуры, ответственной за создание общей промышленной инфраструктуры в районе ведения работ.

Приведенные примеры, принятые технические решения и сформулированные общие рекомендации являются характерными для целой группы регионов, в которых в настоящее время предполагается создание или развитие минерально-сырьевой базы для различных отраслей промышленности.

Глава 2. Ресурсный потенциал и перспективы развития минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала

2.1. Концепция сырьевого обеспечения металлургического производства

Продукция металлургического производства является основой для развития многих отраслей промышленности, в особенности машиностроения. Современные требования к развитию машиностроительного комплекса обуславливают повышение потребности в собственных отливках и легированном прокате. Структурные изменения в сортаменте сталей необходимы для расширенного производства легированных сталей и производства конкурентоспособных изделий с наивысшими потребительскими качествами и свойствами. При определении баланса производства минеральных ресурсов и их потребления для выпуска легированных сталей формулируются требования к исходному сырью — продукции горных предприятий по ее свойствам и количеству, обеспечивающим выплавку сталей нужного качества. В зависимости от принятой технологии выплавки сталей — прямого легирования сталей или выплавки легированных чугунов — общий подход к обоснованию расчета объема производства горных предприятий может быть охарактеризован схемой, представленной на рис. 2.1. Качество, агрегатного состояния (концентрата, агломерата, промпродукта и пр.) и объем производимого сырья являются теми факторами, на базе которых взаимодействуют перерабатывающие и добывающие предприятия. Для определения этих параметров при планировании развития металлургического и машиностроительного комплекса устанавливаются и обосновываются:

— сведения о текущей и прогнозируемой потребности машиностроительных заводов в легированных сталях;

— фактическое и прогнозируемое потребление металлургическими предприятиями собственно стали и чугуна, а также легирующих элементов (никеля, хрома, марганца, ванадия, молибдена и пр.);

— фактический и прогнозный удельный расход легирующих компонентов и ферросплавов;

— перечень и производственная мощность предприятий, которые могут быть использованы для переработки рудного сырья в конечные легирующие продукты: ферроникель, ферромарганец, силикомарганец, феррохром и пр.

При установленной потребности в основном сырье (железорудном концентрате, агломерате, окатышах) и легирующих компонентах изучаются сведения о балансовых и прогнозных запасах природных и техногенных месторождений железных руд и руд легирующих компонентов, а также флюсов и коксующихся углей в конкретном

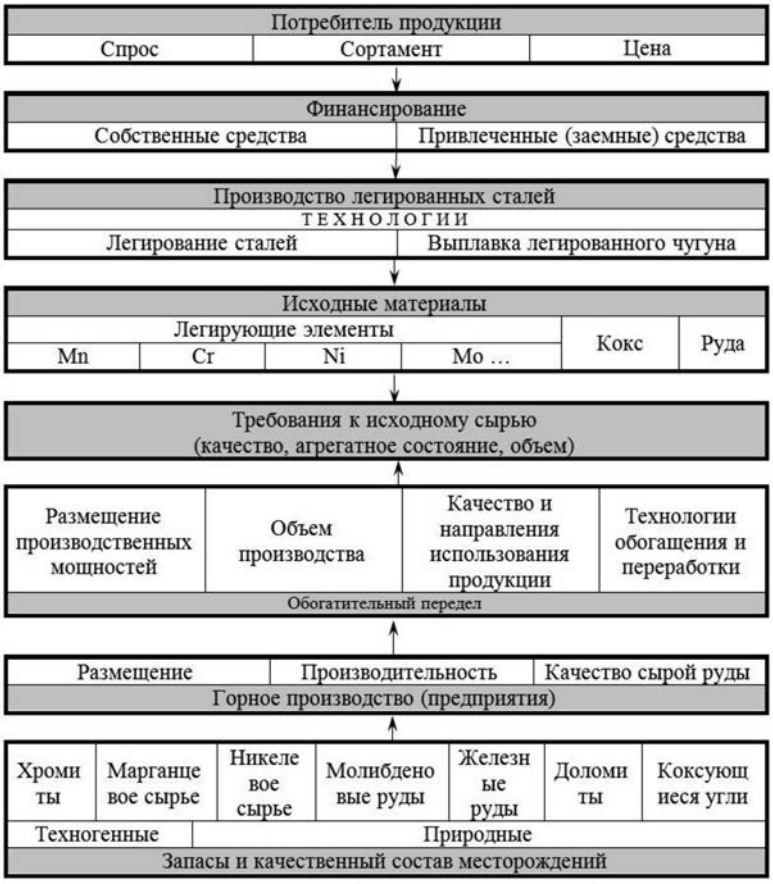


Рисунок 2.1. Схема к определению баланса потребления и производства минеральных ресурсов при выпуске легированных сталей

регионе, включая исходное качество полезных ископаемых и возможные направления их комплексного использования. Из имеющихся на государственном балансе месторождений выделяются уже отрабатываемые, производящие рудное, легирующее и флюсовое сырье. При дефиците сырья исследуются возможности расширения круга обеспечивающих действующих горных производств или возможности инвестирования доразведки и освоения новых месторождений. Наряду с оценкой новых месторождений анализируются возможности получения сырья (особенно легирующих компонентов) из техногенных месторождений (отвалов бедных руд, шламохранилищ, отвалов металлургических шлаков и т.п.).

Переработка сырой руды или техногенных отходов до качества, приемлемого для дальнейшего их использования в металлургическом переделе осуществляется на обогатительных фабриках, поэтому при установленном объеме потребления сырья необходимо знать, где полезное ископаемое будет проходить предварительную подготовку. Для этого устанавливаются фактические и прогнозные данные о производительности действующих обогатительных предприятий, перерабатывающих

железорудное, легирующее и флюсовое сырье; сведения о качестве производимой продукции; достигнутой и ожидаемой себестоимости добычи и обогащения руд; прогнозируются инвестиции в развитие действующих горных и обогатительных предприятий; рассчитывается стоимость перевозок от производителя сырья до потребителя.

Организация производства на макроуровне требует: определить перечень финансовых или промышленных групп, заинтересованных в развитии конкретного производства; выработать основные принципы регионального управления или взаимодействия предприятий в процессе обеспечения развития отрасли промышленности; установить общую схему поставки или производства всех видов ресурсов, необходимых для выплавки легированных сталей; решить задачу размещения заказов на металлургических предприятиях области; определить схему реализации и доставки произведенной продукции; установить потребность потенциальных заказчиков в легированном сырье, замкнув эти данные на структуру, координирующую и прогнозирующую объем производства и потребления; определить объем инвестиций в каждое звено производственного процесса.

Необходимость освоения недр северных и труднодоступных территорий не только Урала, но России в целом диктует целесообразность комплексного подхода к развитию горного, металлургического и машиностроительного комплексов. Для рассматриваемых регионов рекомендуется выполнение совокупности аналитических работ по формированию стратегий освоения горнорудных районов для комплексного освоения ресурсов недр и созданию программы геологоразведочных работ по доизучению и постановке на учет запасов наиболее перспективных рудопроявлений по оцениваемым типам полезного ископаемого.

2.2. Перспективы разработки месторождений Полярного Урала

Несмотря на 300-летнюю историю добычи минерального сырья, Урал остается наиболее богатым регионом, стоимость разведанных запасов, приходящихся на единицу площади которого на порядок выше, чем в среднем по России [77].

Количественное соотношение разведанных сырьевых ресурсов Уральского федерального округа [54] и степень их полезного использования (*рис. 2.2*) свидетельствуют о значительном потенциале региона. Однако, как показывает практика, спрос и интенсивность потребления ряда полезных ископаемых пока недостаточна.

В наибольшей степени в регионе разведаны и ведется добыча хромовых руд. Запасы и ресурсы хромитов превышают 450 млн т. Наиболее изучен Райизский массив, где по двум объектам утверждены балансовые запасы 7,7 млн т хромитов с содержанием двуокиси хрома 36–38 %, из них 2,2 может быть выработано открытым способом, остальное — подземным. Разработку ведет ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат» открытым способом (порядка 300–600 тыс.

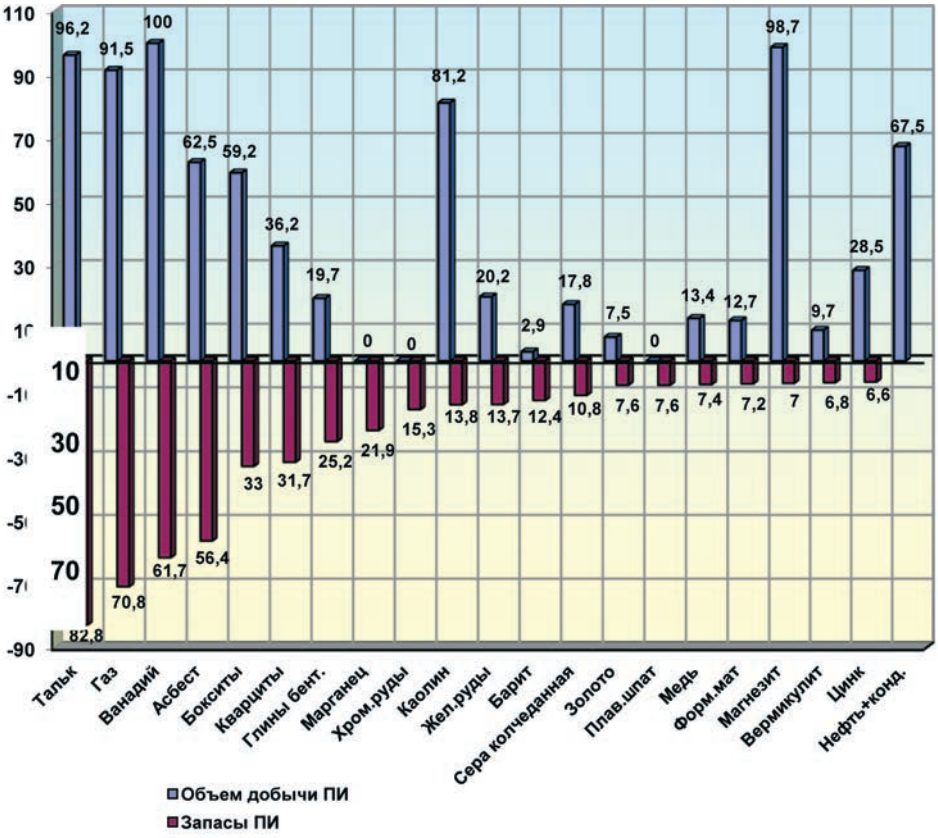


Рисунок 2.2. Распределение запасов и годовой добычи основных полезных ископаемых в Уральском федеральном округе (в процентах от российских)

т/год). Намечается строительство подземного рудника и обогатительной фабрики. Только в Конгорском ущелье можно построить 3 рудника с суммарной производительностью 1 800 тыс. т сырой руды в год и выпуском 750 тыс. т товарных хромитов. С учетом освоения других территорий максимально возможный объем добычи хромитов на Полярном Урале может составить 3 400 тыс. т сырой руды в год при выпуске 1 320 тыс. т товарных хромитов. Потребность промышленности РФ оценивается в 1 700 тыс. т товарной хромовой руды в год, Урала — в 900 тыс. т. Все производители феррохрома в России расположены на Урале: ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат», ОАО «Серовский завод ферросплавов» и ОАО «Ключевской завод ферросплавов».

Железные руды распространены также на северных территориях Урала в пределах ЯНАО и ХМАО. Прежде всего представляют интерес скарно-магнетитовые руды. Возможные объемы поставок товарной железной руды с Полярного и Приполярного Урала могут составлять 5 млн т. Железорудный потенциал ЯНАО достаточно высок. Наиболее разведанным и перспективным является Щучьинский район — Яньягинское поле с запасами 66,1 млн т, ресурсами 1 468,4 млн т. Запасы промышленных

категорий по Щучьинскому району оцениваются примерно в 300 млн т, по Танюскому району 127 млн т, возможный объем производства железорудного концентрата 1,2–1,5 млн т в год. В Северо-Сосьвинском железорудном районе ХМАО выделено несколько рудных узлов. Прогнозные ресурсы категорий P_1+P_2 утверждены в сумме 560 млн т, ресурсы категорий P_3 в наиболее перспективном Вольинском рудном районе оцениваются в 825 млн т. Все ресурсы в пересчете на запасы оцениваются в 420 млн т. Возможный объем добычи руды 3–4 млн т, объем концентрата 1,5–2,0. Осваивать железорудные месторождения Приполярного и Полярного Урала целесообразно после строительства железной дороги вдоль Уральского хребта.

Прогнозные ресурсы меди Полярного и Приполярного Урала могут рассматриваться как перспективная рудная база для восполнения выбывающих мощностей ГОКов промышленного Урала после 2020 г.

С этих позиций первым шагом реализации всего проекта является изучение и разведка месторождений твердых полезных ископаемых, углей, редких земель, драгоценных и благородных металлов. Необходимость решения задач по комплексному освоению запасов твердых полезных ископаемых региона возникает в связи с сокращением традиционной сырьевой базы Уральских металлургических предприятий.

Ранее риск последствий неподтверждения разведанных запасов, подлежащих освоению и отработке, компенсировало и принимало на себя государство. В этих условиях методика геологоразведочных работ была призвана прежде всего обеспечить наибольшую надежность представляемых на экспертизу данных. Это влекло за собой увеличение сроков и общих затрат на разведку, прежде всего на бурение. При этом значительные объемы разведочных работ выполнялись для изучения глубинной части месторождений, которая ни в ближайшем будущем, ни даже в отдаленной перспективе не может быть освоена. Не подвергая сомнению важность изучения недр в целом, следует отметить, что поэтапная стратегия изучения недр в пределах перспективного рудного региона более экономична и снижает сроки подготовки месторождения к освоению. С практической точки зрения следует отметить, что опыт ускоренной разведки и освоения ресурсов недр на Урале есть. Весь комплекс работ по разведке и освоению Сафьяновского месторождения меди был реализован за 7–8 лет, а изучение Жижинско-Шаромского участка хромитов вместе с организацией проектных работ и строительством передового карьера составило 4 года. Вместе с тем построение стратегии изучения и освоения ресурсов недр сопряжено с необходимостью принятия решений в условиях недостаточной надежности имеющихся исходных геологических данных. Для выработки основных стратегических направлений комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых Приполярного Урала выполнена оценка эффективности разработки северных и приполярных месторождений.

На территории Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) [53] в относительной близости расположены месторождения коренного золота, медной и железной руды, хромитов, кварцевого и цеолитного сырья, бурого угля (*рис. 2.3, табл. 2.1*).

Методическая последовательность подходов к определению параметров и показателей будущих горных предприятий такова:

— выделены характерные участки первоочередной разработки полезного ископаемого с наиболее высоким содержанием ценного компонента и приведенными запасами для добычи на срок не менее 10 лет;

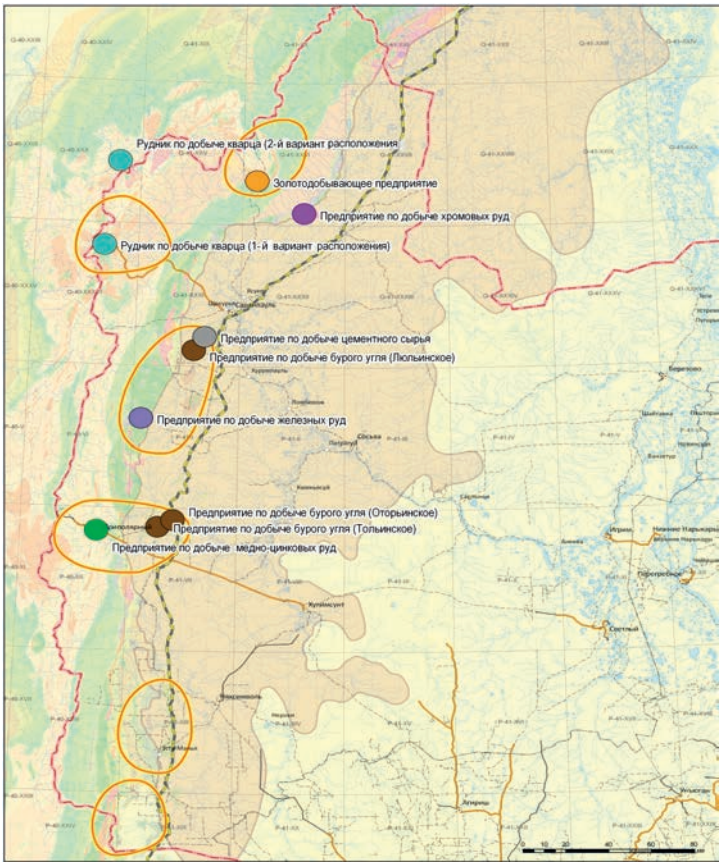


Рисунок 2.3. Перспективные для освоения месторождения ХМАО

— среднегодовые объемы добычи определены исходя из горнотехнических условий извлечения запасов из недр, разработка которых ведется открытым способом в основном небольшими и средних размеров предприятиями;

— параметры карьеров и показатели работы технологического оборудования определены с учетом опыта горных работ на действующих предприятиях (аналогах) и с использованием типовых технических решений (типовой карьер);

— оценены технологии предварительного обогащения на местах ведения горных работ, которые предусматривают сухие методы получения промпродукта с целью исключения негативного воздействия продуктов обогащения на природу Приполярного Урала. Полученный промежуточный продукт вывозится в освоенные индустриальные регионы Урала для последующей глубокой переработки.

Укрупненная оценка возможных объемов предполагаемой добычи осуществлена исходя из следующих ведущих ограничений:

— для месторождений, представленных прогнозными ресурсами (медь, золото, железные руды), обоснования следует выполнять на основании расчетных приведенных запасов. При этом производительность добывающих предприятий принимается

Таблица 2.1

Оценка ресурсов Полярного Урала (ХМАО) по некоторым видам минерального сырья

Вид сырья, перспективная рудная зона, месторождение	Запасы категорий $A+B+C_1+C_2$	Прогнозные ресурсы $P_1 + P_2 + P_3$	Приведенные запасы $Z_{пр}$
Золото, т Хобеизская рудная зона	11,6	1088,8	236,6
Медная руда, млн т Северо-Сосьвинский + Вольинский районы	–	44 + 61	21
Хромиты, млн т Синотвожско-Народинское рудное поле	–	Н.д.	2
Железная руда, млн т Северовольинский и участок А-4 Охтлямского рудного узла	_	910	245
Бурый уголь, млн т Люльинское, Тольинское, Оторьинское месторождения	1268,9	10 600	2100
Кварц, тыс. т Центральная кварцево-жильная полоса	–	400	80
Цементное сырье (известняк), млн т Ятринское месторождение известняка	19,8	Н. д.	–

исходя из нормативных сроков отработки запасов с учетом данных предприятий-аналогов, параметры разработки сырья с оцененными запасами принимаются по данным ранее выполненных ТЭО и проектов;

— для сокращения первоначальных инвестиций в разработку месторождений ее предпочтительно вести открытыми горным способом и расширять поэтапно, организуя работы по вахтовому методу; на первом этапе следует выделять участки с наиболее значительными запасами и ресурсами;

— при обосновании параметров технологии ведения открытых горных работ с учетом горнотехнических и природных условий разработки месторождений Приполярного Урала следует предусматривать применение высокопроизводительной мобильной техники в северном исполнении, на первых этапах — дизельной, с максимальным использованием местных энергетических ресурсов и материалов;

— уровень производства горных работ должен обеспечить конкурентоспособное качество выпускаемой продукции при значительном повышении производительности и безопасности труда, а также допустимом уровне экологической нагрузки на окружающую среду;

— с целью снижения количества отходов, возникающих при ведении работ и переработке полезного ископаемого, предпочтительно использовать технологии предварительной рудоподготовки и обогащения рудного сырья в местах добычи с максимальным использованием сухих методов. В этих случаях отходы могут быть

использованы для местных нужд, в том числе для дорожного строительства, а полученный промежуточный продукт доставлен в индустриальные регионы Урала для последующей глубокой переработки.

Отработка оцененных ресурсов твердых полезных ископаемых Приполярного Урала может быть организована предприятиями средней и малой производительности на период от 10 до 35 лет, в том числе по видам сырья: железные руды 8 млн т/год, период отработки до 30 лет; медные руды 1 млн т/год, период отработки до 17 лет; золоторудные 1 млн т/год, период отработки до 20 лет; хромиты 0,2 млн т/год, период отработки до 12 лет; бурый уголь 11 млн т/год, период отработки до 40 лет; кварцевое сырье 0,02 млн т/год, период отработки 1-й очереди — до 11 лет; цементное сырье 1,5 млн т/год; период отработки до 35 лет. Прогнозируемый ежегодный объем перевозок рудного сырья (промпродукта) составит до 5 млн т/год. Исключение составляют бурый уголь и цементное сырье, которые рекомендуется использовать в районах, непосредственно примыкающих к местам добычи, с целью развития промышленной инфраструктуры ХМАО.

В табл. 2.2 представлены рекомендуемые параметры карьеров по основным видам рудного сырья с учетом оцененных ресурсов и запасов, а также горнотехнических и экономических факторов. Параметры карьеров и показатели работы технологического оборудования определяются с учетом опыта горных работ на действующих предприятиях (аналогах) и с использованием типовых технических решений.

Указанные параметры карьеров можно считать характерными (типовыми) для оцененных условий и принимать их на этапе предварительных расчетов и оценок в качестве базовых для Приполярного Урала.

Таблица 2.2

Рекомендуемые параметры рудных карьеров Приполярного Урала

Параметр	Золото	Медная руда	Хромиты	Железная руда
Глубина, м	150	165	150	270
Длина по дну, м	510	400	250	950
Ширина по дну, м	25	200	80	650
Площадь по дну, тыс. $м^2$	10	63	16	485
Длина по поверхности, м	810	730	520	1387
Ширина по поверхности, м	325	530	350	1087
Площадь по поверхности, тыс. $м^2$	207	304	143	1184
Объем горной массы в контурах карьера, млн $м^3$	10,9	20,2	7,1	150,3
в т.ч. руды, млн $м^3$	1,2	1,2	0,3	12,3
млн т	3,1	5,0	1,3	43,2
вмещающих пород, млн $м^3$	9,7	19,1	7,7	137,9
млн т	27,1	53,3	21,5	372,6
Коэффициент вскрыши, $м^3$/т	3,2	3,8	6	3,2

Таблица 2.3

Укрупненная характеристика технологий предварительного обогащения сырья на местах производства горных работ

Вид сырья	Процессы предварительной подготовки	Качество исходного сырья	Качество промпродукта
Золоторудное	Дробление, сортировка, фотометрическая сепарация	Золото 3,5- 4 г/т	Золото 6,3-7,5
Меднорудное	Дробление, сортировка, рентгенометрическая, электростатическая сепарация	Медь/цинк 1,90/1,65%	Медь/цинк 7,77/6,63%
Хромитовое	Дробление, сортировка, рентгенометрическая сепарация	Cr_2O_3 35%	Cr_2O_3 47%
Железорудное	Дробление, сортировка, сухая магнитная сепарация	Железо 32%	Железо 50%
Кварцевое	Дробление, сортировка, фотометрическая сепарация	Засорение 10–12%	Засорение 3–5%
Буроугольное	Сортировка	Зольность 35–45%	Зольность 2 5–28%

Предложенные методы предварительного сухого обогащения рудного сырья, обеспечивают следующие прогнозные характеристики продукции (*табл. 2.3*). Хвосты предварительного обогащения (некондиционное сырье и сопутствующие породы) являются сырьем для производства щебня различного назначения.

Оценка ряда горнотехнических и экономических факторов, влияющих на формирование горнопромышленных комплексов в новых районах освоения месторождений и предельную глубину открытой разработки, учтенных при первичных экономических оценках, свидетельствует о том, что эффективность добычи будет во многом зависеть от комплексного влияния отпускной цены на производимые рудные концентраты и курсовой стоимости рубля; среднего содержания ценного компонента в сырой руде и объемов выпуска обогащенной руды; уровня инфляции в стране; затрат на приобретение оборудования и расходных материалов; мощности вскрышных пород при разработке.

При принятии мероприятий следует иметь в виду, что существенным фактором, определяющим целесообразность освоения региона и эффективность разработки отдельных месторождений, являются отпускные цены на внешнем и внутреннем рынках. Приемлемые сроки окупаемости в проектах разработки хромитов (6–14 лет) достигаются при действующем уровне мировых цен на реализуемую продукцию. Цены на продукцию медно-цинковых руд, содержащих помимо меди и цинка золото, постоянно меняются, и граничным условием эффективности их разработки в районе ХМАО служит цена меди свыше 5–6 тыс. дол. США/т и цинка 1,5. Немаловажным фактором в решении этих вопросов является также и долевое участие государства.

Предварительная оценка принятых параметров открытой разработки свидетельствует о том, что приемлемые сроки окупаемости освоения золоторудных месторождений могут быть достигнуты при среднем содержании золота в сырой руде не менее 3,0 г/т, а эффективность добычи железорудного сырья в условиях Приполярья может быть обеспечена в тех случаях, когда полные затраты на добычу, сухую

магнитную сепарацию, доставку промпродукта и его обогащения на уральских ГОКах не будут превышать 2800–2850 руб/т. Достаточно эффективной представляется разработка участков хромитовых и медных руд, кварцевого сырья с доставкой промпродукта на Урал, а также организация предприятий с полным циклом производства цемента для нужд региона.

Значительная экономия средств на доставку сырья от мест добычи к местам обогащения достигается за счет сухого обогащения, организуемого непосредственно при горнодобывающих предприятиях. При этом одновременно с сокращением объема работ по глубокой переработке значительно повышается качество исходного сырья (см. табл. 2.3), а также в большинстве случаев обеспечивается попутное производство щебня для дорожного строительства.

Экономическая оценка организации угледобычи на территории ХМАО на первый взгляд свидетельствует о том, что производство бурых углей убыточно. Это объясняется тем, что оцененный объем инвестиций включает в себя создание всей транспортной, энергетической и социальной инфраструктуры, необходимой для организации производства на территории всего района. Тем не менее необходимо отметить, что экономику добычи углей можно улучшить за счет:

— вложения средств в доразведку прогнозных ресурсов Северо-Сосьвинского угленосного района, которые составляют 10 694 млн т, что может выразиться в приросте прогнозных запасов полезного ископаемого до 1,5–2,0 млрд т угля и, вследствие этого, увеличения объема производства с соответствующим сокращением общих текущих затрат;

— изменения подхода к организации работ за счет создания горных предприятий в виде открытых производственных систем, потребляющих основные услуги извне, а не замкнутых, самообеспечивающихся;

— технических мероприятий, повышающих эффективность добычи, а именно: снижения затрат на вскрышные работы за счет сокращения коэффициентов вскрыши (с 6,0 до 3–4 $м^3$/т) в границах отработки передовых разрезов 1-й очереди; повышения производительности труда работающих (прогнозируемая нормативная численность трудящихся — 47 чел/млн $м^3$ добываемой горной массы) за счет использования техники и технологии, в наибольшей степени соответствующих сложившимся горнотехническим условиям разработки;

— предварительной прикарьерной подготовки углей к обогащению и сжиганию, а также комплексного использования недр за счет применения автономных источников энергии, работающих на мазуте, отходах обогащения и пр.

Одним из главных системообразующих условий освоения месторождений Полярного и Приполярного Урала является государственная поддержка создания в регионе необходимой транспортной и энергетической инфраструктуры: железной дороги Полуночное – Обская, автодороги Тюмень – Агириш – Салехард, а также объектов электроснабжения.

Выполненные исследования и предварительные технико-экономические оценки на примере месторождений твердых полезных ископаемых ХМАО позволяют сформулировать следующие основные черты стратегии освоения арктических территорий Приполярного и Полярного Урала [53, 56, 64]:

— при нынешнем уровне изученности недр можно полагать, что открытая разработка оцененных ресурсов твердых полезных ископаемых Приполярного Урала

может быть организована предприятиями средней и малой производительности, основанными на этапности отработки и разведки с вводом на полную мощность очередями;

— наиболее эффективным способом освоения разведуемых месторождений может быть признано обеспечение комплексного доступа ко всем ресурсам территорий вдоль предполагаемой трассы железной дороги с созданием открытой инфраструктуры эксплуатирующих предприятий;

— до начала оценки целесообразности освоения и проектирования горнодобывающих предприятий необходимо выполнить значительный объем геологоразведочных работ, которые рекомендуется выполнять на каждой оцениваемой площади поэтапно, первоначально на глубину до 150–270 м в зависимости от вида оцениваемого сырья и предполагаемой глубины его открытой разработки;

— при изучении первоочередных районов разработки и постановки на учет запасов наиболее перспективных рудопроявлений полный комплекс разведочных работ в первую очередь необходимо выполнять для рудных месторождений, отвечающих следующим требованиям к среднему содержанию полезного ископаемого: железные руды — не менее 28–30 % Fe_2O_3; золоторудные месторождения — не менее 3,0 г/т Au; хромиты — не менее 30–32 % Cr_2O_3; медные руды — не менее 1,2–1,5% Cu;

— предпочтительны технологии переработки рудного сырья в местах добычи с максимальным использованием сухих методов предварительного обогащения со стадиями дробления, сортировки и сепарации сырья; неприменение химических реактивов сокращает расходы на дальнейшее транспортирование к местам переработки и исключает негативное воздействие продуктов обогащения на окружающую среду;

— рекомендуется использование пород вскрыши и отходов предварительного обогащения для производства щебня, нужного в строительстве дорог, производственных и жилых зданий и сооружений, а также в нефтеносных провинциях для освоения нефтегазовых месторождений, т.е. отработка всех месторождений должна максимально обеспечивать комплексное использование недр;

— на данном этапе развития требуется максимальное использование местных сырьевых ресурсов, в том числе применение мобильных мощных автономных источников электроэнергии, работающих на газе, мазуте, угле или местном топливе;

— специфика природно-климатических, горно-геологических, горно-технических и экологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых арктического и прилегающих к нему регионов требует создания новых технических средств и технологий разработки, а также организационных принципов освоения недр.

Так как спрос на продукцию горнорудных предприятий определяется прежде всего потребностью в металлах [122] (*табл. 2.4*), а минерально-сырьевая база как РФ, так и УРФО требует восполнения, необходима доразведка, оценка потенциала и перспектив освоения не только минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых северных территорий Свердловской области, Республики Коми, Пермского края, Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, но и оценка ресурсов полезных компонентов минерального сырья техногенных образований (отвалов и складов бедных руд, шламохранилищ и т.п.) с последующей разработкой технологий их добычи и переработки.

Таблица 2.4

Доля металлургии Свердловской области в российском и общемировом производстве металлов

Вид продукции	Мировой объем производства, млн т	Объем российского производства		Объем производства Свердловской области		
		Всего, млн т	% от мирового	Всего, млн т	% от мирового	% от российского
Концентрат железорудный	-	102,4	-	13,12	-	12,8
Чугун	-	50,0	-	5,27	-	10,5
Сталь	1 562,5	68,3	4,4	8,54	0,55	12,5
Сталь электро-техническая	-	0,33	22,0	0,155	10,0	40,0
Прокат	-	57,9	-	6,76	-	11,7
Трубы	-	10,0	-	2,33	-	23,3
Медь черновая	21,0	0,87	4,1	0,29	1,4	33,3
Глинозём	-	2,85	-	1,73	-	60,7
Титановые сплавы	-	0,028	27,0	0,028	27,0	100,0

Для действующих предприятий дальнейшее развитие связано с решением следующих проблем в научно-методической их постановке:

1. Разработка долгосрочной стратегии инновационно-технологического развития, включающей решение комплексных задач:

— анализа горно-геологической информации об объемах, качестве и пространственном расположении оставшихся запасов основных и попутных полезных компонентов;

— обоснования кондиций с учетом уточненных качественных признаков добываемого сырья и конъюнктуры отечественного и мирового рынка на товарную продукцию;

— уточнения границ открытых и подземных горных работ и их последовательного, параллельного или комбинированного применения;

— обоснования объемов добычи и номенклатуры товарной продукции как основы для выработки и принятия управленческих воздействий в технологическом и организационно-экономическом развитии на краткосрочную и долгосрочную перспективу.

2. Выработка подходов к развитию технологии горного производства, включая:

— исследование режима горных работ в увязке с порядком их развития и формированием рабочей зоны (очистного пространства), обеспечивающим предпосылки для управления качеством добываемого сырья;

— аудит и анализ структуры парка оборудования и на их основе модернизацию действующих, а также создание и применение новых машин и механизмов;

— целевая оптимизация параметров технологических процессов и их взаимодействия применительно к конкретным, специфичным условиям функционирования.

3. Разработка комплекса организационно-экономических мероприятий и управленческих воздействий с целью выхода из кризисных ситуаций или их предотвращения, в том числе:

— обоснование способов резервирования и управления ресурсами предприятия всех видов (товарная продукция, финансы, оборудование, материалы и т.п.);

— ситуационный технико-технологический анализ организационной структуры горного производства и поиск «узких мест», сдерживающих снижение текущих издержек или повышение доходности, а также обеспечивающих безопасность ведения работ;

— комплексный анализ управленческих решений и системная увязка элементов и подсистем горного предприятия как организационно-экономической и финансовой системы.

В части развития минерально-сырьевой базы уральского региона за счет освоения новых месторождений полезных ископаемых основные направления исследований связаны с решением научных задач:

— систематизации сложности условий освоения месторождений Уральского Севера;

— разработки методов геолого-технолого-эколого-экономической оценки месторождений, основанных на разработке геоинформационных моделей пространственного размещения оцениваемых объектов, а также их вещественного состава и учета других факторов, обеспечивающих создание условий для эффективного природо- и недропользования;

— создания методик моделирования горных предприятий как сложных природно-технологических систем, позволяющих сократить сроки принятия решений и повысить степень их достоверности и комплексности;

— обоснования технических и технологических параметров новой карьерной техники, отвечающей специфическим условиям вновь осваиваемых месторождений.

Проблема вовлечения в эксплуатацию техногенных образований требует оценки ресурсного потенциала; обоснования технологий добычи и переработки; создания способов комплексного извлечения полезных компонентов; обеспечения экологической безопасности. Современный же период развития мирового и российского горного производства характеризуется существенным ухудшением горно-геологических условий дальнейшей эксплуатации разрабатываемых месторождений, а освоение новых месторождений связано с необходимостью решения целого ряда проблем как природного, так и социально-экономического характера.

Учитывая, что дальнейшее развитие минерально-сырьевой базы Урала зависит от возможности освоения месторождений Севера, к числу ожидаемых сложностей следует отнести природно-климатические условия; отсутствие энергетической и транспортной инфраструктуры; экологические проблемы. Из социально-экономических факторов важнейшими являются степень развитости в районе инфраструктуры, наличие рабочей силы, источников энергии, сырья и материалов, транспортных коммуникаций.

2.3. Железные руды

В целом по России отмечается стабилизация объемов поставок железорудного сырья (ЖРС) на металлургические предприятия и на экспорт на уровне 101–107 млн т/год. Некоторый рост объемов добычи сырой руды (до 2–7 % ежегодно) в первую очередь обусловлен снижением ее качества и сокращением выхода товарной руды (*рис. 2.4*) при существующих технологиях обогащения. Указанная негативная тенденция просматривается на протяжении последних лет и приводит к росту удельных затрат на производство железорудного сырья.

Основные показатели 2016 г. в части объемов добычи сырья, производства и поставок товарной продукции потребителям свидетельствуют о достаточно стабильном положении железорудной отрасли. Объемы производства товарной руды достигли 106,6 млн т (рост на 1,5 млн т к уровню 2015 г.). Отмечается увеличение выхода товарной руды до 35,8 % от объемов добываемого сырья за счет внедрения инновационных технологий добычи и переработки. Большая часть объемов добычи сырой руды и производства товарной приходятся на Центральный и Северо-Западный регионы России (в совокупности ~70 %). В Центральном регионе в 2016 г. добыто 47,5 % общих объемов сырой руды и произведено 56,6 % товарной руды. В Северо-Западном регионе произведено 20,7 % товарной руды (при добыче сырой 22,8 %), на Урале 15,3 % товарной руды (23,5 % сырой руды), в Сибирском регионе 8,3% товарной руды (6,2 % сырой руды). Отмечается достаточно высокий уровень потребления ЖРС металлургическими предприятиями Уральского региона: 34,9 млн т/год (35 % общей

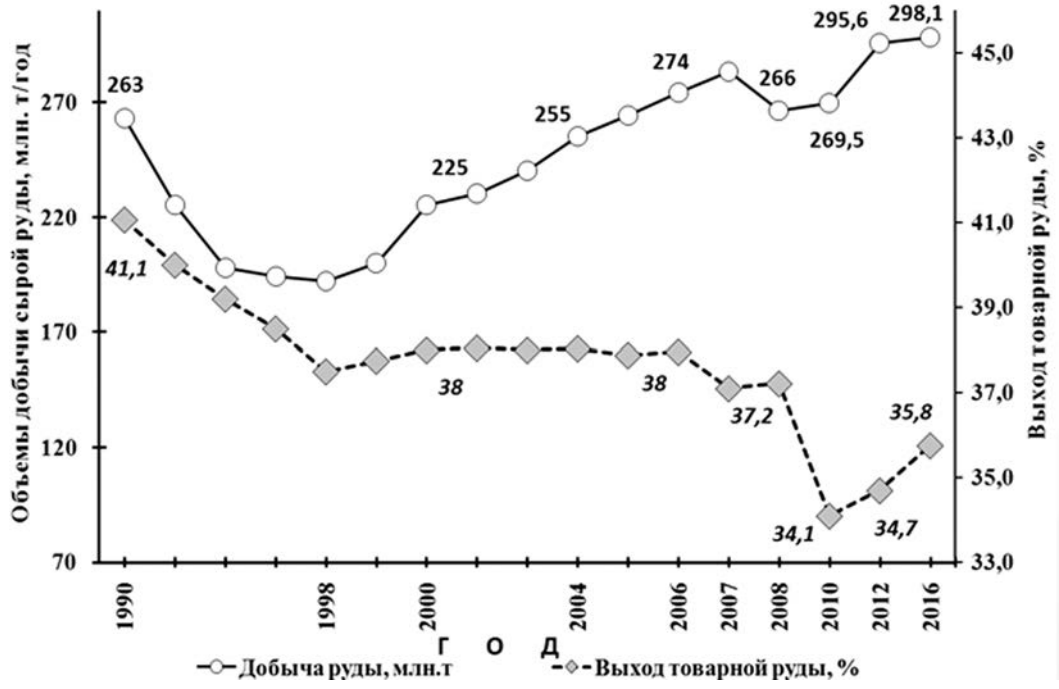


Рисунок 2.4. Динамика добычи сырой железной руды и выхода товарной руды в процентах по Российской Федерации за 1990–2016 гг.

потребности). Поставки ЖРС на экспорт достигли 22,7 млн т/год (рост на 2,1 млн т к уровню 2015 г.), в основном рост обеспечен горнодобывающими предприятиями Северо-Запада (на 2,3 млн т/год). Продолжается сокращение импортных поставок из Казахстана (АО «СС ГПО») на Магнитогорский и Челябинский металлургические комбинаты (сокращение на 1,1 млн т к уровню 2015 г.).

Более 80% российского железорудного производства обеспечивают четыре крупные вертикально-интегрированные компании: ХК «Металлоинвест», «ЕвразГруп С.А.», ОАО «Северсталь», ОАО «НЛМК». Они имеют в своем распоряжении более половины (55%) разведанных запасов страны, находящихся в распределенном фонде недр.

ЖРС реализуется в основном в пределах региона, где оно было произведено. Расстояние транспортирования от мест производства до потребителей колеблется от 100–300 км до 1,3–3,5 тыс. км при средневзвешенном расстоянии транспортирования 1 тонны товарной руды по России ~670 км.

В Уральском регионе добывается ~23,5 % сырой железной руды России со средним содержанием железа 16,2 % за счет разработки уникального Гусевогорского месторождения титаномагнетитов (Качканарский ГОК). Запасы уральских железных руд превышают 16 млрд т, а общая обеспеченность разведанными ресурсами при достигнутом уровне добычи составляет около 225 лет.

Вместе с тем металлургический комплекс испытывает острый дефицит и в скарновых (контактово-метасоматических), магнетитовых и титаномагнетитовых рудах. Для покрытия этого дефицита в настоящее время ориентируются на использование железорудного сырья горнодобывающих предприятий других регионов России и Казахстана. Так, по информации на 2016 год, Магнитогорский металлургический комбинат 54,6 % потребности в сырье покрывает поставками с Соколовско-Сарбайского ГОКа (*табл. 2.5*).

Таблица 2.5

Производство и поставки железорудного сырья на металлургические комбинаты на 2016 год

Поставщик	Потребитель, млн т	
	Магнитогорский МК	Нижнетагильский МК
Соколовско-Сарбайский ГОК	6.773	-
Костамукшский ГОК	0.149	-
Михайловский ГОК	3.493	-
Лебединский ГОК	0.687	-
Стойленский ГОК	0.392	-
Качканарский ГОК	0.01	7.738
Богословское РУ	0.664	-
Высокогорский ГОК	-	0.692
Бакальское РУ	0.166	-
Яковлевский рудник	0.067	-
ИТОГО:	12.401	8.43

Большая их часть заключена в месторождениях ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд Свердловской области, крупнейшими из которых являются Гусевогорское (запасы категорий A+B+C_1 2599 млн т, C_2 — 2411) и Собственно-Качканарское (запасы категорий A+B+C_1 — 3282 млн т, C_2 — 2385). Содержание железа в рудах таких объектов невелико, всего 16,6%, ванадия 0,15, титана 1,25. За рубежом месторождения этого типа, но с более высоким содержанием железа (30–45 %) известны в Австралии (Балла-Балла и Габанита), Китае (Паньчжихуа), Швеции (Руотеваре) и других странах. К этому же типу относится и Суроямское месторождение (Челябинская область) с запасами 6 млрд т. Содержание железа в исходной руде 14,5 %. Руды этого месторождения являются легкообогатимыми и легкоплавкими. Месторождение расположено неглубоко от поверхности (величина наносов в среднем 8 м), поэтому затраты на его вскрытие будут небольшими. Предварительная технико-экономическая оценка освоения Суроямского месторождения показала возможность его рентабельной отработки при производственной мощности предприятия 30–40 млн т.

В УрФО известны также месторождения скарново-магнетитовых руд, расположеные в Ивдель-Серовском, Тагило-Кушвинском, Магнитогорском, Челябинском и других районах с балансовыми запасами 1,4 млрд т и прогнозными ресурсами 1,6 млрд т. Значительны (свыше 1 млрд т) балансовые запасы бурых железняков и сидеритов Бакальских и других месторождений Южного и Среднего Урала [7]. К Уральской провинции примыкает Петровско-Юргамышский район (Курганская область), где имеются железорудные проявления контактово-метасоматического генезиса,

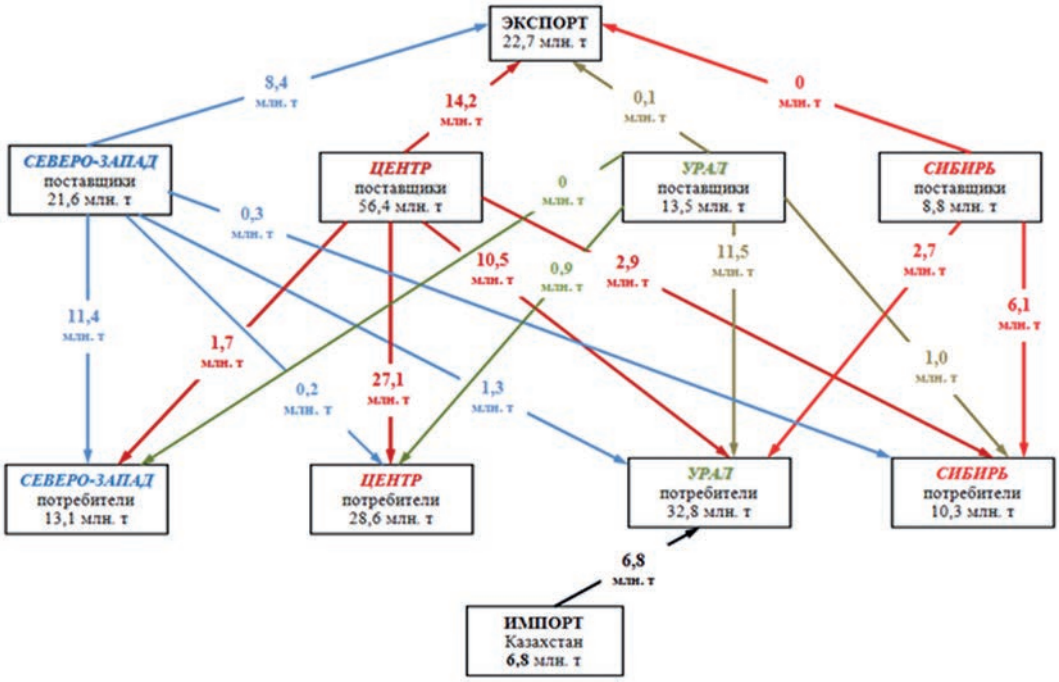


Рисунок 2.5. Поставки железорудного сырья по регионам России в 2016 г.

ресурсы категории P_1 здесь оцениваются в 730 млн т (Круглогорское и Глубоченское месторождения с ресурсами 600 и 270 млн т, соответственно).

Комбинаты черной металлургии Урала уже ощущают острый дефицит сырья, что предопределяет необходимость развития местной сырьевой базы. Целью является обеспечение устойчивости как самих горно-металлургических предприятий, так и минерально-сырьевой безопасности региона в целом. Если в цветной металлургии реконструируются старые и строятся новые горнодобывающие производства, то в черной металлургии за последние 25 лет ни одного предприятия не введено в эксплуатацию (исключение — шахта Магнезитовая). Резервами черной металлургии, восполняющими погашаемые запасы скарново-магнетитовых руд, в первую очередь следует считать балансовые запасы глубоких горизонтов Естюнинского и Ново-Естюнинского месторождений, а также вовлечение в освоение подземным способом Северо-Гороблагодатского, Круглогорского и Глубоченского месторождений. Вместе с тем металлургический комплекс Урала испытывает острый дефицит и скарновых (контактово-метасоматических), магнетитовых и титано-магнетитовых руд. Для покрытия этого дефицита металлургические комбинаты Урала в настоящее время ориентируются на использование железорудного сырья горнодобывающих предприятий Центра России (КМА) и Казахстана. Так, в настоящее время до 30 % сырья для НТМК поставляется с Михайловского ГОКа. ММК 90 % потребности в сырье покрывает поставками с Соколовско-Сарбайского ГОКа (*рис. 2.5*).

Дефицит железорудного сырья в Уральском регионе и относительно высокая стоимость привозного сырья предопределяют необходимость развития местной сырьевой базы. Только ее развитие на основе соответствующих инвестиций в геологоразведочные работы, вовлечения в эксплуатацию уже разведанных месторождений, строительство новых горнодобывающих предприятий позволит отказаться от дальнепривозного сырья (стоимость перевозок которого иногда превышает затраты на добычу 1 т товарной руды), повысить устойчивость горно-металлургических предприятий Урала и, следовательно, обеспечить минерально-сырьевую безопасность региона. При этом необходимо осознавать, что решение данной проблемы выходит за пределы отдельного горнодобывающего или металлургического предприятия, а результаты могут сказаться лишь через 20–25 лет на развитии горно-металлургического комплекса Урала в целом.

Существенным резервом роста запасов является вовлечение в освоение глубокозалегающих участков эксплуатируемых месторождений. В связи с этим характерной особенностью большинства горнодобывающих предприятий Урала является необходимость перехода с открытого способа разработки на подземный. Так, перспектива развития сырьевой базы Высокогорского комбината (ВГОК) связана со строительством новых железорудных шахт. Перспективы развития сырьевой базы комбината «Магнезит» также связаны с переходом на отработку Саткинского месторождения магнезитов подземным способом. На Урале действуют 7 шахт (*табл. 2.6*). Для поддержания производственной мощности ВГОКа актуальным является увеличение производственной мощности шахты Естюнинская, поскольку шахта Магнетитовая дорабатывается, а Эксплуатационная закрыта. Таким образом, количество прогнозных ресурсов, локализованных на Урале, невелико, а перспективы выявления новых объектов имеются лишь на севере Урала в пределах горной части территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры.

Регионы Приполярного Урала располагают значительными оцененными прогнозными ресурсами железных скарново-магнетитовых руд [58]. Выделено несколько потенциальных рудных узлов: Польинско-Сертыньинский, Мань-Маньинский, Иоутыньинско-Нахорский, Нахорско-Масловский, Хорасюрский и Вольинско-Няйсманьинский. Прогнозные ресурсы железных руд по всем рудным узлам составляли 3177,9 млн т по категориям $P_1 + P_2 + P_3$. Министерство природы и экологии России в 1999 г. утвердило прогнозные ресурсы железных руд на территории ХМАО — Югры по категориям $P_1 + P_2$ в сумме 560 млн т.

Анализ геологических данных позволяет для приоритетного проведения поисковых работ с последующим размещением железорудного предприятия первой очереди выбрать наиболее перспективные рудопроявления Северовольинское и А-4 Охтлямского рудного узла Хорасюрского железорудного района ХМАО — Югры. На Северовольинском рудопроявлении бурением вскрыты сплошные и вкрапленные скарново-магнетитовые руды [58]. Содержание железа общего в рудах колеблется от 21,0 до 65,68 %. Мощность рудных тел — от 0,5 до 46,5 м. В рудах присутствуют: медь до 0,46 %, кобальт до 0,09 % и ванадий до 0,114 %. Проявление отнесено к естюнинскому геолого-промышленному подтипу. Рудопроявление А-4 расположено в правом борту долины реки Охтлями. Рудная зона вскрыта скважиной № 5038 в интервале 95,4–533,8 м. Мощности пересечений рудных тел колеблются от 0,9 до 32,0 м. Основным рудным минералом является магнетит, второстепенными — гематит, пирит и халькопирит. Содержание железа в рудах колеблется от 20,3 до 56,35 %, составляя в среднем 32,33 %. Из попутных компонентов отмечаются: серебро до 1 г/т, кобальт до 0,061 %, медь до 0,58 % и цинк до 0,364 %.

Прогнозные ресурсы скарново-магнетитовой железной руды на участках первоочередного освоения составляют ~910 млн т, в том числе категории P_3 — 525 млн т. Предприятие первой очереди для разработки скарново-магнетитовых железных руд предлагается разместить в районе Северовольинского рудного участка, в зоне доступности планируемых к строительству транспортных коммуникаций (автодороги и железной дороги Полуночная — Обская).

Перспективные на запасы твердых полезных ископаемых на территории Березовского района ХМАО — Югры Тюменской области располагаются вдоль Уральского хребта и простираются от севера Свердловской области до Полярного Урала. Среди этих геолого-тектонических структур особое значение имеет Тагило-Магнитогорский прогиб.

Институтом горного дела УрО РАН совместно с Уральским государственным горным университетом оценены ресурсы основных видов полезных ископаемых Приполярного и Полярного Урала и приведены к прогнозным запасам, в перспективе подлежащим отработке (*табл. 2.7*). Эта оценка совпадает с аналогичной, выполненной ВИМС применительно к железорудному сырью (1,1 млрд т). Приведенные промышленные запасы полезных ископаемых в пределах перспективных для освоения рудных зон предлагается определять по следующей формуле:

$$Z_{пр} = (C_1 + C_2) + \frac{P_1}{2} + \left(\frac{P_2 + P_3}{5} \right) \qquad (1)$$

Таблица 2.6

Основные данные о шахтах Урала, разрабатывающих месторождения руд черных металлов

Предприятие	Производительность проектная/фактическая, тыс. т/год	Глубина разработки, м	Содежание полезного компонента, %	Показатель извлечения, %		Система разработки	Средства механизации основных процессов		
				Потери	Засорение		Бурение скважин	Доставка	Транспорт
Железные руды									
ВГОК									
ш. Магнетитовая	1500/1500	520	34,0	4,1	18,7	Этажно-камерная	НКР-100	Скреперная	Электровозы
ш. Естюнинская	1200/950	300	32,0	9,2	15,2	Этажно-камерная	НКР-100	Скреперная	— «—
ш. Южная	2500/100	500	24,2	8,8	37,7	Этажно-камерная	НКР-100	Скреперная	— «—
Богословское РУ									
ш. С-Песчанская	5000/2300	680	35,0	11,3	35,0	Этажное принудительное обрушение, подэтажное обрушение	НКР-100	Скреперная, ПД-8	— «—
Бакальское РУ									
ш. Сидеритовая	2500/180	260	32,5	16,9	8,8	Подэтажное обрушение	НКР	Скреперная	— «—
Магнезит									
ш. Магнезитовая	1000/550	200	46,0	30,0	4,0	Камерно-столбовая с сухой закладкой	Минематик	ТОРО-400	— «—
Хромитовые руды									
ш. Сарановская	200/120	310	35,1	27,0	11,6	Подэтажное обрушение	НКР	Скреперная	— «—

Формула приведенных запасов получена по результатам анализа фактических геологических изысканий, подсчета балансовых запасов и отработки рудных месторождений.

По данным геологоразведочных работ, к настоящему времени месторождения полезных ископаемых (рудное золото, медные, железные и хромитовые руды) представлены в основном прогнозными ресурсами категорий P_1, P_2, P_3 (*табл. 2.8*), за исключением утвержденных запасов бурого угля Северо-Сосьвинского угленосного района ~1,35 млрд т (*табл. 2.9*) [61].

По предварительным оценочным данным при соответствующих вложениях в геологическое изучение недр регион может освоить более 1 млрд т железной руды, 200–250 млн т хромитовой руды, значительные запасы медной руды, рудного золота и высококачественного кварцевого сырья, а так же сырья для производства цемента.

Таблица 2.7

Минерально-сырьевой и ресурсно-прогнозный потенциал Полярного и Приполярного Урала (приведенные прогнозные запасы)

Вид минерального сырья	Ресурсы			Запасы C_2+C_1	Приведенные запасы $Z_{пр}$
	P_3	P_2	P_1		
Хромовые руды, млн т	293,5	430,5	149,95	16,1	235,8
Железные руды, млн т	2769,7	1725,3	223,0	79,1	1089,5
Порфировый геолого-промышленный тип, тыс. т медь (металл)	3300,0	115,0	1081,7	–	1223,8
молибден (металл)	74,6	2,0	18,0	–	24,3
Колчеданно-полиметаллический тип, тыс. т медь	1120,0	610,0	78,4	–	383,4
цинк	5575,0	3235,0	473,0	–	1998,5
– свинец, тыс. т	835,0	545,0	87,6	–	319,8

Таблица 2.8

Запасы и ресурсы черных и цветных металлов Полярного и Приполярного Урала

Полезное ископаемое	Запасы и ресурсы, млн т							
	C_1	C_2	C_1+C_2	P_1	P_2	P_3	$P_1+P_2+P_3$	Всего
Железная руда	136,1	46,2	182,3	470,5	2075,3	5684,2	8230	8412,4
Хромовая руда	–	–	160	1499	4305	3182	8986	9147
Медь (металл)	0,285		0,285	1	8,5	15,3	24,8	25,1
Цинк (металл)	0,224		0,224	0,248	3,34	5,44	9,03	9,25
Свинец (металл)	0,182	0,183	0,365	0,21	0,72	2,8	3,73	4,09
Золото (металл), т	–	–	11,6	–	24,4 (P_1+P_2)	1064,4	1088,8	1100,4

Таблица 2.9

Запасы бурых углей Северо-Сосьвинского угленосного района (глубина залегания 300 м)

Месторождение	Запасы угля, учтенные Госбалансом на 01.01.2008 г., млн т		
	$A+B+C_1$	C_2	$A+B+C_1+C_2$
Люльинское	12,1	65,9	78
Тольинское	144,8	318,1	462,9
Оторьинское	252,4	475,6	728
Няйсское	–	18,4	18,4
Лопсинское	51,0	–	51
Усть-Маньинское	9,2	2,7	11,9
Всего	**469,5**	**880,7**	**1350,2**

Для обоснования основных параметров горнодобывающего предприятия необходимо:

— на основе прогнозных данных ориентировочно определить приведенные промышленные запасы железных руд $Z_{пр}$ в пределах перспективных для освоения участков [65, 128]; с учетом анализа фактических геологических изысканий, опыта подсчета балансовых запасов и отработки подобных рудных месторождений $Z_{пр}$ для участка первоочередного освоения составит ~245 млн т;

— на ближайшую перспективу выявить потребность в железорудном сырье (концентратах, окатышах) металлургических заводов Урала; с учетом полной замены импортных поставок она может превышать 10 млн т/год;

— необходимый ежегодный объем добычи сырой руды определять с учетом прогнозируемого выхода товарной руды, который по опыту действующих предприятий составляет 35–39 %; для полного покрытия существующего дефицита объемы добычи сырой руды на Приполярном Урале должны достигать 22–28 млн т/год;

— с учетом недостаточной изученности недр в регионе, необходимости выполнения большого объема геологоразведочных работ для постановки на баланс запасов полезных ископаемых, отсутствия развитой транспортной и энергетической инфраструктуры, удаленности районов разработки от потребителей продукции экономически целесообразным является поэтапное освоение железорудных и других ресурсов Приполярного Урала;

— для первоочередной разработки предлагается выделять рудные блоки с высоким содержанием железа (>30 %) неглубокого залегания (до 200–250 м), которые будут разрабатываться открытым способом;

— производительность и глубина карьеров первой очереди обосновываются исходя из горнотехнических условий разработки и экономической целесообразности при минимально возможном текущем коэффициенте вскрыши 1,5–2 $м^3/т$, что соответствует эффективным показателям эксплуатации большинства действующих железорудных карьеров — предположительно производительность карьера первой очереди до 8 млн т сырой руды в год, размеры по поверхности ~980×1100 м, глубина отработки 250–300 м;

— карьеры вводить в строй поочередно по мере отработки утвержденных и постановки на учет новых запасов для поддержания производительности предприятия, расчетный срок службы железорудного предприятия ~30–35 лет;

— добытую из карьера руду предварительно обогащать в местах добычи с использованием метода сухой магнитной сепарации. Предполагается получать на местах производства горных работ до 3,5 млн т обогащенной руды с содержанием железа ~50 %. Полученный промпродукт транспортировать железнодорожным транспортом (полувагонами) на металлургические (горно-обогатительные) предприятия Южного Урала для последующей переработки;

— организацию работы предприятия вести по вахтовому методу в соответствии с трудовым кодексом РФ и методическими рекомендациями по применению вахтового метода организации работ (одобрены решением межведомственной комиссии по охране труда при Правительстве Ханты-Мансийского автономного округа — Югры от 31.03.2008 г.);

— в рамках реализации программы импортозамещения технологический парк горнодобывающего и обогатительного оборудования комплектовать в основном оборудованием отечественного производства, утвержденным проектом технологий горных и обогатительных работ, с учетом горнотехнических условий разработки.

Анализ проектов, выполненных за последние годы, показывает, что средний уровень капитальных вложений для многих предприятий с открытым способом добычи составляет от 0,4 до 0,9 тыс. руб. на 1 $м^3$ производственной мощности по объему горной массы в год. При этом инвестиционный цикл составляет не менее 5–7 лет. Длительные сроки инвестиционного цикла горнодобывающего предприятия способствуют повышению экономических рисков. Основные риски освоения железорудного потенциала Приполярного Урала в основном будут обусловлены общеэкономическими факторами — рискам изменения курсов валют и процентных ставок, а также инфляционных процессов. Немаловажное значение будут иметь маркетинговые риски, обусловленные недополучением прибыли в результате снижения цены товара или объема реализации.

Предварительный анализ показывает, что экономическую эффективность добычи можно повысить, чему способствует:

— первоочередная открытая разработка неглубоко залегающих рудных блоков с высоким содержанием железа (>30 %);

— вложение средств в доразведку прогнозных ресурсов, которые составляют более 3 млрд т, что позволит увеличить балансовые запасы полезного ископаемого и, вследствие этого, объемы добычи и сроки эксплуатации производства с соответствующим сокращением общих текущих затрат;

— снижение затрат на вскрышные работы путем сокращения коэффициентов вскрыши (до 1,5–2 $м^3/т$) в границах отработки передовых карьеров первой очереди и повышения производительности труда за счет использования техники и технологии, в наибольшей степени соответствующих сложившимся горнотехническим условиям разработки;

— организация в местах добычи предварительного обогащения руды с использованием метода сухой магнитной сепарации, что позволит отсечь некондиционные руды и пустую породу и значительно сократить транспортные расходы.

Таким образом, организация добычи железной руды на территории ХМАО связана с большим объемом первоначальных инвестиций в инфраструктуру региона и доразведку месторождений, может сопровождаться определенным экономическим риском. В то же время создание новой сырьевой базы уральской металлургии будет значительным шагом в направлении повышения ее устойчивости в условиях нестабильности мировых рынков сырья и позволит до минимума сократить зависимость от внешних поставщиков.

А для поддержания эффективности железорудной отрасли страны в целом по условиям компенсации сокращения запасов и ухудшения качества железной руды в районах традиционных сырьевых баз (особенно на Урале и в Сибири) с целью расширения экспортных возможностей актуальным является организация на востоке страны новой металлургической базы черной металлургии. В Забайкальском крае уже готовятся к разработке два комплексных объекта с запасами железных руд — месторождения Чинейское и Быстринское. Кроме того ввод в эксплуатацию новых объектов ожидается на Дальнем Востоке — это Таежное, Горкитское, Десовское и Тарынахское месторождения в Республике Саха (Якутия), Костеньгинское, Кимканское и Сутарское — в Еврейской АО, Гаринское и Куранахское — в Амурской области.

2.4. Медные руды

Урал располагает значительными ресурсами медных руд, составляющими 40 % запасов РФ. В пределах уральского экономического региона на балансе числится 45 меднорудных месторождений. Общие разведанные запасы медноколчеданных руд на Урале составляют около 1,3 млрд т [58]. В республике Башкортостан находится 31,1 % запасов меди, в Оренбургской области — 37,8, в Свердловской — 21,1, в Челябинской — 10,0. Уральская медно-цинковая промышленность производит около 10 млн т медных и цинковых руд в год.

По стадии освоения можно выделить три группы медноколчеданных месторождений (*табл. 2.10*): разрабатываемые подземным или открытым способом, на которые приходится 45 % запасов меди; подготавливаемые к освоению — 15 %; месторождения, стоящие на балансе в ГКЗ РФ — 40 %. В настоящее время объем добычи руды подземным способом составляет 77 %. Подземным способом разрабатываются три крупных месторождения: Гайское, Учалинское и Узельгинское — где применяются камерные системы разработки с твердеющей закладкой и используется самоходное оборудование. Октябрьское и Вадимо-Александровское месторождения отрабатывают камерными системами с открытым очистным пространством.

В Уральском регионе разведан целый ряд новых медноколчеданных месторождений: Ново-Учалинское, Комсомольское, Подольское, Северо-Сибайское, Озерное и др. Некоторые из них проектируются к освоению. Развитие меднорудной базы связано прежде всего с расширением производства на Гайском медноколчеданном месторождении (нижние горизонты подземно-го рудника) с запасами $A+B+C_1$ 4619,7 млн т,

Таблица 2.10

Медноколчеданные месторождения Урала

Стадия освоения	Месторождение	
Разработка: подземным способом	Гайское Учалинское Узельгинское Октябрьское Камаганское	Талганское Нижняя залежь Старого Сибая Вадимо-Александровское
открытым способом (с перспективой перехода на подземный способ)	Сафьяновское Летнее Осеннее Барсучий Лог	Джусинское Александринское Юбилейное Тарньерское
Разработка открытым способом	Шемурское Волковское	Ново-Шемурское
Подготовка к разработке подземным способом	Подкарьерный участок Нового Сибая Молодежное	3-е Северное Чебачье
Разведанные и проектируемые месторождения	Подольское Ново-Учалинское Западно-Озерное	Комсомольское Северо-Сибайское Озерное

C_2 — 478,5 (содержание меди 1,3 %), а также вовлечением в отработку открытым способом месторождений Летнее, Осеннее; на Учалинском ГОКе это подземные рудники Молодежный, Сибайский и Юбилейный с запасами $A+B+C_1$ 1397,1 млн т, C_2 — 461,6 (содержание меди 1,71 %).

В республике Башкортостан ОАО «Башкирская медь (ОАО «УГМК»), подготовило к эксплуатации медноколчеданные месторождения Подольское и Северо-Подольское, они будут отрабатываться подземным рудником как единое шахтное поле. Запасы Подольского месторождения составляют $A+B+C_1$ 1701,3 млн т, C_2 — 16,7 (содержание меди 1,9 %).

Существенный толчок к развитию сырьевой базы медной подотрасли дало освоение Михеевского меднопорфирового месторождения ($A+B+C_1$ 1265,6 млн т, C_2 — 299,8 (содержание меди 0,44 %). Осуществляется проектная подготовка освоения аналогичного Томинского месторождения.

Значительным резервом развития сырьевой базы Свердловской области является Волковское ванадиево-железо-медное месторождение с запасами $A+B+C_1$ 1524,3 млн т, C_2 — 153,4 (содержание меди 1,8%).

Учтены запасы меди колчеданно-полиметаллического месторождения Галкинское в Свердловской области (14,4 тыс. т меди категории C_2). Компанией ОАО «Уралгидромедь» ежегодно добывается 2,7 тыс. т катодной меди методом подземного выщелачивания из окисленных руд Гумешевского месторождения медистых глин в Свердловской области.

Значительным резервом расширения сырьевой базы медной подотрасли может служить вовлечение в разработку забалансовых руд [111, 151]. ЗАО «НПК «Техноген» выполнена технологическая оценка для отвалов забалансовой медной руды месторождения «50 Лет Октября», а также запасов забалансовой медно-цинковой

Таблица 2.11

Результаты обследования уральских забалансовых руд

Продукт обогащения	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %	
		Cu	Zn	Cu	Zn
Валенторское месторождение (медно-цинковая руда)					
Обогащенный продукт	32,4	3,08	4,15	84,7	81,9
Хвосты сепарации	67,6	0,27	0,44	15,3	18,1
Исходная руда	100,0	1,18	1,64	100,0	100,0
Месторождение «50 Лет Октября» (отвалы медно-цинковой руды)					
Обогащенный продукт	76,4	2,89	0,29	98,7	94,8
Хвосты сепарации	23,6	0,13	0,05	1,3	5,2
Исходная руда	100,0	2,24	0,23	100,0	100,0

руды Валенторского месторождения (*табл. 2.11*). Полученные результаты опытно-промышленных испытаний свидетельствуют о том, что забалансовые медные руды могут быть рассмотрены в качестве объекта обогащения. После рентгенорадиометрической сепарации содержание меди в переработанных рудах повышается, что позволяет говорить о потенциальной возможности перевода их в разряд балансовых. Сброс в хвосты на стадии сепарации не менее 23–67 % горной массы позволяет резко сократить объемы перевозок полученного промпродукта к местам глубокого обогащения, что в значительной мере улучшает экономические показатели производства концентрата.

По данным Уралнедра (*табл. 2.12, 2.13*), учтенные запасы медьсодержащих забалансовых руд по 16 объектам Свердловской области колеблются в пределах 0,106 – 159,3 млн т при содержании в них меди 0,22–1,54 % (наиболее крупный объект – Волковское месторождение). По 8 объектам Челябинской области запасы забалансовых руд составляют от 0,066 до 200,6 млн т при содержании меди 0,2–1,22 % (наиболее крупное месторождение — Томинское).

На основании ранее проведенных ЗАО «НПК «Техноген» исследований и испытаний рентгенорадиометрической сепарации забалансовых руд Свердловской и Челябинской областей (*рис. 2.6* и *2.7*) можно сделать следующие предварительные выводы:

— забалансовые медные и медно-колчеданные руды Шемурского, Ново-Шемурского, Сафьяновского, Валенторского, Северо-Калугинского, Левихинского, Северо-Ольховского, Молодежного, Талганского, Узельгинского, Александринского и Чебачьего месторождений могут рассматриваться как перспективное сырье для обогащения методом рентгенорадиометрической сепарации на стадии крупнокускового предварительного обогащения;

— забалансовые руды Третьего Северного медьсодержащего скарново-магнетитового, Вадимо-Александровского скарново-медно-магнетитового и Березняковского медно-золоторудного месторождений также могут быть рекомендованы для проведения тестовых испытаний по рентгенорадиометрической сепарации;

— забалансовые медистые глины Гумешеского месторождения и медно-порфировые руды Михеевского и Томинского месторождений не обладают предпосылками для их обогащения на стадии рудоподготовки методом рентгенорадиометрической сепарации.

Территориально все медьсодержащие месторождения забалансовых руд Свердловской и Челябинской областей, которые потенциально могут быть подвергнуты рентгенорадиометрическому обогащению, условно можно разбить на 6 групп:

— район города Ивдель (месторождения Шемурское, Ново-Шемурское, Третье Северное);

— район городов Карпинск и Краснотурьинск (месторождения Валенторское, Галкинское, Северо-Калугинское, Вадимо-Александровское);

— район городов Нижний Тагил и Кировград (месторождения Высокогорское, Волковское, Северо-Ольховское, Левихинское);

— район города Учалы (месторождения Молодежное, Талгинское, Узельгинское);

— район города Магнитогорск (месторождение Александринское);

— район города Южноуральск (месторождение Березняковское).

Целесообразность переработки забалансовой полиметаллической руды Галкинского комплексного месторождения определяется после получения положительных результатов исследований и испытаний по рентгенорадиометрическому обогащению данной руды (с крайне низким содержанием меди — всего 0,15 %), а также технико-экономического обоснования строительства рудосортировочного комплекса. В случае положительных решений на всех этапах разработки и обоснования технологии РРС для обогащения полиметаллической руды целесообразно строительство рудосортировочного комплекса на Галкинском месторождении.

Возможность переработки забалансовой медно-кобальтовой руды Высокогорского железорудного месторождения определяется предварительными исследованиями и испытаниями. В случае положительных заключений по технологии рентгенорадиометрического обогащения на всех этапах целесообразна переработка забалансовой медно-молибденовой руды с содержанием меди 0,87 % на ближайшем рудосортировочном комплексе (например, на комплексе, перерабатывающем руды Северо-Ольховского месторождения). Строительство самостоятельного комплекса, вероятно, не будет экономически оправдано из-за малых запасов данной забалансовой руды (159,3 тыс. т).

Волковское месторождение обладает большими запасами забалансовых ванадиево-железо-медных руд — почти 160 миллионов тонн при достаточно малом содержании в них меди — всего 0,22 %. При благоприятном решении вопроса о технологической возможности и экономической целесообразности применения рентгенорадиометрической сепарации для обогащения данных забалансовых руд строительство крупного рудосортировочного комплекса на борту карьера будет оправданным.

Для оценки эффективности рентгенорадиометрической сепарации для обогащения забалансовых медьсодержащих руд Свердловской и Челябинской областей и, тем самым, расширения сырьевой базы медной подотрасли Урала в перспективе целесообразно:

1. Проведение предварительных исследований, тестовых и опытно-промышленных испытаний, разработка технологий рентгенорадиометрического обогащения

Рисунок 2.6. Разгрузо-погрузочный комплекс установки рентгенрадиометрической сепарации

Рисунок 2.7. Участок сепарации Северного медно-цинкового рудника (УГМК)

Таблица 2.12

Забалансовые запасы месторождений меди в Свердловской области

Тип руд	Месторождение	Среднее содержание Cu, %		Забалансовые запасы, тыс. т (руда/металл)
		В балансовой руде	В забалансовых запасах	
Медно-кобальтовые	Высокогорское железорудное	0,64 – 0,88	0,87	159,3 / 1,4
Медные	Шемурское	1,71	1,54 (за контуром карьера - 1,52)	856,4 / 13,2 (за контуром карьера - 845,9 / 12,9)
Медноколчеданные (медные и медно-цинковые)	Ново-Шемурское	1,22	1,54	544 / 8,4
Медные Медно-цинковые	Сафьяновское	3,67	1,23	2193/ 27,1
Ванадиево-железо-медные	Волковское	0,64	0,22	159024 / 355
Медно-магнетитовые	Третье Северное месторождение	0,57	0,4	3206 / 12,7
Скарновые, магнетитовые, медные, медно-магнетитовые	Вадимо-Александровское	1,81	0,25	4929 / 12,1
Медноколчеданные (медные и медно-цинковые)	Валенторское	3,91	0,99	252 / 2,5
Медноколчеданные (медные и медно-цинковые)	Северо-Калугинское медное	3,87	0,66	106 / 0,7
Медистые глины	Гумешевское	0,78	1,06	22561 / 239,5
Полиметаллические	Галкинское комплексное	0,38	0,15	35218,2 / 53,83
Медноколчеданные (медные и медно-цинковые	Левихинская группа	4,13	1,38	116 / 1,6
Медноколчеданные, медные и медно-цинковые	Северо-Ольховское	4,54	0,52	582 / 3 ,0

Таблица 2.13

Забалансовые запасы месторождений меди в Челябинской области

Тип руд	Месторождение	Среднее содержание Cu, %		Забалансовые запасы, тыс. т (руда/металл)
		В балансовой руде	В забалансовых запасах	
Медноколчеданные (медные и медно-цинковые, серноколчеданные)	Молодёжное	2,91	1,08	698 / 7,6
Медноколчеданные (медно-цинковые, серноколчеданные)	Талганское	3,53	0,34	574 / 2,0
Медноколчеданные (медные и медно-цинковые, серноколчеданные)	Узельгинское	1,33	1,22	1359 / 16,6
Медноколчеданные (медные и медно-цинковые)	Александринское	2,82	0,29	1961 / 5,8
Медно-золоторудные	Березняковское	0,69	0,66	406 / 2,7
Медноколчеданные (медные и медно--цинковые, серноколчеданные)	Чебачье	1,72	0,45	66 / 0,3
Медно-порфировые (окисленные, первичные, рыхлые сульфидные)	Михеевское	0,44	0,38	53429 / 208
Медно-порфировые	Томинское	0,46	0,2	200639 / 414,1

забалансовых медных и медно-колчеданных руд Шемурского, Ново-Шемурского, Сафьяновского, Валенторского, Северо-Калугинского, Левихинсого, Северо-Ольховского, Молодежного, Талганского, Узельгинского, Александринского и Чебачьего месторождений на представительных по химико-минералогическому и гранулометрическому составам пробах исходной руды массой до 5 т каждая.

2. Проведение предварительных исследований и тестовых испытаний рентгенорадиометрической сепарации забалансовых руд Третьего Северного, Вадимо-Александровского и Березняковского месторождений на исходных пробах массой до 500 кг каждая.

3. Проведение предварительных исследований на обогатимость методом рентгенорадиометрической сепарации забалансовых руд Высокогорского, Волковского и Галкинского месторождений на пробах, включающих все основные рудные минералы, вмещающие и разубоживаюшие породы, массой до 100 кг каждая (крупность материала 50±20 мм).

Все приведенные выше сведения позволяют считать, что:

— комплексное освоение недр и попутная переработка бедных и забалансовых руд, в том числе некондиционных, уже является современной необходимостью;

— извлечение полезного ископаемого из недр может быть повышено не только за счет оптимизации потерь и засорения руды в процессе очистной выемки, но и за счет организации рудоподготовительных комплексов (внутришахтных или поверхностных), а также за счет применения совокупности разнообразных технологических схем подготовки руд и очистной выемки, в наибольшей степени соответствующих горно-геологическим, горнотехническим и геоэкономическим условиям освоения месторождения.

2.5. Хромитовое и марганцевое сырье

С конца 30-х и до середины 50-х годов прошлого века на территории Свердловской области осуществлялась добыча хромитовых руд. Ее прекращение связано с освоением Кемпирсайского ультраосновного массива и строительством на его базе Донского ГОКа (Казахстан), который в течение многих лет является основным поставщиком хромитовых руд для большинства ферросплавных производств не только России и Казахстана. Все возрастающий дефицит хромитового сырья требует расширения его добычи на Урале, где прогнозные ресурсы хромитов оценены в 170 млн т. Важнейшими из хромитовых месторождений Пермского края являются средние по масштабу Главное Сарановское ($A+B+C_1$ — 1550 тыс. т, C_2 — 3397 тыс. т, доля в запасах РФ 9,6 %, среднее содержание Cr_2O_3 в рудах 39 %; годовая добыча 135 тыс. т) и Южно-Сарановское ($A+B+C_1$ — 1983 тыс. т, C_2 — 879 тыс. т, доля в запасах РФ 5,5 %, среднее содержание Cr_2O_3 37,67 %, годовая добыча 71 тыс. т) месторождения, включающие около 16 % российских запасов этого сырья.

Основная часть запасов хромитов, а также ресурсов категорий P_1 и P_2 провинции выявлена в пределах массива Рай-Из в Ямало-Ненецком АО. Здесь расположены

два средних по масштабу месторождения — разрабатываемое Центральное (запасы $A+B+C_1$ — 96 тыс. т, C_2 — 2282 тыс. т, доля в запасах РФ 4,6 %, среднее содержание Cr_2O_3 в рудах 35,73 %, годовой объем добычи 317 тыс. т) и подготавливаемое к эксплуатации Западное. Другие хромоворудные объекты провинции представлены мелкими альпинотипными месторождениями в Свердловской и Челябинской областях. Обобщенная характеристика месторождений Урала, в том числе Свердловской области — потенциальной базы для добычи и производства хромитового сырья приведена в табл. 2.14.

Помимо шахты Сарановская, активно расширяющей свою минерально-сырьевую базу за счет пересмотра кондиций на полезное ископаемое, совершенствования процесса обогащения, а также вовлечения в открытую разработку валунчатых руд, необходимо возобновлять добычу хромитов и в Свердловской области на месторождениях Алапаевского и Ключевского ультраосновных массивов, а также месторождениях Качкинской группы и центральной части Восточно-Тагильского массива. По геологическим и горно-техническим условиям залегания они во многом схожи. Месторождения и рудопроявления Алапаевского ультраосновного массива (до 64) характеризуются следующими параметрами. Форма рудных тел северной группы линзообразная, южной — жилообразная. Размеры линзообразных тел — по простиранию до 200–250 м, по падению до 100–120 м, мощность их до 6 м; жилообразных тел — по простиранию до 150 м, по падению до 50 м, мощность их до 2,5 м. Судя по количеству подсчитанных запасов руды на разведанных объектах (от 60 т до 75,5 тыс. т на проявлениях и от 119 до 350 тыс. т на месторождениях), все они относятся к мелким.

Вмещающие породы на массиве представлены преимущественно серпентинитами, реже дунитами. Контакты рудных тел с вмещающими породами по большей части месторождений резкие, но встречаются и постепенные переходы (месторождение Курмановское, «III Поденный рудник», Вершина р. Алапаихи и др.). Инженерно-геологическая неоднородность вмещающих пород и руд обусловлена проявлением трещиноватости и, особенно, наложенными процессами выветривания. Условия залегания месторождения «III Поденный рудник», являющиеся характерными, свидетельствуют о том, что форма хромитовых рудных тел и их взаиморасположение весьма сложны, а для их геологического уточнения необходимы значительные затраты (*рис. 2.8*).

Месторождения Ключевского массива относятся к мелким и в настоящее время находятся на консервации. В его пределах известно более 200 мелких месторождений и рудопроявлений хромитов, связанных пространственно и генетически как с дунитами, так и с перидотитами, в разной степени серпентинизированными. Весь массив по геологическим условиям разбит на три части: северная, центральная и южная. Северная часть представлена Пьяноборской группой месторождений и рудопроявлений. Хромшпинелиды данных месторождений характеризуются низким содержанием оксида хрома (до 40 %) и высоким содержанием глинозема (20–25 %). Оруденение центральной части представлено небольшой группой разрозненных мелких месторождений и рудопроявлений (Поскотинское, Покосное и др.) в окрестностях д. Ключи. По своим параметрам месторождения близки к североключевским. Руды Южно-Ключевских месторождений легко обогащаются.

В качестве наиболее перспективных участков, пригодных для проведения опытно-производственных работ, считаются следующие месторождения и

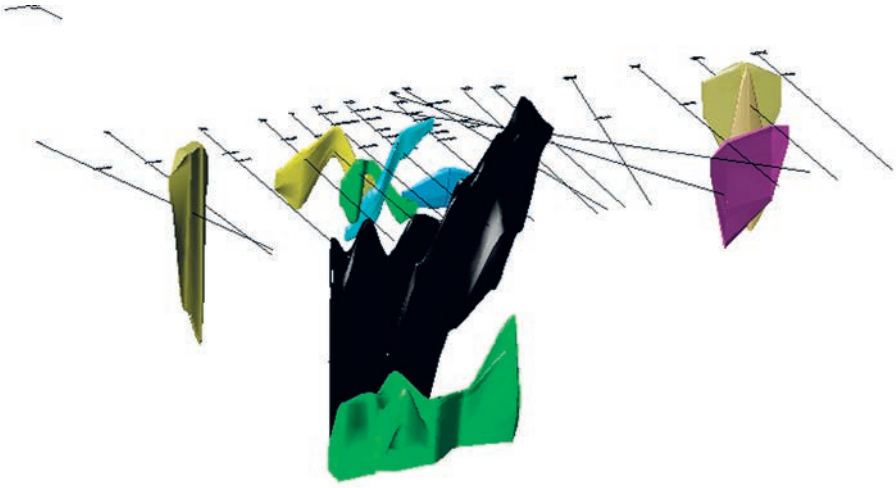


Рисунок 2.8. Результаты геоинформационного моделирования условий залегания месторождения хромитовых руд «III Поденный рудник»

рудопроявления: Шмелевское II, Первомайское I, Участок «Мусорный карьер» (*табл. 2.15*). Наиболее перспективными являются месторождения южной части Ключевского массива. В целом запасы, готовые к отработке, по нашим данным, оцениваются в более чем 500 тыс. т.

Месторождения хромитовых руд центральной части Восточно-Тагильского массива расположены на территории МО город Красноуральск. Как и все месторождения Свердловской области, они частично отработаны (*табл. 2.16*). В серпентинизированных ультраосновных породах Восточно-Тагильского массива залегают 53 месторождения и проявления хромитов. При этом хромиты с содержанием Cr_2O_3 не менее 16 % встречены только на двух месторождениях — Кутузовском-1 и Петровском-1, на остальных участках встречена только рассеянная вкрапленность хромита до 3–5 % от объема породы.

Месторождения Качкинской группы расположены на территории муниципального образования г. Верхняя Пышма Свердловской области, они эксплуатировались

Таблица 2.15

Суммарные прогнозные запасы и ресурсы хромитов Южно-Ключевской группы

Месторождение	Запасы и ресурсы категорий (тыс. т)	
	$A+B+C_1$	$P_1...P_3$
Шмелевское II	18,9	70,0
Первомайское I	29,0	196,0
Участок «Мусорный карьер»	24,7	231,0
ВСЕГО	72,6	497,0

Таблица 2.14

Характеристика месторождений Урала — потенциальной базы для добычи и производства хромитового сырья

Месторождение	Географическое положение	Способ разработки	Прогнозные ресурсы (в т.ч. запасы C_1+C_2), млн т	Объем производства, тыс.т/год			Качество, %	
				Руда, максимально	Руда, реально на первые 5 лет	Концентрат	Сырая руда	Концентрат
Алапаевский массив Северная часть	Свердловская обл., Алапаевский район ст. Ясашная	Открытый Подземный	– 15,0	700 400	400 –	150-225 150	14–15	38–42
Центральная часть	То же пос. Асбестовский	Открытый Подземный	3,75 5,0	400 400–600	300 –	70- 84	14–15	38–42
Ключевский массив	Свердловская обл., Сысертский район, г. Двуреченск	Открытый	40–50	500–1000	25–30	–	8-9	–
Качкинское	Свердловская обл., В-Пышминский район	Открытый	105 тыс.т	20	20	–	34-35	–
Сарановское и Южно-Сарановское	Пермская обл., ст. Лаки	Открытый Подземный	12,4	55 240	– 110–120	– 90–192	– 30.9	– 37–38
Жижинско-Шаромское	Свердловская обл., Невьянский р-н	Открытый	0,267	0,063	0,063	–	14–15	35–38
Рай-Изское (Центральное)	Тюменская область, 15-20 км к югу от ст. Полярный Урал	Открытый Подземный	0,516 28,2–32	60 300–600	50 –	– 170–290	45,7 29–33	– 52–52,7

Таблица 2.16

Месторождения Восточно-Тагильского серпентинитового массива

Участок	Запасы категории (тыс. т) / содержание Cr_2O_3, %				
	C_1	C_2	P_1	P_2	P_3
Дедюхинско-Кутузовский (вкрапленные руды)	28,1 40–50	77,01 24,16	58,0 24-50	5,5 30–50	850,6 24–50
Сионско-Петровский (вкрапленные и массивные руды)	10,2 48,74	–	–	–	588,3 48,0
Демидовско-Ясьвинский (вкрапленные и массивные руды)	0,09 50,0	–	1,2 50,0	1,215 50,0	18,0 50,0
ВСЕГО	38,39 40–50	77,01 24,16	59,2 24–50	6,715 30–50	1456,9 24–50

эпизодически с конца прошлого века, особенно интенсивно в 1935–1941 гг. Они однотипны и обычно представлены группой рудных тел в количестве от 3 до 12 на расстоянии 30–200 м друг от друга. Форма рудных тел довольно разнообразная, преобладающая — линзы. Простирание рудных тел составляет преимущественно 300–350°, падение крутое (50–90°) на северо-восток, реже на запад. Размеры рудных тел в пределах 3–55 м по простиранию и 0,5–15,0 м по мощности; по падению они прослеживаются от 5 до 15 м, иногда более. Учтенный остаток геологических запасов составляет 105 тыс. т (*табл. 2.17*). Прогнозируемая производительность по руде с содержанием Cr_2O_3 34-37 % (19–20 тыс. т/год), обеспечивающая срок отработки 5 лет. Прогнозные ресурсы отсутствуют.

При эксплуатации хромитовых месторождений Свердловской области приоритетным на сегодня является открытый способ разработки, наиболее экономически целесообразный по горнотехническим и горно-геологическим условиям залегания разведанных рудных тел. Особенность месторождений — их малые размеры, поэтому ширина карьера по поверхности может варьировать от 100–150 м до 180–200 м. Длина карьерного поля определяется длиной залежи по простиранию и для месторождений такого типа может составлять от 100 до 800–900 м. Глубина большинства отрабатываемых и перспективных к отработке открытым способом Алапаевских месторождений при этом составляет 50–70 м при устойчивом угле откоса бортов 40–45°. Для карьеров Качкинской и Ключевской группы предельная глубина составляет

Таблица 2.17

Месторождения Качкинской группы

Месторождение	Запасы, тыс.т				Содержание оксида хрома, %
	B	C_1	C_2	B+ C_1+ C_2	
Качка III	24,38	21,19	3,56	49,13	35–37
Качка IV	9,35	25,70	7,14	42,19	36–37
Качка I	1,82	6,89	5,01	13,72	34–36
Всего	35,55	53,78	15,71	105,04	34–37

25–40 м. Карьер, отрабатывающий месторождение Кутузовское-1, имеет предельную глубину 45 м. Срок отработки карьеров такого типа составляет обычно 5–10 лет. Основными технологическими показателями интенсивности разработки являются темпы годового понижения и скорость подвигания фронта работ, которые составляют для анализируемых групп карьеров по добыче хромовых руд ориентировочно от 4–6 м/год и 30–50 м/год, соответственно.

Анализ выполненного авторами комплекса работ, основанного на предварительных оценках рудной базы, разработке конкурсных ТЭП и проектной документации, свидетельствует о том, что при эксплуатации уральских месторождений хромитов открытым способом возможно применение типовых решений, основанных на цикличной технологии отработки с применением мобильных станков УРБ-5А-2Д и аналогичных им для взрывной подготовки горной массы к выемке; гидравлических строительных экскаваторов-обратных лопат с небольшой вместимостью ковша (до 1,5–2,0 м^3); автосамосвалов грузоподъемностью 10–20 т при транспортировке горной массы, обеспечивающих движение по съездам с уклоном до 10–11 % при вскрытии нижних горизонтов.

Принятая схема комплексной механизации и условия залегания месторождений определяют отработку месторождений хромитовых руд 2–3 уступами высотой 4 м каждый. При отработке рудных тел рекомендуется разбивать их на подуступы высотой до 2 м с целью снижения возможных потерь и разубоживания.

Средний коэффициент вскрыши в зависимости от условий залегания может колебаться в большом диапазоне — от 0,5 (Качка III) до 21,54 м^3/т (III Поденный рудник).

Характерной особенностью практически всех известных уральских месторождений хромитов является наличие на них рудных ресурсов низких категорий разведанности, пример — карьер III Поденный рудник. Наличие и вероятность фактического подтверждения в его технических границах объемов руды, оцениваемых ресурсами P_1, во многом определяет эффективность отработки всего месторождения. Расчетные данные свидетельствуют о том, что при полном подтверждении оцененных ресурсов P_1 средний коэффициент вскрыши по карьеру снизится в 1,4–1,5, а соответственно и эффективность отработки может быть значительно повышена. Этот пример говорит о том, что весьма существенным при в обосновании границ карьера, особенно при эксплуатации сложноструктурных хромитовых месторождений, является фактор риска неподтверждения запасов, который существеннейшим образом, наравне с ценой на производимое полезное ископаемое, влияет на эффективность отработки месторождения и главные параметры горных работ.

Следующим существенным фактором, определяющим эффективность отработки бедных вкрапленных хромитовых руд Урала является бортовое содержание Cr_2O_5 при подсчете запасов на стадии обоснования кондиций. Для установления экономической целесообразности отработки месторождений хромитовых руд Свердловской области в качестве типичного рассмотрен пример обоснования временных разведочных кондиций Курмановского месторождения. При составлении ТЭО кондиций в основу положены вычисленные геологические запасы хромитовых руд, определенные по трем вариантам бортового содержания Cr_2O_3: 5, 10 и 15%. Для исключения значительного количества многовариантных технико-экономических расчетов на первой стадии обоснования главных параметров карьера, в том числе его экономически допустимой глубины была произведена укрупненная экономическая оценка.

Данные табл. 2.18 свидетельствуют, что при глубине отработки месторождения 52 м и бортовом содержании Cr_2O_5 10 % величина ЧДД максимальна. Однако расхождение экономических оценок внутри выделенного интервала находится в пределах допустимой погрешности вычислений. Дальнейшие уточненные технико-экономические расчеты показали, что эффективность отработки при бортовом содержании Cr_2O_5 5 и 10 % также сопоставима, поэтому к утверждению принято бортовое содержание 5 %. Обобщенная характеристика вариантов подсчета запасов приведена в табл.2.19.

Таблица 2.18

Укрупненная экономическая оценка Курмановского месторождения

Показатель	Ед. изм.	Значение по вариантам						
Глубина отработки	м	12	28	36	40	52	76	100
Бортовое содержание 5%								
Срок оценки	год	6	9	10	10	12	14	17
ЧДД при Е=20%	млн руб.	32,1	40,0	37,1	35,4	37,0	-15,4	-50,6
ИД	ед.	2.90	3,08	2,66	2,49	1.87	0,76	0,29
Срок окупаемости инв.	год	1	1	2	2	2	–	–
Бортовое содержание 10%								
Срок оценки	год	5	6	7	8	10	12	13
ЧДД при Е=20%	млн руб.	28,3	31,7	35,5	37,3	41,1	14,5	-15.7
ИД	ед.	2,47	2,44	2,60	2,67	2,82	1,38	0,76
Срок окупаемости инв.	год	1	1	1	1	1	4	–
Бортовое содержание 15%								
Срок оценки	год	4	6	6	6	6	7	7
ЧДД при Е=20%	млн руб.	28,5	38,8	37,5	36,9	35,1	30,1	-15,6
ИД	ед.	2,60	3,10	2,88	2,79	2,56	2,11	0,73
Срок окупаемости инв.	год	1	1	1	1	1	2	–

Таблица 2.19

Обобщенная характеристика вариантов подсчета запасов Курмановского месторождения

Показатель	Ед. изм.	Значение по вариантам		
Бортовое содержание Cr_2O_3	%	5	10	15
Геологические запасы	т	491,5	265,3	99,5
Промышленные (балансовые) запасы	тыс.т	310,80	194,62	90,89
Объемный вес руды	т/м3	2,88	2,95	3,09
Среднее содержание Cr_2O_3 в руде	%	12,979	16,308	21,35

Аналогичные укрупненные расчеты, выполненные для карьеров Ключевской группы, свидетельствуют о том, что бортовое содержание в указанных рудах также составляет 5%, а среднее содержание Cr_2O_3 в добываемых рудах колеблется в пределах 13–15%. Содержание Cr_2O_3 в рудах Качкинской группы и Восточно-Тагильского региона несколько выше — до 20–25%.

2.6. Бокситы

Балансовые запасы традиционного в России алюминиевого сырья — бокситов составляют 1,43 млрд т; прогнозные ресурсы незначительны, все они приурочены к районам разрабатываемых месторождений. Это не позволяет рассчитывать на рост сырьевой базы. Россия занимает лишь восьмое место по добыче бокситов, обеспечивая около 2,5 % их мировой добычи и второе место в мире после Китая по производству первичного (получаемого из природного сырья) алюминия. Россия — единственная в мире использует в качестве сырья для алюминия кроме бокситов нефелиновые руды, из них производится 35 % выпускаемого в стране металла. Почти треть российских запасов бокситов сконцентрирована на Урале, в Свердловской области, в месторождениях осадочных бёмитдиаспоровых бокситов в карбонатных породах.

Алюминиевые заводы Урала снабжаются главным образом высококачественными рудами североуральских бокситовых рудников: выделено пять месторождений: крупное Черемуховское (запасы $A+B+C_1$ — 137,4 млн т, C_2 — 56,8 млн т, соотношение Al_2O_3/SiO_2 – 11,8) и средние Красная Шапочка (запасы $A+B+C_1$ – 12,7 млн т, C_2 – 16,8 млн т, соотношение Al2O3/SiO2 – 17,7), Кальинское (запасы $A+B+C_1$ — 35,3 млн т, C_2 — 48,5 млн т, соотношение Al_2O_3/SiO_2 – 20,6) и Ново-Кальинское (запасы $A+B+C_1$ — 77,5 млн т, C_2 — 30,2 млн т, соотношение Al_2O_3/SiO_2 — 17,7), Черемуховское и Сосьвинское. Для всех шахт СУБРа характерна высокая обводненность. Более 80 % участков месторождений отрабатывается в тяжелых удароопасных условиях. Глубина горных работ достигла 1000–1200 м. На месторождениях очень сложная геомеханическая и гидрогеологическая обстановка. Разведанные до глубины 2000 м запасы бокситов составляют 460 млн т. Бокситы этих месторождений имеют высокий (12–21) кремневый модуль (отношение Al_2O_3/SiO_2), по которому они близки сырью австралийских месторождений, однако по минеральному составу отличаются от него в худшую сторону. Рудные залежи располагаются на большой глубине, их отработка ведется подземным способом в сложных горнотехнических и гидрогеологических условиях.

В Тиманской бокситоносной зоне на территории Республики Коми в месторождениях полигенных среднесортных (кремневый модуль 6–8) бёмитовых и шамозитбёмитовых бокситов Ворыквинской группы: крупном Вежаю-Ворыквинском (запасы $A+B+C_1$ — 109,9 млн т, C_2 — 3,1 млн т, соотношение Al_2O_3/SiO_2 — 6,9) и средних Верхне-Щугорском и Восточном — заключено 26 % российских запасов бокситов. Здесь же

локализовано 40 млн т ресурсов бокситов категории P_1, а в пределах расположенной рядом Светлинской площади — еще 7,5 млн т ресурсов этой категории.

Бокситы залегают вблизи дневной поверхности, что позволяет отрабатывать их открытым способом, в мировой практике месторождения такого типа не разрабатываются.

2.7. Кварцевое сырье

Производство кварцевого сырья на территории Урала в конце XX — начале XXI века резко сократилось из-за отсутствия потребности прежде всего на рынке высокотехнологичной продукции. Однако интеграция России в мировую экономику, а также возрождение ряда отечественных промышленных предприятий потребовало возобновления производства высокочистого кварцевого сырья [126]. Основными объектами, слагающими минеральную базу уральского кварцевого сырья, являются Кыштымское (Челябинская область), Светлореченское (Свердловская область) и Неройское (ХМАО) месторождения.

Неройское месторождение прозрачного жильного кварца расположено в Березовском районе Ханты-Мансийского АО Тюменской области, в 70 км от п. Саранпауль. Добываемое сырье доставляется на площадку проектируемого перерабатывающего завода. Месторождение представлено 3 участками: «Додо», «Хусь-Ойка» и «Нестер-Шор» (*табл. 2.20*). Природные условия сложные, климат субарктический, резко континентальный, с продолжительной зимой с метелями и заносами и с коротким, часто дождливым, летом. Снежный покров сходит лишь в конце июня, а устанавливается в конце сентября; в горах держится с конца сентября до середины июня, в некоторых ущельях — круглый год. Лето короткое (70–75 дней) и прохладное, хотя в отдельные годы температура летом может достигать 30–35^0 С. Продолжительность летнего полевого периода 3,5 мес. Основная площадь разработки расположена в зоне островной многолетней мерзлоты (участки Додо и Хусь-Ойка), мощность которой достигает 200–250 м, а мощность деятельного слоя 1–2 м, что в значительной мере усложняет ведение горных работ.

Горнотехнические условия разработки Неройского месторождения характеризуются как относительно благоприятные, осложненные крутым нагорным рельефом. Полезное ископаемое представлено жильным кварцем, отнесенным к X группе пород по ЕНИР-90 с коэффициентом крепости f=13÷15, объемным весом 2,58–2,64 т/м^3 и коэффициентом разрыхления при подготовке к выемке Кр = 1,5. Покрывающие породы в большинстве представляют собой рыхлые четвертичные отложения небольшой мощности (до 0,5–1,0 м). Некоторые жилы выходят целиком на поверхность. Вмещающие породы представлены кристаллическими и кварцитными сланцами, имеют VIII группу по ЕНИР, коэффициент крепости f=7÷10, объемный вес 2,6–2,7 т/м^3, коэффициент разрыхления при подготовке к выемке Кр = 1,35. Падение кварцевых жил в большинстве своем крутое, за исключением участка Нестер-Шор, где жилы

имеют пологое падение (Верхняя), залегают горизонтально (Средняя) или согласно рельефу склона (Нижняя) на относительно небольшой глубине или выходят целиком на поверхность.

Площадь месторождения представляет собой ландшафт каменистой тундры. Глубина карьеров составляет 8–75 м, в том числе по замкнутому контуру 2–35 м, в зависимости от рельефа и залегания жил. При этом средний коэффициент вскрыши по участку Додо колеблется от 0,22 до 28,22 м³/т (в среднем 10,8 м³/т), по участку Хусь-Ойка 2,65 м³/т, а по участку Нестер-Шор от 0,56 до 1,64 м³/т (в среднем 1,22 м³/т).

Таблица 2.20

Балансовые запасы полезного ископаемого и объемы вскрыши в границах карьеров Неройского месторождения

Участок и разрабатываемая жила	Запасы жильного кварца			Объем вскрыши, м³	Средний коэфф-т вскрыши, м³/т (без жилы 233)
	тыс. м³	тыс. т	тыс. т (без жилы 233)		
Жила № 20 (Додо)	1585,77	4091,3	-- « --	917,6	0,22 (-«-)
Жила № 58 (Додо)	2075,12	5355,4	-- « --	34042,2	6,36 (-«-)
Жила № 64 (Додо)	2434,45	6280,88	-- « --	62456,8	9,94 (-«-)
Жила № 70 (Додо)	1436,9	3707,2	3207,1	15714,8	4,24 (4,90)
Жила № 91 (Додо)	1304,86	3366,5	3266,7	5691,2	1,69 (1,74)
Жила № 699 (Додо)	13000,8	33540,7	33315,8	325164,4	9,69 (9,76)
Жила № 719 (Додо)	1215,83	3136,8	2920,0	39027,6	12,44 (13,36)
Всего по уч-ку «Додо» (искл. №233)	23053,73	59478,78	58437,18	478600,5	8,05 (8,19)
Жила № 233 (Додо)	3902,77	10069,15	4701,6	284224,7	28,22 (60,45)
Всего по участку «Додо»	26956,5	69547,93	63138,78	751351,5	10,8 (11,9)
Жила № 19 («Хусь-Ойка»)	24113,8	62454,3	61054,1*)	165414,3	2,65 (2,71)
Жила Верхняя (Нестер-Шор)	669,2	1767	-- « --	990,3	0,56 (-«-)
Жила Средняя (Нестер-Шор)	23107,1	61003	-- « --	100271,5	1,64 (-«-)
Жила Нижняя (Нестер-Шор)	8208,4	21752	-- « --	1649,2	0,08 (-«-)
Всего по участку «Нестер-Шор»	31984,7	84522	84522	102911,0	1,22 (-«-)
Всего по Неройскому местор.	83055,0	216524,2	208714,9	1031051,6	4,76 (4,94)
-- « -- исключая жилу № 233	79152,2	206455,1	204013,3	748728,8	3,63 (3,67)

Промышленные запасы кварцевого сырья, разведанного в границах 1-й очереди отработки Неройского месторождения прозрачного кварца, превышают 200 тыс. т и позволяют вести горные работ в течение 12–15 лет. Для выдерживания установленной мощности по полезному ископаемому в эксплуатации необходимо поддерживать, как правило, 2–3 жилы. Эта особенность определяет специфичные требования к предварительной подготовке сырья к обогащению и последующей его глубокой

переработке. Очередность отработки участков (Додо — Хусь-Ойка — Нестер-Шор) объясняется прежде всего не минимальными коэффициентами вскрыши, а удалением их от п. Саранпауль — базы материального обеспечения горных работ. Тем не менее, при освоении участка Додо порядок развития горных работ определен исходя из первоочередного вовлечения в отработку жил с максимальными запасами полезного ископаемого и объемом вскрыши, достаточным для строительства участковых подъездных дорог и обустройства промплощадки. Проектом освоения и отработки Неройского месторождения предусмотрены следующие основные технологические решения и мероприятия, обеспечивающие эффективную эксплуатацию и охрану недр:

— послойная выемка запасов (1–2 уступа) с подготовкой новых горизонтов по мере погашения вышележащих;

— использование отечественного или импортного мобильного оборудования малой и средней мощности с дизельным приводом (экскаваторы ЭО-4124, ЭО-5126 типа «обратная лопата» с поворотным ковшом, или зарубежные аналоги — экскаватор PC-300, Komatsu, погрузо-доставочная машина ST-3.5), что обеспечивает значительное снижение потерь при выемке;

— донная часть карьеров отрабатывается нижним черпанием с погрузкой на разворотную площадку без вскрытия автомобильными съездами, что обеспечивает существенное сокращение объемов удаляемой из карьеров вскрыши;

— дробление негабаритной фракции предусматривается шпуровыми зарядами или гидромолотом H140S на базе экскаватора PC-300;

— на бурении скважин диаметром 89–105 мм используются станки УРБ-4Т на базе трелевочного трактора ТТ-4-02 (зарубежные аналоги — ROC D-7 с гидроперфоратором COP 1238ME, Atlas Copco, Commando-100, Sandvik-Tamrock);

— для сокращения потерь при производстве взрывов предусмотрены две альтернативные технологии: а) оставление приконтактного слоя кварца мощностью до 0,5 м при отработке основного тела жилы с последующей мелкошпуровой отбойкой и ручной разборкой оставленного буфера; б) раздельная отбойка кварцевых жил с использованием экранирующего слоя отрезных сближенных шпуров диаметром 28 мм вдоль линии контакта на расстоянии 0,1–0,2 м от контура жилы. Создание отрезной щели — гирляндами зарядов, инициирующимися с опережением по времени не менее чем 50–75 мс по отношению к зарядам разрушения;

— на транспортировании горной массы предусмотрены мощные, жесткие автосамосвалы Урал-55571-30 высокой проходимости, обеспечивающие доставку жильного кварца на дробление, а вскрыши — во внутренние отвалы пространства отработанных карьеров или на строительство подъездных технологических дорог.

Принятые решения по вскрытию карьеров типизированы в зависимости от условий залегания кварцевых жил и рельефа местности.

Главной особенностью добываемого кварцевого сырья является некоторое изменение вещественного и химического состава добываемых руд от жилы к жиле, поэтому дальнейшая его глубокая переработка связана прежде всего с формированием потоков сырья, сходного по своим свойствам. Исходя из этого вся кварцевая масса подлежит предварительной подготовке — ручной переборке, дроблению, и раздельному складированию по сортам или номерам жил.

Особое место при проектировании и освоении месторождения занимает природоохранная деятельность горного предприятия. Это обусловлено тем, что нагорный

рельеф с ландшафтом каменистой тундры трудно восстанавливает свой растительный покров, а практически все реки региона являются нерестовыми. Мероприятия по организации поверхностного водоотвода заключаются в организованном сборе и отводе поверхностных и выдаваемых на поверхность карьерных вод до точки сброса. При этом предусматривается:

— отведение собранных чистых вод, минуя загрязненные территории, за счет отсыпки и укрепления нагорных ограждающих валов по контуру карьера со сбросом их на рельеф в соответствующие водотоки-приемники без предварительной очистки;

— сброс чистых вод с нагорных полос в придорожные канавы, их последующее смешивание с загрязненными стоками из карьеров, с площадок и автодорог — при этом происходит разбавление стоков и уменьшение концентрации загрязняющих веществ;

— отведение собранных загрязненных вод через придорожные канавы со сбросом на вход в очистные сооружения.

Кыштымское месторождение в настоящее время является единственным в России крупным эксплуатируемым месторождением гранулированного кварца. Самая крупная жила, содержащая 90 % разведанных и утвержденных в ГКЗ СССР запасов гранулированного кварца — это жила № 175. Качественные характеристики соответствуют требованиям, предъявляемыми заводами — потребителями кварцевого сырья.

Верхняя часть жилы отработана открытым способом до отм. + 366 м, ниже построен подземный рудник с отметками основных горизонтов +346, +316, +266, +226 м. В 1993 году подземный рудник был пущен в эксплуатацию, однако резкое снижение потребления кварцевого сырья привело к фактической консервации рудника. ИГД УрО РАН выполнен ряд научно-исследовательских и проектных работ, направленных на расконсервацию подземного рудника и обоснование безопасной и эффективной технологии выемки кварцевого сырья. Комплекс работ обеспечил системную технологическую подготовку сырьевой и перерабатывающей баз для возобновления производства высококачественной продукции на Урале, обеспечивающую оптимальный (минимальный) уровень потерь без применения систем разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства, которые резко снижают эффективность обогащения и не позволяют достичь стандарта предприятия по химическим примесям.

Для рассматриваемых горно-геологических и горнотехнических факторов и условий принята камерная система разработки с последующим обрушением междукамерных целиков и увеличением производственной мощности подземного рудника до 18 тыс. т/год жильного кварца. Сравнительный анализ вариантов разработки этажа 346/316 м показал, что принятое технологическое решение имеет лучшие показатели по потерям руды — 9,4 %, суммарному объему подготовительно-нарезных работ — 16162 м^3 и удельному объему ПНР — 84,7 м^3/1000 т. По сравнению с другими рассмотренными вариантами обеспечивается снижение потерь в 2,3–2,6 раза, объем ПНР сокращается на 4–22 %, а его удельное значение в 1,3–1,5 раза.

Глубокая переработка сырой кварцевой руды на Кыштымском ГОКе до настоящего времени совершенствуется. Введенные в действие опытно-промышленная, а затем и промышленная линии по производству высокочистого кварца соответствует мировым стандартам качества.

Следует отметить, что в районе Кыштымского ГОКа имеются в наличии запасы кварцевого сырья разной степени геологической изученности, которые, совместно с практически законсервированными запасами Светлореченского месторождения, при соответствующем финансировании могут выступить в качестве перспективной минерально-сырьевой базой возрождаемой уральской кварцевой подотрасли.

2.8. Уголь Урала

Уголь для России не является дефицитным сырьем, однако Урал, вследствие географической удаленности от основных производителей, расположенных в Сибири, испытывает определенный дефицит в энергетических углях для тепловых электростанций. Дефицит покрывается за счет поставок угля из Экибастузского угольного бассейна Республики Казахстан в объеме до 20 млн т/год.

Потенциал Приполярной части Ханты-Мансийского автономного округа — Югры в основном представлен бурыми углями, которые в перспективе могут представить определенный интерес для промышленного Урала. Месторождения и проявления бурых углей ХМАО — Югры территориально принадлежат Северо-Сосьвинскому (*табл. 2.21*) и, частично, Хулгинско-Салехардскому угленосным районам, занимающим южную часть Сосьвинско-Салехардского бассейна. По состоянию на 01.01.2007 г. Государственным балансом учтены запасы бурого угля по категориям А, В, C_1 и C_2 в количестве 1350 млн т по следующим месторождениям: Тольинскому, Оторьинскому, Лопсинскому, Няйсскому, Усть-Маньинскому и Люльинскому (Борисовский участок). Запасы, не учтенные Государственным балансом, составляли 692 млн т (Сарминское и Люльинское месторождения). Прогнозные ресурсы угля до глубины 600 м оценены в следующих количествах (млн т): P_1 — 1088, P_2 — 2764, P_3 — 6285. Общая величина прогнозных ресурсов составляет 10 137 млн т.

Таблица 2.21

Запасы бурых углей Северо-Сосьвинского угленосного района

Номер на карте	Месторождение	Запасы угля, млн т (учтены Госбалансом на 01.01.2008 г.)		
		$A+B+C_1$	C_2	Глубина, м
1	Люльинское	12,1	65,9	0-300
2	Тольинское	144,8	318,1	0-300
3	Оторьинское	252,4	475,6	0-300
4	Няйсское	-	18,4	0-300
5	Лопсинское	51,0	-	0-300
6	Усть-Маньинское	9,2	2,7	0-300
Всего		469,5	880,7	0-300

Наиболее перспективными для первоочередного освоения являются 3 месторождения бурых углей Северо-Сосьвинского угленосного района: Оторьинское, Тольинское и Люльинское. Территория района труднопроходимая, покрыта густой таежной растительностью. На его территории практически нет наземных транспортных магистралей кроме автотракторных зимников. В непосредственной близости к месторождению Люльинское находятся пос. Саранпауль (28 км к северу), расположенный на реке Ляпин.

Оторьинское месторождение расположено на восточном крыле Мансийского поднятия, в 280 км к северу от ж.-д. станции Полуночное; является самым крупным по запасам углей юрского возраста; разведано с различной степенью достоверности на протяжении 50 км; выявлено 10 пластов угля мощностью от 1,0 до 10,75 м. Наибольшую мощность имеет пласт Главный, средняя мощность которого составляет 3,85 м (максимальная 10,7 м). Пласт имеет повсеместное распространение. Угли легкообогатимые. Вмещающие породы — глины, алевролиты и мелкозернистые пески. Протяженность месторождения с севера на юг около 70 км, ширина от 1,5 км на юге, до 7,5 км в центре и севере. Площадь около 270 км^2.

Тольинское месторождение по горно-геологическим условиям аналогично Оторьинскому; находится в пределах Мансийского поднятия. На месторождении выявлено 22 угольных пласта горизонтального залегания, из которых 10 промышленной мощности. Пласт Главный имеет мощность 3,7 м. Месторождение характеризуется значительно угленасыщенностью, однако запасы угля ограничены. При доразведке можно ожидать прироста запасов в северной части месторождения. С севера на юг месторождение простирается на 15,5 км. Ширина его колеблется от 1,5 км на юге до 4,5 км в центральной и северной частях. Площадь около 40 км^2.

Люльинское месторождение расположено в южной части Люльинской впадины. Наиболее угленасыщена центральная часть. Вмещающие породы представлены глинами, глинистыми алевролитами и песчаниками. Покрывающие породы состоят из мелкозернистых песков, глин, песчано-гравийных и галечниковых отложений и четвертных пород. Угли месторождения бурые (БЗ), часто со свойствами переходных к длиннопламенным, среднезольные, низкосернистые. В почве свиты пластов залегают каолиновые глины и бокситы марки ЦБ-2, ГБ и МБ мощностью до 17 м. Это позволяет считать Люльинское месторождение комплексным — углебокситовым.

Качественные показатели бурых углей Приполярного Урала примерно соответствует показателям бурых углей Кузбасского и Экибастузского бассейнов:

— бурый уголь Приполярного Урала (зольность 26,0–35,9 %, калорийность 3780–4820 ккал/кг);

— бурый уголь марки 3Бр Кузбасс Россия (зольность 8%, калорийность 3800–4100 кал/кг, цена 580 руб/т на 01.12.2013 г.);

— бурый уголь марки Б-3 Экибастуз Казахстан (зольность 23,5%, калорийность 4250 ккал/кг, цена 500 руб/т на 01.12.2013 г.).

Предлагаемые для разработки месторождения позволяют построить 5 угольных карьеров производительностью 2–4 млн т угля в год. Отработку всех карьеров предполагается производить одним предприятием. Производственную базу угледобывающего предприятия предлагается разместить на участках Тольинского и Оторинского месторождений.

Объемы промышленной добычи угля при наличии необходимых запасов напрямую зависят от спроса потенциальных потребителей. Добываемый на Приполярном Урале уголь в перспективе может быть использован для снабжения тепловых электростанций, запланированных к строительству в ХМАО-Югра в рамках реализации инфраструктурного проекта «Урал Промышленный — Урал Полярный». Всего в соответствии с этими планами на Северном и Приполярном Урале предполагается построить порядка восьми объектов электроэнергетики. Некоторые из них могут снабжаться бурыми углями из месторождений Северо-Сосьвинского угленосного района. Наиболее предпочтительным является вариант с обеспечением углем трех ГРЭС, планируемых в непосредственной близости от месторождений (*табл. 2.22*). Расчет потребления бурого угля выполнен на основе данных расхода угля электростанциями Свердловской области и с учетом перевода объемов в зависимости от калорийности углей. Исходя из потребностей электростанций объем добычи бурых углей в ХМАО — Югра может достигать 11 млн т/год. При такой производительности три наиболее разведанных месторождения (Тольинское, Оторинское и Люльинское) обеспечат работу ГРЭС более чем на 45 лет. При отработке карьеров (*табл. 2.23*) особое внимание следует уделить вопросам осушения карьерного поля вследствие больших водопритоков, в том числе потребуется отведение р. Толья за границы отработки участков Толья-1 и Толья-2.

Инвестиционные риски при освоении месторождений бурого угля Приполярного Урала связаны с недостаточно высокими потребительскими свойствами сырья, значительными затратами на освоение месторождений и неблагоприятными ценовыми трендами на угольном рынке.

Данные рис. 2.9 свидетельствуют о том, что показатели эффективности освоения приполярных угольных месторождений при вышеуказанных параметрах и показателях отработки явно низки. Это объясняется прежде всего тем, что оцененный объем инвестиций включает в себя создание транспортной, энергетической и социальной инфраструктуры, необходимой для организации производства на территории всего района, примыкающего к предприятию. Этот факт еще раз подчеркивает важность и экномическую целесообразность комплексного освоения территорий. Кроме того экономическую эффективность добычи углей можно улучшить за счет:

— поэтапного вложения средств в доразведку прогнозных ресурсов Северо-Сосьвинского угленосного района, которые составляют 10,7 млрд т, что позволит

Таблица 2.22

Установленная мощность ГРЭС, планируемых к строительству в ХМАО, и расчетные объемы поставок угля

ГРЭС	Установленная мощность, МВт	Удельное потребление угля, тонн за 1 МВт	Объем поставок угля, тыс. т/год
Северо-Сосьвинская	1200	4125	4950,0
Няганьская	1200	4125	4950,0
Приполярная	122	4125	503,25
Всего	2522		10403,25

Таблица 2.23

Параметры угольных карьеров на конец отработки

Параметр	Карьер				
	Люльинское	**Оторья-1**	**Оторья-2**	**Толья-1**	**Толья-2**
Средняя глубина отработки, м	290	55-75	67	25-80	32
Максимальная глубина отработки, м	375	103	90	130	32
Длина по поверхности, м	3100	7750	3750	10500	1370
Ширина по поверхности, м	1900	1500	2100	3625	2100
Площадь карьеров, га	630	988	700	1937,5	200
Объем горной массы, млн $м_3$	770	567,2	418,7	755,5	58
Объем вскрышных пород, млн $м^3$	705	526,9	379,6	652,1	48,7
Запасы угольной массы, млн т	93,2	55,3	53,1	144	12,9
Зольность угольной массы, %	27,5	20,6	15,5	26	27,5
Средний коэффициент вскрыши, $м^3$/т	7,56	9,5	7,2	4,5	3,8

увеличить балансовые запасы полезного ископаемого и вследствие этого — объемы добычи и сроки эксплуатации производства с соответствующим сокращением общих текущих затрат;

— корректировки ранее принятых проектных решений, обеспечивающих снижение затрат на вскрышные работы путем сокращения коэффициентов вскрыши (с 6 до 3–4 $м^3$/т) в границах отработки передовых разрезов первой очереди;

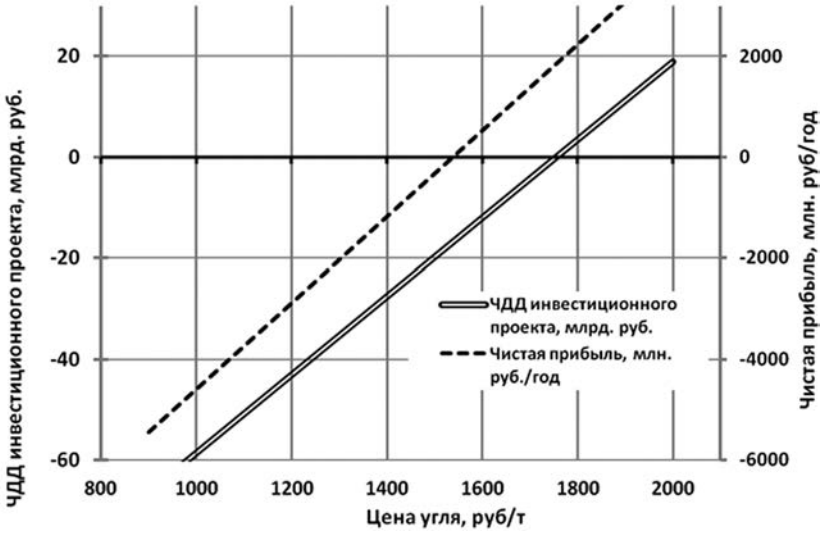


Рисунок 2.9. Показатели эффективности освоения месторождений бурого угля Приполярного Урала в зависимости от цены на уголь

— повышения производительности труда работающих за счет использования техники и технологии, в наибольшей степени соответствующих сложившимся горнотехническим условиям разработки;

— предварительной прикарьерной подготовки углей к обогащению и сжиганию, а также комплексного использования недр за счет применения автономных источников энергии, работающих на мазуте, отходах обогащения.

Таким образом, угольный потенциал Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, представленный бурыми углями Северо-Сосьвинского угленосного района с балансовыми запасами 1,35 млрд т, в перспективе целесообразно использовать для обеспечения планируемых к строительству на Приполярном Урале электростанций в рамках реализации инфраструктурного проекта «Урал Промышленный — Урал Полярный». Условия для реального освоения месторождений возникнут при поэтапном строительстве железной дороги Полуночное — Обская, а также автодороги Тюмень — Агириш — Салехард. Базой для развития энергетики Приполярного Урала могут стать Оторинское, Толинское и Люльинское месторождения бурых углей, на которых с учетом предполагаемой потребности в угле предлагается организовать добычу 5 карьерами в составе одного угледобывающего предприятия в объемах 11 млн т/год.

Глава 3. Технологическая возможность и экологическая эффективность вовлечения в эксплуатацию отходов добычи и переработки руд цветных и черных металлов месторождений Урала

3.1. Концептуальные вопросы изучения техногенных минеральных объектов и прогноз их формирования и комплексного освоения

Техногенные минеральные образования (ТМО), в частности отвалы пустых пород, отходы обогатительных фабрик, становятся все более важными источниками различных видов минерального сырья. Это определяется следующими факторами:

— мировое потребление различных видов минерального сырья непрерывно возрастает — на 5–20 % в год — при одновременном снижении качества добываемых полезных ископаемых. В частности, в России содержание железа в рудах за последние 35 лет снизилось почти в 2 раза, меди в 2,5, свинца в 4,5, а некоторых редких и благородных металлов в 6–8;

— в различного рода техногенных образованиях накопилось значительное количество отходов (в мире около 750 млрд т, в том числе в бывшем СССР 150 млрд т), только в хвостохранилищах медноколчеданных месторождений Южного Урала 90 млн т хвостов: в них меди более 260 тыс. т, цинка более 380 тыс. т, около 100 т золота и 1200 т серебра;

— суммарное содержание компонентов, накапливающихся за 20–30 лет на техногенных объектах, сопоставимо, а иногда превышает их количество в ежегодно добываемых рудах;

— накопление отходов в техногенных объектах осуществляется непрерывно. Так, при мировой добыче около 25 млрд т различных видов полезных ископаемых в качестве готовой продукции используется всего лишь 1–1,5 млрд т (4–6 %), а остальное идет в отходы;

— техногенные минеральные объекты имеют благоприятное географическое расположение, так как находятся в зонах со сложившейся производственной структурой, вблизи действующих предприятий;

— отходы горно-металлургического производства, сконцентрированные в хвостохранилищах, шлаковых отвалах и различных складах, занимают значительные площади, загрязняя атмосферу выбросами пыли, а хвостовые стоки загрязняют подземные и поверхностные воды;

— отработка техногенно-минеральных образований требует сравнительно меньших инвестиций в развитие горной и металлургической промышленности.

В связи с намечающимся истощением запасов месторождений черных и цветных металлов уральского региона и сложившейся экологической обстановкой оценка

потенциальных запасов техногенного сырья является одним из главных приоритетов развития горнометаллургического комплекса Свердловской области.

Интенсивное вовлечение техногенных месторождений в разработку позволит удовлетворить основные требования к рациональному природопользованию, учитывая взаимосвязи различных экологических и социально-экономических факторов и снижение негативного влияния последствий деятельности горнодобывающих и металлургических предприятий на окружающую среду. Однако существующие горнодобывающие и обогатительные комплексы в уральском регионе используют отходы добычи и обогащения природного сырья в незначительных объемах, ориентируясь лишь на экономические показатели или, в редких случаях, с учетом требований экологически безопасного природопользования. Вместе с тем, доизвлечение полезных компонентов из текущих и ранее складированных отходов производства при ухудшении качества природного сырья в недрах является двуединой задачей: поддержание сырьевой базы промышленности с одновременной экологической реабилитацией ранее нарушенных территорий. Переработка техногенных образований в настоящее время сдерживается по следующим основным причинам:

— при извлечении из техногенного образования моносырья (железа, меди, золота, никеля и т.п.) количество отходов, подлежащих последующему складированию, практически не сокращается, а в ряде случаев увеличивается;

— опасность отходов, образовавшихся в результате переработки техногенного сырья, как правило, увеличивается, при этом площади земель, дополнительно изымаемых для их складирования, сопоставимы с ранее нарушенными;

— переработка техногенных образований относительно затратна, поэтому в наибольшей степени чувствительна к изменению действующих цен на извлекаемый металл.

Анализ накопленного опыта освоения и переработки техногенных минеральных образований позволяет на данном этапе сформулировать основные концептуальные вопросы методики их изучения и комплексного использования [57, 125]. Накопление знаний о техногенном объекте и способах его переработки (в порядке обсуждения) должно осуществляться в течение нескольких содержательных этапов работ, каждый из которых должен завершаться получением определенных данных для последующего принятия решений.

1 этап. Предварительный анализ и аудит объекта. Представляет собой комплекс работ по изучению камеральных данных о запасах и вещественном составе изучаемого образования, учету географических, инженерно-геологических, экологических и инфраструктурных особенностей размещения и технологий его формирования, контрольному экспресс-опробованию сырья. В результате первого этапа работ составляется аналитическая записка, главными целями которой являются:

— выработка основных ограничений и требований к технологии и масштабам переработки;

— обоснование основных направлений использования полученных в результате комплексной переработки полезных компонентов;

— формулировка предварительных требований к реабилитации нарушенных территорий.

2 этап включает всестороннее геологическое, гидрогеологическое, инженерно-геологическое и инженерно-экологическое изучение техногенного объекта, соз-

дание и реализацию проектов всех видов изыскательских и аналитических работ, ориентированных на получение сведений о свойствах объекта, закономерностях размещения в нем полезных компонентов, свойствах геологической, природной и инфраструктурной среды, окружающей изучаемое образование, с одновременным испытанием обогатительных свойств техногенного сырья. Результатом являются:

— исходные материалы для проектных и изыскательских работ, аккумулированные в первичной модели объекта;

— запасы и качественные характеристики техногенного месторождения, включая его маркетинговую оценку;

— технико-экономический расчет (декларация о намерениях инвестирования), обосновывающий направления и ожидаемую эффективность переработки техногенного сырья, а также ресурсы, в том числе земельные, необходимые для ведения работ;

— основные требования к качеству получаемых промпродуктов для дальнейшей глубокой переработки на основе полученных закономерностей распределения полезных компонентов в теле техногенного объекта.

3 этап. Предусматривает полномасштабные технологические испытания сырья, разработку технологических регламентов на добычу и переработку техногенного объекта, опытно-промышленную эксплуатацию разработанных технологий, а также исследование технологий глубокой переработки получаемых промпродуктов; главными задачами выполнения указанных видов работ являются:

— разработка, всесторонняя оценка и согласование проекта опытно-промышленной эксплуатации, включая прогноз экологического воздействия организуемого производства на окружающую среду;

— обоснование компоновочной схемы перерабатывающего оборудования, выбор его типоразмеров, конструктивного исполнения и присоединительных размеров;

— подтверждение экономической и сбытовой эффективности производства.

4 этап. Промышленное освоение техногенно-минерального объекта на основе уточненной технологии извлечения и переработки сырья, базирующееся на устойчивом сбыте производимых промпродуктов. Реализация поэтапной стратегии реабилитации техногенно загрязненной территории и восстановления нарушенных земель. В качестве основных задач, решаемых на данном этапе, выступают:

— разработка проектной и рабочей документации, обосновывающей эффективность инвестиций в строительство перерабатывающего производства;

— обоснование мер по защите окружающей среды, а также основных направлений комплексного использования перерабатываемого сырья и графика реабилитации загрязненной территории и восстановления нарушенных земель;

— организация устойчивого технологически и экологически эффективного производства.

5 этап. Практическая реализация концепции комплексной экологически бесконфликтной переработки техногенного объекта. Перманентная поэтапная реализация программ экологического мониторинга и реабилитации проблемной территории. Налаживание сквозной переработки лежалых и текущих промышленных отходов производства. В качестве критериев для оценки конечного результата переработки техногенно-минеральных образований, помимо очевидной экономической эффективности проекта, следует считать:

— существенное сокращение (ликвидация) отходов, образовавшихся в процессе вторичной переработки техногенного сырья, с одновременным сохранением или снижением класса их опасности;

— наличие устойчивых потребителей и долгосрочной потребности в комплексных поставках продукции;

— возможность налаживания параллельно-последовательной рекультивации нарушенных земель;

— наличие инженерных мероприятий, предотвращающих распространение не только текущих, но и прогнозируемых загрязнений, реализующихся в течение всего срока отработки техногенного объекта.

При отборе инвестиционных предложений указанные признаки следует полагать ведущими при выборе первоочередных объектов отработки. В качестве характерного рассмотрен конкретный пример решения общих концептуальных вопросов изучения техногенных минеральных объектов, а также прогноза их формирования и комплексного освоения. Андрее-Юльевская группа кианитсодержащих техногенных образований — это аллювиальные отложения Еленинской и Андреевской золотоносных россыпей, которые длительное время отрабатывались старательским способом. Разведанные запасы золота извлечены полностью. Во время отработки материал россыпей подвергался механическому воздействию (промывке, перемещению, гравитационной дифференциации, сегрегации и т. п.), а также влиянию гипергенных процессов, в результате чего первоначальное качество материала существенно изменилось, золото извлекалось, а остальной материал перемещался в хвостохранилища или сбрасывался вблизи полигонов добычи. В результате такого техногенного воздействия появились вторичные скопления минеральных веществ, в том числе кианитсодержащие техногенные образования. В процессе разведки россыпей на золото было определено, что среднее содержание кианита в продуктивных золотоносных песках Еленинской россыпи составляет 26,2 г/м^3, Андреевской 4,7 г/м^3. При утверждении запасов золота Еленинской и Андреевской россыпей извлечение этих компонентов из-за низкого содержания и незначительных запасов было признано нерентабельным. Кианит как промышленно ценный продукт в то время не рассматривался. Результатом геологического изучения Андрее-Юльевской группы техногенных образований явилась локализация участков отработанных россыпей, характеризующихся повышенной концентрацией полезных компонентов (*рис. 3.1*), являющаяся основой для разработки проекта добычи и переработки кианитового сырья.

Исследования на обогатимость и принципиальная схема переработки техногенных образований выполнялись исходя из предполагаемого в качестве основного мокрого способа обогащения — гравитационной схемы с использованием отсадочных машин и концентрационных столов. Дополнительные исследования кианитового сырья на обогатимость сухим способом были направлены на исключение и/или частичную замену мокрого способа, что обусловлено отсутствием в районе необходимого количества воды и сезонностью работ. Целью исследований являлось получение в качестве товарных продуктов кианитового концентрата, соответствующего ТУ 48-4-307-74 «Концентрат дистен-силлиманитовый» и золотосодержащего концентрата (золото 45–46 г/т; серебро 75–76 г/т), полученного с использованием центробежных концентраторов «Итомак». Результаты технологических испытаний (*табл. 3.1*) свидетельствуют о том, что концентраты являются комплексными, то есть в зависимости

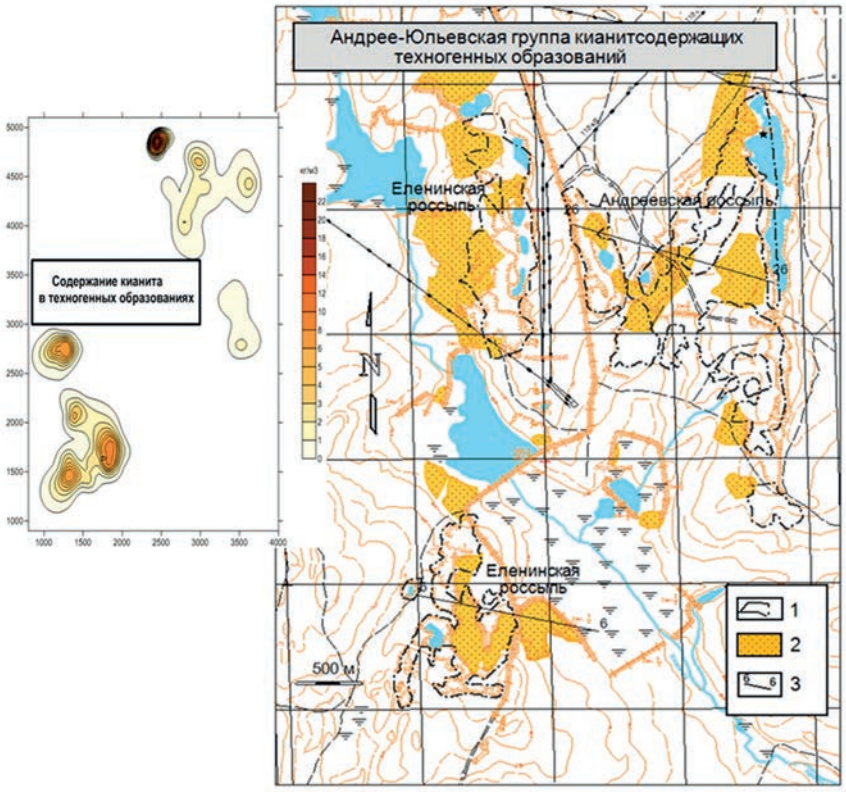


Рисунок 3.1. Схема размещения Андрее-Юльевской группы кианитсодержащих техногенных образований:
1 – контуры отработанных золотоносных россыпей;
2 – площади распространения техногенных песков с кианитом;
3 – линии геологических разрезов

от реальной потребности исходное сырье может перерабатываться и на получение дополнительно кварцевого песка, калиевого и натриевого промпродукта, ильменита и пр. Таким образом, представляются целесообразными дальнейшие исследования по отработке комплексного извлечения промпродуктов широкого ассортимента и организации гибкой схемы переработки обследованного техногенного сырья.

Исследования на обогатимость и принципиальная схема переработки техногенных образований выполнялись исходя из предполагаемого в качестве основного мокрого способа обогащения — гравитационной схемы с использованием отсадочных машин и концентрационных столов. Дополнительные исследования кианитового сырья на обогатимость сухим способом были направлены на исключение и/или частичную замену мокрого способа, что обусловлено отсутствием в районе необходимого количества воды и сезонностью работ. Целью исследований являлось получение в качестве товарных продуктов кианитового концентрата, соответствующего ТУ 48-4-307-74 «Концентрат дистен-силлиманитовый» и золотосодержащего концентрата (золото 45–46 г/т; серебро 75–76 г/т), полученного с использованием

центробежных концентраторов «Итомак». Результаты технологических испытаний (*табл. 3.1*) свидетельствуют о том, что концентраты являются комплексными, то есть в зависимости от реальной потребности исходное сырье может перерабатываться и на получение дополнительно кварцевого песка, калиевого и натриевого промпродукта, ильменита и пр. Таким образом, представляются целесообразными дальнейшие исследования по отработке комплексного извлечения промпродуктов широкого ассортимента и организации гибкой схемы переработки обследованного техногенного сырья.

Переработка и рекультивация техногенных объектов характеризуется повышенными экономическими рисками, поскольку распределение минеральных ресурсов в них, как правило, полагается неустойчивым и непредсказуемым, по структуре и вещественному составу такие образования также неоднородны. Тем не менее накопление и формирование техногенного месторождения происходит закономерно, поскольку применяемые технологии производства продукции, процессы образования отходов, а также процессы их складирования поддаются типизации и являются достаточно стандартными. Прогнозы формирования техногенных образований и их комплексного освоения в целом основываются на прогнозируемых качественных свойствах используемого природного сырья, базовых технологиях его переработки и складирования отходов производства. Дополнительным элементом прогноза является использование изученных закономерностей накопления и локализации в теле техногенного объекта тех или иных полезных компонентов, что является одной из основных задач геологического изучения. Целям стандартизации и типизации требований и условий переработки техногенно-минеральных образований в значи-

Таблица 3.1

Химический состав кианитовых концентратов, определенный по операциям обогащения

SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Содержание кианита в концентрате, %
Концентраты надрешетного продукта отсадочной машины									
43.46	0.66	49.13	4.17	0.03	0.10	0.30	0.30	0.10	78.1
Концентраты, полученные с помощью отсадочной машины Труд-3									
46.54	0.77	45.51	4.77	0.11	0.00	0.86	0.03	0.07	72.4
42.38	0.87	54.37	1.18	0.10	0.00	0.06	0.00	0.07	86.4
44.38	0.90	51.54	1.87	0.12	0.02	0.24	0.00	0.07	81.9
42.36	0.68	52.66	2.74	0.11	0.00	0.27	0.15	0.06	83.7
Концентрат концентрационного стола									
37.78	0.66	54.94	4.04	0.50	0.10	0.16	0.30	0.06	97.3
Концентраты концентрационного стола после перечистки подрешетного продукта									
40.96	0.72	54.75	2.20	0.11	0.00	0.29	0.00	0.05	87.0
43.46	0.80	51.37	3.08	0.14	0.00	0.06	0.16	0.07	81.7
Концентрат дистен-силлиманитовый									
	2.5	57.0	0.8		0.4	0.2			Сорт КДС3-0
	2.5	54.0	0.7		0.4	0.2			Сорт КДС3-1
	2.5	48.0	0.8		0.4	0.2			Сорт КДС3-2

тельной мере могут послужить геоинформационные системы (ГИС) оценки и анализа таких объектов, содержащие разнообразные сведения, поэтапно накапливающиеся и обеспечивающие информационное обеспечение на каждом из этапов принятия решений. Обобщенная структура таких геоинформационных систем должна основываться на аккумулировании и обработке геоинформационных (картографический и графический материал), мультимедийных (данные сканирования, аудио- и видеосъемок и пр.), а также текстовых и табличных материалов, объединенных в следующие основные информационные блоки:

1. Сведения о геологическом изучении района техногенного образования: материалы геологической, геофизической и геохимической разведки техногенного объекта, карты размещения отходов по видам или по полезным компонентам, отчет о подсчете запасов техногенного месторождения, а также о запасах и местоположении потенциально плодородного или плодородного слоя для рекультивации. Количество (ориентировочное) органических отходов (древесина).

2. Сведения о гидрогеологическом изучении: гидрогеологические заключения и гидрогеологические отчеты о районе ведения работ, в том числе направление поверхностных стоков, химический состав подземных вод, водопритоки в выработки, наличие водоотводных сооружений и их характеристика, данные комитета по водному хозяйству о наличии объектов, подлежащих охране.

3. Сведения об инженерно-геологических условиях ведения работ: ситуационный план размещения объектов предприятия и района ведения работ (М 1:10000, 1:25000), план геодезической или маркшейдерской съемки участков поверхности, на которых размещен техногенный объект, физико-механические свойства материалов, слагающих тело объекта — коэффициент разрыхления, сыпучесть, угол внутреннего трения, угол откоса яруса — устойчивый и рабочий, вещественный и химический состав отходов.

4. Сведения об инжерно-экологической изученности района: существующее положение рекультивируемых объектов, данные аудита (акты выбора и обследования) земельного участка под объектом, технического обследования близко расположенных лесных площадей и других угодий; требования к охране имеющихся защищаемых объектов, санитарно-эпидемиологические условия охраны водозаборов, охраняемых водных и других природных объектов; токсичность, радиационные характеристики и класс опасности складируемых материалов, степень запыленности воздуха в районе, роза ветров и т.п.

5. Основные ограничения на ведение хозяйственной деятельности: природоохранные требования, направление (вид) рекультивации, согласование размещения производства по переработке объекта, требования к размерам СЗЗ, лицензионные требования, технические условия на присоединение проектируемого объекта к инженерным сетям и коммуникациям. Потребность в техногенном сырье, направляемом на переработку, сведения о ранее погашенных запасах техногенного объекта, ежегодные объемы и технология складирования.

6. Проектная и технологическая документация: планы размещения техногенного объекта и перерабатывающего (обогатительного) комплекса. Отчеты о технологических испытаниях на обогатимость и комплексному использованию продуктов вторичной переработки. Проекты отработки и рекультивации, перерабатывающего комплекса. Перечень машин и механизмов, предполагаемых к использованию при

переработке и рекультивации техногенного месторождения, в том числе индивидуального изготовления.

7. Сведения, полученные в результате целевого комплексного анализа содержащихся в ГИС данных техногенно-минеральных объектов, дают реальную возможность типизации условий их отработки и утилизации, оценки объема возобновляемых ресурсов и общей стратегии экологической реабилитации нарушенных территорий, прогноза масштабов техногенного загрязнения и оценки санитарно-гигиенического благополучия промышленных регионов, целевого планирования бюджетных средств и средств от предпринимательской деятельности, расходуемых в целях предотвращения ущерба, наносимого окружающей среде.

Согласно теории проектирования и эксплуатации хвосто- и шламохранилищ, необходимо проведение геологоразведки перед началом отработки объектов такого типа. Разработка техногенных объектов, представленных хвостами обогащения, не имеет конкретной технологии, как и отгрузка из них хвостов в различные сезоны, как и перенос дамб, организация работ в зимнее время и т.п. Как показывает практика, возможны следующие технологии выемки хвостов.

1. Земснарядами с гидротранспортом хвостов до места переработки — наиболее простой и дешевый способ, применяемый только в течение весенне-летнего сезона.

2. Выемка гидромониторами — второй по экономичности способ, основными его недостатками являются сезонность добычи и необходимость сгущения пульпы перед доизмельчением.

3. Выемка экскаваторами в зимнее время с применением тракторных рыхлителей в сочетании с предварительным осушением поверхности хвостов позволяет извлекать даже пылеватый материал с влажностью 12 % и менее, а при двух-трехкратном перемораживании 8–9 %. Этого достаточно в случае сухого обогащения хвостов.

Главный недостаток повторной разработки ранее созданных или пополняемых хвостохранилищ состоит в том, что после их переработки необходимо создавать практически такие же емкости для размещения вторичных хвостов обогащения. Вполне естественно, что для этого занимать новые площади нецелесообразно. Следовательно, вновь образованные хвосты следует размещать в уже отработанные карьеры или их изолированные участки, а также в подземные выработки, особенно в тех случаях, когда подземные работы ведутся или предусматриваются снизу вверх. Безусловно, все это возможно только на основе тщательно проработанных взаимоувязанных технологических регламентов, ТЭО и проектов. Наиболее существенным образом расширить область применения экскаваторной выемки можно применением шагающих драглайнов и универсальных строительных гусеничных экскаваторов, особенно в болотном исполнении. Причем, если провести предварительное осушение поверхности хвостохранилищ или уступов, шагающие драглайны и универсальные гусеничные экскаваторы можно применять для всех песков, независимо от их крупности (*табл. 3.2*).

Переработка и рекультивация шлаковых отвалов черной металлургии с точки зрения ведения горных работ затруднена тем, что такие объекты слабо изучены. Распространение минеральных ресурсов в них, как правило, неустойчиво и непредсказуемо, как и физико-механические свойства слагающего отвал материала, т.е. по структуре и вещественному составу отвал представляет собой неоднородное образование. Тем не менее следует отметить, что накопление и формирование тела отвала как техногенного месторождения происходит сравнительно закономерно, поскольку

Таблица 3.2

Область возможного применения различных типов экскаваторов при переработке хвостов

Тип экскаватора	Условия работы экскаватора	Характеристика хвостов					
		Крупные	Средней крупности	Мелкие		Пылеватые	
				Маловлажные (осушенные)	Влажные и водонасыщенные	Маловлажные (осушенные)	Влажные и водонасыщенные
Карьерный гусеничный	Обычные						
	С подвалкой		+				
	На матах	+	+	+			
Драглайн	Обычные	+	+	+	+	+	
	С подвалкой				+		+
Универсальный гусеничный	Обычные	+	+	+			
	С подвалкой	+	+	+	+	+	+
	На матах				+		+
То же в болотном исполнении	Обычные			+	+	+	+

применяемая технология формирования шлаковых отвалов металлургических предприятий, за редкими исключениями, стандартная — железнодорожно-бульдозерная. Основным материалом, формирующим отвал, являются собственно металлургический шлак и «горелые земли» — отработанные формовочные пески.

Применяемый железнодорожный транспорт во многом определяет форму шлаковых отвалов. При таком способе доставки необходимо наличие достаточно протяженных фронтов работ с малой кривизной для размещения и вписывания в границы отвала железнодорожных тупиков. Именно поэтому вид металлургических отвалов в плане и их конструкция примерно одинаковы. Высота отвалов ограничивается, прежде всего, их устойчивостью и, как правило, не превосходит 30–40 м. Для обеспечения устойчивого состояния отвала выделяются ярусы высотой до 10–12 м. Шаг наращивания высоты металлургических отвалов при железнодорожной доставке шлака составляет 3–4 м. Значит, при переработке отвалов с последующей их рекультивацией горные работы желательно вести послойно в порядке, обратном формированию отвала, при высоте уступа, пропорциональной высоте сформированного яруса или отсыпаемого слоя. При этом на перевозках рационально использовать автомобильный транспорт, как наиболее мобильный.

Следует отметить, что в современных условиях полное восстановление нарушенных земель при переработке и рекультивации шлаковых отвалов не представляется возможным, поскольку большинство из них являются действующими. Поэтому необходимо поддерживать площади для разгрузки текущих промышленных отходов, въездные автомобильные и железнодорожные насыпи, площадки для размещения дробильно-сортировочного комплекса, склады (конуса) готовой продукции, промплощадку комплекса, очистные сооружения. При налаженной технологии

переработки отходов металлургического производства возможны сокращение и стабилизация размеров отвальных площадей, особенно в период совмещения работ по рекультивации и приему на отвал «свежих» промышленных отходов. Для этого предлагается соответствующим образом организовывать прием текущих шлаков на стационарный разгрузочный пункт с чередующимся заполнением и отработкой секций. Вдоль действующей разгрузочной железнодорожной насыпи создаются секции, вместимость каждой из которых достаточна для размещения поступающих на отвал шлаков в течение определенного периода времени (*рис. 3.2*).

Выполненные исследования и проекты отработки, а также накопленный производственный опыт свидетельствует о том, что для отнесения отвалов забалансовых и бедных руд, вскрышных пород, шлаков, хвосто- и шламохранилищ к разряду техногенных месторождений необходимо их геологическое изучение, как и для обычных природных объектов.

Эффективность переработки хвостов обогащения существенно возрастет, если она будет планироваться и осуществляться вслед за падением объемов добычи руды, подвергаемой обогащению, чтобы в максимально возможной степени использовать основные фонды горно-обогатительных предприятий, безусловно, с учетом их износа.

На вновь вводимых в эксплуатацию предприятиях (и в обозримом будущем) бортовое содержание полезных компонентов и технологии их извлечения в процессе обогащения должны соответствовать современным требованиям и мировым ценам на

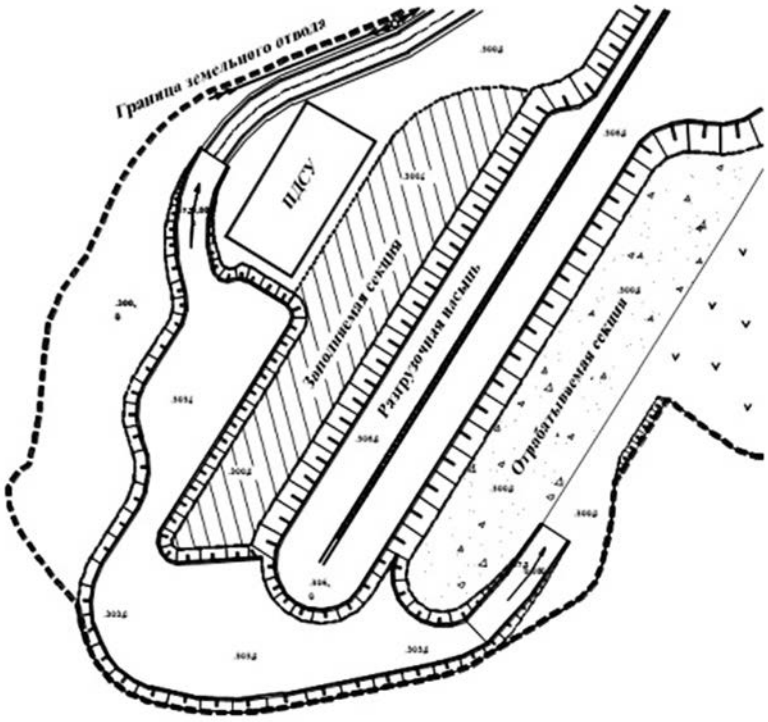


Рисунок 3.2. Конструкция стационарного разгрузочного пункта при чередующейся отсыпке и отработке секций

минеральное сырье. Поэтому заранее планировать переработку хвостов можно будет только на какие-либо другие цели, но с учетом возможного прогнозируемого ущерба.

Основными проблемами эксплуатации рассмотренных техногенных минеральных образований являются:

— сложность ведения горных работ в начальный период отработки отвалов, отличающаяся напряженным исполнительным графиком работ;

— ухудшение санитарно-гигиенической обстановки в организационный период начала переработки техногенных объектов;

— несовершенство нормативной базы проектирования, в том числе СНиП, которые ориентируют строительную промышленность на природное сырье и не стимулируют использование продукции переработки техногенных объектов, даже там, где это допустимо (производство обратных засыпок при ремонте коммуникаций, дорожное строительство, твердеющая закладка пустот и пр.), что существенно затрудняет сбыт произведенной продукции;

— недостаточная проработанность законодательства, не стимулирующего полную переработку и утилизацию отходов обогатительного и металлургического производства.

На рис. 3.3 приведена схема стимулирования ресурсосбережения и внедрения природоохранных технологий в горно-металлургическом комплексе, реализация которых будет способствовать повышению эффективности переработки, консервации или захоронения техногенных образований (промышленных отходов). В качестве показателей, позволяющих предварительно оценить эффективность переработки техногенно-минеральных образований следует считать:

— наличие устойчивых потребителей и долгосрочной потребности в комплексных поставках продукции, экономическая и сбытовая эффективность;

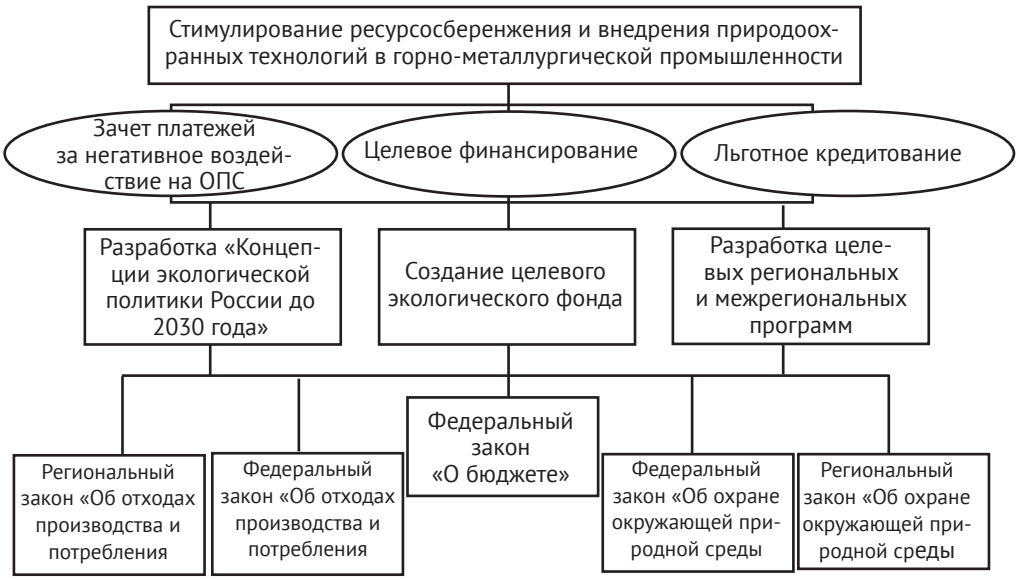


Рисунок 3.3. Схема стимулирования ресурсосбережения и внедрения природоохранных технологий в горно-металлургическом комплексе

— существенное сокращение (ликвидация) отходов, образовавшихся при переработке, с одновременным сохранением или снижением класса их опасности;

— возможность налаживания параллельно-последовательной рекультивации нарушенных земель;

— наличие инженерных мероприятий, предотвращающих распространение текущих и прогнозируемых загрязнений.

Выделяется два основных нормативных подхода к развитию промышленной переработки техногенного сырья. Первый предполагает перевод техногенных образований в категорию техногенных месторождений, для чего по закону «О недрах» требуется: оценка, разведка, подсчет и утверждение запасов в ГКЗ; постановка изученных объектов на государственный баланс; передача запасов по результатам торгов недропользователю для отработки. Главная сложность такой процедуры — возникновение организационных и юридических сложностей в технологической подготовке объектов к переработке, поскольку запасы техногенного месторождения уже поставлены на баланс государства и принадлежат ему, а не предприятию, которое это месторождение сформировало. Реализация второго подхода связана с тем, что техногенные образования рассматриваются как отходы производства, в связи с чем, согласно закону «Об отходах производства и потребления»: переработка отходов производства производится без постановки запасов на государственный баланс; разрабатывается и проходит экологическую экспертизу проектная документация на строительство, реконструкцию объектов, используемых для обезвреживания, переработки и (или) размещения отходов I–V классов опасности, а также проекты рекультивации земель, нарушенных при размещении отходов I–V классов; за пользователем закрепляется право распоряжения полученными при переработке отходов полезными компонентами. Совершенствование законодательных и экономических механизмов вовлечения в отработку, консервацию и захоронение отходов промышленного производства будет включать оба подхода. В любом случае переработка техногенно-минеральных образований является важной задачей, решение которой позволит в некоторой степени компенсировать нехватку минерального сырья, особенно на территории Урала, а также обеспечит улучшение экологической обстановки в регионе.

3.2. Основные типы отходов и факторы, определяющие эффективность их вовлечения в эксплуатацию

За три последних века на территории Свердловской, Челябинской, Оренбургской областей и восточных районов Башкирии было вовлечено в разработку более 50 месторождений цветных металлов, большинство из которых в настоящее время уже отработано или законсервировано (*рис. 3.4*).

Из-за отсутствия новых крупных месторождений, вовлеченных в эксплуатацию, медеплавильные заводы Урала испытывают острый дефицит сырья, который может быть лишь частично восполнен за счет запасов Ново-Шемурского, Валенторского и

Тарньерского месторождений Свердловской области и ряда мелких месторождений Оренбургской области и Башкирии. Эти объемы слишком малы для 5 действующих медеплавильных заводов. Истощение запасов богатых руд обусловило необходимость переработки бедных руд, ранее считавшихся забалансовыми, в которых содержание меди и цинка сопоставимо с содержанием в отвалах, хвостохранилищах и шлакоотвалах, а также необходимость оценки отходов переработки как возможных источников рудного сырья. Необходимо отметить, что вовлечение в переработку техногенного

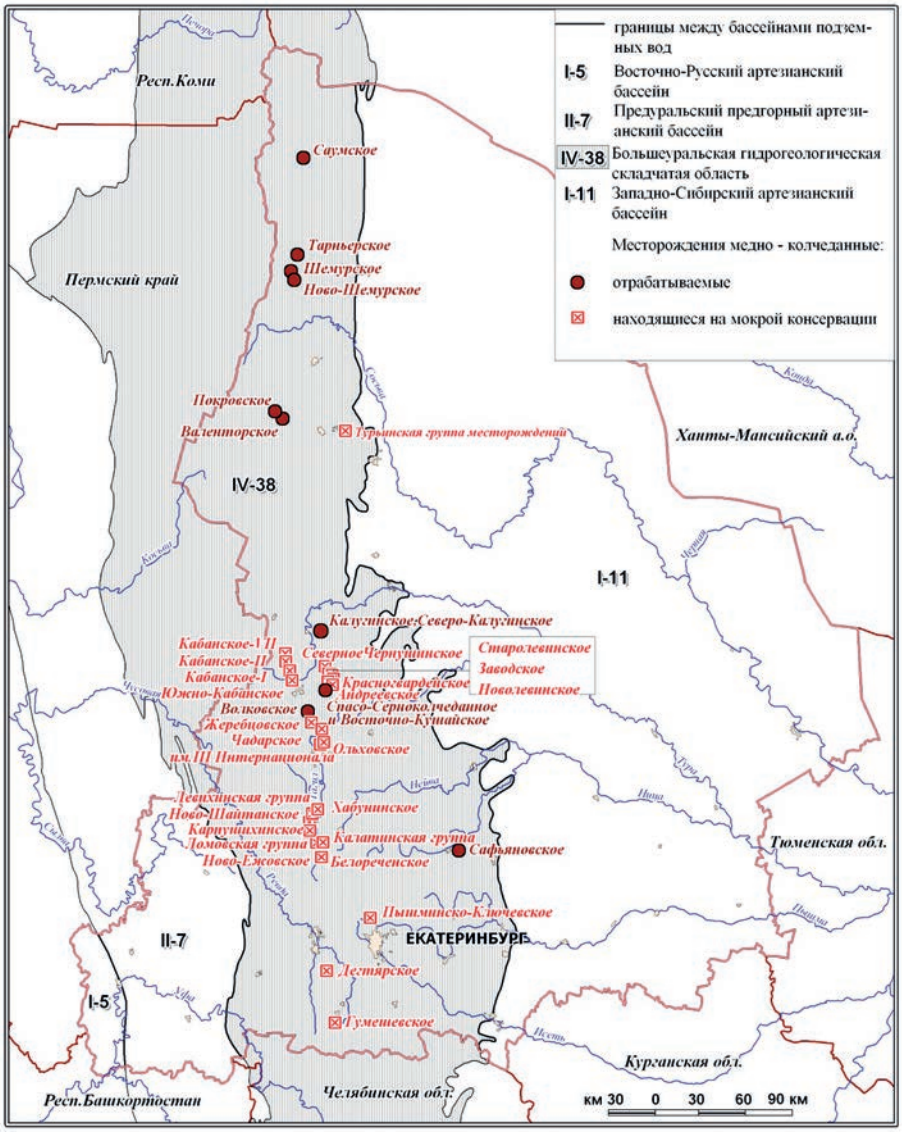


Рисунок 3.4. Схема размещения медно-колчеданных месторождений Свердловской области, отрабатываемых и законсервированных (по данным [124] с изменениями и дополнениями)

сырья актуально не только с точки зрения появления новых сырьевых ресурсов, но и с целью нормализации экологической обстановки в старых горнопромышленных районах.

Целесообразность вовлечения в повторную переработку отходов горного производства и расконсервации старых рудников определяется соотношением ожидаемой прибыли и затрат на переработку и складирование вторичных отходов, а также на разработку и реализацию комплекса мероприятий по защите окружающей среды от загрязнения. Для каждого вида накопителей (отвалы, хвостохранилища и шлакоотвалы), в зависимости от состояния и вида заскладированных отходов, требуется индивидуальный подбор технологии их переработки, при разработке проектов должны быть выявлены и учтены основные факторы, определяющие эффективность их реализации. К ним относятся состав и последовательность всех операций по подготовке исходного сырья для извлечения полезных компонентов и захоронению вторичных отходов. Еще более специфичен набор мероприятий по обеспечению эффективности работ на законсервированных и отработанных месторождениях, в недрах которых (исходя их современных кондиций) имеются достаточно значительные запасы ценного сырья. С учетом вышеизложенного уже на стадии подготовки проекта инвестиций по каждому объекту должны быть учтены и оценены:

— суммарная масса черных и цветных металлов и других полезных компонентов (в том числе строительных материалов, являющихся дефицитным для данного региона) в накопителе;

— наличие и возможность получения земельных участков для размещения вторичных отходов;

— состояние отходов в накопителе, определяющее выбор технологии их переработки (степень окисления рудных минералов, прочность и хрупкость отходов и т.п.);

— степень негативного воздействия на окружающую среду в пределах территорий, примыкающих к промзоне (запыление атмосферы, загрязнение почв, поверхностных и подземных вод);

— затраты на консервацию накопителей вторичных отходов на месте их складирования.

Техногенные отходы горно-обогатительного и металлургического производств представлены 5 типами.

Первый тип отходов — это отвалы вскрышных пород и некондиционных (забалансовых) руд, образовавшиеся при разработке месторождений открытым способом. Отвалы, образовавшиеся в процессе подземной разработки месторождений, по своей массе в несколько десятков раз меньше, чем при открытом способе добычи. При этом большинство частично уже использованы для засыпки зон обрушения или не могут быть вовлечены в повторную переработку из-за плотной застройки территории в районе их размещения (Дегтярское РУ, Турьинские рудники и др.).

В отвалах отходы рассредоточены на достаточно большой площади. Характерными особенностями этого вида отходов является их значительная крупность (более 70% по массе относится к фракции крупнее 0,15 м) и относительно низкое содержание в них рудных минералов. Исключение составляют только отвалы забалансовых руд и отвалы карьеров, в которых складировались окисленные руды, не пригодные к флотации (отвалы Волковского, Учалинского и Гайского карьеров). Окисленные руды склонны к активному выщелачиванию, и именно они являются основными загряз-

нителями грунтовых и поверхностных вод, поэтому подлежат первоочередной переработке или гидроизоляции.

Основными факторами, подлежащими учету при проектировании вовлечения отвалов в переработку, являются:

— возможность селективной выемки участков с более высоким содержанием ценных компонентов, если среднее их содержание исключает экономическую целесообразность переработки всего объема накопителей;

— наличие вблизи отвала незаконченных карьерных и естественных выемок, которые могут быть использованы в качестве емкостей для размещения вторичных отходов;

— степень окисления рудных минералов и возможность их извлечения с использованием той или иной технологии (флотация, выщелачивание и т.п.);

— необходимость дополнительного дробления или грохочения отходов (в зависимости от технологии извлечения показных компонентов);

— токсичность вторичных отходов с учетом длительного срока их хранения и выбор способа их консервации;

— необходимость создания отстойных прудов и прудов кислых вод (при использовании технологии кучного выщелачивания или флотации);

— длительность периода кучного выщелачивания (в условиях Уральского региона продолжительность цикла с учетом сезонного характера работ составит не менее 5–7 лет даже при обеспечении предварительного дробления первичных отходов до крупности менее 0,01 м);

— необходимость повторных циклов выщелачивания отвальной массы в тех случаях, когда в ней, наряду с сульфатными соединениями меди и цинка, в значительном количестве содержатся такие сульфиды, как халькопирит, халькозин и ковеллин (интервал между первым и последующими циклами переработки отходов зависит от интенсивности перехода сульфидных соединений в сульфаты и определяется, прежде всего, климатическими условиями, т.е. продолжительностью периода положительных температур и количеством осадков, выпадающих в виде дождей);

— соблюдение жесткого требования исключить риск аварийных ситуаций, связанных с утечкой кислых вод и шламов и их попадания в поверхностные воды, как это имело место, в частности, при выщелачивании отвалов некондиционных руд на Волковском руднике, когда из-за прорыва ограждающей дамбы произошел прорыв кислых вод в р. Тагил.

Второй тип отходов — хвосты обогатительных фабрик (ОФ), заскладированные в непосредственной близости от них самих. Основное отличие хвостов от других отходов горно-металлургического производства — высокая степень их измельчения и, как следствие, большая удельная поверхность (по сравнению с отвальными породами она на 3–4 порядка выше). Этой особенностью обусловлено более интенсивное протекание процессов выщелачивания тяжелых металлов (ТМ) из отходов после консервации хвостохранилищ, хотя содержание рудных минералов в них может быть существенно ниже, чем в некондиционных рудах, заскладированных в отвалы.

Другим значимым отличием хвостов обогащения от горной массы, складированной в отвалы, является существенное изменение их минерального состава вследствие извлечения из них основной массы сульфидов (до 80 %). Для хвостов большинства накопителей характерен узкий диапазон колебания содержания

основных металлов (меди и цинка), поскольку переработка руд на всех фабриках осуществляется методом флотации с однотипным набором флотореагентов.

После флотации (руды колчеданных месторождений) или магнитной сепарации (железные руды скарновых месторождений) отходы обогащения этих групп месторождений приобретают идентичный набор и содержание рудных минералов. Так, в хвостах Турьинской ОФ, обогащающей медные руды, содержание меди и железа, соответственно, равно 0,08 и 13 %. В хвостах Черемшанского (ВГОК) и Гороблагодатского хвостохранилищ, в которых складировались отходы обогащения руд Высокогорского и Гороблагодатского железорудных месторождений, среднее содержание меди и железа равно 0,21 и 15,5 % в Черемшанском и 0,15 и 13 % в Кушвинском.

Перечень основных факторов, учитываемых при вовлечении хвостохранилищ в переработку, существенно отличается от требований, возникающих при переработке отвалов:

1. Степень окисления сульфидных минералов в заскладированных в накопителе отходов, которая определяет выбор способа извлечения ТМ, может быть оценена по величине pH фильтрата. Если значение pH в фильтрате из накопителя или в его поровой воде превышает 6 то степень окисления сульфидов минимальна и рудные минералы из отходов могут быть извлечены лишь путем повторной флотации хвостов с их предварительным измельчением.

2. Переработка хвостохранилищ, в которых сульфидные минералы подверглись значительному окислению, возможна лишь методами выщелачивания, при этом, как и на отвалах, проведение таких работ осложняется климатическими условиями и высокой степенью риска загрязнения поверхностных и подземных вод токсичным фильтратом.

3. Крайняя сложность выделения земельных участков под строительство накопителей для складирования жидких вторичных отходов (хвостов) после извлечения из них ТМ. Исключение составляют лишь те объекты, где обогатительные фабрики располагаются вблизи выемок отработанных карьеров. В этом случае складирование хвостов в выработанное пространство позволяет отказаться не только от необходимости изъятия для размещения в них отходов из земельного оборота участков для строительства новых накопителей, но и выполнить наиболее затратный (технический) этап рекультивации земель, нарушенных горными работами.

4. При переработке хвостохранилищ с использованием методов выщелачивания и складировании вторичных отходов особую актуальность сохраняет необходимость жесткого контроля за загрязнением поверхностных и подземных вод, особенно в период весеннего снеготаяния и затяжных дождей.

Третий тип отходов цветной металлургии представлен шлаками, сосредоточенными вблизи медеплавильных заводов. Этот тип составляет минимальную долю накопленных отходов. Несомненным преимуществом этого вида отходов как источника техногенного сырья являются повышенное содержание (по сравнению с другими видами отходов) в них меди, цинка и железа и незначительное содержание серы, а также их близость к действующим медеплавильным заводам. Именно этим обусловлен тот факт, что уже начиная с 1998–2000 гг. эти шлаки являются основным сырьем для Среднеуральского медеплавильного завода. Из шлаков после их измельчения и классификации с последующей флотацией получают медный и цинковых концентраты, обогащенные благородными металлами, при этом степень извлечения меди

и золота из шлаков превышает 70 %. Третьим продуктом, который получается при переработке шлаков, являются железистые пески, из которых после магнитной сепарации можно получать кондиционный концентрат железа.

В качестве основных факторов, определяющих целесообразность переработки конкретного шлакоотвала, можно выделить следующие:

1. Из-за отсутствия сколько-нибудь значительного содержания растворимых соединений ТМ мероприятия по охране окружающей среды при переработке шлаков по существу сводятся к пылеподавлению при их дроблении и грохочении.

2. Извлечение меди и цинка в концентрат осуществляется путем флотации тонкоизмельченных шлаков.

3. При плавке медно-цинкового концентрата выделение сернистых газов в отличие от рудных концентратов минимальное, и жесткость требований к мероприятиям по их улавливанию существенно снижается.

4. Вторичные отходы, представляющие собой песчаную массу, практически нейтральны и могут использоваться в качестве наполнителя строительных растворов и для других нужд.

Четвертый тип отходов — шламы нейтрализации шахтных вод. Применительно к Уральскому региону это в основном два пруда-отстойника (Левихинский и Ельчевский) с накопленной массой шламов, соответственно, 2,74 и 6,14 млн т. Шламы в накопителях имеют влажность от 50 до 98 %. В сухих шламах содержание меди от 0,8 до 1,2 %, цинка от 0,75 до 5,6 % и железа от 7 до 15 %. Цветные металлы в шламах присутствуют в форме гидроокислов и карбонатов. Основная масса шламов представлена соединениями кальция ($CaSO_4$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и $CaCO_3$). Общее содержание меди и цинка в шламах Левихинского и Ельчевского накопителей не превышает, соответственно, 89 и 285 тыс. т.

Пятый тип отходов представлен рудничными (шахтными и карьерными) водами, которые в процессе разработки месторождений выдаются водоотливом на поверхность и после предварительной очистки или без нее сбрасываются в поверхностные источники. Для этих вод характерны высокие кислотность (pH = 1,8–5) и насыщенность сульфатами тяжелых металлов халькофильной группы. К этому же типу отходов примыкают рудничные воды, поступающие в гидросферу после постановки отработанных рудников на «мокрую» консервацию, которая широко практиковалось на предприятиях Минцветмета СССР до 90-х годов прошлого века. Заполнение выработанного пространства водой резко снижает количество кислорода, поступающего на глубокие горизонты, где сохранились сульфиды, поэтому их окисление прекращается, происходит снижение кислотности подземных вод и уменьшение содержания в них тяжелых металлов.

Исключением из этого являются рудники, в недрах которых остались сульфидосодержащие породы и руды, залегающие выше уровня местного базиса разгрузки (реки, озера и т.п.). На таких рудниках наблюдается излив кислых вод из шахт и карьеров даже после их затопления, при этом значение pH воды остается на уровне 2,0–2,5, а содержание тяжелых металлов достигает нескольких сотен граммов на кубометр. По сути дела в этих случаях запускается механизм «самовыщелачивания» ТМ.

Этим же методом (подземным выщелачиванием) можно производить доработку запасов, оставшихся в недрах, поскольку большая часть зоны оруденения на отработанных рудниках, в том числе и минерализованная зона вмещающих пород, в

той или иной степени подверглись деформациям под воздействием процессов сдвижения и их коэффициент фильтрации (по сравнению с нарушенным массивом) увеличился на несколько порядков (от 10 до 50 м/сутки и более), что обеспечивает инфильтрацию в эту зону атмосферных осадков, насыщенных O_2 и CO_2, и интенсивное окисление сульфидов. Как свидетельствуют данные анализа рудничных вод, содержание меди и цинка в них остается практически стабильным на протяжении многих десятилетий, что позволяет извлекать из них ТМ без использования H_2SO_4.

Наиболее неблагоприятным фактором, препятствующим переработке самоизливающихся рудничных вод и остатков запасов месторождений (общешахтных и общекарьерных потерь), является требование действующей нормативной базы или захоранивать извлеченные в ходе очистки воды цветные металлы, или считать их товарной продукцией, однако при этом требуется перевести техногенное образование в техногенное месторождение. Перевод техногенных образований (отходов производства) в категорию месторождений требует, в соответствии с Российским законодательством, выполнения ряда затратных операций, таких как оценка, разведка, подсчет запасов, утверждение запасов в ГКЗ и постановка на государственный баланс, после чего государство может передать их на торгах недропользователю для отработки. При этом создается ситуация, когда стоимость работ по дополнительной разведке на несколько порядков превышает объем капитальных вложений, необ-ходимых для начала работ по извлечению ТМО из самоизливающихся вод.

В связи с истощением запасов ведущих месторождений черных и цветных металлов и сложившейся экологической обстановкой оценка потенциальных запасов техногенного сырья является одним из главных приоритетов для развития горно-металлургического комплекса Свердловской области. На сегодняшний день в области насчитывается 53 шламонакопителя, 35 отвалов вскрышных пород, 62 породных отвала, в том числе некондиционных руд, 20 отвалов металлургических шлаков, 14 золоотвалов (*рис. 3.5*).

Статистические данные свидетельствуют о том, что из общего объема учтенных наиболее крупными предприятиями уральского региона техногенных отходов

Рисунок 3.5. Характеристика техногенного сырья, накопленного на территории Свердловской области

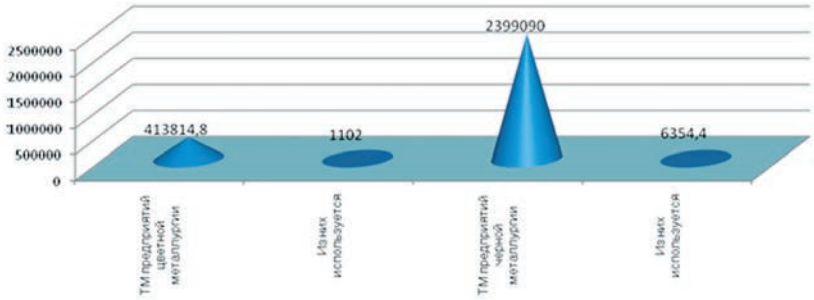


Рисунок 3.6. Отраслевые показатели использования крупнотоннажных отходов крупнейших предприятий Уральского региона

горно-металлургической отрасли в переработку к настоящему времени вовлечено лишь 7,5 млн тонн (*рис. 3.6*).

Более интенсивное вовлечение техногенных месторождений в разработку позволит обеспечить основные требования к рациональному природопользованию, учитывая взаимосвязи разных экологических и социально-экономических факторов и снижением негативного влияния последствий деятельности горнодобывающих и металлургических предприятий на окружающую среду. Однако существующие горнодобывающие и обогатительные комплексы в уральском регионе используют отходы добычи и обогащения природного сырья в незначительных объемах, ориентируясь лишь на экономически более рентабельное использование техногенных отходов и, в редких случаях, с учетом экологически безопасного природопользования.

Основными видами отходов обогатительного передела являются хвосты флотационных и гравитационных фабрик, а также легкая фракция продуктов обогащения в тяжелых суспензиях. На многих предприятиях цветной металлургии Урала имеются промышленно испытанные и готовые к внедрению технические решения по использованию ТМО для извлечения ценных компонентов. Наибольшее количество хвостов цветной металлургии Урала используется на предприятиях ООО «УГМК – Холдинг».

На ОАО «Святогор» шламы Сорьинской обогатительной фабрики в объеме 500 тыс. т в год вовлекаются в переработку с использованием флотации и магнитной сепарации для получения медного, апатитового и железо-ванадиевого концентратов, а также строительного песка. С 1998 года предприятием ведется переработка пиритсодержащих хвостов с целью извлечения меди, железа и драгоценных металлов в виде медного и пиритного концентратов. Получаемые концентраты содержат до 14–16 % меди и используются в металлургическом переделе предприятия. В медный концентрат извлекается около 800 т меди в год. ОАО «Святогор» заскладировано 8443,7 тыс. м^3 пустых пород, сформирован отвал забалансовых руд — 565,4 тыс. т с содержанием железа 14,39 %, меди 0,24 %, пятиокиси ванадия — 0,21%, пятиокиси фосфора 2,57 %.

ОАО «Гайский ГОК» использует хвосты обогащения для производства стройматериалов и закладки горных выработок.

На ОАО «Башкирский МСК» накоплено около 33,5 млн т хвостов, в них содержится 67,2 тыс. т меди, 168 тыс. т цинка, а также 40,3 т золота, 336 т серебра.

Предполагается переработка хвостов гидрометаллургическим способом, но технология также не внедрена. В настоящее время хвосты обогащения не перерабатываются, однако частично (150–200 тыс. т) направляются на ОАО «Аммофос» (г. Череповец) для производства удобрений.

На ЗАО «Карабашмедь» объем накопленных хвостов составляет более 9,2 млн т, в которых содержится, помимо меди и цинка, 8,8 т золота, 56,2 т серебра. Предполагается извлечение тяжелых цветных металлов методом выщелачивания с последующей цементацией. Технологический регламент на проектирование опытной установки гидрометаллургической переработки старогодних хвостов разработан в 1995 году, однако технология не реализована.

Целесообразность переработки отходов предприятий горнорудной промышленности, заскладированных в хвосто- и шламохранилищах, подтверждена практикой работы ряда предприятий, которые тем самым не только снижают уровень экологической нагрузки на биосферу, но и уровень экологических рисков, а также извлекают дополнительный доход от данного вида деятельности.

На ОАО «Качканарский ГОК «Ванадий» в отвалах горного производства находится более 720 млн т вскрышных пород с содержанием железа около 10 %, в шламохранилище уложено 1071 млн т хвостов мокрой магнитной сепарации с содержанием железа 6,45 %. В хвостах обогащения также присутствует редкоземельный элемент скандий при содержании более 100 г/т. Следует отметить, что горная масса из отвалов пустых пород, а также хвосты сухой магнитной сепарации используются для балластировки железнодорожных путей, строительства автодорог.

На Высокогорском ГОКе вторичное использование отходов Ивановского шламохранилища, накопленных в течение нескольких десятилетий, ведется с 90-х годов прошлого века. За это время переработано более 785 тыс. т шламов, в технологический процесс возвращено 620 тыс. т железосодержащего продукта. При необходимости поддержания рудной базы вовлекаются в разработку запасы отвалов бедных руд. Реализуется программа извлечения меди из хвостов Черемшанского хвостохранилища (*табл.3.3*).

Таблица 3.3

Запасы полезных ископаемых в техногенных образованиях Высокогорского ГОКа

Месторасположение техногенного образования и полезный компонент	Объемы, тыс. т	Содержание полезного компонента, %
Черемшанское хвостохранилище:		
Железо	3645,8	10,0
Медь	58495,2	0,16
Западный карьер (отходы ОФ). Железо	6638,3	8,1
Северо-Лебяжинский карьер (отходы ОФ). Железо	2205,5	8,7
Каменский карьер (отходы ОФ). Железо	4157,1	10,5
Главный карьер (отходы ОФ). Железо	11795,0	10,1

3.3. Оценка запасов цветных металлов в техногенных образованиях Урала и возможные технологии их освоения

Характеристика техногенных образований меднорудной промышленности Урала получена обобщением информации, опубликованной в [32, 57, 80, 114, 124]. Характеристика и описание отвалов вскрышных пород и некондиционных руд медно-цинковых рудников Урала приведена в табл. 3.4. В приведенный перечень не вошел ряд мелких объектов и отвалы таких карьеров, как Сафьяновский, Александринский и Валенторский, поскольку они находятся в стадии формирования и в ближайшие 10–15 лет не могут быть вовлечены в повторную переработку.

Степень загрязнения подотвальных вод характеризуется следующими показателями.

Отвалы забалансовых руд

Левихинский рудник: pH = 2,75; Fe = 1000 мг/дм^3; Cu = 500 мг/дм^3 и Zn = 100 мг/дм^3;

Бурибаевское РУ: pH = 2,3; Fe = 44025 мг/дм^3; Cu = 3956 мг/дм^3 и Zn = 1495 мг/дм^3;

Карьер №2 Гайского ГОКа (некондиционные руды): pH = 2,6–3,0; Fe = 1600–3800 мг/дм^3; Cu = 400–1160 мг/дм^3 и Zn = 450 – 1230 мг/дм^3.

Отвалы вскрышных пород

Левихинский рудник: pH = 5,5; Fe = 2,0 мг/дм^3; Cu = 8,0 мг/дм^3 и Zn = 15,0 мг/дм^3;

Бурибаевское РУ: pH = 3,8; Fe = 14 мг/дм^3; Cu = 13,4 мг/дм^3 и Zn = 10,2 мг/дм^3;

Учалинский ГОК: pH = 3,4; Fe = 175 мг/дм^3; Cu = 12,3 мг/дм^3 и Zn = 970 мг/дм^3;

Карьер №1 Гайского ГОКа (породный): pH = 3,6–4,0; Fe = 86–122 мг/дм^3; Cu = 140–170 мг/дм^3 и Zn = 41–75 мг/дм^3.

По анализу этих данных очевидна необходимость оперативной переработки и гидроизоляции отвалов некондиционных руд или, как временная мера, перехват подотвальных вод с их последующей нейтрализацией.

Извлечение ТМ, содержащихся в окисленных рудах, возможно только их выщелачиванием. При этом из-за малой удельной активной поверхности горной массы очистка отвалов растянется на многие годы. Для сокращения времени выщелачивания необходимо провести предварительное дробление горной массы до фракции не крупнее 0,01 м. Сам процесс выщелачивания в условиях уральского климата возможен только в период положительных температур, т.е. с учетом времени на протаивание отвала продолжительность рабочего периода не будет превышать 5 месяцев в год.

Все перечисленные отвалы условно могут быть разделены на две группы по суммарному содержанию в них меди и цинка: на перспективные для кучного выщелачивания (общее содержание меди и цинка превышает 0,5%) и подлежащие рекультивации с их гидроизоляцией, которая обеспечивает перехват атмосферных осадков и их сток за пределы площади, занимаемой отвалом.

При выборе первоочередности объектов, подлежащих повторной переработке или рекультивации, следует учитывать, что максимальное количество токсичных элементов 1-го класса опасности (ртуть, таллий, бериллий, кадмий и мышьяк) содержится в породах со значительным содержанием таких минералов, как сфалерит и пирит. Сроки вовлечения отвалов в повторную их переработку и их гидроизоляция

должны приниматься на основе данных мониторинга состава поверхностных (подотвальных) и грунтовых вод в пределах участков их размещения (*табл.3.4*).

Характеристика хвостохранилищ, расположенных в уральском регионе, приведена в табл. 3.5. В ходе составления перечня потенциальных источников добычи цветных и редких металлов были учтены также отходы обогатительных фабрик черной металлургии.

Проанализированные отходы 12 обогатительных фабрик представлены тонкодисперсным материалом со средним размером частиц не более 0,07 мм. Несмотря на аномально высокую удельную активную поверхность хвостов, более чем на 4 по-

Таблица 3.4

Характеристика отвалов медно-цинковых рудников Урала

Предприятие	Характеристика	Занимаемая площадь, га	Масса отвала, млн т	Основной элемент отвала		
				Элемент	Содержание, %	Масса элемента, тыс. т
ОАО «Красноуральский МК»	Вскрышные породы	200	10.39	Cu	0.10	10.4
Волковский карьер	Забалансовые (окисленные) руды	40.0	21.88	Cu	0.51	111.59
ГП III Интернационала	Забалансовые руды	10	0.98	Cu Zn	0.35 1.00	3.43 9.8
Кировогорский МК	Забалансовые руды и вскрышные породы	24.3	6.05	Cu Zn	0.20 0.40	12.1 24.2
Сафьяновский карьер	Вскрышные породы	Н.д.	11.02	Cu Zn	0.30 0.50	33.0 55.1
Сибайский карьер	Вскрышные породы и забалансовые руды	518.7	480	Cu Zn	0.15 0.30	720 1440
Таш-Тау	Забалансовые руды	46	0.04	Cu Zn	1.1 0.93	0.44 0.37
Бакр-Тау	«-«	77.5	0.14	Cu Zn	0.60 1.29	0.84 1.81
Бака-Тау	«-«	90	0.42	Cu	0.73	3.1
Бурибайский и Маканский карьеры	Забалансовые руды и вскрышные породы	25.8	6.1	Cu	1.88	114.7
Учалинский карьер	Забалансовые руды и вскрыша	284.8	50	Cu Zn	0.20 0.20	100 100
Блявинский карьер	Вскрышные породы	140	25.5	Cu Zn	0.20 0.25	51.0 63.8
карьеры №1 и №2 Гайского ГОКа	Забалансовые руды кварциты	500	14.3 172.8	Cu Zn Cu Zn	0.97 0.58 0.11 0.10	138.6 82.9 190 173
Всего		1947.1	799.62	Сред. Cu- Сред. Zn-	0.16% 0.24%	QCu≈1.3 млн т QZn≈2.0 млн т

рядка превышающую аналогичный показатель горной массы в отвалах, вынос тяжелых металлов из этих накопителей в течение всего периода эксплуатации крайне ограничен. Это обусловлено тем, что жидкая фаза пульпы имеет повышенную щелочность (pH ⩾10), при которой окисление сульфидов и переход ТМ в растворимые формы невозможны.

Иначе выглядит ситуация на старых хвостохранилищах, не эксплуатируемых более 20 лет. На этих объектах вследствие окисления пирита атмосферными осадками, насыщенными кислородом и углекислым газом, из каждой молекулы FeS_2 образуется две молекулы серной кислоты, а поскольку пирит является основным рудным минералом в хвостах, то при аномально высокой удельной поверхности хвостов процесс накопления H_2SO_4 идет активно и величина pH в поровой воде быстро снижается. После того, как значение pH опустится ниже 3,5, гидроокислы железа перестают выпадать в осадок и параллельно с H_2SO_4 образуется еще более активный окислитель $Fe_2(SO_4)_3$. За счет совместного действия этих агентов скорость окисления таких сульфидов, как халькопирит, сфалерит и блёклые руды, резко увеличится с образованием растворимых сульфатов меди, цинка и других ТМ. Фильтрация воды из старых хвостохранилищ через грунты основания и ограждающие дамбы сопровождается интенсивным загрязнением поверхностных грунтовых вод ТМ. Это можно продемонстрировать при сопоставлении их содержания в фильтрате двух хвостохранилищ Среднеуральской ОФ, одно из которых законсервировано более 20 лет назад (пиритное), а второе (малосернистое) действует. Состав грунтовых вод пиритного хвостохранилища в течение года варьирует в следующих пределах: pH = 2,6–3,2; Fe = 780–120 мг/дм^3; Cu = 67–13 мг/дм^3. В то же время в фильтрате действующего хвостохранилища эти показатели относительно стабильны и равны: pH = 5,5–6,5; Fe ⩽ 1,6 мг/дм^3; Cu ⩽ 0,5 мг/дм^3. Однако в тех случаях, когда выведенное из эксплуатации хвостохранилище остается в затопленном состоянии (Черемшанское Высокогорского ГОКа) или используется для слива паводковых вод (хвостохранилище Гайского ГОКа), значение pH в поровой воде и фильтрате из них не опускается ниже 5,0, и, как следствие, окисление сульфидов в них практически не проявляется. Эти различия в составе фильтрата позволяют достаточно уверенно определить оптимальную технологию повторной переработки хвостов: на хвостохранилищах, где pH поровой воды ниже 2,5, целесообразно использовать метод выщелачивания, а на хвостохранилищах, где pH превышает 3,5, наилучшие результаты достигаются при флотации хвостов с их предварительной классификацией и дополнительным измельчением крупных (более 0,1 мм) фракций. Так, на Высокогорском ГОКе при переработке хвостов Черемшанского хвостохранилища с валовым содержанием меди 0,21–0,25 % в концентрат извлекается 97 % меди при ее содержании в концентрате не ниже 25 %, что значительно превышает показатели всех ОФ уральского региона, работающих на сырье, поступающем с действующих рудников.

Характеристика шлакоотвалов медеплавильных заводов уральского региона приведена в табл. 3.6. Как уже отмечалось выше, в настоящее время это практически единственный вид техногенных образований, активно вовлекаемых в переработку. Суммарное содержание цветных, редких и особо токсичных металлов, содержащихся в техногенных образованиях, расположенных на земной поверхности (*табл. 3.7*), позволяет утверждать, что вовлечение в переработку даже 30–40 % отходов позволит снять сложности обеспечения уральских металлургических заво-

Таблица 3.5

Характеристика хвостохранилищ ОФ уральского региона

Обогатительная фабрика	Занимаемая площадь, га	Масса хвостов, млн т	Основные элементы			Попутные элементы		
			Элемент	Содержание, %	Масса, тыс. т	Элемент	Содержание, г/т	Масса, т
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Туринская	30	12,2	медь железо	0,08 14,4	9,75 1756,8	золото серебро	2,88 16,4	35,1 200,1
Красноуральская	590	24,67	медь цинк сера кобальт свинец	0,30 0,30 12,0 0,012 0,010	74,3 74,3 296,0 2,96 2,47	кадмий селен теллур золото серебро	75 40 35 1,22 16,4	1852,5 986,8 863,5 3,07 40,5
Высокогорская (Черемшанская)	260	39,6	медь железо сера	0,21 15,54 1,43	83,16 6153,8 566,3	н.д.		
Гороблагодатская	460	79,55	медь железо	0,15 13,0	119,3 10341,5	н.д.		
Кировградская	345	36,41	медь цинк сера железо свинец	0,30 0,44 8,11 7,00 0,011	109,23 160,20 2952,9 2548,7 4,0	мышьяк кадмий селен теллур	110 24 10 10	4005,1 873,8 3,64 3,64
Пышминская	н.д.	12,0	медь сера железо	0,16 2,48 11,6	19,2 297,6 1392,0	кобальт золото серебро	50 0,12 3,34	600 1,44 40,08
Среднеуральская	214	32,0	медь цинк сера железо мышьяк свинец	0,30 0,44 27,5 25,0 0,11 0,09	96,0 140,8 8800,0 8000,0 35,2 28,8	селен теллур галлий индий германий золото серебро	42 15 15 2 2 0,39 7,18	1344 480 480 64 64 12,5 229,8
Бурибайская	36.4	4,8	медь цинк сера свинец	0,48 0,19 25,9 0,014	23.04 9.12 1243.2 0.67	селен теллур кадмий германий золото серебро	45 28 45 1,6 1,2 10,3	216 134,4 216 7,68 5,76 49,44
Сибайская	63	23	медь цинк сера	0,17 0,50 34,9	39,1 115,0 8027,0	кадмий селен теллур	130 26 27	2990 598 621
Учалинская	113	31,9	медь цинк сера	0,36 0,43 33,3	114.84 137.17 10622.7	н.д.		

Таблица 3.5, окончание

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
Гайская	450	47,0	медь цинк сера железо	0,32 0,33 16,1 13,4	150.4 155.1 4567.0 6298	селен кадмий теллур таллий золото серебро	20 15 8 2,9 0,75 5,5	940 705 376 136,3 35,2 2585
Всего	2561,4	353,03	медь цинк сера железо	863,07 824,36 40372,7 36490,8	тыс.т	мышьяк кадмий селен теллур золото серебро		35310,0 6637,3 4088,4 2478,5 101,53 2944,8

дов сырьем. При этом будет резко снижено техногенное давление на окружающую среду.

Кроме отходов, складированных на земной поверхности, особого внимания заслуживают рудничные воды, как выдающиеся действующим рудничным водоотливом, так и изливающиеся на поверхность из вскрывающих выработок подземных рудников, поставленных на «мокрую» консервацию. Ежегодный вынос металлов, поступающих с рудничными водами, составляет по железу, меди и цинку, соответственно 10, 1,8 и 2,5 тыс. т. До 1939 г. на всех без исключения рудниках эти воды сбрасывались в близлежащие реки и ручьи. С 1939 г. на отдельных рудниках (Дегтярский, Карабашский, Левихинский) была начата частичная очистка шахтных вод от содержащейся в них меди: воды пропускали через железный скраб. По этой технологии с 1939 по 1985 г. на рудниках уральского региона из шахтных вод было извлечено 60141 т меди, т.е. среднегодовая добыча составила 1307,4 т. Доля извлечения меди при использовании железного скраба варьирует от 40 % (Карабаш) до 50 % (Дегтярское РУ). При таком способе очистки шахтных вод содержащийся в них цинк не извлекается и полностью сбрасывается в поверхностные воды. Это в равной мере относится и к таким токсичным металлам, как кадмий, селен, теллур, мышьяк, содержание которых в шахтных водах на медно-цинковых колчеданных месторождениях также весьма значительно.

Для снижения загрязнения окружающей среды в послевоенный период технология очистки рудничных вод была дополнена нейтрализацией известковым молоком. Сульфаты меди и цинка в результате смешивания кислых вод с щелочными переходят в их нерастворимые гидроокислы. После отстоя в специальных прудах нейтрализованная осветленная вода сбрасывалась на поверхность. Образующийся в отстойниках ил представляет собой смесь гидроокислов металлов с карбонатами и сульфатами кальция. При этом содержание меди в илах может достигать 1 %, а цинка 4– 5 % (Левихинский и Ельчевский пруды).

Постановка рудников на «мокрую» консервацию, как уже было показано выше, также не всегда решает проблему загрязнения поверхностных вод, что подтверждается, например, ситуацией на территории бывшего Дегтярского рудоуправления, где добычные работы были прекращены еще в 1994 г., а шахты поставлены на мокрую

Таблица 3.6

Характеристика шлакоотвалов медеплавильных заводов уральского региона

Медеплавильный завод	Вид накопителей	Занимаемая площадь, га	Масса шлакоотвала, млн т	Основные элементы			Попутные элементы		
				Элемент	Содержание, %	Масса, тыс. т	Элемент	Содержание, г/т	Масса, тыс. т
Красноуральский	Шлаки отражательных печей	30	16,0	Cu Zn Fe As Pb	0,47 3,00 34,0 0,20 0,17	75,2 480,0 5440,0 46,4 27,2	Bi Se Fe Cd Ag Au	200 31 19 9 6,37 0,81	3200 496 304 144 101,9 12,96
Кировградский	Шлаки отражательных и шахтных плавок	32	23,5	Cu Zn Fe Pb Ni Sn	0,40 2,46 24,8 0,04 0,11 0,05	94,0 578,1 5828,0 9,4 25,8 11,8	As Sb Cd Cu Te Tl Ge	56 24 5,8 8 3,6 0,5 2,4	1316,0 564,0 136,3 188,0 61,1 11,8 56,4
Среднеуральский	Шлаки отражательных печей	24	21	Cn Zn Fe Pb As	0,47 3,10 33,1 0,11 0,05	98,7 651,0 6951,0 23,1 10,5	Sb Bi Cd Zn Ag Au	170 20 20 10,2 3,86 0,26	3570,0 420,0 420,0 214,2 81,2 5,46
Карабашский	Шлаки шахтных и отражательных плавок	~20	18,05	Cu Zn Fe Pb As	0,31 2,22 28,2 0,06 0,105	56,0 400,7 5084,7 10,8 19,0	Bi Sb Te Se Cd	10 40 9 6 3	180,0 740,0 162,4 106,3 54,1
Медногорский	Шлаки шахтных плавок	~52	41	Cu Zn Fe Pb Bi	0,27 0,78 29,2 0,23 0,079	56,0 400,7 5084,7 10,8 19,0	Bi Sb Te Se Cd	10 40 9 6 3	180,0 740,0 162,4 106,3 54,1
Всего		158	119,55	Cu Zn Fe	0,364 2,03 29,5	434,6 2429,6 35275	Bi Sb Cd Se Te Ag Au Tl In As Pb Ni Co Sn		36200 4874 337,8 602,3 527,5 258,1 21,82 11,8 214,2 77,22 164,80 25,80 0,19 11,8

Таблица 3.7

Масса цветных, редких и токсичных металлов в техногенных образованиях, расположенных на земной поверхности

Металл	Общая масса отходов в накопителях, млн т							
	Отвалы 799,62		Хвостохранилища 353,03		Шлакоотвалы 119,55		Шламоотстойники 89	
	Содержание, %	Масса, тыс. т	Содержание, %	Масса, тыс. т	Содержание, %	Масса, тыс. т	Содержание, %	Масса, тыс. т
Медь	0,16	1299,2	0,245	863,1	0,364	434,6	1,00	89,0
Цинк	0,24	1951,0	0,234	824,4	2,030	2429,6	3,20	284,8
Мышьяк	н.д.	н.д.	0,01	35,31	0,065	77,2		
Кадмий	н.д.	н.д.	0,0019	6,64	0,00028	0,3378		
Селен	н.д.	н.д.	0,0011	4,09	0,00050	0,6023		
Теллур	н.д.	н.д.	0,0007	2,48	0,00044	0,5275		
Золото	н.д.	н.д.	0,29	0,1015	0,18	0,0218		
Серебро	н.д.	н.д.	8,34	2,9448	2,16	0,2581		
Свинец					0,0138	164,80		
Никель					0,00002	25,80		
Висмут					0,00003	36,200		
Сурьма					0,000004	4,874		

консервацию. Изменение химизма шахтных и поверхностных вод в процессе исчезновения депрессионной воронки после остановки водоотлива показано в табл. 3.8. Аналогичная ситуация характерна для Левихинского рудника, где после остановки водоотлива и его затопления в 2003–2005 гг. сформировался техногенный водоем, заполненный кислыми водами (*табл. 3.9*).

Повышенное по сравнению с фоновыми показателями содержание халькофильных металлов и пониженное значение pH в районе затопленных шахт характерно не только для Дегтярского РУ. В табл. 3.10 приведены данные о концентрации халькофилов в шахтных водах рудников в период их эксплуатации и после полного затопления, показывающие четкую обратную зависимость между значениями pH шахтных вод и содержанием в них металлов.

Необходимо отметить, что этот источник загрязнения поверхностных и подземных вод, одновременно являющийся богатейшим источником цветных металлов, действует за счет выщелачивания металлов, оставшихся в недрах после закрытия рудников. Если же учесть, что кондиции на цветные металлы за последние 80 лет неоднократно менялись в сторону понижения содержания металла, то количество металлов, оставленных в недрах может быть оценено достаточно внушительными цифрами. Кроме того, подземная разработка месторождений всегда сопровождается дополнительными потерями балансовых запасов: в целиках различного типа (охранных, межблоковых и т.д.), а также потери руды при ее выпуске. Даже в настоящее время применение систем этажного обрушения сопровождается потерей 11–15 % балансовых запасов. В случае применения систем с закладкой выработанного пространства потери руды сокращаются до 3–8 %. Всего при отработке подземным способом медных и медно-цинковых месторождений Урала из недр было извлечено

Таблица 3.8

Осредненные результаты химических анализов по объектам ОАО Дегтярское РУ

Объект	Дата	pH	Содержание, мг/дм³		
			Fe	Cu	Zn
Ст. Цементация – вход (вода шахты Капитальная № 2)	1994 19.07.95	2.64 2,42	839.8 885,4	36.6 84,6	344,4 376,9
Шахта Капитальная № 2 (ствол) в процессе затопления	23.06.97 05.11.97 1998 1999	4,02 3,98 4,07 5,48	189,9 397,1 110,6 37,7	0,28 2,34 7,16 5,69	2,87 2,95 3,35 1,35
Шахта Капитальная № 1 (ствол)	26.06.99	6,02	9,2	11,3	0,11
Шахта Средняя (ствол)	1999	6,43	4,2	0,35	0,38
Овощные ямы в гаражах	25.06.99 09.11.99	7,02 3,00	69,1 160,3	0,077 16,25	н. д. 2,6
Карьер в районе шахты “Колчеданная”	01.10.98 06.11.98 17.05.99	2,95 2,87 2,65	35,2 32,2 172,5	4,74 4,74 6,74	0,09 1,16 1,45
Р. Исток с карьерными водами перед станцией нейтрализации	08.99 – 12.99	2,55	341,7	14,2	4,03
Р. Исток с карьерными водами после станции нейтрализации	09.99 – 12,99	10,45	308,2	12,89	2,45
Р. Исток выше станции нейтрализации (фон)	1994 1995 1996 1997 1998 1999	7,51 6,95 7,17 7,03 7,27 7,21	0,29 0,26 0,79 0,89 0,35 0,47	0,010 0,022 0,020 0,017 0,021 0,017	0,02 0,02 0,17 0,02 0,01 0,01
Р. Дегтярка перед станцией нейтрализации (вход)	1994 19.07.95 1996 1997 1998 1999	2,79 2,58 6,14 5,33 5,35 5,56	424,6 450 8,3 7,7 11,3 15,4	20,6 27,4 1,0 1,4 1,8 1,8	192,4 158,9 1,6 1,2 0,7 0,9
Пруд-отстойник на р. Ельчевке (сброс в сторону Волчихинского водохранилища)	1994 1995 1996 1997 1998 1999	7,58 7,53 7,66 7,63 7,80 7,83	0,120 0,08 0,08 0,09 0,11 0,12	0,028 0,011 0,008 0,011 0,019 0,015	0,37 0,07 0,13 0,11 0,07 0,02

не более 50 % всех запасов металла, в том числе в балансовых рудах осталось до 25% от первоначальных запасов за счет сверхпроектных потерь, обусловленных эндогенными пожарами. При открытых горных работах потери руды в недрах составляют 10–20 % балансовых запасов, большая часть забалансовых руд при этом складируется в отвалы вскрышных пород и бедных руд.

Таким образом, с учетом проектных (нормативных) и сверхнормативных потерь, а также соотношения объемов руды, извлеченных открытым и подземным способами,

Таблица 3.9

Концентрации и масса металлов в гидросфере Левихинского рудника после затопления (осредненные результаты химических анализов за 2007–2010 гг.)

Объект	Показатель	pH	Fe	Cu	Zn
Техногенный водоем (разгрузка шахтных вод)	концентрация, мг/дм^3	3,88	3222	17,3	1185
	масса, т/год		3669	19,7	1350
Пруд-осветлитель	концентрация, мг/дм^3	4,21	361	6,7	287
	масса, т/год		411	7,6	327
Сбросной канал	концентрация, мг/дм^3	6,25	60	1,5	77
	масса, т/год		69	1,7	87

Таблица 3.10

Содержание металлов-халькофилов в шахтных водах рудников в период их эксплуатации и после полного затопления, мг/дм^3

Рудник	До затопления				После затопления			
	pH	Fe	Cu	Zn	pH	Fe	Cu	Zn
Карабашский	2,5	860	95	145	4,5-5,0	28,5	5,7	2,3
Красногвардейский	2,5	1000	50	100	5,0	12,5	3,5	7,0
им. III Интернационала	4,0	50	35	45	6,0	2,0	1,0	3,0
Дегтярский	3,1	1000	90	200	6,5	1,0	1,0	1,0
Гумешевский	6,2	1,0	1,0	н.д.	7,0	0,1	0,1	н.д.
Левихинский	2,4	550	223	300	3,9	3222	17	1185

после отработки месторождений в недрах осталось порядка 300–550 млн т медной и медно-цинковой руды, т.е. не менее 3–5,5 млн т меди и цинка (не считая благородных металлов). Все эти запасы могут быть извлечены с помощью отсадки ТМ на ионообменных смолах или на активированном угле. При этом на рудниках, где отмечается излив кислых вод, затраты на организацию добычи будут минимальны.

3.4. Экологические аспекты вовлечения в эксплуатацию техногенных источников сырья цветных металлов

Общая масса отходов добычи и переработки полезных ископаемых, размещенных на территории уральского региона, в настоящее время уже превысила $16 \cdot 10^9$ т, в том числе около $1{,}2 \cdot 10^9$ т отходов добычи и переработки медно-цинковых руд. Эти отходы, заскладированные на земной поверхности, под воздействием атмосферных осадков подвергаются интенсивному выщелачиванию и являются мощными источниками пылеобразования. В результате многолетнего воздействия этих объектов на окружающую среду воды не только малых рек, но и рек, являющихся основными источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения региона, загрязнены тяжелыми металлами до среднегодового уровня, достигающего десятков ПДК.

Особенностью негативного воздействия техногенных образований на окружающую среду (в отличие от других промышленных источников) является длительный период проявления даже после прекращения добычных работ. Так, данные геохимического контроля за выщелачиванием ТМ из хвостов обогащения медных руд на предприятии Эллиот-Лейк (Канада) свидетельствуют о том, что интенсивность выноса металлов сохраняется стабильной в течение более 100 лет, хотя с момента начала складирования отходов прошло более 200 лет. Так как доля загрязнения речных вод тяжелыми металлами за счет сбросов недоочищенных промышленных стоков в Свердловской области не превышает 1–3 % от общей массы загрязнения [38], а основная их доля (более 90 %) поступает с подотвальными водами, фильтратом хвостохранилищ и сбросом рудничных вод, без ликвидации или надежной гидро- и пылеизоляции техногенных источников загрязнения окружающей среды ТМ оздоровление экономической ситуации как в Уральском, так и в других регионах с развитой горнорудной промышленностью в принципе невозможно.

Остановка работы водоотлива в случае прекращения работы рудников и постановки их на «мокрую» консервацию приводит к развитию целого ряда негативных процессов, таких как: подтопление ранее освоенных прилегающих территорий; загрязнение подземных и поверхностных вод; формирование очагов сосредоточенной разгрузки кислых вод; образование техногенных водоемов, содержащих токсичные воды; латентное загрязнение поверхностных вод. Поскольку к настоящему времени объем накопленных техногенных образований очень велик, причем они рассеяны на большой площади, а «хозяев» объектов не существует, рассчитывать на широкое внедрение природоохранных мероприятий за счет федерального или местных бюджетов не приходится. Необходимость вовлечения в переработку техногенных образований диктуется как необходимостью кардинального снижения их негативного воздействия на состояние окружающей среды, так и возможностью их повторной переработки с целью извлечения цветных и редких металлов в качестве сырья медеплавильных заводов. Особенно ярко это прослеживается на ситуации с нейтрализацией кислых вод, изливающихся на поверхность (Дегтярское РУ, Левихинский рудник и др.): нейтрализация этих вод с помощью известкового молочка осуществляется за счет областного бюджета. В результате этих мероприятий образуются нерастворимые гидроокислы меди и цинка, которые снова надо складировать. Осветленная вода, сбрасываемая в поверхностные источники, содержит недопустимое количество сульфатов кальция, т.е. применяемая схема оздоровления экологической обстановки является паллиативным решением и не соответствует современным требованиям.

Оптимальным решением является восстановление депрессионной воронки с извлечением тяжелых металлов с помощью ионитовых смол или активированного угля. Эти схемы достаточно отработаны и имеют широкое распространение при подземном и кучном выщелачивании, хотя и требуют более высоких затрат, чем использование известкового молочка [38]. Для снижения затрат и, даже, получения прибыли достаточно начать откачку воды с глубоких горизонтов, где содержание цветных металлов достигает промышленных значений. Для снижения затрат на водоотлив можно внутрь ствола поместить став из полиэтиленовых труб, при этом откачка может вестись с малых глубин (20–25 м). Наличие става обеспечит поступление богатых растворов с промышленным содержанием металлов [38].

Шахтные воды медноколчеданных рудников содержат большое количество цветных, редких и редкоземельных металлов в концентрациях, превышающих промышленные содержания. После прекращения водоотлива и затопления шахт происходит заполнение депрессионной воронки, сформированной при отработке рудника, и образование очагов сосредоточенной разгрузки, расход которой составляет примерно 50 % от расхода водоотлива. При этом химический состав подземных вод, находящихся в затопленных шахтах и в зоне разгрузки шахтных вод (техногенных водоемах), различается значительно, так же, как и отличается от состава шахтных вод на этапе отработки. При отработке рудников наблюдалась некоторая вариация содержания цветных и редкоземельных компонентов во времени, что в сочетании с изменением расходов дренажа приводило к разбросу суммарной величины выноса в несколько раз. При этом было установлено, что шахтные воды являются обеспеченным источником цветных металлов и редкоземельных элементов. Пробы воды, отобранные из шахтных стволов после затопления рудника, не в полной мере отражают состав подземных вод в районе шахтного поля, возможно, вследствие гравитационной дифференциации — более минерализованные воды могут находиться на больших глубинах. Формирование химического состава воды техногенного водоема происходит в приповерхностных условиях при достаточном количестве кислорода, что приводит к образованию более минерализованных вод (в 5 раз по сравнению с шахтными водами на этапе отработки). С течением времени интенсивность растворения вторичных сульфатов снижается, что приводит к понижению сухого остатка и содержания всех компонентов: за 10 лет примерно в 3–5 раз. Однако практически все компоненты содержатся в концентрациях выше, чем при водоотливе. Содержание большей части микрокомпонентов (в частности Zn, Mn, Fe, Co, Ni) и редкоземельных элементов возрастает в несколько раз, в то время как содержание меди значительно уменьшается (в 8–15 раз) (*табл. 3.11*).

Концентрация ряда компонентов превышает промышленное содержание в десятки раз, особенно на начальном этапе затопления. До настоящего времени (через 10 лет после затопления рудника и образования техногенного водоема) цинк, марганец, кобальт, редкоземельные элементы находятся в шахтной воде в концентрациях, в десятки раз выше промышленных.

Извлекаемая ценность цветных металлов и редкоземельных элементов составляет сотни миллионов рублей в год, при этом наибольший вес имеет цинк и некоторые редкоземельные элементы (диспрозий, европий и др.) (*табл. 3.12*). Извлекаемая ценность всей совокупности элементов составляет более 10 млн. долларов США на начальном этапе затопления, при этом более половины приходится на редкоземельные элементы.

Для извлечения металлов из многокомпонентных продуктивных растворов могут применяться различные методы: гальванокоагуляционный, флотационный, сорбционный [136]. Например, при использовании ионно-обменных смол типа АМп, АМП, АМ-25, АВ-17-8 селективность извлечения по большинству компонентов составляет около 50 % (для меди, железа, лантаноидов), для некоторых достигает 100 % (цинк, серебро, кадмий, селен и др.).

Для значительной части отходов добычи и переработки цветных металлов методы утилизации и обезвреживания или отсутствуют (имеются лишь патенты либо опытные разработки), или оказываются дорогостоящими, или влекут при извлечении ценных

компонентов образование сопоставимого с вовлеченным в переработку объема отходов, часто более высокого класса опасности. Меднорудными комбинатами Урала в хвостах обогащения уже накоплено 50 млн т пирита. При этом содержание пирита в рудах составляет 60–80 %, в хвостах 90–95 %. Потребителем пиритных огарков в настоящее время является только цементная промышленность, где железо пирита используется для формирования вяжущего алюмоферрита кальция.

Хвосты медной флотации представлены сульфидами, поэтому они в первую очередь могут служить сырьевой базой для переработки с применением геохимических и биологических технологий. Следовательно, в проектных решениях предприятия по вторичной переработке хвостов, должны быть предусмотрены ее экологические последствия. В общем случае при формировании техногенных месторождений, когда предполагается их последующая химическая или биотехнологическая переработка целесообразно предварительно готовить отвалы и хвостохранилища, закладывая в них ингредиенты, обеспечивающие функционирование в них геохимических процессов, таких как предварительное окисление сульфидов.

На примере пиритсодержащих южноуральских хвостохранилищ проанализирована возможность осуществления нетрадиционных подходов к их разработке. Сразу отметим их общий основной недостаток — штучное конструирование и изготовление оборудования, а также по сути дела опытно-промышленное не только его применение, но и собственно технологий горных работ. Анализ переработки пиритных хвостов хвостохранилищ Башкирского медно-серного комбината (БМСК), Учалинского горно-обогатительного комбината (УГОК), Гайского горно-обогатительного комбината (ГГОК), Бурибаевского рудоуправления (БРУ) показал (*табл. 3.13*), что при одинаковых объемах производства, даже при необходимости дополнительных капитальных вложений (рост до 50 раз) на организацию обжига (если его ранее не производились или он был прекращен по тем или иным причинам), балансовая и чистая прибыль предприятия по этому переделу возрастает в 20–25 раз при практически одинаковых сроках их окупаемости.

Таблица 3.11

Коэффициент промышленного содержания компонентов в шахтных водах медноколчеданных рудников

Период, год	Компонент							
	Cu^{2+}	Zn^{2+}	$Fe_{общ}$	Mn^{2+}	Ni^{2+}	Co^{2+}	Cd^{2+}	РЗЭ
Левихинский рудник								
Отработка	3,1	6,3	7,3	4,7	0,2	1,7	0,8	12,2
Затопление, 2008 г.	1,2	35,1	41,1	66,3	0,9	73	2,1	38,8
Затопление, 2013 г.	0,2	9,7	24,2	11,8	0,5	17,9	0,5	17,8
Дегтярский рудник								
Отработка	1,5	8,9	9,9	2,1	н.с.	н.с.	н.с.	1,8
Затопление, 2004 г.	0,2	2,3	10	4	н.с.	н.с.	0,1	н.с.

Примечание. Коэффициент промышленного содержания компонента Кпс = С/Спс, где С – текущее содержание компонента в воде, Спс – промышленное содержание. Редкоземельные элементы (РЗЭ) включают Sc, Y, La и лантаноиды (редкие земли).

Таблица 3.12

Ранжированный по извлекаемой ценности ряд цветных металлов и РЗЭ в шахтных водах Левихинского рудника

Элемент	Извлекаемая ценность, тыс.$/год		Элемент	Извлекаемая ценность, тыс.$/год	
	1-й год [1]	10-й год [2]		1-й год [1]	10-й год [2]
Zn^{2+}	3 212	891	Pr	144	70
Dy	2 015	876	Sm	124	61
Eu	1 511	636	Co^{2+}	182	45
Y	557	320	Er	82	39
Tb	625	283	Lu	66	31
Nd	605	282	Yb	64	30
Gd	230	95	Ho	54	24
Ce	220	84	La	55	18
Cu^{2+}	407	71	Ni^{2+}	14	8
Итого				10 166	3 865
В том числе РЗЭ				6 352	2 850
В том числе цветных				3 815	1 015

[1] Через 1 год после затопления;

[2] Через 10 лет после затопления. Стоимость принята для цветных — Лондонская биржа, среднее сентябрь 2012 – август 2014; для РЗЭ – анализ динамики цен на РЗМ, сайт http://tdm96.ru/?p=829.

Таблица 3.13

Технико-экономические показатели технологий переработки пиритсодержащих хвостов обогащения биоокислением и традиционной с предварительным обжигом (по БМСК)

Показатель	Ед.изм.	Вариант переработки хвостов		
		Биоокисение	Обжиг	Δ, ±
Годовой объем добычи и переработки хвостов	тыс. т	1000	1000	–
Капитальные вложения	тыс. руб %	38000 100	2048864 5390	2010764 5290
Выпуск годовой товарной продукции в натуральном выражении:				
меди	т	536	1190	654
цинка	т	2000	3430	1430
железа	тыс.т	-	234	234
золота	кг	580	1530	950
серебра	кг		9000	9000
суперфосфата	тыс.т		1000	1000
в денежном выражении	тыс.руб.	46660	2542716	2496056
Эксплуатационные затраты	тыс.руб.	25000/10	2048864/82	2023864
Балансовая прибыль	тыс.руб.	21660/10	493852/22,8	472192
Чистая прибыль предприятия	тыс.руб.	14729/100	296112/20	291393
Срок окупаемости капитальных вложений	год/%	6/100	7/117	6,9/115

При этом извлечение меди увеличивается в 2,2 раза; цинка в 1,7; золота в 2,6. Дополнительно извлекается железа 234 т, серебра 9 т и суперфосфата около 1 млн т. Общая стоимость извлекаемых продуктов увеличивается в 54 раза, балансовая прибыль в 22,8, чистая в 20,1 при практически одинаковом сроке окупаемости дополнительных капитальных вложений 6,9 лет против 6 лет при технологии только биоокислением.

Основным препятствием для широкого внедрения этих мероприятий является несовершенство существующей нормативно-правовой базы, в которой не различается отработка «новых» месторождений и техногенных образований: во всех случаях необходима доразведка и постановка на баланс ГКЗ запасов полезного ископаемого.

3.5. Химический, вещественный и фракционный состав отходов добывающей промышленности

В настоящее время горнодобывающая промышленность России накопила громадные объемы хвостов обогащения, и прослеживается четкая тенденция их увеличения. В них содержатся, хотя и в небольшом количестве, многие полезные компоненты. Так, в имеющихся на юге Урала 177 млн т хвостов обогащения медных и медно-цинковых руд содержится до 470 тыс. т меди, 680 тыс. т цинка, 37,4 млн т серы и, ориентировочно, около 177 т золота и 1770 т серебра.

В 2014 г. предприятиями образовано 185,2 млн т отходов производства и потребления, основной объем сосредоточен у предприятий, занимающихся добычей полезных ископаемых (84,3 % — образование отходов и 91,1 % — наличие отходов на конец 2014 г.). Данные об образовании отходов в 2014 г. представлены в таблицах 3.14 и 3.15.

Образовавшиеся при переделе черных и цветных металлов отходы составляют около 8 % от общего объема в год (3 и 5 %, соответственно). Большая часть отходов черной металлургии либо возвращается в производство, либо используется для изготовления строительных материалов.

Одной из характеристик хвостов обогащения как объекта дальнейшей их переработки является гранулометрический состав. По данным 50 предприятий СНГ, США, Канады, Швеции, Югославии, измельчение руд при обогащении производится почти до доминирующих фракций 0,042–0,074 мм. Практически на всех месторождениях меди, железа и хромитов руда измельчается до выхода класса 0,044–0,074 мм в количестве 70–80 %. После извлечения рудоминеральной фракции частицы отходов имеют угловатую неокатанную форму, чем отличаются от частиц природного песка. Обобщенная оценка формы и характера поверхности частиц производится с помощью коэффициента формы, который для хвостов составляет 0,12–0,14, для аллювиальных песков 0,22–0,30, (коэффициент формы гладких шаров 1). В табл. 3.16 приведены сведения о химико-минеральном составе некоторых техногенно-минеральных образований черной металлургии Среднего Урала, дающих представление о ценных компонентах, накопленных за прошедшие годы их эксплуатации.

Представляет также интерес анализ вещественного состава шлаковых отвалов металлургического производства (*табл.3.17*) с позиций их полезного использования. По данным исследовательских работ института ПромСтройНИИпроект, использовать переработанный металлургический шлак (текущего производства и отваль-

Таблица 3.14

Характеристика образования в России отходов горного производства в 2014 г.

Вид деятельности согласно ОКВЭД	Образовано отходов, тыс. т	Использовано, обезврежено отходов, тыс. т	Наличие отходов на конец года, тыс. т	Удельный вес образования в общем объеме образования, %	Количество хозяйствующих субъектов (учтенное МПР СО)
Добыча полезных ископаемых	156 044,6	64 079,0	8 189 321,1	84,26	83
Добыча железных руд	65 677,0	17 540,2	2 335 137,1	35,46	6
Добыча руд цветных металлов, кроме урановой и ториевой руд	57 013,5	25 581,4	424 511,1	30,79	25
Добыча прочих полезных ископаемых	33 354,1	20 957,4	5 429 672,9	18,01	52

Таблица 3.15

Площадь Свердловской области, занимаемая ТМО на 01.01.2011 (по отраслям промышленности согласно ОКВЭД), га

Отраслевая принадлежность	Вскрышные породы	Шламы (хвосты)	Шлаки	Всего
Черная металлургия	1051,8	2505,26	289,16	3846,22
Цветная металлургия	753,46	2217,33	114,22	3085,01
Машиностроение			17,8	17,8
Добыча нерудных полезных ископаемых	208,42			208,42
Энергетическая промышленность		3410,08		3410,08

ный) можно в следующих направлениях:

— повторное использование в металлургическом процессе (скрап металлический);

— изготовление фракционированного строительного или дорожного щебня;

— применение в качестве заполнителя при изготовлении изделий и конструкций;

— производство тонкомолотого цемента и вяжущего с низкой водопроницаемостью;

— использование песчаной фракции текущего и отвального шлака для производства вяжущих и изготовления изделий из мелкозернистого бетона;

— получение строительных изделий в виде стеновых камней, безобжигового кирпича, фундаментных блоков, поребриков для дорог, черепицы, тротуарной плитки;

— извлечение и утилизация лома огнеупоров, некондиционных электродов и пр.

Добыча всех видов ресурсов связана с изъятием и нарушением земной поверхности с сопутствующими ей биологическими ресурсами. Основные направления воздействия производственной деятельности на земельные ресурсы в районах добычи разноплановых видов сырья показаны на рис. 3.7.

Большую часть земель (60%) занимают ТМО, оказывающие воздействие средней степени на почвенную среду вследствие крайне медленного потока миграции

Таблица 3.16

Химико-минеральный состав ТМО черной металлургии Среднего Урала

Предприятие. Вид ТМО	Химический состав (содержание компонентов, % по массе)							
	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	MnO	$Fe_{общ}$	P_2O_5	S
Качканарский ГОК «Ванадий». Отвалы № 1–10 (усредненный состав)	15,3	10,7	47,1	3,65	0,1	10,0	0,2	0,1
Качканарский ГОК «Ванадий». Хвосты и шламы обогащения руд черных металлов (ММС)	19,4	13,6	46,9	7,55	–	6,52	–	–
ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат»: Шлак доменный передельный Шлак доменный титанистый	 30,1 33,7	 14,5 12,4	 35,9 27,8	 16,0 15,6	 1,24 0,53	 0,57 0,82	 –	 0,77 0,57
ОАО «Металлургический завод им. Серова»	42,75	3,75	35,58	8,57	3,47	0,6	–	0,54
ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат»: Окалина прокатного производства Окалина МНЛЗ Окалина вторичных отстойников (замасленная окалина)	 <0,5 2,5-5,4 0,3-0,5	 0,5-0,7 0,6-0,8 0,6-0,7	 0,7-2,5 3,8-9,4 0,7-4,5	 <0,5 1-2 0,43-0,86	 0,6-1,2 1,0-1,9 0,6-0,8	 70,8-77,4 57,5-70,3 65,8-68,7	 0,006-0,03 0,025-0,027 0,014-0,19	 0,01-0,03 0,02-0,03 0,03-0,06
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Окалина прокатного производства	4,9		2,48			69,7		
ОАО «Металлургический завод им. Серова». Окалина прокатного производства	0,46	0,064	2,55	0,69	0,74	71,2	0,03	0,02
ОАО «Северский трубный завод». Окалина прокатного производства	0,55	0,21	3,73	0,57	0,67	FeO 30,0 Fe_2O_3 66,8	0,03	0,02

элементов. Высокая степень влияния в районах размещения отвалов и хранилищ ТМО цветной металлургии оказывается на 37 % занимаемых земель, и лишь 3 % испытывают минимальное воздействие от их размещения (*рис. 3.8*).

Классы опасности химических загрязняющих веществ, поступающих в природную среду, определены составом элементов (*табл. 3.18*). Установлено, что в отходах горного производства в Качканаре, Алапаевске, Н.Тагиле, Кушве, Кировграде, Красноуральске присутствуют не только недоизвлеченные основные металлы, но и сопутствующие. Из элементов 1-го класса опасности выявлены Pb, Cd; 2-го класса — Zn, Cu, Co, Cr, Ni; 3-го класса — Mn (ванадий).

Таблица 3.17

Вещественный состав (в %) шлаковых отвалов металлургического производства на предприятиях черной металлургии и машиностроения

Вид отходов	Ревдинский метизно-металлургический завод	Нижне-Сергинский металлургический	ПО «Уралмаш»	Челябинский электро-металлургический комбинат
Накоплено отходов всего, млн. т	1,0	1,13	12,0	–
Шлаковая масса, %	71–78	70–77	10,8	76,75 (51,3)*
Отработанные формовочные земли, отсевы, пыль, %	1–3	1–3	62,5	9,5
Лом черных металлов и металлосодержащие куски шлака, %	16–18	15–19	1,2	Н.д.
Лом огнеупоров, %	3–5	3–7	2,1	Н.д.
Производственный и бытовой мусор, древесные отходы, %	2–3	2–4	23,3 (4–7)**	5,9***
Нефте-маслоотходы, %			0,1	
Электроды, кокс, угольная пыль, %	–	–	–	7,9

* В скобках – доля самораспадающихся шлаков.
** В скобках – фактические даные переработки.
*** В т.ч. лом огнеупоров.

Исследование ТМО Урала показало, что защитные мероприятия, способствующие предотвращению или снижению техногенного влияния на окружающую среду, в том числе на почвенную, отсутствуют или минимальны. Содержание же металлов в рудных отходах, особенно токсичных, находящихся в фазе сульфидного окисления или оксидов, может быть значительным (в отличие от ТМО нерудного сырья).

Таким образом, среди проблем экологического характера по-прежнему выделяются: воздействие техногенного фактора на окружающую среду; рост количества отходов; загрязнение воздуха; деградация почв и экосистем; химическое загрязнение; истощение природных (в том числе минерально-сырьевых) ресурсов и др. В настоящее время негативными факторами отрасли ГМК являются: недостаточно подготовленные проекты на разработку месторождений, использование устаревших технологий, низкая эффективность или отсутствие мер по борьбе с загрязнением водных ресурсов и атмосферного воздуха, удаления и переработки отходов.

Таблица 3.18

Классы опасности химических элементов, загрязняющих природную среду

Класс опасности	В почвах	В поверхностных водах	В атмосферном воздухе
1. Чрезвычайно опасные	As, Cd, Hg, Pb, F, Se	Hg, Be, Tl	Hg, Pb, Be, Se, Te, V, Cr, Co
2. Высоко опасные	Cr, Co, Ni, Cu, Zn	As, Cd, Pb, Se, Bi, Co, Sb, Te, Mo, W, B, F, Br, Al, Li, Ba, Sr	As, Cd, F, B, Mn, Ni, Cu
3. Умеренно опасные	V, Mn, W, Sr, Ba	V, Mn, Cr, Ni, Cu, Zn	Zn, Mo, W, Ge, Sn

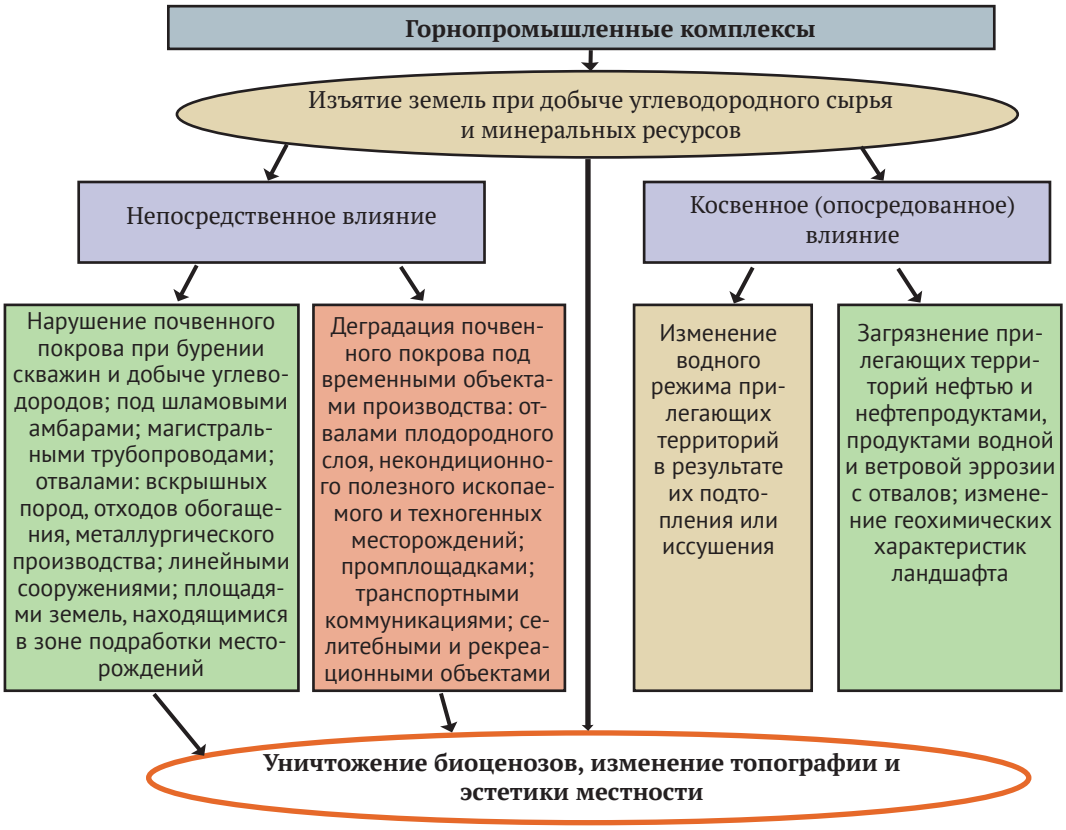


Рисунок 3.7. Схема влияния горнопромышленных комплексов на земельные ресурсы

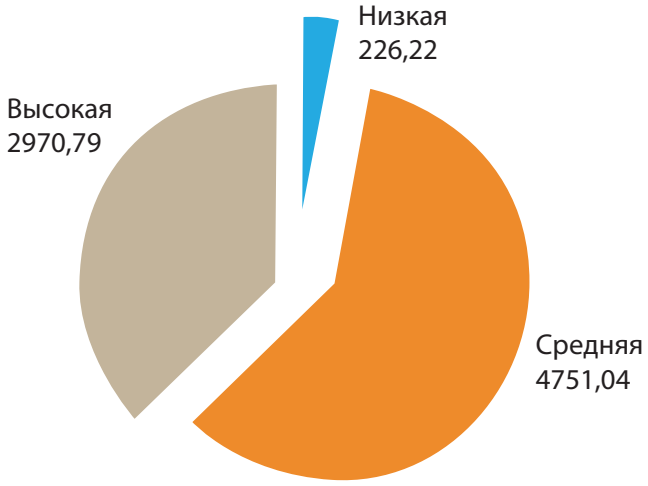


Рисунок 3.8. Количественные показатели площадей (в га), занимаемых ТМО Свердловской области, по степени их воздействия

Глава 4. Создание минерально-сырьевых центров — основа освоения месторождений в сложных природно-климатических условиях

4.1. О необходимости комплексного решения проблемы освоения недр и территорий при вовлечении в эксплуатацию месторождений в сложных природно-климатических условиях

Минерально-сырьевая база отрасли, региона, предприятия не может быть ограничена собственно минеральным объектом (месторождением или их совокупностью), поскольку его наличие еще не гарантирует создания промпродукта, или конечной продукции с требуемыми потребительскими свойствами. Более того, наличие даже апробированных балансовых запасов полезных ископаемых совсем не означает, что они должны или будут отрабатываться. Тогда под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также и средств их добычи и переработки. Поэтому при выборе стратегии освоения недр на государственном, региональном или корпоративном уровне следует рассматривать несколько вариантов инициирующих причин постановки задач развития минерально-сырьевой базы:

— ряд государственных геополитических задач, увязанных с комплексным развитием определенных административных округов (регионов) и сложившимся мировым уровнем потребления минерально-сырьевых ресурсов;

— целесообразность освоения того или иного месторождения определяется в комплексе с оценкой эффективности освоения других видов минерального сырья (газа, нефти и пр.) и перспективы развития смежных отраслей промышленности (металлургии, энергетики, транспорта и др.);

— необходимость модернизации промышленности (металлургии, машиностроения, транспорта и т.п.), которая связана с техническим перевооружением ряда отраслей и требует значительного объема минеральных ресурсов;

— дефицит определенного вида минерального сырья и необходимость изыскать источник его покрытия за счет увеличения объема добычи на действующих предприятиях или вовлечения в эксплуатацию новых месторождений;

— наличие открытых и разведанных новых месторождений полезных ископаемых, позволяющее получить более дешевую продукцию по сравнению с рыночной стоимостью производимого продукта;

— наличие в соответствующем регионе подготовленных к освоению нескольких месторождений различных видов. Отработка каждого по отдельности может быть нерентабельна, а одновременная или последовательная их разработка одной горнодобывающей или перерабатывающей компанией с использованием общей промышленной инфраструктуры целесообразна;

— исчерпание в регионе запасов полезного ископаемого определенного вида. Для поддержания перерабатывающего производства в регионе необходима разведка новых аналогичных месторождений или поиск новой минерально-сырьевой базы в другом месте.

Складывающаяся производственная и социальная инфраструктура в каждом регионе страны определяется географией, номенклатурой минеральных ресурсов и оказывает весьма существенное влияние на все последующие государственные решения по размещению производительных сил. Горнодобывающее производство не может существовать изолированно от потребляющего и является первичным в горно-металлургической инфраструктуре. При этом удаленность сырьевой базы от потребителя при современных средствах доставки хотя и является усложняющим и удорожающим фактором, но не играет решающей роли в развитии горнодобывающего комплекса.

При предварительном обосновании параметров разработки месторождений в новых сырьевых районах необходимо руководствоваться следующими подходами:

— на первом этапе освоения выделяются участки первоочередной разработки полезного ископаемого с наиболее предпочтительными условиями отработки и утвержденными запасами для добычи на срок не менее 10 лет;

— среднегодовые объемы добычи определяются исходя из потребности рынка сбыта сырья и горнотехнических условий извлечения запасов из недр, разработка ведется открытым способом;

— параметры карьеров и показатели работы технологического оборудования определяются с учетом опыта горных работ на действующих предприятиях-аналогах с максимальным использованием типовых технических решений;

— при ведении горных работ рационально использование мобильной высокопроизводительной техники, соответствующей сложившимся горнотехническим условиям, на первых этапах — дизельной, с максимальным использованием местных энергетических ресурсов и материалов;

— предпочтительные технологии переработки полезного ископаемого на местах ведения работ таковы: максимальное использование сухих методов предварительного обогащения, исключение глубоких стадий обогащения и использование химических реактивов с целью сокращения расходов и негативного воздействия продуктов обогащения на окружающую среду;

— предварительное обогащение на промышленной площадке предприятий с использованием стадий дробления, сортировки и сепарации сырья и отсечением некондиционных руд и сопутствующих пород; полученный промежуточный продукт (концентрат) вывозится в освоенные индустриальные регионы для последующей переработки;

— хвосты предварительного обогащения (некондиционное сырье и сопутствующие породы) предусматривать в качестве сырья для производства щебня различного назначения.

Источники минерального сырья совместно с другими природными ресурсами являются основой создания территориальных промышленных комплексов и которые позволят рационально распределять трудовые ресурсы страны и организовать комплексное освоение территорий. Особенно важно принимать во внимание неравномерность размещения минерально-сырьевых ресурсов в земной коре, заблаго-

временно планировать долгосрочное размещение производительных сил в стране, а в частности стабилизацию и даже уменьшение дальности перевозок, сокращение объемов встречных грузопотоков, обеспечивать эффективные пути передачи тепла и электроэнергии.

Вдобавок к устоявшемуся содержанию термина минерально-сырьевая база отрасли следует прибавить совокупность минеральных ресурсов, средств их добычи и переработки и при выборе стратегии освоения недр на государственном, региональном или корпоративном уровняе следует рассматривать несколько вариантов инициирующих причин развития минерально-сырьевой базы.

Критериями научно-методического обоснования перспективной рудной базы являются большое количество месторождений, подлежащих изучению; разная степень достоверности запасов; неоднородность минерального и качественного состава руд; неодинаковая инфраструктурная обустроенность районов разработки; разнообразие горно-геологических и природно-экологических условий ведения горных работ и доставки добытых полезных ископаемых к местам переработки.

С этих позиций предлагаемый для широкого использования комплексный метод геолого-технолого-эколого-экономической оценки минерально-сырьевой базы основывается на геоинформационной поддержке проектно-технологического обеспечения комплексного освоения недр, в том числе на совокупности геоинформационных моделей размещения оцениваемых объектов, характеризующих вещественный состав руд и факторы, обеспечивающие создание условий эффективного недропользования, а также экспресс-оценки основных параметров будущих горнодобывающих предприятий при поэтапном геолого-технологическом обосновании параметров будущих предприятий. При обосновании очередности вовлечения в разработку рационально использовать ранжирование месторождений по степени предпочтительности вовлечения их в эксплуатацию, позволяющее осуществить предварительную оценку и отбраковку значительного числа вариантов.

Достигнутые в стране темпы эксплуатации ранее освоенных месторождений полезных ископаемых свидетельствуют о том, что поддержание требуемого объема добычи и интенсивности отработки недр, развитие минерально-сырьевого комплекса (именно МСК, а не только минерально-сырьевой базы) Востока и Севера России связаны с новыми межрегиональными центрами сырьевого обеспечения экономического роста на период до 2030 г. [88]. Характерной чертой районов со сложными природно-климатическими условиями является недостаточная степень разведанности недр, отсутствие развитой системы транспортных и энергетических коммуникаций и других элементов промышленной инфраструктуры, поэтому необходим новый подход к выбору очередности и организации освоения месторождений.

Важнейшими элементами стратегии рационального освоения минеральных ресурсов, по нашему мнению, являются:

— 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;

— исследование характерных особенностей качества полезных ископаемых различных типов с соответствующей оценкой возможности применения наиболее эффективных технологий переработки сырья и новых прогрессивных способов

извлечения полезных компонентов на уровне отечественных и зарубежных разработок с максимальным выходом товарного продукта при минимальных затратах;

— изучение эффективности добычи и переработки различных видов полезных ископаемых региона с оценкой стоимости работ на различных стадиях эксплуатации месторождения, а также систем управления горнодобывающими отраслями региона и выборочное изучение уровней эффективности организации работ по добыче и переработке минерального сырья;

— выделение обособленных территорий, предназначенных для комплексного освоения, в том числе с выявлением промышленных концентраций нетрадиционных для региона полезных ископаемых, источников местного сырья и пр.;

— создание специализированной геоинформационной базы данных дефицитных месторождений и горнорудных предприятий с целью комплексных горно-экономических исследований для рентабельного освоения минеральных ресурсов региона в различных географо-экономических зонах исследуемых горнопромышленных комплексов.

Особенность подхода к выбору стратегии освоения месторождений в новых регионах недропользования со сложными природно-климатическими условиями состоит в том, что прежде чем решать вопрос целесообразности и составлять проект разработки того или иного месторождения следует установить всю совокупность близко расположенных месторождений различных видов минерального сырья, чтобы исследовать возможность комплексного их освоения.

На эффективность разработки месторождений помимо мировых цен, существенно влияет объем производства промпродукта, подлежащего дальнейшей глубокой переработке. Резервы снижения себестоимости добычи полезных ископаемых прежде всего следует искать в снижении затрат на вскрышные работы (снижение коэффициента вскрыши), увеличении запасов за счет их доразведки и снижении численности работающих.

Для вновь осваиваемых территорий рекомендуется совокупность аналитических работ по обоснованию первоочередных горнорудных районов для комплексного освоения ресурсов недр и созданию программы геологоразведочных работ для доизучения и постановки на учет запасов наиболее перспективных рудопроявлений по нескольким типам полезного ископаемого. При этом более экономична поэтапная стратегия изучения и освоения недр в пределах перспективного рудного региона, она снижает сроки подготовки месторождений к эксплуатации и должна основываться на принципе комплексного освоения территорий.

Основой предлагаемой стратегии развития минерально-сырьевой базы при минимальном привлечении инвестиционных и людских ресурсов являются освоение месторождений не только по видам сырья, но и по условию создания на территории единой социально-промышленной инфраструктуры, транспортных коммуникаций, источников энергии, обеспечивающих добычу полезного ископаемого, а также согласованная возможность использования ресурсов, продукции и отходов горно-обогатительного производства. Реализовать такой подход можно за счет формирования минерально-сырьевых центров (МСЦ) экономического развития, создающих предпосылки для организации территориальных промышленных комплексов, включающих в том числе горнодобывающие предприятия, вовлекающие в эксплуатацию подготовленные к освоению минеральные ресурсы определенного региона. В

качестве организационных форм достижения поставленных целей могут выступать управляющие компании, холдинги и т.п., обеспечивающие комплексное освоение территорий и развитие промышленной инфраструктуры.

Информационной основой для опережающих или параллельных оценок, позволяющих заблаговременно использовать результаты работ при выработке рекомендаций или формулировании основных ограничивающих условий недропользования, а также принятия решений о формировании МСЦ, является комплекс данных, объединенных в геоинформационную систему, включающую:

— информационный банк данных минеральных ресурсов территорий и горнопромышленных предприятий, в том числе оценки уровня опоискованности полезных ископаемых;

— сведения об отнесении запасов к распределенному фонду, наличии лицензий или других соглашений с целью изучения недр, геолого-экономической оценки и их освоения;

— графические модели горнопромышленных регионов в различных горно-геологических и природно-климатических условиях с характеристикой степени освоенности административных районов, инфраструктуры территорий, экономического потенциала, демографии и пр.;

— информационные модели размещения и развития транспортных и энергетических коммуникаций в увязке с размещением месторождений твердых, жидких и газообразных углеводородов;

— комплекс географических, эколого-экономических, гидрографических и гидрогеологических, геокриологических и других моделей, обеспечивающих оценку природных условий освоения территорий;

— комплекс моделей и главных параметров прогнозируемых горных предприятий.

4.2. Особенности формирования горнопромышленных комплексов Дальневосточного и Уральского регионов

Применительно к стратегии расширения и развития минерально-сырьевой базы в северных и полярных районах страны, Якутии и на Дальнем Востоке существует ряд объективных региональных особенностей, без учета которых поставленные задачи не могут быть решены. К таким особенностям относятся:

— географические и природно-климатические условия района месторождения, которые характеризуются для указанных территорий как сложные и суровые;

— степень развитости промышленной инфраструктуры (в том числе в районе месторождения), которая зачастую недостаточна;

— специализация и национально-этнические особенности района развития горнодобывающей промышленности, занятость населения, возможность комплектования рабочими и инженерными кадрами организуемого производства. В большинстве

случаев регион не может предоставить достаточное количество людей с нужными для горного предприятия профессиями;

— наличие (дефицит) мощностей перерабатывающих предприятий (обогатительные фабрики, металлургические предприятия и пр.), которое наряду со значительными разведанными запасами и прогнозными ресурсами полезных ископаемых делает рассматриваемые регионы инвестиционно привлекательными;

— общее состояние экологической обстановки в районах предполагаемого ведения горных работ и возможность ликвидации последствий дополнительной антропогенной нагрузки на регион, которые в данных условиях характеризуются как трудновосстановимые.

Освоение недр Полярного и Приполярного Урала увязывается с главными задачами: поддержание и развитие минерально-сырьевой базы уральских перерабатывающих предприятий; концентрация сил и средств при планомерной реализации стратегических задач комплексного развития новых территорий; кооперация регионов в развитии приоритетных направлений промышленной и экономической политики УрФО. С позиций перспективы освоения данного района, минеральная база которого представлена в основном оцененными ресурсами, необходимо построить железную дорогу для создания транспортной связи с промышленно развитым Средним Уралом. Поэтому в ближайшее время необходимо организовывать масштабное геологическое изучение всей территории. Для выработки общей стратегии освоения недр рассматриваемой территории уже на самых первых этапах разведочных работ следует осуществлять экспрессную геолого-технолого-экономическую оценку горнотехнических возможностей каждого рудного района, основанную на поэтапном ускоренном изучении недр в пределах перспективных рудных регионов (пример см. в табл. 4.1).

Задачи освоения или развития минерально-сырьевой базы территорий являются системными и затрагивают в комплексе государственные и региональные интересы, а также интересы отдельных финансовых групп и корпораций, поэтому наряду с требованиями комплексного использования недр важным принципом освоения Приполярного и Полярного Урала является принцип комплексного освоения территорий единой управляющей компанией.

При разработке стратегии создания новой минерально-сырьевой базы следует выделять и экономически обосновывать системообразующие ограничения, реализация которых позволит эффективно эксплуатировать недра, например, для эффективного освоения группы железорудных месторождений Якутии необходимо:

— строительство государственными корпорациями каскада ГЭС, предполагаемого на ближайшее будущее в качестве основного регионального источника электроэнергии;

— строительство государственной сети железных дорог, предназначенных для транспортирования готовой продукции организуемых горно-обогатительных производств;

— поэтапное строительство на территории Якутии металлургического производства для переработки добытого железорудного сырья, увязанное с соответствующими этапами развития горных работ;

— комплексное использование добытой горной массы (руда и вскрыша) для внутренних нужд и нужд региона при максимальном использовании технологий сухого обогащения;

Таблица 4.1

Этапы проектных работ при экспресс-анализе региона угольного месторождения

Порождающие	Ограничивающие	Реализующие
Геологические условия разработки. Модель месторождения	Основа горно-геометрических расчетов, базирующаяся на известных, геометризованных данных	Прогноз промышленных запасов
Порядок отработки месторождения, обеспечивающий рациональный график разработки по участкам месторождения	Обоснование текущих коэффициентов вскрыши по этапам отработки. Обоснование динамики вскрытия по грузообороту и грузовой работке транспорта	Расчет промежуточных положений внешних и внутренних отвалов по периодам разработки. Проект земельного отвода и акт выбора площадки
Прогноз распределения качества по участкам. Прогноз потерь и разубоживания угольной массы	Уточнение порядка отработки, система усреднения и селекции, требования к предварительному обогащению	Обоснование возможных схем комплексной механизации по этапам разработки и участкам месторождения по высоте (глубине) рабочей зоны. Ограничения на недропользование
Оценка устойчивости отвалов вскрышных пород и обоснование параметров устойчивых внешних и внутренних отвалов по периодам разработки	Заключение об устойчивости и рекомендации по технологии отсыпки отвалов в условиях вечной мерзлоты и сейсмоопасности	Определение мест заложения отвалов, приемной способности отвалов, максимальной вместимости отвалов. Формирование порядка заполнения отвалов в увязке с развитием горных работ по критерию минимума грузотранспортной работы
Обоснование элементов системы разработки в увязке с прогнозируемыми коэффициентами вскрыши	Разделение поля разреза в плане и по высоте по технологическим зонам. Карта коэффициентов вскрыши	Разработка технологических схем ведения горных работ и уточнение конструкции и параметров рабочей зоны, увязка интенсивности вскрышных и добычных работ
Конструирование рабочей зоны определение интенсивности отработки по заданной производительности	Конструкция рабочей зоны в расчетных участках (через 7-10 лет). Прогноз интенсивности отработки по участкам	Формирование динамики и положений горных работ. Схемы направления грузопотоков по периодам и технологическим зонам – прогноз парка транспортного оборудования
Формирование календарных графиков добычи и вскрыши по участкам с разделением угольной массы по типам и обеспечением длительных устойчивых соотношений	Корректировка расчетных положений горных работ с учетом прогнозируемого качества – РЭР, Генсхема, проект обогащения, решения по шихтовке и пр.	Обоснование очередности и схем вскрытия по участкам и этапам разработки в увязке с принятым порядком горных работ и отвалообразования. Прогноз парка оборудования. Регламент на рекультивацию нарушенных земель

— предусмотреть местные сырьевые источники вспомогательных ресурсов для строительства комбинатов и осуществления их основной деятельности, комплексно развивающие местную горнодобывающую промышленность.

Экономические расчеты свидетельствуют о том, что продукция, произведенная из руд, добытых в регионах со сложными природно-климатическими условиями, достаточно конкурентоспособна как на внутреннем, так и внешнем рынке. Однако проекты отработки месторождений в удаленных от развитой промышленной инфраструктуры районах весьма чувствительны к колебанию цен и текущих эксплуатационных затрат.

Например, при отработке Гаринского железорудного месторождения (Амурская область) в соответствии с разработанными ТЭП при снижении цены продукции на 10% проект становится нерентабельным, а при повышении удельных затрат на производство до 10% срок окупаемости вложений сопоставим со сроком отработки месторождения. Поэтому для сокращения ресурсоемкости производства, текущих затрат и инвестиций в капитальное строительство предприятия применительно к специфике района ведения работ приняты следующие решения:

— по данным космического зондирования, месторождение является первым из изученных в рассматриваемом регионе — на его территории обнаружено и локализовано несколько магнитных аномалий, поэтому предусмотрено поэтапное геологическое изучение рудного узла;

— предусмотрено строительство полнопрофильного горно-обогатительного комбината, который будет базовым при создании развитой инфраструктуры региона и создаст предпосылки для экономии трудовых ресурсов при дальнейшем расширении железорудной базы;

— с целью наиболее эффективного использования капитальных вложений рекомендован поэтапной выход горно-обогатительного предприятия на полную производственную мощность;

— для обеспечения круглогодичной работы обогатительного передела предусмотрено строительство гидротехнического каскада: верхнее водохранилище чистой воды и нижнее хвостохранилище. Это обусловлено тем, что реки в регионе имеют незначительный расход и перемерзают в зимний период;

— поэтапная во времени реконструкция границ карьера при доразведке запасов на флангах, использование выработанного пространства карьера и сформированных в нем коммуникаций для вскрытия строящегося подземного рудника наклонными автомобильными тоннелями, обеспечивающего наибольшую полноту извлечения полезного ископаемого;

— организация подготовки необходимых специалистов, привлечение местного населения для обеспечения предприятиями кадрами;

— развитие транспортной сети в регионе (инвестирование строительства автодороги Чагоян — Гарь, реконструкция участка железной дороги Шимановск — Чагоян и строительство перегона Чагоян — Гарь) для связи с промплощадкой строящегося ГОКа.

Приведенные примеры, принятые технические решения и сформулированные общие рекомендации являются характерными для целой группы регионов, в которых в настоящее время предполагается комплексное создание или развитие минерально-сырьевой базы для различных отраслей промышленности. Создают-

ся предпосылки для реализации принципиально нового методического подхода к развитию и поддержанию минерально-сырьевой базы — от отраслевого принципа к комплексному освоению территорий, опыт использования которого представлен на примере Уральского и Дальневосточного регионов России.

Главным элементом нового методического подхода является обоснование целесообразности и эффективности формирования горнопромышленных комплексов для освоения нескольких месторождений с различными видами минерального сырья с созданием единой организационной и инженерной инфраструктуры, транспортных коммуникаций, источников энергии при комплексном использовании продукции и отходов горно-обогатительного производства [21, 106].

При освоении новых месторождений и расширении сырьевой базы, в особенности в северных районах Урала, в Якутии, на Дальнем Востоке, с недостаточно развитой инфраструктурой требуется принципиально новая стратегия формирования горнопромышленных комплексов с единой открытой производственной инфраструктурой для разработки нескольких месторождений в каждом из районов их расположения, включающей источники энергии, водоснабжения, ремонтные базы, объекты социальной сферы, перерабатывающие предприятия и т.п. Таким образом принцип комплексного освоения недр дополняется принципом комплексного освоения территорий. Применительно к стратегии расширения и развития минерально-сырьевой базы в северных и полярных районах страны, Якутии и на Дальнем Востоке существует ряд объективных региональных особенностей, без учета которых поставленные задачи не могут быть решены. К таким особенностям относятся:

— географические и природно-климатические условия района месторождения, которые характеризуются для указанных территорий как сложные и суровые;

— степень развитости промышленной инфраструктуры, в том числе в районе месторождения (транспорт, энергетика, топливо, источники строительных материалов, воды), которая зачастую недостаточна;

— специализация и национально-этнические особенности района развития горнодобывающей промышленности, занятость населения, возможность комплектования рабочими и инженерными кадрами организуемого производства. В большинстве случаев регион не может предоставить достаточное количество людей нужных для горного предприятия профессиями;

— дефицит мощностей перерабатывающих предприятий (обогатительные фабрики, металлургические предприятия и пр.), который наряду со значительными разведанными запасами и прогнозными ресурсами полезных ископаемых делает рассматриваемые регионы инвестиционно привлекательными;

— общее состояние экологической обстановки в районах предполагаемого ведения горных работ и возможность ликвидации последствий дополнительной антропогенной нагрузки на регион, которые в данных условиях характеризуются как трудновосстановимые.

Ниже на примерах проекта «Урал Промышленный — Урал Полярный», а также программ развития энергетики, металлургии и добывающих отраслей Якутии и Хабаровского края показаны некоторые методические подходы, учитывающие сформулированные региональные особенности отработки месторождений полезных ископаемых при решении конкретных задач освоения минерально-сырьевой базы.

Освоение недр Полярного и Приполярного Урала увязываются с главными задачами, которые необходимо решить в процессе выполнения программы «Урал Промышленный — Урал Полярный». С позиций перспективы освоения данного района предусматривается строительство железной дороги для создания транспортной связи с промышленно развитым Средним Уралом. Поскольку минеральная база Полярного и Приполярного Урала представлена в основном оцененными ресурсами, в ближайшее время необходимо организовывать масштабное геологическое изучение всей территории, при этом поэтапная стратегия позволит снизить сроки подготовки месторождений к эксплуатации и предварительно охарактеризовать целесообразность строительства железной дороги и реализации всего проекта.

Ускорение развития минерально-сырьевой базы Урала за счет освоения северных территорий предусматривает строительство в приполярном регионе объектов инфраструктуры и энергоснабжения. Освоение георесурсов полярных и приполярных горнодобывающих районов Урала невозможно без реализации системы эффективного мониторинга комплексного освоения месторождений минерального и техногенного сырья, а также оценки и прогнозирования наносимого ими ущерба природной среде. Значительные запасы бурых углей приполярья скорее всего более рационально извлекать и перерабатывать в электрическую энергию прямо на местах, особенно с учетом планируемого роста потребления электроэнергии на территории ХМАО.

Наибольшее количество оцененных сырьевых ресурсов, востребованных уральской промышленностью, сосредоточено в приполярье в виде железных и хромитовых руд. Их прогнозные запасы могут обеспечить ежегодную добычу в количестве до 20–25 и 4–5 млн т/год, соответственно. Для снижения перевозимых объемов на местах производства горных работ рационально организовать предварительное сухое обогащение руды (хотя бы до промпродукта), глубина предварительной переработки которой должна быть экономически обоснована.

Освоение месторождений вдоль трассы предполагаемого строительства железной дороги будет сопровождаться увеличением производства местных строительных материалов, которые могут быть произведены из пород вскрыши и отходов предварительного обогащения руд, перевозка которых к местам потребления позволит в значительной мере загрузить железную дорогу. В настоящее время щебень, используемый для жилищного строительства и развития производственной инфраструктуры Севера, в большинстве своем завозится из центральных районов страны и с Урала.

Применительно к экспресс-оценке на самых ранних стадиях изучения месторождений, находящихся в сложных природно-климатических условиях, выбор средств для описания геообъектов во многом определяется методикой построения модели будущего горного предприятия как сложной природно-технологической геосистемы. Методика должна включать закономерности ее построения, правила изучения структуры системы, анализа взаимодействия геоинформационных подсистем и использования их элементов с целью формирования совокупности справочных, аналитических, экспертных и других оценок для решения технико-технологических задач и связанных с ними социально-экономических и экологических проблем, прогноза последствий отработки, предупреждения возникновения и развития чрезвычайных ситуаций.

При такой постановке возникает необходимость предварительного анализа будущей системы с целью формулирования основных продукционных правил ее функционирования. Предлагается производить оценку ее компонентов как совокупности некоторых их свойств, показателей и параметров (*табл. 4.2*). Каждый из компонентов — объектов среды, в которой будет изучаться и отрабатываться месторождение, можно описать в виде конечного числа числовых параметров, характеризующих сложность природных и технологических условий. В табл. 4.2 приведены систематизированные сведения, необходимые для выполнения предпроектных и проектных оценок вне зависимости от стадии технологической подготовки объекта к отработке. Например, параметры объектов «район отработки» и «месторождение» дают начальные сведения о внешней среде, в которой будет размещаться предприятие, а также об основных потребительских свойствах и трудности переработки оцениваемого минерального сырья. Для получения и оценки таких параметров необходимо привлечение соответствующих геоинформационных баз данных, а также проведение комплекса начальных работ по изучению специфических свойств участка геологического отвода. При получении указанных данных возможно объемное моделирование собственно месторождения как совокупности залежей, разведочных подсчетных блоков и распределения в их объеме показателей качества.

Совместное изучение такого рода данных позволит сформулировать начальные требования-ограничения к природоохранным мероприятиям, степени комплексности освоения недр, основным условиям недропользования, а также дать понимание того, какую конечную продукцию по степени ее дальнейшего использования должно или может производить будущее горнодобывающее предприятие, и какая в связи с этим у него должна быть производственная структура. Например, горное предприятие может производить сырую дробленую руду, которая перевозится к местам ее переработки, эта руда может подвергаться первичной переработке, а перевозке может подлежать только промпродукт, наконец, на месте ведения горных работ может быть построен горно-обогатительный или горно-металлургический комбинат, выпускающий продукцию высшего потребительского качества. Именно эти требования закладываются в обоснование главных параметров добывающих элементов (карьеров, шахт), обеспечивающих эффективную отработку месторождения. При этом все параметры и показатели, получаемые в результате моделирования, являются расчетными, обеспечивающими результат с наперед заданными свойствами.

Практика проектирования и существующие методики технологических расчетов свидетельствуют о том, что процесс обоснования технологических решений является, во-первых, итеративным, а во-вторых, последовательным. Например, обоснование границ горного отвода неразрывно связано с расчетом геометрических размеров карьера в отработанном виде, а они, в свою очередь, зависят от принятой технологии, производительности, цен, качества производимой продукции, кондиций на полезное ископаемое. Один из характерных примеров — освоение группы железорудных месторождений Якутии (Таежное, Десовское, Тарыннахское, Горкитское). При разработке стратегии создания новой минерально-сырьевой базы в данном регионе выявлены и экономически обоснованы следующие основные системообразующие ограничения, реализация которых позволит эффективно эксплуатировать недра:

— источником электроэнергии для горного производства является каскад ГЭС, строительство которых предполагается в ближайшем обозримом будущем;

Таблица 4.2

Основные свойства, показатели и параметры природно-технологических геосистем

Объект исследования	Характеристика объекта		
	Свойство	**Показатель**	**Параметр**
Район разработки	Географическиеиприродно-климатические условия	Климатическая зона, удаленность региона, условия освоения	Перепад температуры, рельеф, гидрография, сейсмичность
	Промышленная освоенность	Наличие необходимых мощностей, обеспечивающих переработку сырья на местах	Мощность транспортных и энергетических структур, местные источники вспомогательного сырья
	Национально-этнические особенности района	Заселенность и структура населения региона, исстоники комплектования рабочими кадрами	Численность населения и его профессиональный состав
	Общее состояние экологической обстановки	Наличие охраняемых территорий, водоемов, видов животных и растений	Фоновые концентрации, площади угодий и неудобий, поверхностный сток, размеры водоемов
Месторождение	Изученность	Соотношение ресурсов и запасов, перспективы прироста, риск неподтверждения запасов	Категория ресурсов и запасов. Площадь распространения
	Ценность, потребительские свойства	Вид полезного ископаемого, потребность в сырье, инвестиционная привлекательность	Кондиции, цены реализации, потребители, рентабельность отработки
	Доступность для освоения	Удаление от освоенных территорий, надежность (риск) возврата средств в разведку	Глубина залегания, допустимые коэффициенты вскрыши, удаленность потребителей
	Вещественный и минеральный состав. Комплексность переработки	Обогатимость, содержание полезного ископаемого, полнота и показатели комплексности извлечения и переработки	Извлечение, качество сырой руды и концентратов по видам, соотношение типов руд
Выемочная (структурная) единица	Залежь (пласт)	Пространственное размещение и распределение качества	Первичная геологическая документация, данные геометризации объемов и качества, координаты скважин, точек опробования, физико-механические свойства руд и пород, потери, разубоживание и др.
	Рудное тело (блок)		
	Уступ		

Перерабатывающее предприятие	Организационная форма получения готовой продукции	Горно-обогатительный комбинат, рудник, обособленный участок	Производственная мощность. Требования к качеству и агрегатному состоянию. Лицензии, условия природо- и недропользования
	Производственная структура	Структурные звенья, эффективность технологий извлечения и переработки, транспортные расходы на доставку потребителям	Мощность технологических потоков, ритмичность, непротиворечивость, увязка во времени
Добывающий элемент — карьер, шахта	Вид готовой продукции	Концентрат, промпродукт, руда сырая, дробленая	Соотношение типов и сортов, трудно-, средне- и легкоизвлекаемых запасов
	Главные параметры карьера (шахты)	Границы отработки, производственная мощность, срок отработки	Промышленные запасы, календарный график отработки, глубина отработки, размеры горного и земельного отводов
	Технологические приемы управления карьерным (очистным) пространством	Конструкция карьерного пространства и принятые способы управления порядком отработки. Концентрация работ	Текущие и средние коэффициенты вскрыши, конструкция погашенных, законсервированных и рабочих бортов, динамика отработки
	Применяемые системы разработки	Интенсивность и качество отработки запасов	Скорость подвигания и понижения горных работ, эксплуатационные потери и разубоживание. Протяженность фронтов работ, размеры экскаваторных блоков (камер), площадь рабочей зоны и эксплуатируемой части залежи и пр.
	Применяемые способы и схемы вскрытия	Грузооборот, грузоработа, мощность пропускаемых потоков	Расстояние транспортирования, вид и типоразмеры транспорта, конструкция выработок, объемы и интенсивность перевозок
	Структура запасов и резервов	Перспективные, текущие и оперативные запасы. Резервы материальных средств, оборудования, людей, энергии и пр.	Соотношение и качество балансовых и забалансовых запасов, общекарьерные потери. Длины фронтов работ, объемы вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов, запас пропускной способности транспортных коммуникаций. Энерго- и ресурсоемкость

— транспортирование готовой продукции организуемых горно-обогатительных производств осуществляется по государственной сети железных дорог, строительство которых уже развернуто;

— произведенная ГОКами продукция перерабатывается на металлургическом заводе, поэтапное строительство которого, увязанное с соответствующими этапами развития горных работ на ГОКах, предусматривается на территории Якутии;

— добытая горная масса (руда и вскрыша) используются комплексно, для внутренних нужд в период строительства и для нужд региона. Переработка руд осуществляется с извлечением попутных компонентов при максимальном использовании сухих технологий обогащения, а на заключительных этапах — мокрых технологий с организацией оборотного водоснабжения при минимальных объемах шламохранилищ;

— снижение численности работающих на горно-обогатительных предприятиях обеспечивается организацией управляющей компании — металлургического холдинга, комплексно развивающего производственную инфраструктуру районов добычи;

— комплексное развитие местной горнодобывающей промышленности за счет привлечения сырьевых источников вспомогательных ресурсов для строительства.

Например, при отработке Гаринского железорудного месторождения (Амурская область), в соответствии с разработанными технико-экономическими показателями, при снижении цены продукции на 10 %, проект становится нерентабельным, а при повышении удельных затрат на производство до 10 % — срок окупаемости вложений сопоставим со сроком отработки месторождения. Поэтому для сокращения ресурсоемкости производства, текущих затрат и инвестиций в капитальное строительство таких предприятий применительно к специфике района ведения работ приняты следующие решения:

— по данным космического зондирования месторождение является первым из изученных в рассматриваемом регионе — на его территории обнаружено и локализовано несколько магнитных аномалий, поэтому предусмотрено поэтапное геологическое изучение рудного узла;

— предусмотрено строительство полнопрофильного горно-обогатительного комбината, который будет базовым при создании развитой инфраструктуры региона и создаст предпосылки для экономии трудовых ресурсов при дальнейшем расширении железорудной базы;

— с целью наиболее эффективного использования капитальных вложений принят поэтапной выход горно-обогатительного предприятия на полную производственную мощность;

— для обеспечения круглогодичной работы обогатительного передела предусмотрено строительство гидротехнического каскада: верхнее водохранилище чистой воды и нижнее хвостохранилище. Это обусловлено тем, что реки в регионе имеют незначительный расход и перемерзают в зимний период;

— формирование стратегии по охране недр и полноте извлечения полезного ископаемого предусматривает поэтапную реконструкцию карьера с расширением его в торцах (при доразведке запасов на флангах), переход на подземные работы с использованием выработанного пространства карьера и сформированных в нем коммуникаций для вскрытия подземного рудника наклонными автомобильными тоннелями;

— при строительстве комбината и его эксплуатации предполагается привлекать население, проживающее в регионе, для чего предусмотрено строительство вахтового поселка на 1500 человек с предоставлением работающим комфортного современного жилья. Кадры предусматривается готовить путем организации горного колледжа, поставляющего производству необходимых специалистов;

— развитие транспортной сети в регионе и связь с промплощадкой строящегося ГОКа обеспечены инвестированием строительства автодороги Чагоян-Гарь, реконструкцией участка железной дороги Шимановск-Чагоян и строительством перегона Чагоян-Гарь.

Применительно к условиям Эльгинского угольного месторождения они могут быть сформулированы следующим образом:

— освоение месторождения по отраслевому принципу приводит к созданию замкнутой производственной системы с максимальной потребностью в трудовых ресурсах;

— основой стратегии эксплуатации месторождения является интенсивная отработка запасов при одновременном налаживании открытой инфраструктуры предприятия;

— реализация предложенного принципа обеспечивается организацией холдинговой структуры, ответственной за создание общей промышленной инфраструктуры в районе ведения работ.

Приведенные примеры, принятые технические решения и сформулированные общие рекомендации являются характерными для целой группы регионов, в которых в настоящее время предполагается создание или развитие минерально-сырьевой базы для различных отраслей промышленности.

В качестве главных причин ускоренного и комплексного изучения, разведки и освоения месторождений твердых полезных ископаемых Севера, арктической его части, а также Полярного и Приполярного Урала следует отметить:

— необходимость освоения месторождений газа и нефти с видоизменением инфраструктуры этих регионов совместно с организацией или расширением добычи других видов минерального сырья, в частности строительных материалов;

— начавшуюся модернизацию промышленности (металлургии, машиностроения, транспорта и т.д.), прежде всего связанную с техническим перевооружением, требующим увеличения добычи металлов и легирующих добавок;

— наметившийся дефицит производства определенных видов традиционно потребляемого сырья: железных, марганцевых и хромитовых руд, вольфрама, энергетического и коксующегося угля и пр.;

— сокращение доли подготовленных к промышленной эксплуатации запасов ряда полезных ископаемых, в частности медных руд.

При всем различии минерально-сырьевого потенциала федеральных округов РФ, степени разведанности запасов и освоенности месторождений (по данным [76, 88], доля Уральского федерального округа составляет 50,1 %, Сибирского 16 %, Северо-Западного 10,6 %, Дальневосточного 3,5 %), с точки зрения методологического подхода к освоению и развитию минерально-сырьевой базы этих регионов есть много общего. Уральский и Дальневосточный регионы располагают значительным объемом многочисленных видов полезных ископаемых, что предопределило их статус неформальных центров развития горнодобывающей и перерабатывающей

промышленности РФ. Главными принципами, которые необходимо реализовать при формировании программы работ, рекомендуется считать: целевой поиск полезных ископаемых, обеспечивающих реализацию приоритетных программ на территории УрФО (легированные стали Урала, энергетика, машиностроение и др.); поэтапную ускоренную разведку и ввод мощностей, сопровождающиеся экспрессными геолого-технолого-экономическими расчетами и обоснованиями; комплексное освоение недр и комплексное освоение территорий, создание управляющей компании — координатора проекта; формирование открытой инфраструктуры создаваемых предприятий, потребляющих минимум трудовых ресурсов; поэтапное строительство и загрузку железной дороги.

Задачи освоения или развития минерально-сырьевой базы являются системными и затрагивают в комплексе государственные и региональные интересы, а также интересы отдельных финансовых групп и корпораций.

По предварительным оценкам [89], несмотря на недостаточную геологическую изученность, Приполярный Урал располагает запасами более миллиарда тонн железной руды, сотнями миллионов тонн медной и хромовой руды, значительными запасами рудного золота (*табл. 4.3*).

В Дальневосточном регионе минерально-сырьевая база включает в себя 76 видов различных полезных ископаемых, из которых разрабатывается только 20, входящих в группу ликвидных минеральных ресурсов, востребованных в России и за рубежом, и в значительной мере базируется на разработке месторождений алмазов, золота, серебра, платины, угля, в меньшей степени — нефти, природного газа, бора и флюорита. Ряд месторождений этой группы отрабатывается в ограниченном масштабе из-за неустойчивой конъюнктуры, низкой рентабельности и некоторых других технолого-экономических причин. К ним относятся месторождения олова, сурьмы, брусита, частично флюорита, вольфрама. Стоимостная оценка продукции разработки месторождений алмазов, благородных металлов и угля составляет 91 % (около 4,1 млрд дол. США) от общей суммарной стоимости добываемой в ДФО горной продукции, в том числе доля алмазов составляет около 48 %, угля около 18, золота 19, платины 2,3, серебра 3,4. Таким образом, при существующем положении отмечается резко ограниченная ориентация и направленность горной отрасли на освоение высокоценных природных минеральных богатств округа. Совершенно очевидно, что стратегия развития горнопромышленного комплекса ДФО должна ориентироваться не только на добычу дорогостоящих видов минерального сырья, но и на существенное расширение видов производимой горной продукции на основе создания совместных многоотраслевых и комплексных производств, объединений, холдингов с целью привлечения к освоению перспективных, но малообъемных месторождений, содержащих многие дефицитные основные и попутные компоненты. Дальнейшее эффективное освоение минеральных ресурсов Дальнего Востока и Уральского региона возможно на основе разработки интегрированной схемы их использования — от выделения дефицитных видов полезных ископаемых, оценки количества и качества запасов, создания и широкомасштабного внедрения прогрессивных способов добычи и переработки сырья [21].

В структуре горнопромышленного комплекса Дальнего Востока золотодобывающая отрасль является традиционной основой развития горнодобывающего производства, при этом около 50 % металла добывается из россыпных месторождений.

Таблица 4.3

Характеристика месторождений твердых полезных ископаемых Приполярного Урала, эксплуатируемых или рекомендуемых к первоочередной отработке

Вид сырья	Месторождение, перспективная рудная зона	Содержание ценного компонента	Запасы категорий B+ C_1+C_2, млн т	Прогнозные ресурсы P_1+P_2+P_3, млн т
Свердловская область				
Медная руда	Тарньерское медно-цинковое (эксплуатируемое)	Cu 1,6% Zn 5,08%	9,1	–
	Волковское медно-железо-ванадиевых руд (эксплуатируемое)	Cu 0,73%	40,4	–
	Сафьяновское (открытая/подземная разработка)	Cu 2,76% Zn 0,77% Pb 0,11%, Au 0,85 г/т Ag 39,9 г/т	5,8/10,5	–
	Шемурское медноколчеданных руд	Cu 1,71% Zn 0,21%	5,1	–
	Ново-Шемурское	Медные руды Cu 1,77% Zn 0,29%	10,02	–
		Медно-цинковые руды Cu 1,56% Zn 3,94%	11,24	–
Ханты-мансийский автономный округ – Югра (ХМАО)				
Медная руда	Северо-Сосьвинский, Вольинский, Грубеинско-Тыкотловский районы	Cu 1,5% Zn 2,2%	–	184
Хромиты	Синотвожский массив	Cr_2O_3 до 37%	–	17
Коренное золото, т	Хобеизская, Хальмерьинская, Тыкотловская рудные зоны	Au 1–4,4 г/т Au 4,7–9,2 г/т	11,6	1088,8
Магнетитовые руды	ХМАО всего, в т.ч. Северовольинский и А-4 участки Охтлямского рудного узла	Fe 20–56,3% Fe 32,33%	–	5845 910
Бурый уголь	Люльинское, Тольинское, Оторьинское месторождение		1268,9	10600
Ямало-ненецкий автономный округ (ЯНАО)				
Хромиты, млн т	Рай-Из (эксплуатируемое)	Cr2O3 до 35%	11	170
Республика Коми				
Марганцевые руды, млн т	Парнокское железо-марганцевое (законсервировано)	Mn 32,1%	3,94	–

Тем не менее в ряде регионов ДФО до сих пор не отработаны значительные запасы золота из мелкозалегающих россыпей, значительные его ресурсы заключены в техногенных и сложноструктурных месторождениях, суммарные ресурсы которых составляют не менее 2–3 тыс. т. Кроме того, по имеющимся данным, в техногенных россыпях находится от 10–15 до 50 % содержавшегося в них первоначального запаса золота. Активное вовлечение в эксплуатацию техногенных россыпных объектов будет не только компенсировать уменьшение добычи золота из геогенных россыпей, но и способствовать снижению негативной нагрузки на природную среду.

На территории ДВО разведаны и утверждены запасы многих видов полезных ископаемых (*рис. 4.1*) с разной степенью освоенности, пока не вовлеченных в эксплуатацию. Минерально-сырьевая база округа включает порядка 100 видов полезных ископаемых: благородные металлы, драгоценные камни (алмазы), цветные металлы, редкие и радиоактивные элементы, горючие ископаемые на материке и на шельфе Охотского моря, твердые горючие ископаемые, а также неметаллические полезные ископаемые (*табл. 4.4*).

Решение проблемы масштабного и комплексного освоения других месторождений твердых полезных ископаемых непосредственно связано с увеличением доли

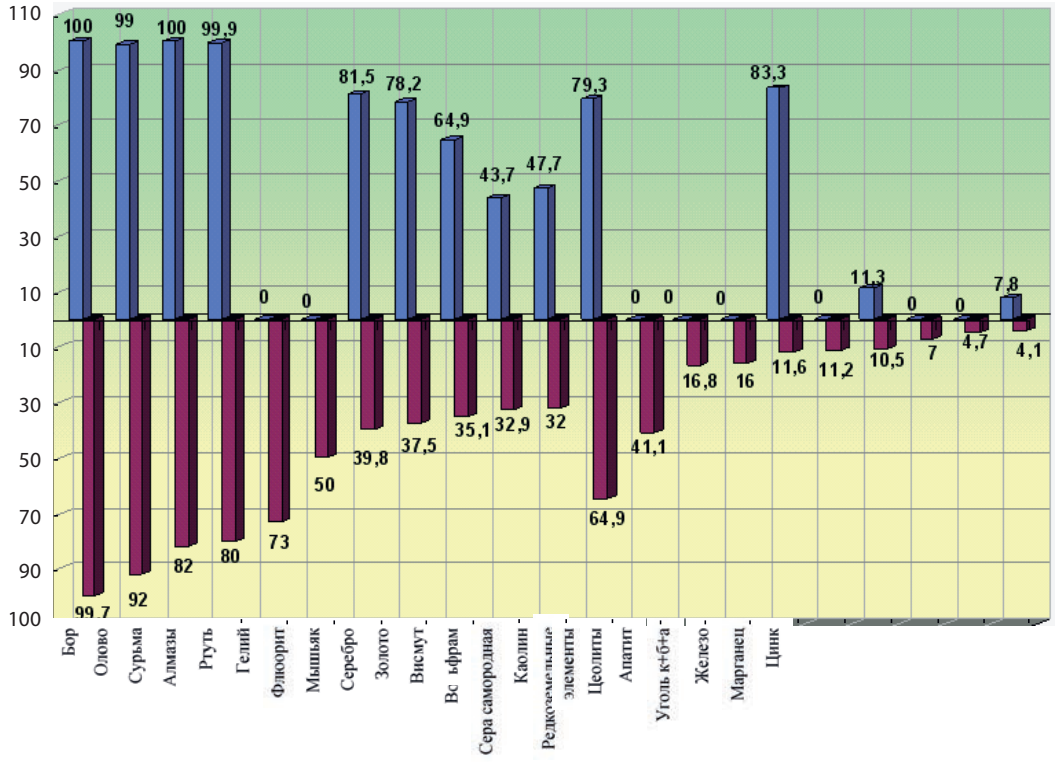


Рисунок 4.1. Распределение запасов и годовой добычи основных полезных ископаемых в Дальневосточном федеральном округе (в процентах от российских): синий цвет — объемы добычи, красный — запасы полезных ископаемых

Таблица 4.4

Запасы основных полезных ископаемых и их распределение по субъектам Дальневосточного федерального округа

Энергетические ресурсы, млн т (газ в млрд м^3)	Минеральные ресурсы		
	Благородные металлы (т) и алмазы (млн кар.)	Черные и цветные металлы, тыс. т	Неметаллические полезные ископаемые, тыс. т (перлит в м^3)
Запасы полезных ископаемых ДФО			
Нефть - 534,98	Золото - 5675,56	Железо – 7610160	Флюорит – 22188
Газ – 2666,61	Серебро - 40668,8	Медь – 792,9	Бораты – 34616,3
Конденсат – 56,734	Платина – 57494	Свинец – 2800,6	Магнезит – 60422
Уголь – 32778,797	Алмазы – 1028,4873	Цинк – 4649,1	Брусит – 9859
		Никель –256	Цеолиты – 264043,5
		Вольфрам – 522,93	Перлит – 9029
		Олово – 2463,74	Цем.сырье – 3197562
		Ртуть – 31,65	Гипс, ангидр.– 25544
			Соль пов.– 6598331
Запасы полезных ископаемых субъектов ДФО (в % к запасам ДФО)			
РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)			
Нефть – 87,99	Золото – 30,47	Железо – 77,95	Цеолиты – 4,34
Газ – 96,81	Серебро – 6,97	Ртуть – 11,82	Бораты – 11,31
Конденсат – 5,89	Платина – 0,21	Медь – 32,27	Цем. сырье – 2,57
Уголь – 44,50	Алмазы – 100	Свинец – 38,58	Гипс – 58,57
		Цинк – 49,76	Соль пов. – 100
		Вольфрам– 30,1	
		Олово – 37,89	
МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ			
Уголь – 6,61	Золото – 40,41	Медь – 5,28	Цеолиты – 4,90
	Серебро – 6,64	Свинец – 2,27	Цем.сырье –15,62
		Вольфрам – 0,40	Гипс и др.– 41,4
		Олово – 2,7	
АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ			
Уголь – 15,18	Золото – 8,25	Железо – 6,46	Цеолиты – 34,17
	Серебро – 1,41	Медь – 7,35	
	Платина – 22,64	Никель – 81,56	
ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ			
Газ – 0,07	Золото – 5,47	Железо– 0,01	Цеолиты – 19,77
Уголь – 8,52	Серебро – 6,19	Медь – 53,64	Перлит** – 8,02
	Платина – 3,47	Свинец – 4,13	Цем.сырье – 31,03
		Цинк – 2,68	
		Вольфрам – 7,50	
		Олово – 17,98	
		Ртуть – 1,62	

горнодобывающей промышленности в валовом продукте округа. При этом разработка ресурсов недр может быть эффективной при комплексном освоении территорий и формировании единых горнопромышленных комплексов. Особенно это касается запасов железных руд, апатитов, редких земель и пр. [76,77]. Аналогичная картина наблюдается и в УрФО, где также имеются запасы, достаточные для разворачивания добычи не только традиционных для Урала полезных ископаемых.

При обосновании стратегии освоения и развития минерально-сырьевых ресурсов приполярных и полярных регионов Урала и на территории ДФО важнейшим фактором является инфраструктурный (транспорт, энергетика, социальная сфера). Существенное значение для формирования и активного использования георесурсов минерально-сырьевых центров имеет также и территориальная организация экономически и технологически увязанных производственных единиц, развитие металлургического и машиностроительного комплексов. С этих позиций горнорудные районы целесообразно формировать на территориях, которые обладают соответствующим активным или прогнозируемым ресурсным потенциалом в пределах соответствующих минерально-сырьевых центров (МСЦ). Несмотря на многообразие условий и довольно значительное число вариантов их границ, применительно к регионам Северного Урала и ДФО (*рис. 4.2, 4.3*) реально можно выделить три основных сценария, в которых минеральные ресурсы становятся точками экономического роста:

— разведано несколько относительно небольших по запасам месторождений разных видов полезных ископаемых, однако организация на их базе отдельных обособленных предприятий неэффективна;

— на территории уже имеются достаточно развитые горнодобывающие предприятия, запасы которых в значительной мере отработаны, а на определенном удалении от них имеются одноименные малообъемные (мелкотоварные) месторождения полезных ископаемых, восполняющие сырьевую базу действующего производства;

— создание нового горно-промышленного комплекса с полным циклом переработки на базе крупного месторождения, эксплуатация которого окупит затраты на создание необходимой инфраструктуры.

При выделении районов первоочередного освоения недр к факторам, влияющим на формирование территориальных горнопромышленных комплексов помимо наличия собственно полезных ископаемых и степени их разведанности следует отнести:

- наличие действующих территориальных промышленных комплексов, включающих экономически и технологически увязанные производственные и инфраструктурные предприятия и объекты;

— благоприятствующие экономические и горнотехнические условия, способствующие поддержанию или развитию минерально-сырьевой базы региона, в том числе наличие реальных или проектируемых источников энергии и транспортных коммуникаций;

— возможность концентрации сил и средств для реализации стратегических задач комплексного развития новых территорий, а также кооперации регионов и административных образований для развития приоритетных направлений промышленной и экономической политики территории;

— реализация основных принципов недропользования по рациональному и комплексному использованию недр, в том числе наиболее полное извлечение запа-

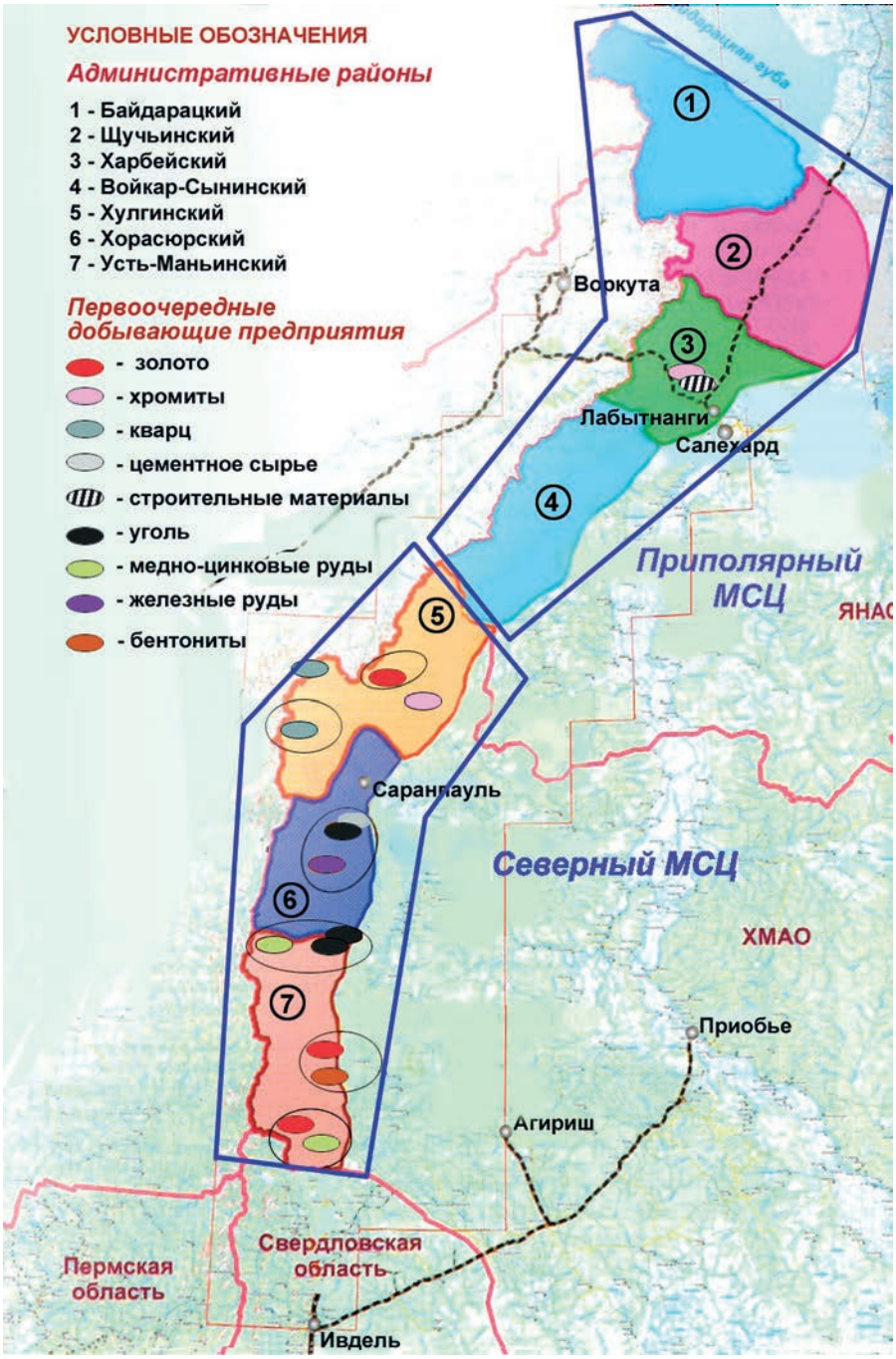


Рисунок 4.2. Схема расположения пилотного Северного минерально-сырьевого центра УрФО

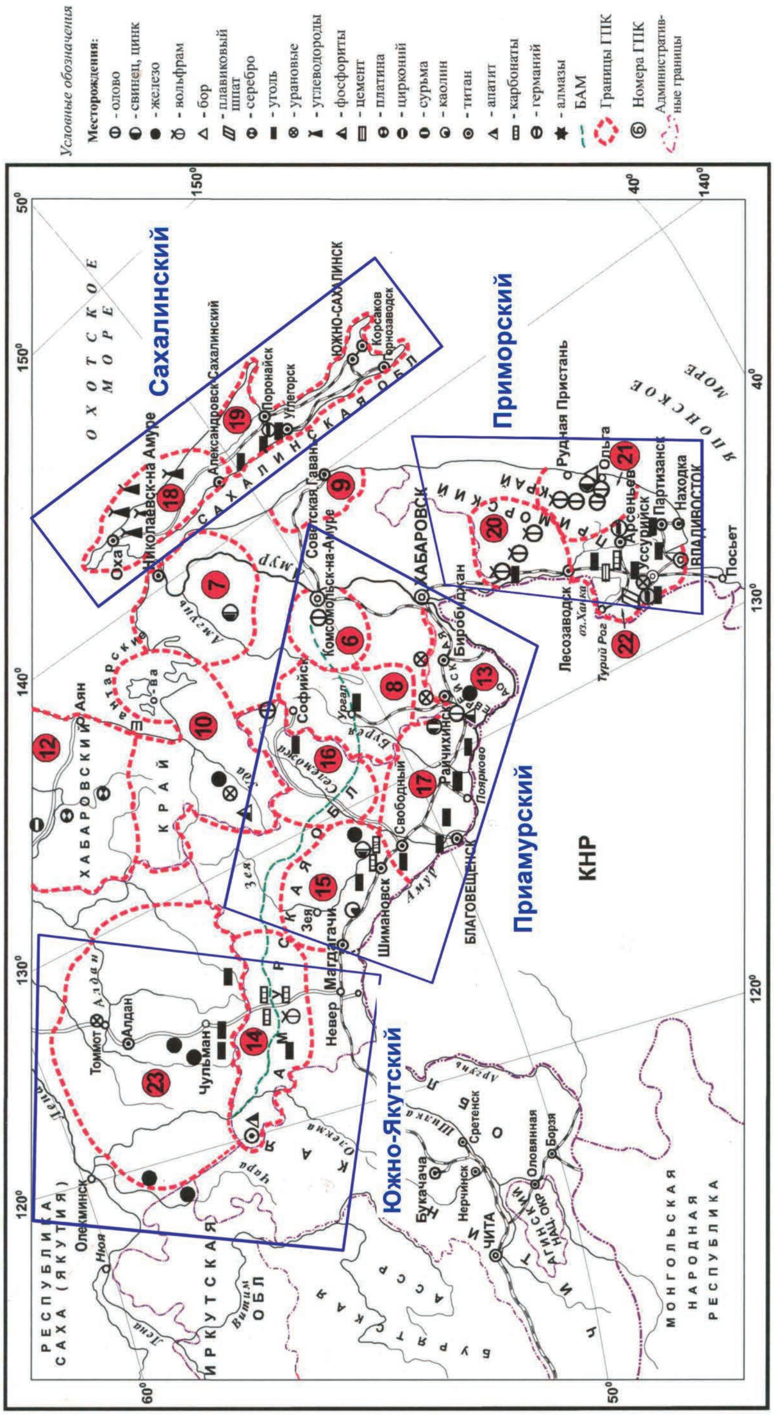


Рисунок 4.3. Схема размещения прогнозируемых первоочередных региональных горнопромышленных комплексов ДФО

сов основных и попутных компонентов, а также внедрение современных технологий комплексной переработки минерального сырья;

— необходимость перераспределения горной ренты в целях недопущения выборочной отработки месторождений, а также снижения затрат на освоение малорентабельных и мелких месторождений, развития добычи местных строительных материалов и другого привлекаемого природного сырья, в том числе водных ресурсов;

— учет преемственности при поэтапном развитии региональных и локальных горнорудных районов на основе предполагаемых инвестиционных соглашений горнопромышленных компаний, холдингов и других организационных форм промышленного производства.

На основании проведенных исследований, в том числе совместно с учеными ИГД ДВО РАН [62], к числу соответствующих отмеченных выше условиий можно отнести три территориальных МСЦ на Приполярном Урале в районе проектируемого транспортного коридора; МСЦ малообъемных кимберлитовых месторождений Якутии севернее действующих предприятий АК «АЛРОСА»; создание Южно-Якутского горно-металлургического комплекса на базе Таежного и Тарыннахского железорудных ГОКов, Нерюнгринского и Эльгинского угольных месторождений, а также каскада гидроэлектростанций или ТЭС на газовом сырье.

Новым направлением в формировании горнопромышленных районов может быть использование металлоносного потенциала угольных месторождений. Только на юге Дальнего Востока известно свыше 20 месторождений бурых и каменных углей мезозойского и кайнозойского возраста, которые содержат превышающие кларковые в несколько раз концентрации благородных и редких металлов: Au, PGE, Ag, Ge, Ga, U, W, Sb, Y, Yb, Nb, V, Zr, Rb, Li, Be, Cs, Sc, Mo, Re. Опыт Приморской ГРЭС, успешно извлекающей из золо-шлаковых отходов тонкую магнитную фракцию, позволяет оценивать перспективы извлечения благородных и редких металлов как положительные.

В плане организации рационального комплексного освоения крупных техногенных золотороссыпных объектов [106] может быть создан Амуро-Буреинский минерально-сырьевой центр экономического роста (ЦЭР, включающий объекты россыпной золотодобычи Амурской области, Хабаровского края и юга республики Саха (Якутия)).

Организация широкомасштабного комплексного горного производства с использованием всех видов минерального сырья возможна на базе действующих или вновь создаваемых базовых горных предприятий [114]. Формирование на их основе горнорудных районов и горнопромышленных комплексов требует проведения специальных исследований по структурированию минерально-сырьевой базы с учетом хозяйственно-экономического, инфраструктурного и социального развития соответствующих районов.

На территории юга Дальнего Востока комплексные горнорудные районы ранее не формировались, однако инфраструктурной базой выделенных нами МСЦ могут служить угле-, нефте-, газодобывающие предприятия, золотодобывающие, алмазодобывающие прииски и ГОКи Республики Саха (Якутия), Дукатский и Карамкенский ГОКи, золотодобывающие комплексы и прииски Магаданской области, Березитовый, Покровский, Огоджинский, Райчихинский, Свободненский, Ерковецкий, а также строящийся Кимкано-Сутарский ГОКи, Соловьевский, Дамбукинский и другие

прииски, Зейская ГЭС Амурской области; угле-, золотодобывающие ГОКи, прииски и судоремонтные предприятия Хабаровского края.

Информационной основой для опережающих или параллельных оценок, позволяющих заблаговременно выработать рекомендации или сформулировать основные ограничивающие условия недропользования, а также принять решение о формировании МСЦ, является комплекс данных, объединенных в геоинформационную систему, включающую:

— информационный банк данных минеральных ресурсов территорий и горнопромышленных предприятий, в том числе оценки уровня опоискованности полезных ископаемых;

— сведения об отнесении запасов к распределенному фонду, о наличии лицензий или других соглашений с целью изучения недр, геолого-экономической оценки их освоения;

— графические модели горнопромышленных регионов в различных горно-геологических и природно-климатических условиях с характеристикой степени освоенности административных районов, инфраструктуры территорий, экономического потенциала, демографии;

— информационные модели размещения и развития транспортных и энергетических коммуникаций в увязке с размещением месторождений твердых, жидких и газообразных углеводородов;

— комплекс географических, эколого-экономических, гидрографических и гидрогеологических, геокриологических и других моделей, обеспечивающих оценку природных условий освоения территорий;

— комплекс моделей и главных параметров горных предприятий, прогнозируемых к строительству при эксплуатации месторождений.

Таким образом развитие МСЦ создает объективные предпосылки для вовлечения в хозяйственный оборот малопривлекательных природных и техногенных объектов, активизирует строительство перерабатывающих предприятий, включая их в комплексную переработку минерального сырья при развитии и внедрении новых технологий.

Глава 5. Инновационные технологические процессы

5.1. Научное обоснование разработки ресурсосберегающих технологий

На современном этапе обязательно следует учитывать три основные особенности технологического развития в горнодобывающей отрасли:

— сокращение или исчерпание разведанных минерально-сырьевых ресурсов при существенном увеличении глубины их разработки в традиционно развитых горнодобывающих районах страны. Смещение освоения новых месторождений в регионы с более сложными природными и горно-геологическими условиями (в Якутию, на Северный, Приполярный и Полярный Урал) с недостаточно развитой инфраструктурой, дефицитом кадров, источников энергии и производств, перерабатывающих исходное минеральное сырье;

— общее ухудшение качества минеральных ресурсов, характеризующееся устойчивым увеличением расхода сырой руды на 1 т концентрата. Накопление в старых горнопромышленных районах значительного количества отходов обогащения и металлургии, являющихся значительным резервом сырья для поддержания действующих производств, в целом отрицательно влияющим на экологическое состояние территорий;

— необходимость модернизации физически и морально устаревшего оборудования, технологий рудоподготовки и обогащения, а также совершенствования параметров технологических процессов, схем вскрытия и систем разработки месторождений твердых полезных ископаемых, призванных, прежде всего, компенсировать ожидаемое увеличение энергоемкости и ресурсоемкости горного производства.

Переходный период от плановой к рыночной экономике в России практически завершен и наступила возможность сформулировать и методически оформить принципиально новые подходы к выбору стратегии технологического развития минерально-сырьевого комплекса и горнодобывающих отраслей промышленности. В свое время академик Н.В. Мельников отмечал, что прогноз развития горной промышленности на 20-30 лет должен ответить на вопросы о масштабах будущей добычи полезных ископаемых, размерах развития того или иного региона, преобладающем способе разработки (открытый или подземный), предпочтительной годовой производительности горных предприятий, видах используемой горной техники, возможных экономических показателях.

Вторая половина XX столетия в горнодобывающих отраслях промышленности прошла под знаком преимущественного развития открытых горных разработок. Этому способствовали выдающиеся ученые Н.В. Мельников, В.В. Ржевский, Е.Ф. Шешко, М.Г. Новожилов, В.С. Хохряков, М.В. Васильев и многие другие представители таких

научных центров, как ИПКОН РАН, МГИ, СГИ, ИГД им. А.А.Скочинского, ИГД МЧМ СССР, в работах которых всесторонне рассмотрены вопросы теории и практики открытых горных разработок и предложены технические и технологические решения наиболее актуальных проблем их развития. По большинству направлений, обоснованных еще в середине XX века, пути и масштабы развития горнодобывающих отраслей промышленности, в том числе: преимущественное развитие открытого способа разработки, строительство крупных горно-обогатительных комбинатов в железорудной промышленности, угольных разрезов большой производительности, создание комплексов выемочно-погрузочного и транспортного оборудования, нашли реальное воплощение. Поэтапно происходили изменения в постановке научных задач (*табл. 5.1*).

По данным Высшего горного совета НП «Горнопромышленники России» (2013–2014 гг.), для обеспечения технологической готовности горнопромышленного комплекса к эффективному функционированию в условиях вступления России в ВТО необходимы:

— переход на принципиально новые технологии поиска, разведки, добычи и транспортировки сырья с использованием современных технических средств на основе активной национальной инновационной политики, включающей расширение налоговых преференций инвесторам в новые технологии, в том числе исключение из налогооблагаемой базы инвестиций, направляемых предприятиями на разработку и освоение производства новой техники;

— создание организационно-экономических условий для реализации более активной корпорационной инновационной политики, имея ввиду освоение ресурсов минерального сырья на основе преимущественного развития современных отечественных технологий, оборудования и сервисной службы, подготовки специалистов, в том числе с привлечением иностранного капитала;

— подготовка обоснований по вопросу направления части валютной выручки и налоговых платежей горнодобывающих предприятий на поддержку Фонда содействия развитию горного производства и горных наук, других важнейших национальных центров горной науки, а также программы кооперации организаций комплекса с использованием потенциала ВПК для проведения НИОКР, имеющих приоритетное межотраслевое значение;

— использование, в качестве важнейшего фактора наращивания и эффективного использования минерально-сырьевой базы, реализации современных методов управления инновационной деятельностью, координации потенциала фундаментальной, вузовской и отраслевой науки с выходом на коммерциализацию научных разработок, в том числе обеспечивающих полноту и комплексность добычи и переработки запасов минерального сырья;

— обоснование предложений о дополнительных мерах правового и экономического характера, стимулирующих разработку и реализацию целевых программ, технологических регламентов и национальных стандартов в сфере научно-технического прогресса и промышленной безопасности горного производства.

Важным методическим приемом решения многих горно-экономических задач в 60–70 годы XX столетия являлся учет фактора времени, что в принципе не потеряло своей актуальности. Однако эффект при реализации принятого с учетом фактора времени решения может быть достигнут только в том случае, если прогноз эконо-

Таблица 5.1

Этапы постановки научных задач развития теории и практики открытых горных разработок

Научная задача	1930–1960 гг.	1961–1990 гг.	1991–2000 гг.
Глубина и границы карьера	Определение граничного и контурного коэффициентов вскрыши	Поэтапная разработка глубоких карьеров	Формирование карьерного пространства
Системы разработки	Определение высоты уступа и ширины рабочих площадок; классификация систем разработки	Создание научных основ циклично-поточной технологии. Применение высоких уступов (30-45 м)	Обеспечение крутых (25–30°) рабочих и предельно устойчивых постоянных бортов карьера
Вскрытие месторождения	Обоснование параметров внешних траншей	Применение скользящих съездов. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров	Последовательное формирование схем вскрытия до конечных контуров карьера
Производственная мощность карьера	Обоснование производственной мощности в зависимости от объема запасов и нормативных сроков службы карьеров	Исследование режимов горных работ и их оптимизация на основе управления объемами вскрыши	Оптимизация объемов добычи с учетом рыночных отношений
Транспортирование горной массы	Обоснование уклонов ж.-д. путей и выбор массы поезда	Выбор вида транспорта и соотношения параметров погрузочного и транспортного оборудования	Формирование транспортной системы карьера от начала до конца отработки месторождения

мических параметров (снижение или рост цен и затрат на энергию, сырье и другие статьи расхода, рост производительности труда, машин и механизмов и т.п.) в рассматриваемом периоде эксплуатации месторождения подтвердится.

При принятии инновационных решений, связанных с освоением месторождений, необходим учет:

— условий залегания месторождения; запасов, их характеристик и закономерностей колебания свойств в контурах будущего карьера (шахты, рудника);

— возможностей комплексного освоения многокомпонентных руд и использования вмещающих пород;

— изменений горнотехнических условий в процессе развития горных работ с целью оптимизации последовательности формирования схемы вскрытия, транспортной системы карьера (рудника);

— состояния и перспектив развития горного, транспортного и обогатительного оборудования и формирования на этой основе комплексов технологических процессов;

— сложившейся инфраструктуры в районе осваиваемого или разрабатываемого месторождения и перспективы его комплексного горнопромышленного развития;

— перспектив изменения цен на продукцию горного предприятия и потребляемую энергию, сырье, материалы и т.п.

Эффективность освоения минерально-сырьевой базы во многом зависит от степени ее увязки с направлениями долгосрочного социального и экономического развития регионов России, а также комплексности использования георесурсов, заключающейся в отказе от ресурсозатратных и широком применении ресурсосберегающих технологий. При прогнозировании технологического развития горнодобывающих отраслей и выделении первоочередных объектов освоения российских недр следует использовать оценки минерально-сырьевого потенциала недр, минерально-сырьевой и стоимостной анализ. Следует учитывать следующие особенности технологического развития в горнодобывающих отраслях промышленности:

— модернизация оборудования, необходимость которой обусловлена большой долей морально и физически устаревшего оборудования и возможностью выбора на мировом рынке его образцов, наиболее соответствующих специфическим горнотехническим условиям конкретного горного предприятия;

— необходимость совершенствования параметров технологических процессов, а также схем вскрытия и систем разработки, учитывая, что при проектировании в силу ограниченности информации и действовавших в период плановой экономики норм и правил технологического оборудования невозможно было использовать методы прогнозирования, доступные в настоящий период;

— необходимость реконструкции вскрытия глубоких горизонтов, в том числе с учетом изменения предельной глубины открытых горных разработок и перехода на подземную или комбинированную разработку месторождений.

Использование в качестве современной научной основы технологического развития горнодобывающей промышленности сформировавшийся в последние годы программно-целевой метод, основанный на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности позволяет обеспечить решение следующих проблем в их научно-методической постановке:

1. Разработка долгосрочной стратегии инновационно-технологического развития, включающей решение комплексных задач:

— анализа горно-геологической информации об объемах, качестве и пространственном расположении оставшихся запасов основных и попутных полезных компонентов;

— обоснования кондиций с учетом уточненных качественных признаков добываемого сырья и конъюнктуры отечественного и мирового рынка товарной продукции;

— уточнения границ открытых и подземных горных работ и их последовательного, параллельного или комбинированного применения;

— обоснования объемов добычи и номенклатуры товарной продукции как основы для выработки и принятия управленческих воздействий в технологическом и организационно-экономическом развитии на краткосрочную и долгосрочную перспективу.

2. Выработка подходов к развитию технологии горного производства, включая:

— исследование режима горных работ в увязке с порядком их развития и формированием рабочей зоны (очистного пространства), обеспечивающим предпосылки для управления качеством добываемого сырья;

— аудит и анализ структуры парка оборудования и на их основе — модернизацию действующих, а также создание и применение новых машин и механизмов;

— целевая оптимизация параметров технологических процессов и их взаимодействия применительно к конкретным, специфичным условиям функционирования.

3. Разработка комплекса организационно-экономических мероприятий и управленческих воздействий с целью выхода из кризисных ситуаций или их предотвращения, в том числе:

— обоснование способов резервирования и управления ресурсами предприятия всех видов (товарная продукция, финансы, оборудование, материалы и т.п.);

— ситуационный технико-технологический анализ организационной структуры горного производства и поиск «узких мест», сдерживающих снижение текущих издержек или повышение доходности, а также обеспечивающих безопасность ведения работ;

— комплексный анализ управленческих решений и системная увязка элементов и подсистем горного предприятия как организационно-экономической и финансовой системы.

Проблемы энерго- и ресурсосбережения на протяжении значительного времени периодически ставились в ряд актуальных, однако в большинстве случаев речь шла об экономии ресурсов при разработке конкретных месторождений, функционировании отдельных технологических процессов. Однако отраслевой принцип разработки месторождений не способствовал постановке задачи комплексного освоения недр, без чего невозможно сформулировать проблему энерго- и ресурсосбережения в полном ее объеме. Во многом определяющую роль при решении вопросов энерго- и ресурсосбережения, в том числе при открытых горных разработках, играет развиваемый и реализуемый, в связи с переходом от плановой к рыночной экономике и ее глобализации, принцип приоритетности проблемы комплексного освоения недр, требующий установления взаимосвязей параметров создаваемых горнотехнических систем на основе совокупности технологических, технических, экологических и экономических решений, обеспечивающих необходимые объемы и качество добываемого и перерабатываемого в товарную продукцию сырья в современных и перспективных условиях производства и потребления минеральных ресурсов [160]. Особенности решения проблем энерго- и ресурсосбережения при разработке глубокозалегающих крутопадающих месторождений состоят в следующем:

— как правило, открытыми горными работами освоение запасов месторождения не заканчивается, а предстоит переход при разработке глубоких горизонтов на подземные горные работы, в том числе на комбинированную геотехнологию;

— в связи с длительными сроками эксплуатации месторождения (иногда десятки лет) многие принятые в начальные периоды технологические и технические решения, как и используемое оборудование, в силу технического прогресса и изменения социально-экономических условий функционирования горного предприятия требуют пересмотра;

— уточнение условий залегания, объема запасов и их качественных характеристик требуют пересмотра кондиций, границ карьеров, т.е. периодической их реконструкции, к периодам которых и могут быть приурочены мероприятия по энерго- и ресурсосбережению;

— условия ведения горных работ при освоении верхних, средних и нижних горизонтов существенно различные, в связи с чем формирование горнотехнической

системы при разработке месторождения, в особенности схемы его вскрытия и транспортной системы карьера, требуют динамической постановки задач оптимизации.

Методически при анализе процессов энерго- и ресурсосбережения и разработке процедуры их оптимизации следует учитывать, что задача поиска наилучших решений является иерархической и системной. Поэтому при прогнозировании общей стратегии развития сберегающих технологий рекомендуется выделять ряд иерархически взаимосвязанных блоков-подсистем, в которых формируются предпосылки их реализации. К таким структурным блокам могут быть последовательно отнесены: «технологические процессы и их взаимодействие», «технологии горных и обогатительных производств», «порядок развития горных работ и логистическая структура горнодобывающего предприятия», «внешняя инфраструктура и ресурсная среда производства». При этом наибольший эффект может быть достигнут при наличии инновационных решений, основанных на организационной и технологической увязке инженерных решений в смежных иерархических уровнях снизу вверх, а также изменения условий взаимодействия с внешней ресурсной средой предприятия на вышележащих иерархических уровнях.

В табл. 5.2 и 5.3 систематизированы основные направления энерго- и ресурсосбережения на действующих горных предприятиях и при освоении новых месторождений. Реализация представленных в них мероприятий позволяет эффективно преодолевать негативное воздействие на показатели функционирования основных технологических процессов ухудшающихся горно-геологических, горнотехнических и других условий на основе мониторинга спроса на товарную продукцию на внутреннем и внешнем рынках, обеспечивать ее объемы, номенклатуру и качество, а в итоге достигать снижения энергозатрат и расхода ресурсов всех технологических процессов.

Эффективное функционирование горнорудного производства, как показывает практика, обеспечивается наличием следующих основных направлений технологического воздействия:

1. Снижение удельных издержек предприятия в целом на основе увеличения или поддержания установленной проектом производительности, регулирования интенсивности эксплуатации недр и технологических схем подготовки новых горизонтов.

2. Реструктуризация сырьевой базы за счет уточнения кондиций на полезное ископаемое и определения «технологичности» балансовых запасов предприятия.

3. Выпуск продукции повышенного качества, поиск новых видов продукции, расширение перечня внешних услуг.

4. Изыскание путей снижения землеемкости горного производства.

5. Техническое перевооружение производства: снижение расхода дизельного топлива и электроэнергии за счет изменения схем транспортирования горной массы; комплексность техперевооружения с соответствующим изменением параметров систем разработки и вскрытия; модернизация оборудования.

6. Рациональное управление рабочей зоной карьеров, обеспечивающее достижение в любой момент времени требуемых или желаемых коэффициентов вскрыши.

К числу актуальных научно-технических проблем в области теории и практики открытых геотехнологий, решение которых способствует энерго- и ресурсосбережению, относятся также:

Таблица 5.2

Основные направления энерго- и ресурсосбережения на действующих горных предприятиях

Мероприятие	Ожидаемый результат
1. Уточнение соответствия применяемых технологий и техники условиям залегания, количественным и качественным показателям добываемого сырья и физико-механическим свойствам горных пород	1.1. Оценка фактических и перспективных горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождения и разработка мероприятий по совершенствованию техники и технологии
2. Технологический аудит состояния горных работ и технико-экономических показателей основных технологических процессов и предприятия в целом	2.1. Обоснование направлений реконструкции карьера и модернизации оборудования: – вскрытие новых горизонтов; – параметры систем разработки.
3. Оптимизация режима горных работ, последовательности формирования рабочей зоны и карьерного пространства в целом	3.1. Минимизация текущих и общих объемов вскрышных работ. 3.2. Управление качеством и обеспечение комплексности использования добываемого сырья, оптимизация нормативов потерь и разубоживания. 3.3. Применение внутрикарьерного отвалообразования
4. Оценка состояния и оптимизация режимов функционирования основных технологических процессов и их взаимодействия	4.1. Уточнение с использованием геофизических методов структуры и физико-механических свойств массива, новые конструкции бурового инструмента, экспресс-методика оценки состояния массива горных пород. 4.2. Обоснование целесообразности модернизации парка погрузочного оборудования, создание и применение специальных комплексов. 4.3. Обоснование последовательности формирования транспортной системы карьера, в особенности при использовании нескольких видов транспорта, новые ресурсосберега ющие транспортные средства
5. Применение принципиально новых погрузо-транспортных комплексов для отработки глубоких горизонтов карьеров	5. Специальный экскаватор и автосамосвал на гусеничном ходу для работы на уклонах до 30%
6. Применение крутых откосов рабочих уступов и бортов карьеров в рабочей зоне и на предельном контуре.	6. Обеспечение безопасности на основе щадящего воздействия взрывных работ и мониторинга состояния законтурного массива горных пород
7. Организация предобогащения в карьере	7. Оптимизация грузопотоков и сокращение затрат в обогатительном пределе
8. Учет особенностей работы карьера в период перехода к комбинированной разработке месторождения	8.1. Комплексное использование вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций. 8.2. Обеспечение безопасности при одновременной и последовательной разработке месторождения открытыми и подземными горными работами
9. Освоение новых видов товарной продукции из отходов основного производства	9. Сокращение удельных затрат. Повышение степени комплексности использования минеральных ресурсов

Таблица 5.3

Основные направления энерго- и ресурсосбережения при освоении рудных месторождений

Мероприятие	Ожидаемый результат
1.1. Изучение физико-механических свойств рудных залежей и вмещающих пород. 1.2. Установление закономерностей распределения минерального и химического состава полезных компонентов. 1.3. Предпроектная геолого-технолого-эколого-экономическая оценка эффективности освоения месторождения и рекомендации по главным параметрам проектируемого горного предприятия	1.1. Обоснование границ карьера, промышленных кондиций, объемов и качественного состава добываемой рудной массы. 1.2. Обоснование оптимальной последовательности формирования карьерного пространства, его рабочей зоны на основе минимизации текущих объемов вскрышных работ. 1.3. Создание предпосылок для управления качеством рудного сырья. 1.4. Максимальное использование местных ресурсов
2.1. Обоснование инфраструктуры производства и потребностей во всех видах ресурсов. 2.2. Выявление возможностей одновременного или последовательного освоения нескольких месторождений	2.1. Минимизация затрат на формирование и содержание горнодобывающего и перерабатывающего комплексов. 2.2. Комплексное освоение территории горнопромышленного региона. 2.3. Создание горного предприятия как системы открытого типа
3. Применение специализированной горной и горно-транспортной техники, отвечающей природно-климатическим и горнотехническим условиям разработки месторождения	3.1. Экономия трудовых и материальных ресурсов, топлива и электроэнергии. 3.2. Управление логистикой материальных потоков в производстве и реализации товарной продукции

1. Освоение и внедрение компьютерных систем проектирования и управления горными работами на основе геоинформационных технологий.

2. Создание методического и программного обеспечения для технологического аудита действующих горных предприятий с целью разработки проектов их реконструкции.

3. Разработка алгоритмов и компьютерных программ выбора оптимальных планов формирования карьерного пространства и управления рабочей зоной карьера для различных горно-геологических условий.

4. Решение комплекса вопросов для реализации одной из наиболее важных проблем открытых горных работ — формирования предельно крутых по условиям устойчивости бортов карьеров на предельном контуре на основе изучения состояния прибортовых массивов горных пород и щадящих технологий отработки уступов в прибортовой зоне.

5. Традиционно сохраняют актуальность исследования, развивающие теорию взрывного разрушения горных пород на основе: изучения естественной и техногенной трещиноватости, микротектоники и структуры массива, в том числе с использованием многоволновой сейсмометрии; разработки моделей процесса разрушения массива с использованием компьютерных средств; развития теоретических основ и экспериментальных исследований приготовления и заряжания скважин водоустойчивыми и эмульсионными ВВ, оценки их энергетических характеристик.

6. Дальнейшее развитие теории и разработка методики выбора последовательности формирования транспортных систем карьеров с учетом новых критериев эко-

номической и экологической оценки различных видов и технических средств транспорта.

7. Разработка способов энергосбережения в ключевых технологических процессах открытых горных разработок.

В последние годы горнодобывающими предприятиями проводится обновление парка технологического оборудования, но с разной интенсивностью. Высокие показатели удельной производительности обусловлены значительной модернизацией парка оборудования, систем управления и контроля, внедрением производительных и надежных при эксплуатации машин нового поколения.

Управление текущими затратами и их минимизация являются одной из основных текущих задач горного производства, которые включают: разработку и обоснование нормативов текущих затрат; построение системы учета по местам возникновения затрат в технологических процессах и по центрам ответственности; построение системы контроля и регулирования по местам возникновения доходов и прибыли.

Реализация представленных направлений энерго- и ресурсосбережения возможна лишь с учетом особенностей разработки конкретных месторождений при реконструкции действующих, а также при проектировании, строительстве и эксплуатации новых горных предприятий.

5.2. Прогноз технологического развития в горнодобывающих отраслях промышленности

Основные аспекты прогноза как вероятностного суждения о будущем технологического развития горнодобывающих отраслей промышленности и их предприятий, как объектов управления могут выполняться на основе:

— ретроспективного анализа статистических данных функционирования отдельных предприятий или их совокупности путем выявления трендов изменения показателей основных технологических процессов открытого и подземного способов разработки месторождений, общей динамики добычных и вскрышных работ, удельных экономических показателей и пр. за достаточно длительный период эксплуатации с установлением их предполагаемых количественных параметров на перспективу от года до 20–25 лет;

— оценки, основанной на анализе технико-экономических и технологических показателей работы горных предприятий, установленных в процессе их проектирования, когда расчетами или нормами технологического проектирования во времени (сдача в эксплуатацию, полное освоение проектной мощности и далее по периодам 3–5 лет, вплоть до полной отработки месторождения) в обоснованных границах выемки экономически эффективных промышленных запасов. При этом сроки существования горных предприятий колеблются в значительных пределах (30–50 лет), а иногда и более;

— качественно-количественной оценки развития и размещения отрасли на основе совокупного анализа общих системных закономерностей динамики спроса на сырье, современных тенденций совершенствования техники и технологии горных работ, исходя из состояния и прогнозируемых требований к производимой продукции и эффективности ее производства.

В последнем случае задача является многокритериальной, поскольку в качестве оценочных показателей могут служить разнообразные целевые установки, такие как требования минимального воздействия на окружающую среду, снижения энергоемкости производства и экономии ресурсов, повышения производительности труда, снижения удельных затрат.

Прогноз, основанный на статистическом или корреляционном анализе данных, в достаточной мере распространен и предназначен для характеристики наметившихся основных тенденций по отдельным показателям разработки, устанавливает парные или множественные регрессионные зависимости для количественной оценки краткосрочной или среднесрочной перспективы, на основании которой осуществляется прогнозирование эксплуатационных затрат, удельных капитальных вложений. Однако для долгосрочных и стратегических обоснований такой подход вряд ли будет достоверен, так как он не учитывает напрямую свойств горного предприятия как природно-технологической системы, возможных существенных изменений геологических и горнотехнических условий разработки месторождений, технического прогресса горного производства, инновации в смежных отраслях.

Методика оценки долгосрочной перспективы, стратегий развития отрасли или поддержания сырьевой базы отдельного предприятия, основанная на оценке проектных решений и показателей, более объективна, поскольку учитывает в динамике изменение горно-геологических и технологических условий ведения горных работ. Вместе с тем действующий порядок проектирования в недостаточной степени учитывает изменение цен на продукцию, стоимость покупных услуг, материалов и оборудования, изменение спроса и т.п. Как правило, для технико-экономической оценки используются действующие справочники цен и расценок, аналоги, фактически достигнутые показатели или статистические многофакторные модели. Колебание спроса на сырье в разные периоды ведения работ, ухудшение качественных характеристик добываемого полезного ископаемого и экономических условий хозяйствования привело к значительному, по сравнению с предполагавшимся, изменению глубины и интенсивности отработки месторождений проанализированных предприятий, подходов к планированию горных работ, а также индивидуальных стратегий поддержания сырьевой базы каждого из них.

Прогнозируемые темпы роста валового внутреннего продукта в России влекут за собой сохранение, а по ряду стратегических видов минерального сырья и существенное увеличение спроса на сырьевые ресурсы, что возможно лишь при интенсивном освоении запасов месторождений, расположенных в более сложных природно-климатических и экономико-географических условиях. Увеличение объемов производства товарной продукции железорудного сырья рядом ГОКов связано с тем, что в условиях глобализации экономики предприятия поставляют продукцию не только на широкий круг отечественных металлургических предприятий, но и на экспорт. Анализ подходов к обеспечению конкурентоспособности уральских горных предприятий свидетельствует о том, что основными направлениями их инновационного

развития и модернизации производства (*рис.5.1*), предусматриваемыми соответствующими инвестиционными программами, являются:

— мероприятия по освоению новых и реконструкции действующих производств с изменением параметров систем разработки и вскрытия;

— комплексное использование минерального сырья и освоение выпуска новых видов продукции;

— внедрение современного энергоэффективного оборудования, в том числе большой единичной мощности;

— обеспечение снижения энергоемкости и трудоемкости получения готовой продукции;

— инновационные решения в области управления качеством минерального сырья;

— энергоэффективная комплексная глубокая переработка техногенного сырья;

— автоматизированное управление и контроль за технологическими процессами;

— оценка современного состояния техники и технологии горного производства на действующих предприятиях руд черных и цветных металлов, неметаллического рудного сырья и установление тенденций изменения технико-экономических показателей.

Рисунок 5.1. Основные направления инновационного развития и модернизации горнодобывающего производства Урала

Ретроспективный анализ динамики технологических показателей по процессам открытой разработки свидетельствует о том, что они подвергались значительным изменением. При бурении выход горной массы на ряде крупнейших железорудных ГОКов по сравнению с показателями 1990 г. закономерно снизился в связи с увеличением крепости буримых и взрываемых пород, а на некоторых, наоборот, возрос из-за перехода на бурение скважин большего диаметра. В свою очередь, мероприятия по модернизации бурового оборудования обеспечили повсеместный рост производительности станков (*рис. 5.2 и 5.3*). Объемы взрывания увеличились из-за увеличения доли скальной горной массы в соответствии с ростом объемов добычи и пропорционально текущему коэффициенту вскрыши, сопровождающему разработку полезного ископаемого. Удельный расход ВВ повысился не только из-за возрастания крепости пород, но и в связи с тем, что предприятия перешли на использование прогрессивных и более дешевых — эмульсионных ВВ.

Объемы экскавации практически на всех крупнейших ГОКах увеличились по сравнению с ожидаемыми вследствие увеличения объемов добычи и реконструкции границ разработки, потребовавшейся для поддержания рудной базы предприятий. Одновременно увеличились и объемы переэкскавации (перегрузки) горной массы из-за непредусмотренного отставания работ по вскрытию (*рис. 5.4*) и соответствующего увеличения доли автотранспорта в общем объеме перевозок (*рис. 5.5*).

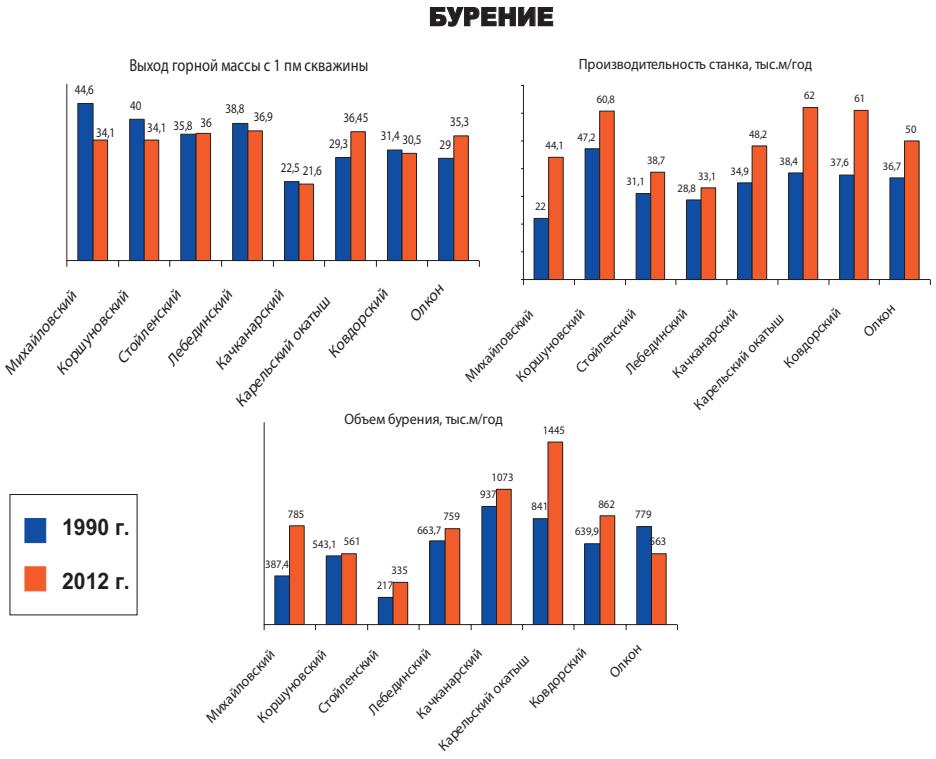


Рисунок 5.2. Динамика показателей бурения (1990–2012 гг.)

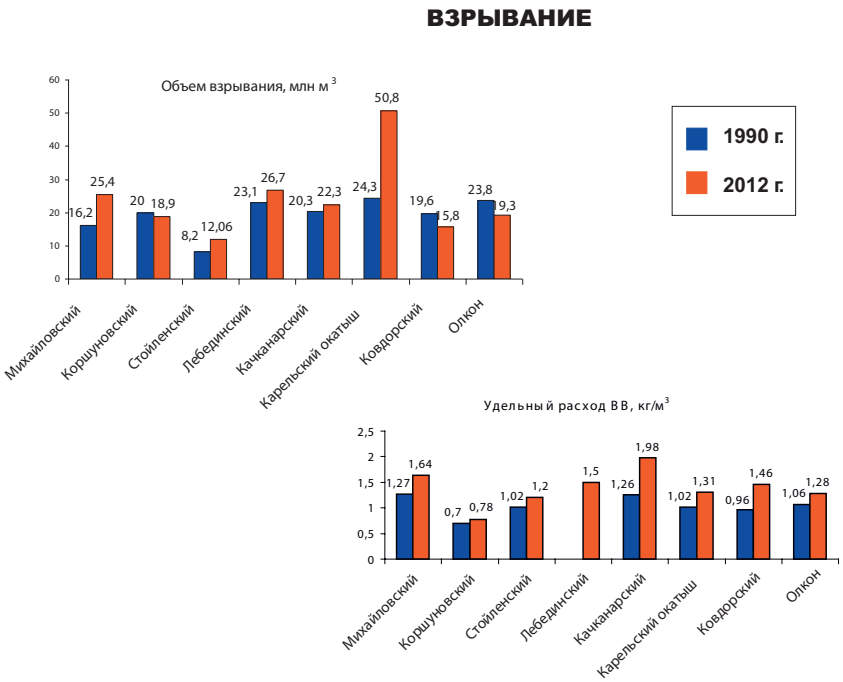


Рисунок 5.3. Показатели взрывной подготовки горной массы (1990–2012 гг.)

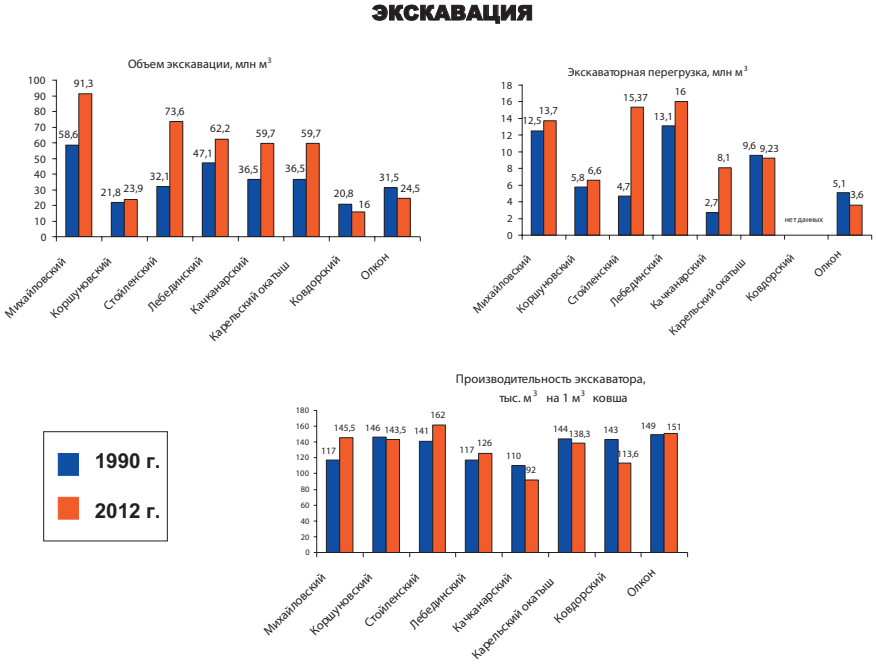


Рисунок 5.4. Динамика экскаваторных работ (1990–2012 гг.)

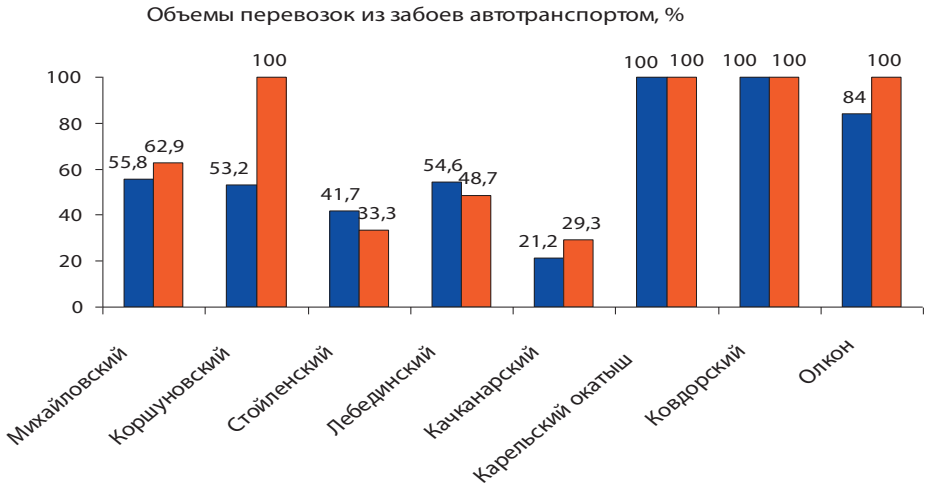


Рисунок 5.5. Показатели транспортирования горной массы (1990–2012 гг.)

Совокупный анализ причин отклонения показателей ведения горных работ по технологическим процессам по прогнозу на 2010 г. в сравнении с достигнутыми в 2012 г. (*табл. 5.4*) позволил сформулировать основные тенденции их совершенствования, которые сводятся к следующему:

1. Повышение производительности труда и эффективности горнодобывающего производства достигается масштабным обновлением парка основного горнодобывающего и обогатительного оборудования.

Необходимо внедрять оборудование с новыми технологическими свойствами: гидравлические экскаваторы (прямая и обратная лопата с емкостью ковша 10–30 куб. м) для работы в сложных забоях и селективной выемки полезного ископаемого; карьерные автосамосвалы с шарнирно-сочлененной рамой грузоподъемностью до 300 т, обладающие повышенной маневренностью и меньшими радиусами разворота по сравнению с обычными автосамосвалами (для сокращения объемов горно-капитальных работ при строительстве автодорог в карьере); на буровзрывных работах использовать буровые станки с гидроприводом основных технологических операций на основе единого первичного дизельного двигателя, что обеспечивает станку меньшую массу, возможность широкого регулирования характеристик, удобство в управлении и несложное обслуживание.

2. Опережающее внедрение инновационных решений в области управления качеством минерального сырья, среди них: технологии предобогащения минерального сырья в карьере, в том числе с помощью грохочения руды на колосниковых грохотах на перегрузочных пунктах, что позволит еще в карьере отсечь из сырьевого потока бедные руды и разубоживающие породы, а для ряда полезных ископаемых (асбест — подрешетный продукт) поднять содержание полезного компонента в 1,5–2 раза; технологии управления качеством взорванного минерального сырья; устройства для экспрессного опробования минерального сырья в транспортных сосудах; раздельная добыча и переработка различных типов и сортов руд.

Таблица 5.4

Анализ проектного прогноза фактических показателей и основных тенденций по процессам открытой разработки на железорудных карьерах

Основной технологический процесс	Характерная черта прогноза 1987 г. на период до 2010 г.	Фактический годовой показатель в 1990–2012 гг.	Основные современные тенденции совершенствования технологических процессов на период до 2025–30 гг.
Бурение	Увеличение объемов бурения. Снижение выхода горной массы с 1 м скважины и производительности оборудования. Автоматизация процессов бурения	Увеличение объемов бурения в 1,4–2,02 раза. Снижение на 2,9–30,8% или увеличение на 0,6–19,7% выхода горной массы с 1 м скважины. Увеличение производительности станков в 1,15–2,0 раза	Уточнение физико-механических свойств пород при бурении. Автоматизированный контроль режимов бурения. Полная или частичная роботизация операций
Взрывание	Увеличение доли водоустойчивых ВВ, количества и удельного расхода ВВ при возрастании доли скальной горной массы на 8%	Увеличение доли эмульсионных и горячельющихся ВВ до 80%. Увеличение объемов взрывания в 1,1–2,1 раза. Возрастание удельного расхода ВВ в 1,28–1,57 раз	Управление плотностью ВВ по глубине скважины при заряжании. Некоторое повышение удельного расхода
Экскавация	Снижение объемов экскавации на 18% и объемов экскаваторной перегрузки на 49%. Применение мехлопат, расширение доли колесных погрузчиков	Увеличение в 1,32–2,29 раза или снижение на 22% объемов экскавации. Рост объемов перегрузки в 1,1–3,27 раза. Выемка карьерными мехлопатами с появлением гидравлических экскаваторов	Рост единичной мощности мехлопат. Увеличение доли гидравлических экскаваторов. Формирование специализированных экскаваторно-транспортных комплексов
Транспортирование	Снижение объема перевозок на 14% и доли грузовой работы на 8%. Возрастание доли комбинированного транспорта до 45% и доли ЦПТ до 15%. Стабилизация объемов автоперевозок — 33%	Увеличение объема перевозок в 1,03–2,08 раза, транспортной работы ж.-д. транспорта в среднем в 1,38 раза. Увеличение доли (на 16–17% до 67%) или сокращение (на 10–19,5%) объемов перевозки автотранспортом. Объемы ЦПТ снизились на 6,2%	Применение ж.-д. транспорта в качестве сборочного звена. Повышение грузоподъемности автотранспорта. Ввод крутонаклонных конвейеров и специализированных транспортных средств с дистанционным управлением
Отвалообразование	Сокращение текущих коэффициентов вскрыши. Снижение объема вскрышных работ на 25% и доли бульдозерного отвалообразования	При среднем изменении текущих коэффициентов вскрыши с 1,9 до1,89 т/т годовые объемы вскрышных работ на ряде карьеров увеличились в 1,14–2,0 раза или снизились на 12–33%.	Стабилизация объемов экскаваторного отвалообразования. Рост доли автоотвалов в период строительства новых карьеров и доли внутренних отвалов

3. В технологиях рудоподготовки шире использовать «сухие» методы дробления, измельчения (в том числе сверхтонкого), обеспечивающие оптимальное раскрытие полезных минералов при минимизации энергоемкости операций; в крупнокусковом обогащении — высокопроизводительные методы радиометрического, магнитного, гравитационного обогащения, в глубоком обогащении — магнитное обогащение на аппаратах с постоянными магнитами, «сухие» методы гравитации, электрическая сепарация, селективная флотация.

4. Внедрять технологии комплексного извлечения ценных компонентов из полиметаллических руд, а также комплексно использовать вскрышные породы и отходы обогащения для производства строительных материалов (кубовидного щебня, строительного бутового камня, минеральной ваты и др.).

5. При развитии подземной геотехнологии при комбинированной разработке месторождений на основе модернизации технологии горных работ анализ показал, что тенденциями развития технологии вскрытия можно считать: применение комбинированного варианта вскрытия вертикальными стволами с поверхности и автоуклонами из карьера либо главным автоуклоном из карьера и вспомогательным с поверхности; увеличение скорости проходки выработок (в том числе стволов шахт, средняя коммерческая скорость проходки которых сейчас не более 15 м/месяц) за счет высокопроизводительной техники и прогрессивных способов организации; создание и внедрение специализированных транспортных средств для сквозного транспорта руды по подземным выработкам и карьеру на поверхность.

Основные тенденции развития горнодобывающих предприятий до 2025–2030 гг. и прогнозируемые технологические изменения сводятся к следующему:

— при добыче железных руд это совершенствование технологий металлургического передела с возрастанием доли производства железа прямого восстановления и горячебрикетированного железа; возрастание открытой добычи на месторождениях Дальнего Востока; расширение добычи титаномагнетитов за счет отработки по типам; приближение мест предварительной переработки руд к местам добычи: прикарьерные и внутришахтные пункты СМС; реконструкция и уточнение границ действующих ГОКов; конкурентоспособное увеличение глубины и единичной мощности (до 10–15 млн т/год) подземных рудников за счет изменения технологий добычи;

— при добыче медных руд: расширение сырьевой базы за счет переработки забалансовых руд; отработка бедных медно-порфировых руд; широкое использование рентген-радиометрических рудоподготовительных комплексов на местах ведения горных работ; применение при открытой и подземной отработке комплекса технологических схем, в максимальной степени соответствующих горно-геологическим условиям залегания;

— при комплексной переработке техногенных месторождений: снижение количества вторичных отходов, производство попутной продукции, понижение класса опасности отходов. Важным направлением технологического развития в горнодобывающих отраслях является создание инновационных технологий глубокой переработки отходов производства. В этих условиях основными и эффективными мерами сбережения и экономии минеральных ресурсов и поддержания сырьевой базы горных предприятий могут быть признаны повышение степени извлечения полезного ископаемого из недр и при переработке, вовлечение в отработку забалансовых

запасов, как из недр, так и из отвалов; организация прикарьерной (внутришахтной) рудоподготовки сырья к обогащению; раздельная добыча и переработка руд по типам, формирование рудопотоков требуемого качества, организация комплексной переработки руд.

Необходимым условием эффективной работы горнодобывающего предприятия является укомплектованность парка технологического оборудования карьеров необходимым количеством машин расчетной производительности, соответствующей совокупному объему выполняемых горных работ.

Показатели износа и использования основного горнотранспортного оборудования крупнейших железорудных предприятий России свидетельствует, например, о наличии на карьерах большого количества оборудования с повышенным износом — 70–100 %, что является одним из основных индикаторов, определяющих стратегию перевооружения горнодобывающих предприятий России.

Технологическое развитие горнодобывающих отраслей основывается на том, что на горнодобывающих предприятиях с открытым способом разработки поддержание сырьевой базы возможно за счет вовлечения в отработку глубоких горизонтов, в том числе:

— вскрытие глубоких горизонтов карьеров с использованием крутых углов откоса уступов и бортов карьеров, с применением специальной горной и транспортной техники (относительно малые габариты машин, повышенные до 20–30 % уклоны транспортных коммуникаций, расширение и возобновление использования крутонаклонных и ленточных конвейеров — ЦПТ);

— переход на подземные горные работы с возможным использованием транспортного комплекса открытых горных работ;

— комбинированная разработка глубоких горизонтов с одновременным ведением открытых и подземных горных работ с различными вариантами взаимного использования транспортных коммуникаций и выработанного пространства для складирования вскрышных пород.

Исследования по перспективам развития градообразующих и приравненных к ним горнодобывающих предприятий Свердловской области показали, что основными направлениями их инновационного развития являются поддержание сырьевой базы, совершенствование техники и технологии, в том числе реконструкция вскрытия, а также реконструкция обогатительного передела, сопровождающаяся расширением перечня производимой продукции за счет комплексного использования минерального сырья. Использование инновационного потенциала основных процессов горного производства на период до 2030 г. связано, прежде всего, с требованиями максимального снижения их энергоемкости и ресурсоемкости, для чего при модернизации и реконструкции следует исходить из целенаправленной адаптации технологических схем и производственных процессов, ориентированных на наибольшее соответствие реальным горно-геологическим и горнотехническим условиям ведения работ, т.е. на специализированные горные комплексы.

Принципиальным вопросом технологического развития в горнодобывающих отраслях промышленности является доля использования импортной и отечественной горной и транспортной техники. Импортная техника в большинстве случаев более производительна и надежна, однако, как правило, более дорога, не всегда отвечает природным условиям, ее применение не стимулирует развитие отечественного

горного машиностроения, что негативно сказывается на социально-экономическом развитии страны в целом. С этих позиций рациональным представляется подход, при котором, по условиям максимального снижения энергоемкости процессов горного производства, следует отказаться от унификации применяемого парка оборудования и, целенаправленно типизировав условия и технологические схемы отработки, использовать специализированные горные комплексы.

5.3. Краткая оценка инновационного потенциала основных процессов горного производства

Разработка долгосрочной стратегии инновационно-технологического развития включает решение комплексных задач: обоснования технических и технологических параметров применяемой техники и технологии, отвечающей специфическим условиям вновь осваиваемых месторождений; выработки новых подходов к развитию технологии горного производства; разработки комплекса организационно-экономических мероприятий и управленческих воздействий по повышению эффективности и безопасности добычи.

Всем перечисленным инженерным мероприятиям должно предшествовать введение обязательного технологического и организационно-технического аудита как метода оценки внутрипроизводственных резервов. В технологии разработки основными направлениями энерго- и ресурсосбережения являются:

— переход на комбинированную разработку глубокозалегающих месторождений;

— создание новой горной и транспортной техники, позволяющей увеличить угол откоса бортов карьеров и существенно сократить объемы вскрышных работ, а также доработать запасы ниже проектного дна карьеров без разноса бортов;

— учет состояния массива горных пород, находящихся на большой глубине, при ведении буровзрывных работ; при этом следует использовать весь арсенал имеющейся контрольно-измерительной аппаратуры для выявления основных закономерностей разрушения горной массы с целью перераспределения энергии взрыва на дробящее и нарушающее массив действие;

— увеличение конструктивного угла погашения бортов, которое возможно при повышении руководящего уклона вскрывающих траншей. Такое мероприятие влечет за собой приспособление существующих транспортных средств, а также создание новых транспортных средств и углубочных специализированных комплексов, способных работать в стесненных условиях и на крутых уклонах;

— повышение полноты извлечения полезных компонентов, что возможно при использовании предварительной рудоподготовки в карьере путем грохочения, реа-

лизуя при этом закономерности содержания полезного компонента в зависимости от гранулометрического состава, а при обогащении на поверхности — новые методы рудоподготовки и оборудование.

Актуальным вопросом для горнодобывающего комплекса является повышение комплексности и полноты извлечения полезных ископаемых. В целях повышения эффективности освоения минерально-сырьевой базы необходимо активно внедрять принципиально новую систему управления минеральными ресурсами, предусматривающую повышение полноты и комплексности использования содержащихся в них полезных компонентов. Система требует тесной взаимоувязки геологоразведочных и горных работ, обогащения и металлургического передела сырья по времени и форме (согласованность результатов входных и выходных операций) с организацией надежной обратной связи. В современных условиях это может быть создано на основе геоинформационных технологий накопления и оценки минеральных ресурсов, а также единой автоматизированной системы управления качеством руд и комплексным использованием минерального сырья, охватывающей все стадии цикла проектирование — планирование — добыча — переработка и соответствующей иерархической природе управления горно-металлургической отрасли и добывающих предприятий.

Перспектива повышения эффективности технологии очистной выемки переходных зон крупных месторождений определяется возможностью использования карьерного пространства. Разработанные технологические решения по отработке приконтурных зон свидетельствуют о том, что при эксплуатации крупномасштабных месторождений ресурсосбережение обеспечивается, прежде всего, за счет применения комплекса разнообразных технологических схем подготовки и очистной выемки, в наибольшей степени соответствующих горно-геологическим, горнотехническим и геоэкономическим условиям.

К основному направлению инновационного совершенствования технологических параметров процессов открытой разработки и обеспечения стабилизации ее показателей с ростом глубины карьеров следует отнести техническое перевооружение и модернизацию геотехники, обеспечивающей энерго- и ресурсосбережение при ведении горных работ.

На долгосрочную перспективу шарошечный способ бурения взрывных скважин прогнозируется как основной, на его долю приходится около 90 % всего бурового парка и 95 % ежегодного объема бурения. Отмечается тенденция к замене станков СБШ-250 и их модификаций на СБШ-270 и его импортных аналогов. Фактическая производительность буровой техники по предприятиям варьирует в значительных пределах и составляет 28,1–67,2 тыс. м/год, что свидетельствует о значительных резервах повышения ее использования во времени за счет внедрения инновационных методов управления и организации производства применительно к конкретным горнотехническим условиям. Экспериментально установлено, что у станков СБШ-250 МН на бурение скважин глубиной 20 м расходуется электроэнергии от 100 до 250 кВт·ч., в том числе на вспомогательные операции 20 кВт·ч. Энергоемкость бурения скважин в зависимости от крепости пород изменяется в пределах от 10,4 до 18,5 кВт·ч. Усредненный удельный расход электроэнергии на бурение скважин на карьерах черной металлургии составляет 17 кВт·ч/м. Инновационным потенциалом снижения электропотребления на бурение является улучшение конструкции

долот и станков, а также их наиболее полное соответствие конкретным прочностным свойствам и структурным особенностям локальных массивов. В целях определения прочностных свойств массива и составления на их основе классификации массива горных пород по буримости и взрываемости с достаточной точностью и оперативностью предложен усовершенствованный метод оценки структурно-прочностных характеристик пород и руд месторождений, в основе которого лежит определение энергоемкости разрушения горных пород в процессе бурения, а также давления сжатого воздуха в пневмосети станка, подаваемого на очистку забоя скважины при бурении. Предложен способ экспрессного исследования свойств породных массивов, который заключается в моделировании крепости горных пород на основе данных, получаемых в процессе бурения технологических скважин. Разработана методика определения удельного расхода ВВ по данным бурения технологических скважин, основанная на прогнозе свойств горных пород, характеризующемся энергоемкостью бурения технологических скважин. Поскольку расчетная величина показателя буримости ($П_б$) и эталонного удельного расхода ВВ ($q_э$) связаны между собой и определяются физико-механическими свойствами горных пород, эталонный расход ВВ функционально связан с величиной показателя трудности бурения.

$$q_э = k\,(\sigma_{сж} + \sigma_{сд} + \sigma_р + 10_\gamma) \qquad (5.1)$$

$$П_б = 0{,}07\,(\sigma_{сж} + \sigma_{сд} + 10_\gamma) \qquad (5.2)$$

$$q_э = k\,(\frac{П_б}{0{,}07} + \sigma_р) \qquad (5.3)$$

В свою очередь показатель трудности бурения коррелирует коэффициенту крепости пород по М.М. Протодьяконову ($П_б \approx 0{,}95 \cdot f$). С другой стороны, его величина может быть определена по данным шарошечного бурения следующим образом:

$$П_б = (\frac{P_o \bullet n^{0,8}}{\upsilon_\tau \bullet D})^{0,625} \qquad (5.4)$$

где P_o – осевое усилие, кН; n – частота вращения, мин$^{-1}$; υ_τ — техническая скорость бурения, м/ч; D — диаметр долота, см.

Таким образом на основе результатов хронометража и анализа данных технологического бурения появляется реальная возможность прогноза (моделирования) прочностных свойств горных пород, а следовательно, определять (уточнять) параметры БВР.

На рис. 5.6 представлена схема получения исходных данных для построения цифровой модели прочностных свойств (крепости по М.М. Протодьяконову) в блоке, подготавливаемом к взрыву. На основании полученных результатов разработана методика определения удельного расхода ВВ по данным бурения технологических скважин, которая позволяет строить модели изменения крепости пород по высоте

уступа, определять взаимосвязь между энергетическими характеристиками процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород, а также уточнять массу зарядов ВВ по каждой скважине выемочного блока. Представленная модель позволяет разбить взрываемый блок на ячейки и для каждой ячейки установить необходимый удельный расход ВВ, а в последствии корректировать его значение по глубине скважины. Схема к определению удельного расхода ВВ по данным энергоемкости бурения представлена на рис. 5.7.

Для измерения электрических параметров основных двигателей станка, регистрации глубины и времени бурения создано стационарное экспериментальное устройство сбора данных о текущих энергозатратах по глубине скважины при бурении в различных по прочности, трещиноватости, перемежаемости горных породах на основе технических требований, разработанных ИГД УрО РАН. Испытания стационарного устройства сбора данных проведено в центральном карьере ОАО «Ураласбест» при обуривании взрывного блока, сложенного, согласно геологической документации предприятия, серпентинитом и диоритом. В результате испытаний выявлена целесообразность усовершенствования устройства на основе создания портативного его варианта, позволяющего, во-первых, производить ускоренное подключение датчиков к электрической системе станка без помощи представителя электротехнического персонала предприятия, во-вторых, измерять только наиболее значимые параметры процесса бурения для определения прочностных свойств массива горных пород.

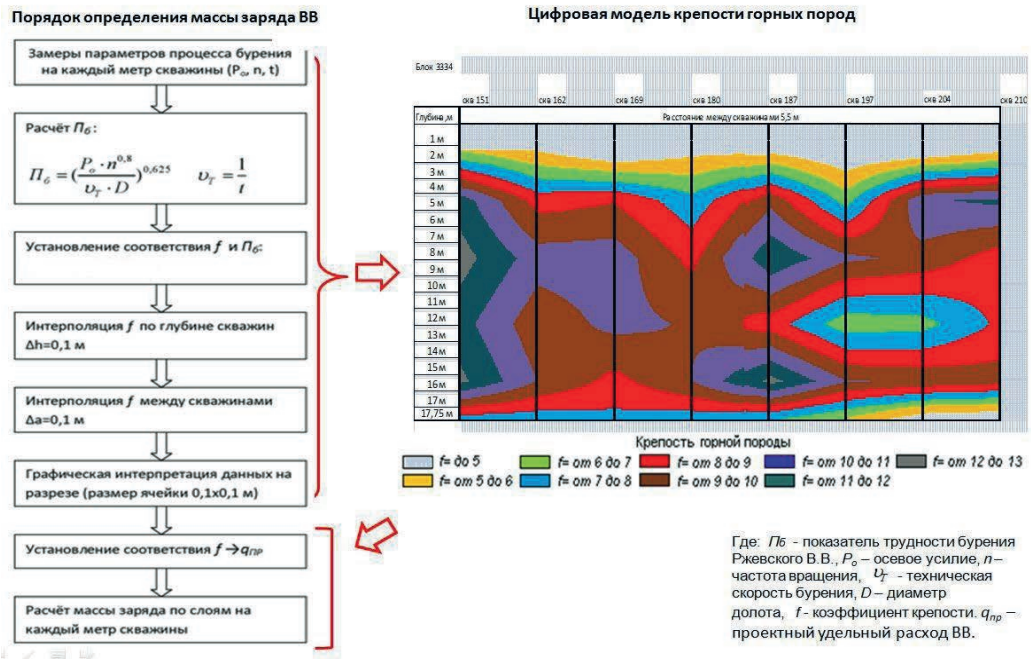
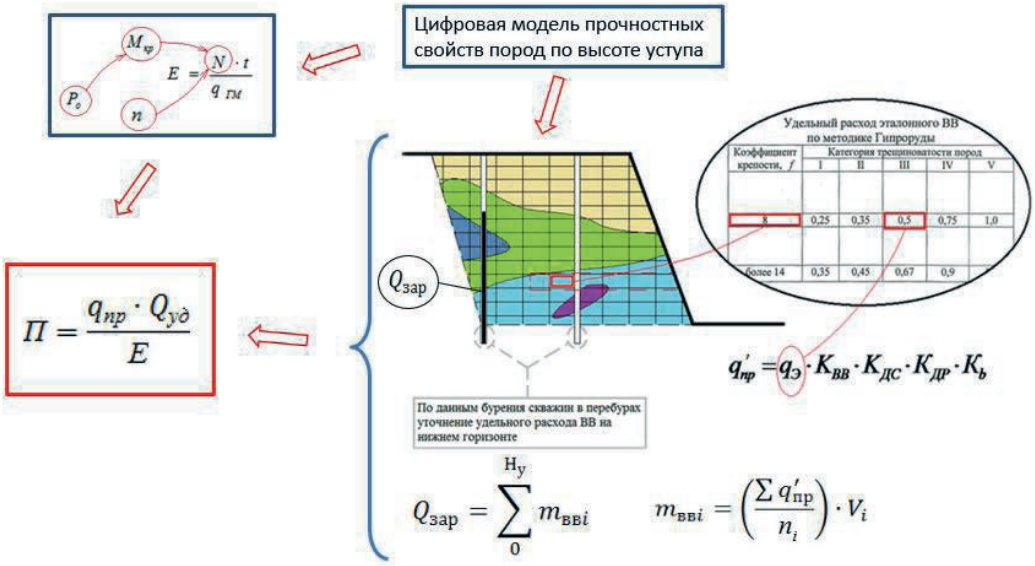


Рисунок 5.6. Схема построения цифровой модели крепости горных пород.



$$E = \frac{N \cdot t}{q_{гм}}$$

$$П = \frac{q_{пр} \cdot Q_{уд}}{E}$$

$$q'_{пр} = q_э \cdot K_{ВВ} \cdot K_{ДС} \cdot K_{ДР} \cdot K_b$$

$$Q_{зар} = \sum_{0}^{Н_у} m_{ввi} \qquad m_{ввi} = \left(\frac{\sum q'_{пр}}{n_i}\right) \cdot V_i$$

Рисунок 5.7. Схема к определению удельного расхода ВВ на основании модели изменения крепости пород по высоте уступа:
$Q_{зар}$ – вес заряда в скважине, $m_{ввi}$ – масса ВВ на слой, n_i – число элементов слоя, V_i – объём слоя, N – мощность двигателя вращателя, $M_{кр}$ – момент вращения долота, n – частота вращения долота, t – среднее время бурения 1 м, P_o – осевое усилие, $Q_{уд}$ — удельная теплота взрыва, $q_{пр}$ – проектный удельный расход ВВ по методике Гипроруды, $q_{гм}$ — выход горной массы с 1 м скважины, E – энергия на обуривание 1 м³ горной породы, $П$ – коэффициент пропорциональности между энергиями на обуривание и взрывное разрушение.

Полученные данные служат основой для выполнения корректировочных расчетов с целью уточнения параметров зарядов в скважинах блока, подготавливаемого к выемке. Инновационным потенциалом перспективного совершенствования этой технологии является изменение рецептуры зарядов с необходимой энергоемкостью в каждой отдельно взятой скважине, а также варьирование энергии скважинного заряда по высоте колонки с учетом сопротивляемости массива разрушающему действию взрыва. Прогнозируемое по России потребление ВВ к 2025 г. составит 1300–1400 тыс. т/год, в том числе эмульсионных ВВ 1100–1150 тыс. т/год.

Основной тенденцией снижения затрат на производство взрывных работ является создание взрывчатых смесей из матричной эмульсии и АС-ДТ — гранэмитов. Такие технологии взрывного разрушения локальных массивов решают проблему энерго- и ресурсосбережения за счет использования сравнительно дешевых ЭВВ, изготавливаемых вблизи мест их применения из доступных компонентов и отходов от различных промышленных производств. Для изготовления эмульсионных взрывчатых смесей вблизи мест их применения в процессе заряжания скважин используются конкурентоспособные смесительно-зарядные машины (СЗМ) производства опыт-

ного завода ОАО «НИПИГОРМАШ», ЗАО «Нитросибирь», ОАО «Гормаш» (г. Белгород), а также зарубежных фирм: Швеции («Орика»), Канады, Китая. При этом производительность труда при заряжании скважин возрастает в 2–2,5 раза.

Установлено, что при добыче хромитов, железных, золотоносных и медных руд на месторождениях Приполярного Урала, а также цементного сырья, кварца и угля среднегодовой расход ВВ составит примерно 110–115 тыс. т/год. Расчеты показывают, что при освоении твердых полезных ископаемых Полярного и Приполярного Урала следует организовать три стационарные базы емкостью до 200 т для хранения компонентов ЭВВ с целью обслуживания горных предприятий смесительно-зарядными машинами типа СЗМ-завод с эффективным радиусом действия до 500 км.

На базе экспериментальных исследований с привлечением теоретических данных разработана математическая модель, алгоритм и компьютерная программа пространственно-временных режимов дробления горных массивов разрушающими деформациями индуцированными технологическими взрывами методом многорядного короткозамедленного взрывания (МКЗВ).

Опытное применение расчетных интервалов времени замедления между зарядами как в ряду скважин, так и между рядами проведена в натурных условиях на карьерах ОАО «Ураласбест» и «ЕВРАЗ КГОК» с использованием как детонирующего шнура, так и неэлектрических систем инициирования скважинных зарядов (*табл. 5.5 и 5.6*).

Таблица 5.5

Результаты расчета интервалов времени замедления при взрывании технологических блоков

Категория взрываемости пород	t_1, мс	t_2, мс	t_3, мс	Время формирования зон дробления, $t_1+t_2+t_3$, мс	Время отхода отбиваемого участка на расстоянии 0,2 м, t_4, мс	Рациональная величина времени замедления, мс
III	3	23,0	28	54,0	31	85 / 100
IV	3	25,6	24	52,6	30	83 / 100
V	3	30,7	17	50,7	28	79 / 100

Примечание. В числителе — расчетные интервалы, в знаменателе — рекомендуемые номиналы НСИ.

Таблица 5.6

Результаты испытаний схем МКЗВ

Категория взрываемости пород	Интервал замедления между зарядами (первого ряда скважин)–(последующих рядов в диагонали), мс	Выход негабарита, %		Выход негабарита в среднем по блокам, %	Время погрузки 1000 т горной массы, мин
		По первой экскаваторной заходке	По последующим заходкам		
V	(35-42)–(35-42) (67-100)–(42-67)	3,87 / 3,01	1,86 / 1,17	2,54 / 1,65	63±4 / 60±2
IV		2,90 / 2,17	1,32 / 0,91	1,81 / 1,38	61±3 / 59±4
III		1,36 / 1,09	0,84 / 0,63	0,99 / 0,86	59±2 / 58±2

Примечание. В числителе — при традиционных, в знаменателе — при разработанных схемах МКЗВ.

Исследование показало, что увеличение ранее применявшихся интервалов времени замедления в скважинах первого ряда с 25 до 109 мс и в скважинах последующих рядов до 67 мс обеспечивает независимую работу зарядов и увеличение доли энергии взрыва на дробление, в результате чего средний выход негабарита уменьшается в 1,5–1,6 раза, приводя в конечном итоге к повышению производительности экскаваторов и снижению расхода взрывчатых веществ на вторичное дробление в 1,5–1,6 раза. Применение при отработке приконтурных лент уступов рекомендуемых интервалов времени замедления 100 мс против 35–42 мс обеспечило значительное снижение передачи энергии взрыва скважинных зарядов в законтурный массив, что приводит к уменьшению в нем остаточных деформаций и зоны нарушения на 30–40 %.

Прогнозируемое развитие выемочной техники, в том числе для проектируемых мощных угольных и железорудных карьеров Якутии, связано, прежде всего, с увеличением емкости ковша экскаватора до 12–50 м^3 с учетом вместимости кузова автосамосвалов. При этом стоимость карьерных экскаваторов и их эксплуатационные характеристики зависят от условий применения и определяются видом напора (реечный или канатный). Инновационным является освоение выпуска экскаватора с ковшом активного действия (ЭКГ-5В). В 1990-х годах такие экскаваторы хорошо зарекомендовали себя при выемке полускальных пород, обеспечивая значительное снижение расхода ВВ или отказ от взрывной подготовки. Однако недостаточная стойкость пневмоударника виброзубьев сдерживала их широкое внедрение. К настоящему моменту в ИГД СО РАН отработаны новые конструкции ударников с повышенной стойкостью и удельным давлением. Это позволит использовать указанную технику, в том числе и в северных районах с наличием значительного количества мерзлых пород, с минимальным использованием взрывных работ.

Прогнозируемое развитие потенциала автотранспортных средств связано с увеличением его грузоподъемности до 350–400 т, пропорционально увеличивающейся емкости ковша карьерных экскаваторов. Одновременно для тяжелых условий севера, особенно в период освоения месторождений в сложных климатических и горнотехнических условиях, целесообразно использование гусеничных автосамосвалов грузоподъемностью 20–40 т и более. Прогнозируется организация выпуска газо-дизельных двигателей, использующих в качестве газового компонента сжиженный природный газ и создание инфраструктуры для производства криогенного топлива. В последнее время, в связи со значительным увеличением глубины большинства мощных карьеров, прогнозируется возрастание роли циклично-поточной технологии, предусматривающей использование автомобильного транспорта в паре с крутонаклонными конвейерами различной конструкции, о чем свидетельствуют результаты наших совместных исследований с Карагандинским техническим университетом (РК Казахстан).

С целью повышения эффективности извлечения железорудного сырья разработан способ дезинтеграции материала, содержащего ферромагнитные компоненты (патент 2449836, 2012 г.), что позволяет на основе экспресс-контроля качества бурового шлама применительно к титаномагнетитам Гусевогорского месторождения, промпродукта и текущих хвостов обогащения строящегося Сосновского рудника, отрабатывающего Теченское месторождение железных руд, использовать физико-химический рентгенофлуоресцентный метод анализа (спектрометр ThermoNITONXL2B). В процессе наладки обогатительного передела значительно снижены потери железа в хвостах обогащения за счет оперативного управления тре-

мя режимами обогащения и подбора оптимальных режимов для каждого из типов руды (*рис. 5.8–5.11*).

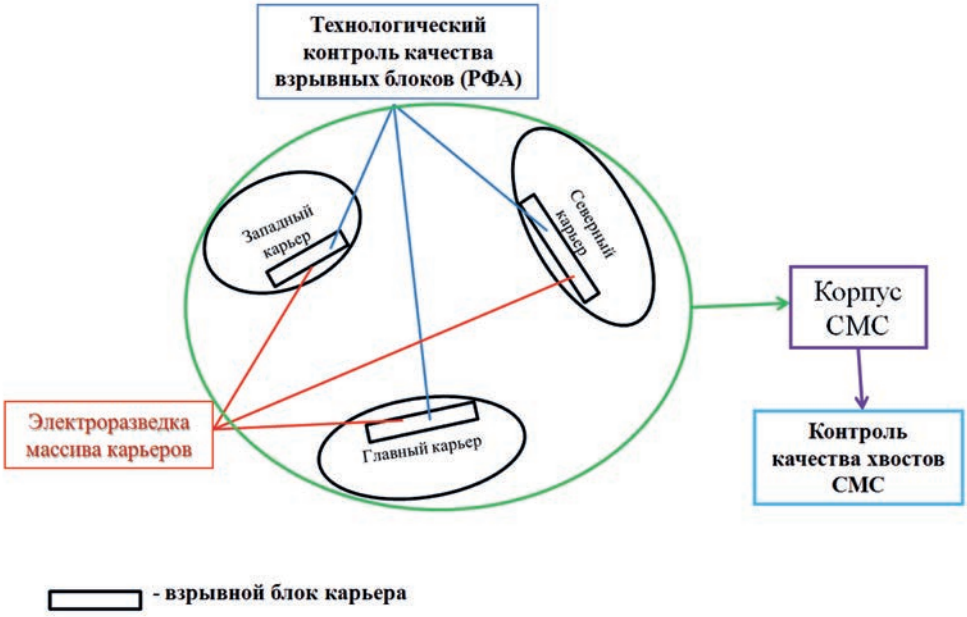


Рисунок 5.8. Обобщенная схема экспресс-опробования железорудного сырья на ОАО «ЕВРАЗ КГОК»

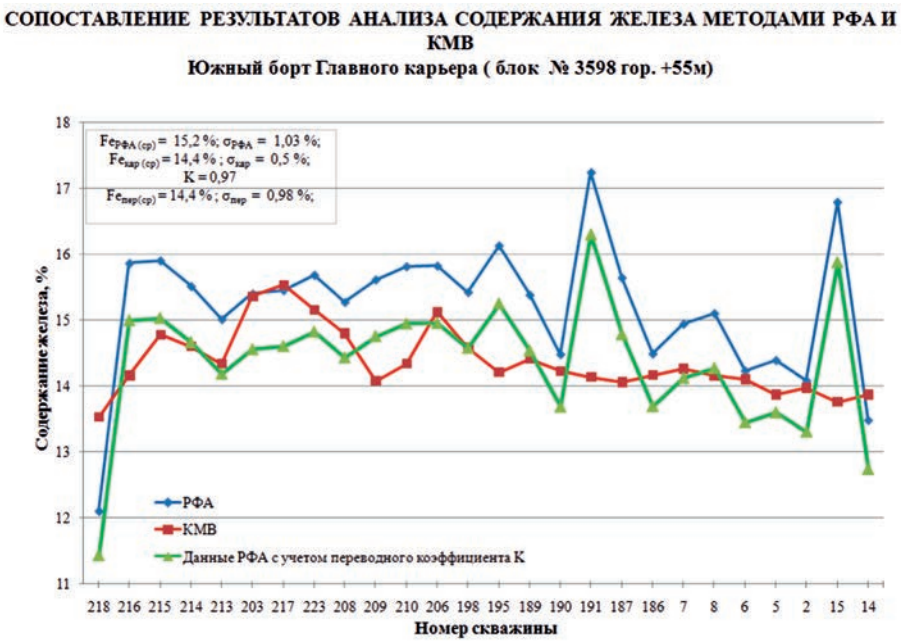


Рисунок 5.9. Результат сопоставительного анализа методик опробования сырья

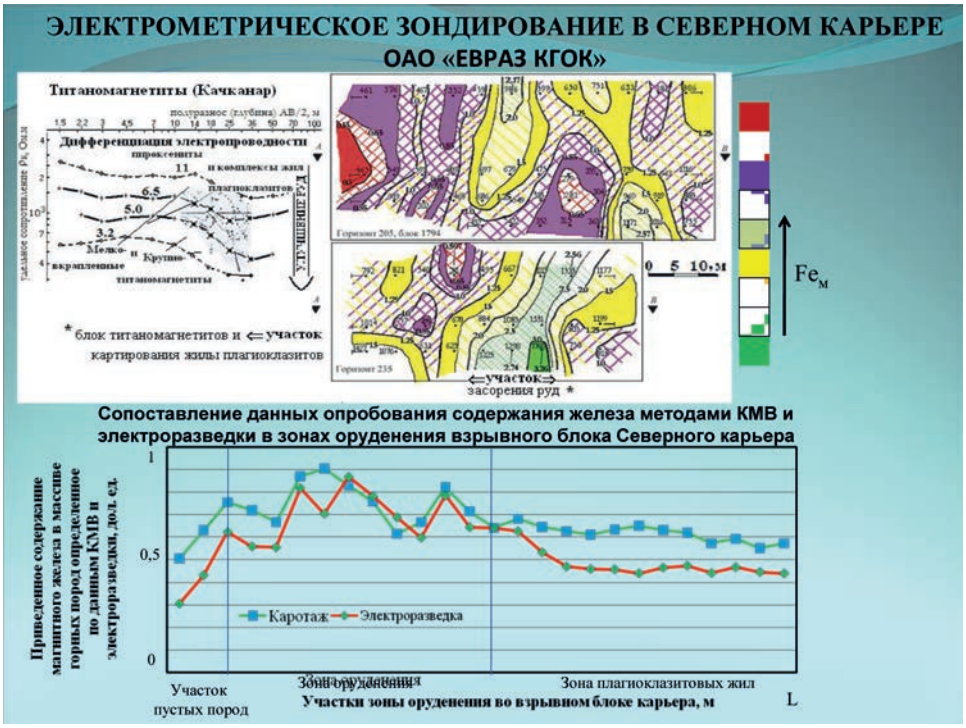


Рисунок 5.10. Результат сопоставления данных магнитного каротажа и электрометрического зондирования в Северном карьере ОАО «ЕВРАЗ КГОК»

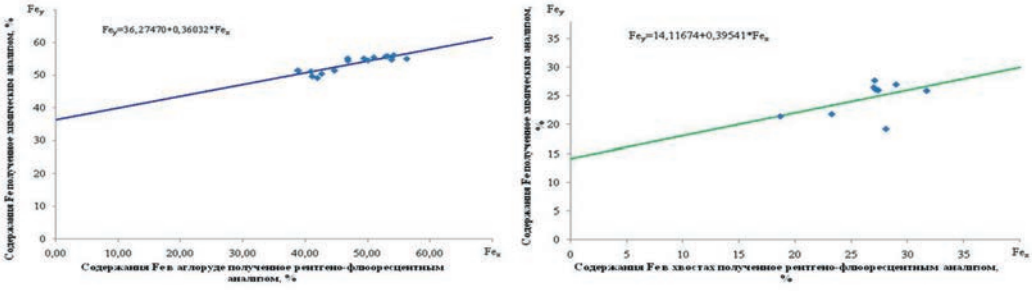


Рисунок 5.11. Сопоставительные характеристики данных химического анализа и РФА аглоруды и хвостов обогащения на ОАО «Сосновский ГОК»

Важным направлением энерго- и ресурсосбережения является разработка и реализация системы обеспечения безопасности производства (СОБП) технологических процессов и горного производства в целом. Наиболее действенным способом значимого повышения эффективности работы СОБП является ее интеграция в систему управления предприятия с целью обеспечения воздействиям системы превентив-

ный характер. Реализация этих решений нацелена на эффективное использование внутреннего потенциала на примере угледобывающих предприятий, что, естественно, является существенным вкладом в энерго- и ресурсосбережение за счет резкого снижения затрат на ликвидацию последствий травм и аварий.

5.4. Организация прикарьерной (внутришахтной) рудоподготовки сырья к обогащению

В качестве основного технологического направления компенсации ухудшения качества полезного ископаемого в недрах признаны предварительная рудоподготовка, усреднение и сортировка руд. Эффективным звеном рудоподготовки при эксплуатации железорудных месторождений является сухая магнитная сепарация. Корпуса СМС, перерабатывающие значительные (до 10–50 млн т) объемы сырой руды, традиционно строятся вблизи обогатительных комплексов. Однако последние исследования показывают, что строительство отделений СМС вблизи карьеров или размещение их под землей, т.е. в непосредственной близости от рудопроизводящего комплекса, в значительной мере сокращает расходы на транспортирование рудной массы к обогатительной фабрике (не менее 13–15 %), исключает встречные перевозки хвостов СМС в отвалы, улучшает экологическую составляющую процесса обогащения за счет того, что позволяет существенно сократить общий объем перевозок и перегрузок руды и отходов обогащения. Подобные мероприятия прогнозируются на Тарыннахском ГОКе при совместной отработке Тарыннахского и Горкитского месторождений, Таежном ГОКе (месторождения Таежное и Десовское), Качканарском ГОКе (Гусевогорское и Собственно Качканарское месторождения) и других крупных железорудных ГОКах.

Организация рудоподготовки на местах ведения горных работ значительно уменьшает риски реализации инвестиционных проектов за счет общего снижения совокупных эксплуатационных затрат, улучшения логистической составляющей перемещаемых и перерабатываемых объемов горной массы, а также некоторого сокращения капиталоемкости горно-обогатительного производства. Процесс рудоподготовки, связанный с использованием методов фото- и рентген-радиометрической сепарации, системно влияет не только на последующие стадии обогащения, но и на организацию ведения горных работ, а также повышение степени использования недр за счет установления рационального соотношения потерь и разубоживания при добыче. Указанные способы рекомендуются при селективной выемке сырья с разным вещественным и химическим составом и наиболее эффективны на горных предприятиях небольшой или средний производительности, особенно если они удалены от мест глубокой переработки руд.

Исследования свидетельствуют о том, что введение в технологический цикл рудоподготовительного звена сокращает объем перевозимой рудной массы более чем на 30 %, а соответственно этому уменьшается расход ГСМ и электроэнергии на перевозку до мест глубокого обогащения, снижается удельная энергоемкость производства концентрата за счет повышения качества перерабатываемого сырья и сокращения его объема. Накопленный опыт проектирования отработки месторождений свидетельствует о том, что термин «усреднение руд» следует использовать не только как процесс горных работ, связанный с формированием рудопотока заданного качества, но и как рудоподготовку — начальный процесс обогатительного передела, основанный на специфических требованиях к последующей переработке полезного ископаемого.

В качестве перспектив повышения степени извлечения полезного ископаемого из недр предлагаем следующие основные направления исследований в области:

— обоснования параметров технологий раздельной добычи, переработки и плавки рудного сырья, в том числе титаномагнетитовых руд (ванадистых, титанистых, рядовых), обеспечивающих повышение извлечения железа, титана и ванадия в металл с существенным расширением уральской железорудной базы и модернизацией металлургического передела;

— обоснования комплексной переработки бедных и забалансовых руд медно-порфировых и сульфидных месторождений и на этой основе — переоценки российской минерально-сырьевой базы меди;

— разработки инновационных технологий эффективной переработки и утилизации техногенных минеральных образований как значительного резерва, расширяющего минеральную базу России.

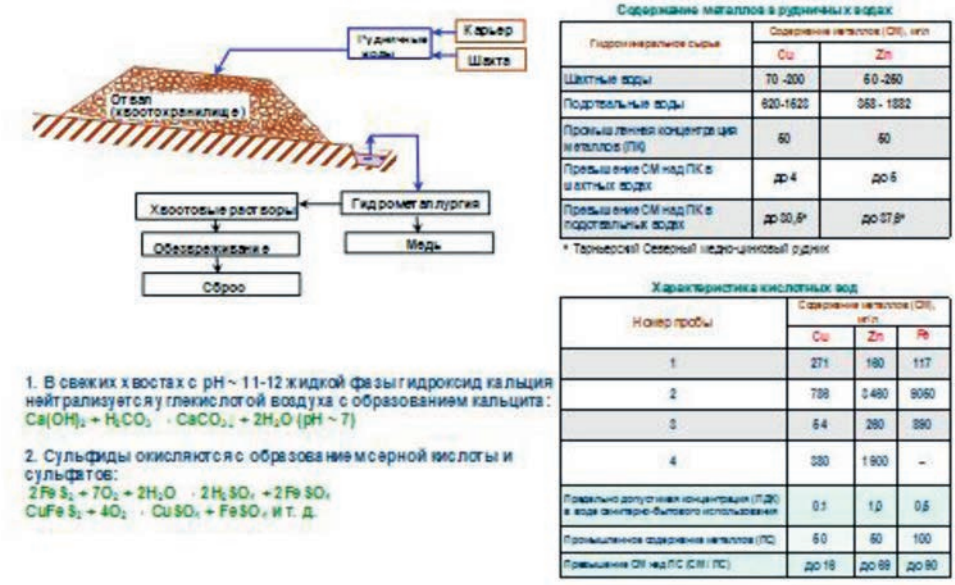
При обследовании медно-цинковых месторождений (Гайское, Лёвихинское, Учалинское, Черемшанское и Тарньерское), отвалов вскрышных минерализованных пород на их территории, а также подотвальных стоков на Гайском, Учалинском, Карабашском, Кировградском хвостохранилищах были выявлены концентрированные шахтные и подотвальные воды с высоким содержанием меди, цинка и железа, сформировавшиеся самопроизвольно в результате геохимических изменений среды в отвалах сульфидных отходов на поверхности Земли.

Использование кислотных рудничных вод для приготовления технологических растворов, применяемых при выщелачивании сульфидного сырья (колчеданные и другие типы руд, минерализованные вскрышные породы, хвосты обогащения), существенно повышает качество продуктивных растворов за счет суммирования концентраций ценных компонентов, растворенных в рудничных водах и выщелачиваемом сырье. На основании полученных патентов разработаны процессы подземного выщелачивания металлов из хвостов обогащения сульфидных руд с использованием тепла недр Земли и давления (*рис. 5.12*). Предложена комбинированная геотехнология, сочетающая подземную технологию камерной выемки с закладкой выработанного пространства сульфидсодержащими отходами обогащения и физико-химическую технологию их выщелачивания. При этом подземное выщелачивание хвостов, размещаемых в выработанном пространстве, позволяет производить работы круглогодично при положительных значениях температур в подземных выработках. С понижением горных работ температура повышается в соответствии с геотермическим градиентом, что только положительно влияет на скорость выщелачивания ценных

компонентов из хвостов (*рис. 5.13*). Выщелачивающий раствор готовится на основе кислотных металлсодержащих рудничных вод с pH=2÷3, емкость для сбора которых размещают на горизонтах ниже выщелачиваемых камер. Основным условием безопасного применения физико-химического способа извлечения полезных компонентов из закладочного материала на действующих рудниках является удаленность от действующих добычных блоков и транспортных выработок. Применение описываемого способа выщелачивания может быть расширено за счет использования рудничных дренажных вод для обработки хвостохранилищ и породных отвалов. При этом полученная результирующая массовая доля водорастворимых форм меди, цинка и железа будет также в несколько раз выше концентрации водных растворов, обеспечивающих эффективное применение гидрометаллургической переработки гидроминерального сырья.

При разработке технико-экономических предложений (ТЭП) по освоению Вагранской золоторудной площади ожидалось, что по результатам разведки будет оконтурен ряд рудных тел со средним содержанием золота 3,06 и 5,33 г/т, которые ранее были предварительно получены геологоразведкой на Сурьинской и Оленевской рудных зонах. Общие прогнозируемые нами промышленные запасы руды, подлежащей открытой разработке по Сурьинско-Оленеевскому участкам, составляют 26,541 млн т при среднем коэффициенте вскрыши 4,46 м^3/т.

Для отработки прогнозируемых запасов предусмотрены технические решения, позволяющие приступить к добыче с выходом на ежегодный объем производства в пределах 1,0–1,1 млн т сырой руды со средним содержанием золота 3,5 г/т. При этом ожидаемая годовая производительность по вскрыше в период эксплуатации



Содержание металлов в рудничных водах

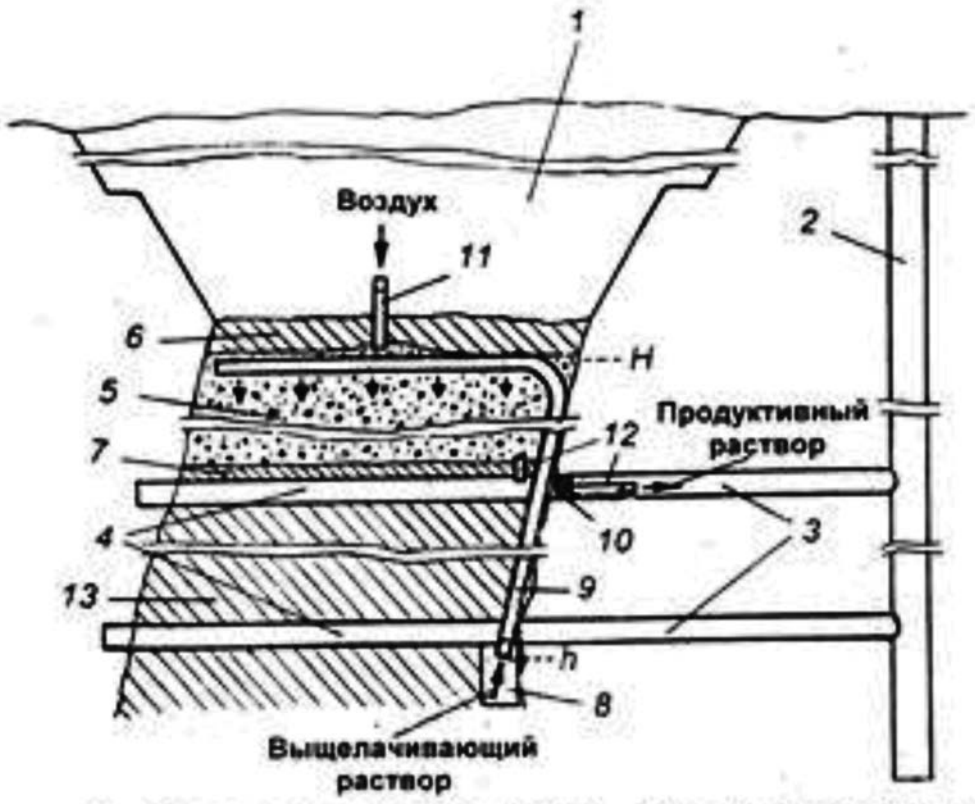
Гидроминеральное сырье	Содержание металлов (СМ), мг/л	
	Cu	Zn
Шахтные воды	70 -200	60 -260
Подотвальные воды	620-1620	368 - 1882
Промышленная концентрация металлов (ПК)	60	60
Превышение СМ над ПК в шахтных водах	до 4	до 6
Превышение СМ над ПК в подотвальных водах	до 30,8*	до 37,8*

* Тарньерский Северный медно-цинковый рудник

Характеристика кислотных вод

Номер пробы	Содержание металлов (СМ), мг/л		
	Cu	Zn	Fe
1	271	180	117
2	788	3 480	9060
3	64	280	890
4	330	1 900	–
Предельно допустимая концентрация (ПДК) в воде санитарно-бытового использования	0,1	1,0	0,5
Промышленное содержание металлов (ПС)	60	60	100
Превышение СМ над ПС (СМ / ПС)	до 18	до 88	до 90

Рисунок 5.12. Схема подземного выщелачивания сырья
с использованием тепла недр Земли на Тарньерском Северном медно-цинковом руднике



1 — карьер; *2* — ствол шахты; *3* — квершлаг, *4* — орт; *5* — отработанная камера, заполненная закладкой; *6* — потолочина отработанной камеры; *7* — подина отработанной камеры; *8* — емкость для сбора шахтной воды и приготовления выщелачивающего раствора; *9* — трубопровод для подачи выщелачивающего раствора в камеру выщелачивания; *10* — герметичная перемычка; *11*— патрубок для подачи воздуха в камеру выщелачивания; *12* — патрубок для вывода продуктивного раствора из камеры выщелачивания; *13* — нижележащий добычной блок.

Рисунок 5.13. Схема ресурсосберегающего метода выщелачивания сырья

будет изменяться по этапам отработки в пределах 5,3–4,3 млн м^3/год. Исходя из обоснованных главных параметров разработки ТЭП современное буровое, выемочное и транспортное оборудование в наибольшей степени соответствует горнотехническим условиям ведения горных работ. Использование модели экскаватора ЭКГ-5В позволяет осуществлять взрывание массива на встряхивание, тем самым сократить расход ВВ практически в 2 раза. Применение шарнирносочлененных автосамосвалов обеспечивает повышение уклонов внутрикарьерных автодорог, тем самым сокращаются расстояние и затраты на транспортирование горной массы. Полнота извлечения из недр при добыче обеспечивается отработкой рудного массива подуступами высотой 7,5 м с целью снижения потерь и разубоживания. При построении схемы обогащения предусмотрен цикл предварительного прикарьерного обогащения с использованием на крупнодробленой руде фотометрической сепарации, способствующей выделе-

нию части отвальных хвостов с минимальными потерями полезного компонента в «голове» технологической схемы обогащения.

Совокупность предложенных решений по выделению стадии предварительной рудоподготовки системно сказались в том числе и на общих технологических решениях в горном переделе и схеме размещения основных объектов предприятия:

— принята поэтапная и последовательно-параллельная отработка Оленевской и Сурьинской рудных зон с целью общего сокращения площадей, занимаемых хвостохранилищем, за счет размещения нейтрализованных хвостов обогащения в выработанном пространстве карьера Оленевский-южный по окончании его отработки и поддержания достаточно постоянного расстояния транспортирования подготовленной сырой руды, направляемой на глубокое обогащение;

— изменены границы породных отвалов и скорректировано их местоположение, учитывающее необходимость раздельного складирования хвостов предварительной рудоподготовки с минимальным расстоянием откатки;

— несколько сокращена площадь поверхностного хвостохранилища обогатительной фабрики за счет уменьшения объема перерабатываемого на ней материала;

— сокращен парк автомобилей за счет перераспределения интенсивности грузопотоков: вскрышной увеличен за счет хвостов обогащения, перемещаемых в отвал, рудный сокращен по той же причине, что в целом существенно сократило грузоработу технологического автотранспорта.

Основными рисками при эксплуатации Вагранской золоторудной площади, как это установлено разработанными ТЭП, являются колебания цены реализуемой продукции и ее себестоимости. Выделение стадии прикарьерной фотометрической сепарации в рассматриваемом случае значительно уменьшает риски инвестиционного проекта за счет общего снижения совокупных эксплуатационных затрат, обеспечивающегося улучшением логистической составляющей перемещаемых и перерабатываемых объемов горной массы.

При разработке технико-экономических предложений по возобновлению горных работ на Малышевском изумрудно-бериллиевом месторождении в качестве конечной товарной продукции будущего горно-обогатительного предприятия принято производство бериллиевого концентрата с содержанием BeO 9,8 %, флогопитового концентрата, чернового изумрудного сырья — ограненных изумрудов (александриты, фенакиты, коллекционные изумрудно-бериллиевые материалы и пр. — в качестве попутной продукции). Решения по обогащению добытого полезного ископаемого предусматривают строительство новой фабрики, обеспечивающей комплексную переработку сырой руды с получением бериллиевого и флогопитового концентратов, а также чернового изумрудного сырья с последующей его огранкой.

Извлечение кристаллосырья в предлагаемой ТЭП схеме обогащения является первоочередным и производится на первой же стадии рудоподготовки методами фотонейтронной, фотометрической, рентгенорадиометрической сепарации и ручной выборки. Это требование, а также предложенная технология предварительной рудоподготовки и сортировки добытой руды позволили разработать модернизированную технологию отработки месторождения. Достоинствами предложенного комплексного подхода к добыче и переработке, предусматривающего введение рудоподготовительного комплекса, являются:

— обеспечение минимально возможных эксплуатационных потерь при добыче за счет применения системы разработки с закладкой выработанного пространства и ввода мобильного горного оборудования;

— увеличение производительности труда и снижение капитальных вложений в реконструкцию вскрытия (строительство автомобильного уклона) почти в 2 раза по сравнению со строительством вертикальных стволов;

— обеспечение качественной подготовки в значительной степени разубоженной рудной массы к дальнейшей переработке и использование крупнокусковых отходов рудоподготовки для отсыпки восточного борта карьера «М», размещающегося над подземным рудником, с целью прекращения развития оползневых явлений в погашенной карьерной выемке;

— наиболее полная реализация щадящих технологий, направленных на сохранение кристаллосырья на всех стадиях горного и обогатительного переделов.

Решение вопросов технологической подготовки возобновления добычи и производства высокочистого кварцевого сырья в Уральском регионе связано, прежде всего, с интеграцией России в мировую экономику, а также возрождением ряда отечественных промышленных предприятий. Основным производящим высокочистый кварц предприятием на Урале в настоящее время является Кыштымский ГОК, а объектами, слагающими минеральную базу уральского кварцевого сырья, являются Кыштымское (Челябинская область), Светореченское (Свердловская область) и Неройское (ХМАО) месторождения.

Главная особенность добываемого кварцевого сырья — изменение его вещественного и химического состава от жилы к жиле, поэтому дальнейшая его глубокая переработка связана, прежде всего, с формированием потоков сырья, сходного по своим качественным показателям. Эта особенность определяет специфичные требования к предварительной подготовке сырья к обогащению и последующей его глубокой переработке.

Для отработки Неройского месторождения, включающего участок Додо (семь жил — № 20, 58, 91, 64, 70, 719-233, 699), участок Хусь-Ойка, участок Нестер-Шор (жилы Верхняя, Средняя, Нижняя), предусмотрено раздельное складирование и предварительная рудоподготовка по выделенным типам руд уже на местах ведения горных работ — применение фото- или рентген-радиометрической сепарации. Это необходимо, поскольку глубокая переработка кварцевого сырья в Приполярье затруднена рядом технических и экологических ограничений, а перевозка засоренной руды экономически и экологически нецелесообразна.

Выполненные исследования применительно к жиле № 175 Кыштымского месторождения гранулированного кварца показали, что для увеличения выхода высокочистого сырья с 37 до 52 %, помимо изменения параметров системы разработки и способа отбойки жильной массы, необходимо использование современных методов фотосепарации, что позволит сократить потери при добыче, снизить суммарные текущие расходы на добычу и переработку, повысить производительность труда в горном переделе, сократить объем ручной переборки. Таким образом, системная технологическая взаимоувязка параметров горных работ и подготовка сырьевой и перерабатывающей базы кварцевого сырья обеспечивают повышение степени использования недр.

Изложенное позволяет сделать следующие выводы:

1. Процесс рудоподготовки, связанный с использованием методов фото- и рентген-радиометрической сепарации, системно влияет не только на последующие стадии обогащения, но и на организацию ведения горных работ, а также повышение степени использования недр за счет установления рационального соотношения потерь и разубоживания при добыче.

2. Возможно изменение технологий добычи и усреднения руд, обеспечивающих сокращение эксплуатационных потерь с одновременным повышением разубоживания крупнокусковой кварцевой массы, которая должна подвергаться предварительной сепарации, что обеспечит увеличение производительности труда и снижение капитальных вложений в горном переделе. Это позволит сократить суммарные текущие расходы на добычу и переработку и увеличить выход товарной продукции.

3. Цикл предварительного прикарьерного обогащения способствует выделению части отвальных хвостов с минимальными потерями полезного компонента в «голове» технологической схемы обогащения, что обеспечивает снижение капитальных и эксплуатационных затрат за счет уменьшения количества материала, поступающего на глубокое обогащение.

4. Организация прикарьерной рудоподготовки обеспечивает снижение объемов транспортирования сырой руды, направляемой на глубокое обогащение, раздельное складирование хвостов предварительной рудоподготовки с минимальным расстоянием откатки или их полезное использование в качестве строительного материала, отсыпки деформированных участков бортов и т.п.

5. Рудоподготовка особо рекомендуется при селективной выемке сырья с разным вещественным и химическим составом, при этом следует организовывать раздельное складирование и первичную переработку выделенных типов руд на местах ведения горных работ.

6. Предварительная рудоподготовка наиболее эффективна на горных предприятиях небольшой или средней производительности по полезному ископаемому, особенно если они удалены от мест глубокой переработки руд.

Практика показывает, что извлечение полезного ископаемого из недр может быть повышено не только за счет оптимизации потерь и засорения руды в процессе очистной выемки, но и за счет применения совокупности разнообразных технологических схем подготовки руд и очистной выемки, в наибольшей степени соответствующих горно-геологическим, горнотехническим и геоэкономическим условиям освоения месторождения, а также за счет организации рудоподготовительных комплексов (внутришахтных или поверхностных).

Применение рентгенорадиометрической сепарации на подземном обогатительном комплексе рудника «Руда отечества» (*рис. 5.14*) позволяет:

— вовлечь забалансовые запасы, составляющие 63 % от общих запасов рудника (102 млн т);

— сократить затраты предприятия на транспортировку, выдачу и обогащение пустой породы;

— обеспечить подземный рудник сухим закладочным материалом;

— повысить экологическую безопасность горно-обогатительного производства;

— уменьшить эксплуатационные затраты обогащения за счет самотечного транспорта сырья в пределах рудосепарационного комплекса и отсутствия необходимости отапливания.

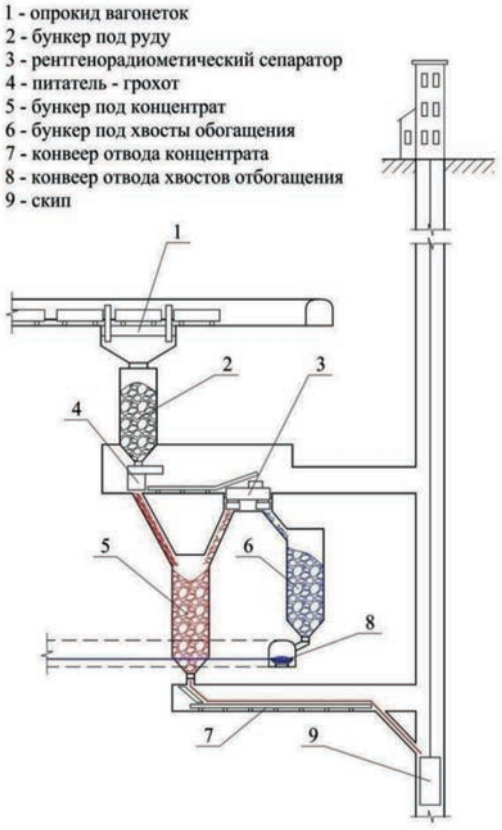


Рисунок 5.14. Подземный обогатительный комплекс на руднике «Руда отечества».

5.5. Раздельная добыча и переработка руд по типам, организация комплексной переработки

Россия обладает крупными балансовыми запасами диоксида титана — свыше 500 млн т, занимая четвертое место в мире после Украины, Китая и Австралии. Около половины балансовых запасов диоксида титана России заключены в Ярегском месторождении нефтеносных песчаников (Республика Коми). Вторая половина запасов титана России заключена в месторождениях магматического типа, в которых, кроме титана, содержатся железо и ванадий. К таким относятся и месторождения Качканарского рудного массива — минерально-сырьевой базы для ООО «ЕВРАЗ КГОК». Он

расположен на севере Свердловской области и представлен двумя месторождениями: Гусевогорским и Собственно Качканарским. Вмещающие породы представлены плагиоклазовыми порфиритами, эффузивными диабазами, слюдяными и кремнистыми сланцами ордовика. Оруденение приурочено к пироксенитам, причем структуры и текстуры руд соответствуют структурам и текстурам вмещающих пород. Форма рудных тел — пологие и наклонные протяженные залежи вкрапленных и полосчатых титаномагнетитовых руд. Руда добывается тремя карьерами: Главным, Северным и Западным.

Титаномагнетитовая руда Гусевогорского месторождения представлена двумя основными природными типами — малотитанистым и нормальнотитанистым. Основное количество малотитанистой руды добывается в Западном карьере. Многочисленными исследованиями и практикой переработки руды Гусевогорского месторождения на ОФ КГОКа установлено, что малотитанистая разновидность имеет более высокую обогатимость. Чем меньше размер зерен титаномагнетита, тем больше различия в содержании железа в концентратах, полученных из малотитанистой и нормальнотитанистой руды (*табл. 5.7*). Указанные характеристики руд используются при текущем планировании горных работ и увязываются с графиком подачи руды на переработку. Оперативно ведется оценка соотношения технологических сортов руды (легко-, нормально-, труднообогатимые) с целью корректировки производительности и режимов работы оборудования технологических секций обогатительной фабрики.

Современные тенденции развития металлургической отрасли России и других стран направлены на повышение качества железных концентров. На ГОКах внедряются новые технологии, позволяющие повысить массовую долю железа в концентратах и снизить массовую долю диоксида кремния и других вредных примесей (обратная флотация магнетитового концентрата, тонкое грохочение, сепарация в переменных магнитных полях и др.) [2, 36, 99].

Одним из путей повышения качества железного концентрата является раздельная добыча и переработка на обогатительной фабрике природных типов (разновидностей) руды одного месторождения. Однако на железорудных ГОКах эта технология

Таблица 5.7

Содержание железа в концентрате из малотитанистых и нормальнотитанистых руд (магнитный анализ, данные КГОКа)

Текстурный тип руды	Разновидность руды	Содержание железа, %
Тонковкрапленные	Малотитанистая	63,5
	Нормальнотитанистая	60,2
Мелковкрапленные	Малотитанистая	63,8
	Нормальнотитанистая	62,3
Средневкрапленные	Малотитанистая	64,2
	Нормальнотитанистая	63,7
Крупновкрапленные	Малотитанистая	65,3
	Нормальнотитанистая	64,2

не используется, а принята валовая добыча, усреднение и обогащение по единой технологической схеме руды одного месторождения, что упрощает технологию добычи и обогащения, но не обеспечивает полноты извлечения попутных компонентов.

Для оценки показателей раздельной металлургической переработки низкотитанистых и высокотитанистых концентратов на кафедре ОПИ УГГУ выполнены укрупненные лабораторные испытания по обогащению малотитанистой и нормальнотитанистой руды Гусевогорского месторождения с наработкой партий концентратов (по 50 кг). Схема лабораторных испытаний соответствовала схеме обогащения ОФ КГОКа и состояла из трех стадий измельчения и четырех операций мокрой магнитной сепарации.

В 2012–13 гг. выполнены укрупненные лабораторные испытания по обогащению и наработке партий концентратов (50 кг) из малотитанистой и нормальнотитанистой руды. Схема испытаний соответствовала схеме обогащения ОФ КГОКа и состояла из трех стадий измельчения и четырех операций мокрой магнитной сепарации (ММС).

Отбор проб осуществлен работниками Качканарского ГОКа. Проба малотитанистой руды отобрана в Западном карьере. Содержание $Fe_{общ}$, $Fe_{магн}$, V_2O_5, TiO_2 в пробе по паспорту равно 15,9; 10,17; 0,166 и 1,48 %, соответственно. При магнитном анализе этой пробы получен концентрат с более высоким содержанием $Fe_{общ}$ (66,1 %) и V_2O_5 (0,74 %) и с более низким содержанием TiO_2 (1,79 %). Нормальнотитанистая руда отобрана в Центральном карьере. Содержание $Fe_{общ}$, $Fe_{магн}$, V_2O_5, TiO_2 в пробе по паспорту равно 16,64; 11,34; 0,167 и 1,61 %, соответственно. При магнитном анализе этой пробы получен концентрат с более низким содержанием $Fe_{общ}$ (62,8 %) и V_2O_5 (0,68 %) и с более высоким содержанием TiO_2 (2,28 %).

Результаты обогащения проб минеральных разновидностей руды Гусевогорского месторождения показали лучшую обогатимость малотитанистой руды по сравнению с нормальнотитанистой (*табл. 5.8*). Из пробы малотитанистой разновидности получен высококачественный концентрат с содержанием $Fe_{общ}$, V_2O_5 и TiO_2, равным 65,86; 0,8; 2,32 %, соответственно. Этот концентрат характеризуется повышенным содержанием $Fe_{общ}$ и пониженным содержанием TiO_2. Из пробы нормальнотитанистой разновидности руды получен концентрат среднего качества по железу с со-

Таблица 5.8

Технологические балансы

Продукт	Выход, %	Содержание, %				Извлечение, %		
		Fe	V_2O_5, %	TiO_2	-0,071 мм	Fe	V_2O_5, %	TiO_2
Малотитанистая разновидность руд								
Концентрат	15,52	65,86	0,80	2,32	93,2	64,27	75,06	24,30
Хвосты	84,48	6,72	0,05	1,33	–	35,73	24,94	75,70
Руда	100,00	15,90	0,17	1,48	–	100,00	100,00	100,00
Нормальнотитанистая разновидность руд								
Концентрат	18,75	62,52	0,73	3,49	91,7	70,44	81,67	40,63
Хвосты	81,25	6,05	0,04	1,18	–	29,56	18,33	59,37
Руда	100,00	16,64	0,17	1,61	–	100,00	100,00	100,00

держанием $Fe_{общ}$, V_2O_5 и TiO_2, равным 62,52; 0,73; 3,49 %, соответственно. Этот концентрат характеризуется повышенным содержанием TiO_2, что делает его схожим с концентратом, полученным из Собственного Качканарского месторождения.

Концентрат, полученный из малотитанистой разновидности руды, более тонкий — он содержит больше класса -71 мкм (93,2 против 91,7 %). При этом продолжительность измельчения в лабораторной шаровой мельнице во II и III стадиях составила 25 и 30 мин, соответственно для малотитанистой и нормальнотитанистой разновидностей. Это говорит о том, что измельчаемость в шаровой мельнице промпродуктов ММС, полученных из малотитанистой руды, выше, чем измельчаемость промпродуктов ММС, полученных из нормальнотитанистой руды. Специальные исследования сравнительной измельчаемости малотитанистой руды (промпродукта ММС-I) по отношению к нормальнотитанистой руде показали коэффициент измельчаемости $k_{изм}$=1,1. Это позволяет прогнозировать величину удельной производительности шаровой мельницы II стадии при измельчении продукта ММС-I, полученного из малотитанистой руды, на 10 % большую, чем при измельчении продукта ММС-I из нормальнотитанистой руды.

Оценка магнитных свойств концентратов (*табл. 5.9*), выполненная в Институте металлургии УрО РАН [8], показала, что титаномагнетит малотитанистой разновидности руды менее магнитножесткий, чем титаномагнетит нормальнотитанистой руды — коэрцитивная сила 82 против 93 Э (0,0083 против 0,0093 Тл). Это позволяет говорить о том, что эффективность классификации в гидроциклонах и эффективность обогащения в сепараторах ПБМ будет выше при обогащении малотитанистой разновидности руды (ниже будет отрицательное влияние магнитной флокуляции). Меньшая магнитная жесткость титаномагнетита в малотитанистой разновидности руды Гусевогорского месторождения является одним из факторов, способствующих получению концентрата с большим содержанием железа из этой разновидности при некотором снижении расхода энергии на его получение.

Учитывая большие отличия в обогатимости и измельчаемости малотитанистой и нормальнотитанистой разновидностей руды, целесообразно их выделить в разные технологические типы и перерабатывать отдельно. При этом суммарные технологические и экономические показатели раздельного обогащения природных типов руд будут выше показателей обогащения руды валовой добычи.

Таким образом, результаты исследований показали, что малотитанистая разновидность руды по сравнению с нормальнотитанистой разновидностью имеет

Таблица 5.9

Магнитные характеристики обследованных концентратов

Характеристика концентрата	Остаточная намагниченность, $см^3 \times Гс/г$	Намагниченность насыщения, $см^3 \times Гс/г$	Коэрцитивная сила, Э
ВТ (высокотитанистый, нормальнотитанистая разновидность руд)	6,52	66,22	93
НТ (низкотитанистый, малотитанистая разновидность руд)	5,12	70,45	82
ТМ (базовый концентрат текущего производства)	6,38	66,89	99

более высокую обогатимость и измельчаемость и меньшую магнитную жесткость. Эти свойства природных типов титаномагнетитовой руды Гусевогорского месторождения пока полностью на Качканарском ГОКе не используются.

Оценка возможностей металлургической переработки низкотитанистых и высокотитанистых концентратов Гусевогорского месторождения по схемам доменная печь — конвертер и металлизация — электроплавка выполнена Институтом металлургии УрО РАН. В настоящее время перерабатываются только руды качканарской группы месторождений (16% Fe, 0,13% V_2O_5, 1,23% TiO_2) с извлечением только железа и ванадия по схеме доменная печь — конвертер [9]. Методика определения металлургических свойств (восстановимость, прочность, температуры размягчения и плавления) для титансодержащих агломерата и окатышей изложена в работе [8]. Возможность пирометаллургической переработки титансодержащих руд Собственно Качканарского месторождения подтверждается уже предложенной в Институте металлургии УрО РАН технологией переработки титансодержащих руд Тебинбулакского месторождения (Республика Узбекистан) по схеме доменная печь — конвертер, при этом содержание TiO_2 в концентрате составляет 3 % (66,5 % Fe, 0,6 % V_2O_5) [9].

Испытания целесообразности переработки высокотитанистого концентрата по схеме металлизация — электроплавка свидетельствуют о том, что из указанного материала возможно получение металлизированных окатышей с содержанием железа общего 79,79 %, TiO_2 4,21 % и V_2O_5 0,86 %. Лабораторные опыты показали, что их плавка приведет к образованию шлака с содержанием TiO_2 (22,88 %), недостаточным для получения из него пигментного диоксида титана или титановой губки, поэтому высокотитанистый и низкотитанистый концентраты целесообразно перерабатывать по схеме доменная печь — конвертер.

В лабораторных условиях проведена разделительная плавка на чугун и шлак окатышей из высокотитанистого (ВТ), низкотитанистого (НТ) и базового концентрата (ТМ) Гусевогорского месторождения. С использованием балансовой логико-статистической модели [135] произведен расчет состава сырьевых материалов для доменной плавки — агломерата и окатышей из обследованных концентратов (*табл. 5.10*), результаты которого свидетельствуют о том, что металлургические свойства полученных концентратов не одинаковы. Важно отметить, что содержание

Таблица 5.10

Состав сырьевых материалов для доменной плавки

Показатель	Базовый концентрат	Высокотитанистый концентрат	Низкотитанистый концентрат
Доменная шихта: Агломерат в/о, % Окатыши, % Железофлюс, %		38,30 52,30 9,40	
$Fe_{общ}$, %	56,90	57,99	59,09
TiO_2, %	2,43	2,94	2,25
Доменный шлак: TiO_2, %	10,53	14,82	10,05

диоксида титана в доменном шлаке 14,82 %, полученном при плавке высокотитанистого концентрата Гусевогорского месторождения, соответствует предполагаемому содержанию диоксида титана в доменной плавке окускованного сырья из руды Собственно Качканарского месторождения.

Многолетний опыт работы доменных печей различного объема Нижнетагильского металлургического комбината показал, что рациональное содержание оксида титана в доменном шлаке должно находиться в пределах 9,5–10,5 %. При таком содержании TiO_2 образование нитридов, карбонитридов, оксикарбонитридов титана ограничено и доменный шлак является достаточно жидкотекучим, поэтому состав доменного шлака при использовании высокотитанистых концентратов далеко выходит за пределы освоенного режима. Это означает, что наряду с организацией отработки и обогащения руд по типам следует на заключительном этапе их переработки получать коллективный концентрат путем смешивания низкотитанистого и высокотитанистого. При этом содержание железа в коллективном концентрате будет более высоким по сравнению с концентратом текущего производства, а общие энергозатраты на его производство — более низкими.

Вопросы переработки природных типов руды Гусевогорского месторождения на разных секциях ОФ КГОКа особенно актуальны в настоящее время в связи с планирующимся вовлечением в переработку руды Собственно Качканарского месторождения. Поскольку на Качканарском ГОКе, как и на большинстве других крупных железорудных предприятий, принята валовая добыча и переработка руды, Институтом горного дела УрО РАН разработана методика выделения малотитанистых и нормальнотитанистых типов руд для Главной и Северной залежи.

В существующих классификациях руд по обогатимости (отчет с подсчетом запасов титаномагнетитовых руд под рук. И.Г. Полянского 1988 г., проект «Корректировка проектных контуров Главного карьера» института «УРАЛГИПРОРУДА» под рук. В.С. Примака), помимо принятых на ГОКе показателей крупности зерна титаномагнетита и содержания железа общего в концентрате, введен дополнительный параметр — предельное содержание диоксида титана в добываемых рудах.

Геометризация в опытном порядке осуществлена погоризонтно в границах Главного и Северного карьеров методами геоинформационного моделирования и геостатистики на основе информационной базы данных детальной разведки и реализована в виде следующих этапов:

— формирование по данным скважин детальной разведки усредненных интервалов опробования по рабочим горизонтам карьера для статистического анализа с целью локализации зон повышенного/пониженного содержания железа, титана и ванадия;

— преобразование данных и построение численных распределений, характеризующих пространственное размещение одноименной вкрапленности зерен титаномагнетита;

— построение изолиний и моделирование методами триангуляции и обратного расстояния содержания железа, титана, ванадия, железа в магнитной фракции по рабочим горизонтам [142];

— выделение зон, отражающих распределение вкрапленности и показателя обогатимости титаномагнетитовых руд на рабочих горизонтах Главного и Северного карьеров (*рис. 5.15, рис. 5.16*);

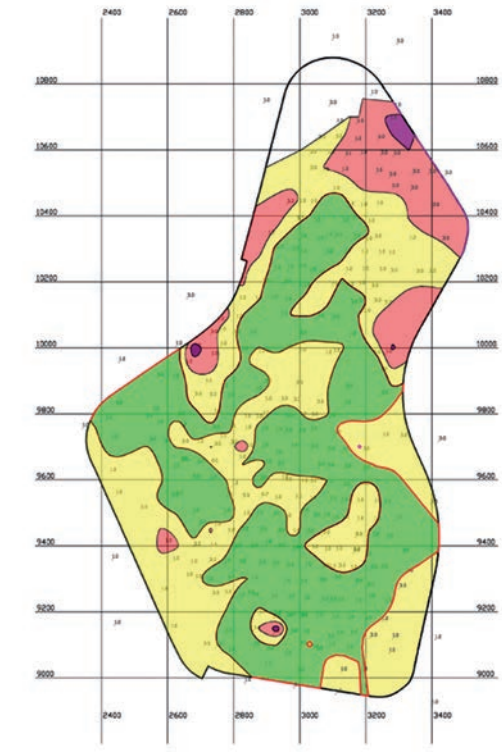


Рисунок 5.15. Районирование титаномагнетитовых руд по показателю обогатимости (содержание железа в магнитной фракции проб): гор.+160 м, Северный карьер

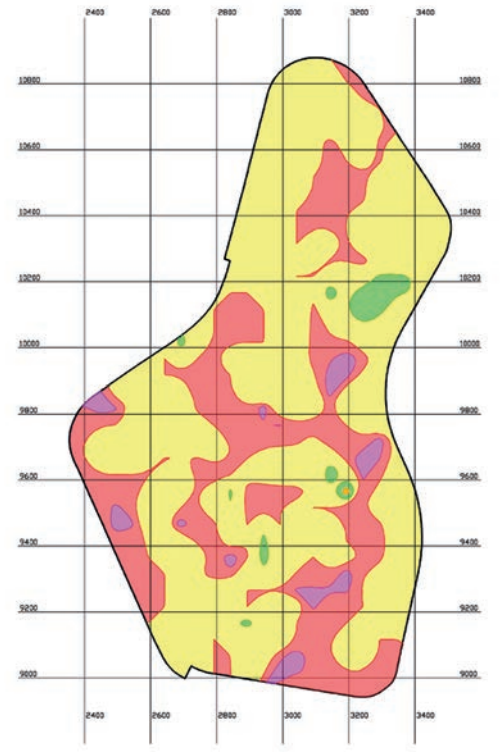


Рисунок 5.16. Районирование титаномагнетитовых руд по размеру вкрапленности зерен титаномагнетита: гор.+160 м, Северный карьер

Таблица 5.11

Соотношение руд по типам на проанализированных горизонтах карьеров

Карьер	Доля руд по обогатимости (вкрапленность, содержание железа в магнитной фракции),%				Доля руд по разновидностям,%	
	Легкообогатимые	Нормальнообогатимые	Среднеобогатимые	Труднообогатимые	Малотитанистые	Нормальнотитанистые
Северный	1,1	26,5	30,1	42,3	61,0	39
Главный	1,6	10,5	23,0	64,9	28,0	72

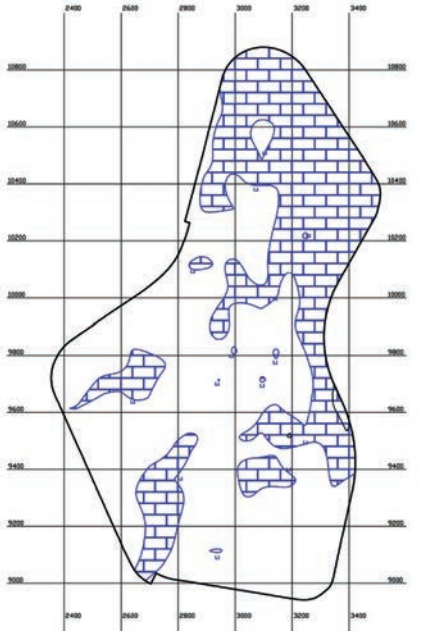


Рисунок 5.17. Размещение нормальнотитанистых руд (минимальное содержание титана 1,1%): гор.+160 м, Северный карьер

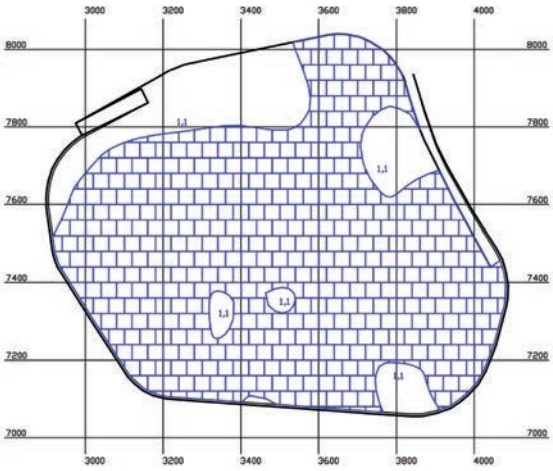


Рисунок 5.18. Размещение нормальнотитанистых руд (минимальное содержание титана 1,1%): гор. +55 м, Главный карьер

— районирование малотитанистых и нормальнотитанистых руд в пределах Главной и Северной залежи Гусевогорского месторождения с учетом предельного (минимального) содержания TiO_2 по граничным вариантам 1,1, 1,2, 1,3, 1,4% (*рис. 5.17, 5.18*).

Статистическая обработка данных и 3D-моделирование показали возможность геометризации отрабатываемого месторождения с выделением нормальнотитанистой и низкотитанистой разновидностей руд, что, в свою очередь, свидетельствует о реальной технологической возможности организации их раздельной добычи. Анализ размещения разновидностей руд и соотношения их запасов на обследованных горизонтах свидетельствует о том, что оно достаточно неравномерно (*табл. 5.11*).

На обследованных горизонтах нормальнотитанистые руды локализованы на Северном карьере — в северо-восточной его части, а на Главном карьере распространены повсеместно, за исключением северо-западного участка. Повышение содержания титана в рудах для Северного карьера ориентировано на северо-восток, а для Главного карьера — на юго-запад.

Полученные при геометризации подаваемых на обогащение руд данные свидетельствуют о том, что при ожидаемом замещении руд Западного карьера рудами Собственно Качканарского месторождения, необходимо будет жестко выдерживать требования к среднему содержанию TiO_2 в них для обеспечения в последующем нормальных условий плавки произведенных окатышей по принятым на НТМК технологиям. В противном случае нужно будет выделять высокотитанистые разновидности

руд для их переработки по схеме металлизация — электроплавка. В обоих случаях объектом, системно обеспечивающим формирование рудопотоков заданного качества, становится Северный карьер.

Анализ логистики перемещения рудных потоков по обогатительной фабрике (от приемных бункеров корпуса ККД до склада концентрата) показал, что на обогатительной фабрике КГОКа имеется принципиальная возможность раздельной переработки двух рудных потоков при условии выполнения реконструкции, связанной с перераспределением потоков руды по конвейерам и бункерам. Основное оборудование и схема обогащения при этом не изменяются, а рудные потоки нормальнотитанистой и преимущественно малотитанистой руды перерабатываются на разных технологических секциях. Концентраты, полученные из обоих типов руд, могут быть усреднены стандартным способом — в сборных зумпфах, в сгустителях, на сборных конвейерных трактах разгрузки вакуум-фильтров и складах концентратов.

Предварительные расчеты показывают, что минимальным содержанием TiO_2 в концентрате, при котором содержание диоксида титана в шлаке будет приемлемым для дальнейшей переработки не должно быть менее 7 %.

Эти условия могут быть реализованы за счет раздельной отработки высокотитанистой части Гусевогорского месторождения и, особенно, Собственно Качканарского месторождения титаномагнетитов. Кроме того подобный подход может быть использован при эксплуатации Медведевского и Копанского месторождений, начало отработки которых сдерживается в том числе и по условиям нахождения в их рудах повышенных концентраций TiO_2.

Таким образом можно сделать вывод о том, что глубокая переработки уральских титаномагнетитов с разделением руд по природно-технологическим типам и организацией производства металлизированных окатышей резко расширяет сырьевую базу черной металлургии, одновременно создавая новую сырьевую базу для получения титанового сырья.

Глава 6. Формирование транспортных систем глубоких карьеров

6.1. Транспорт глубоких карьеров: история становления и развития

Признанным центром исследований в области карьерного транспорта начиная с 1960-х годов является Институт горного дела (г. Свердловск, ныне г. Екатеринбург) [22–24, 153, 156]. Историю его становления и развития во второй половине XX века можно проследить по материалам пяти Всесоюзных научно-технических конференций, состоявшихся в г. Свердловске в 1956, 1966, 1973, 1974 и 1984 годах, в работе которых принимали участие ведущие ученые и представители научных центров в области открытых горных разработок и карьерного транспорта, заводов-изготовителей транспортной техники, горных предприятий, специалисты министерств и ведомств. С основными результатами этих конференций можно ознакомиться не только по изданным материалам конференций, но и из доклада на конференции 2002 г. [153], в котором подробно изложены проблемы и этапы развития, в том числе по всем видам карьерного транспорта.

Особенность проблемы транспорта глубоких карьеров состоит в том, что условия транспортирования горной массы в процессе развития горных работ постоянно меняются, при этом каждый из известных видов карьерного транспорта имеет свои достоинства и недостатки, влияние которых по мере развития горных работ, в частности роста глубины карьера, проявляется по-разному, поэтому одновременное или последовательное применение нескольких видов транспорта в самостоятельном или комбинированном использовании является объективной закономерностью. Для правильной оценки сравнительной эффективности различных видов транспорта очень важно приводить в сопоставимый вид показатели их функционирования в зависимости от изменяющихся в динамике развития горных работ, условий транспортирования.

Вторая половина XX столетия в горном деле ознаменовалась интенсивным приоритетным развитием открытого способа разработки месторождений твердых полезных ископаемых [50, 71, 129, 131, 155], при этом в одном из важнейших процессов открытой геотехнологии — карьерном транспорте — достигнут значительный технический прогресс благодаря успешному научно-техническому обеспечению создания новых транспортных средств, обоснованию рациональных параметров транспортных систем карьеров.

Ведущими научными центрами в области карьерного транспорта являлись и остаются таковыми в настоящее время ИПКОН РАН, ИГД УрО РАН, ГИ КНЦ РАН, ИГД им. А.А.Скочинского, а также вузы горного профиля (г. Москва, г. С.-Петербург, г. Екатеринбург) и ряд других, в которых были созданы научные школы, внесшие наибольший вклад в развитие учения о карьерном транспорте [23, 70, 156].

При оценке состояния и перспектив развития транспортных систем карьеров необходимо использовать два важных методических положения:

— оценку состояния транспортной системы карьера большой глубины и производительности на определенный момент развития необходимо проводить с учетом предшествующей истории ее формирования от проектирования, проведенных реконструкций, реализации технических, технологических и организационных решений до современного периода;

— обоснование перспектив развития транспортной системы карьера следует осуществлять, основываясь на оценке сложившегося состояния горных работ, достигнутых технико-экономических показателей, выявленных в процессе предшествующего периода достоинств и недостатков параметров сформированной транспортной системы и показателей ее функционирования, установлении особенностей развития карьера до предельных контуров открытого способа разработки месторождения с учетом возможного использования его транспортной системы при последующей подземной или комбинированной разработке глубинной части.

Впервые в ИГД МЧМ СССР (ныне ИГД УрО РАН) такой подход был реализован по состоянию горных работ и транспортных систем практически всех железорудных карьеров на 1985 г. и перспективам развития до 1995 г. [157]. Выполненная в 1984–1985 гг. по заданию министерства черной металлургии научно-исследовательская работа «Разработка методических рекомендаций по установлению сфер рационального применения различных видов карьерного транспорта и обоснование перспектив формирования транспортных систем крупных глубоких карьеров до 1995 г.» на основе теоретических основ выбора транспорта рудных карьеров явилась, по существу, технологическим аудитом состояния горных работ и транспортных систем практически всех глубоких железорудных карьеров России, Украины и Казахстана, а опубликованная на их основе монография [157] и сегодня может быть использована в качестве методики оценки состояния и обоснования перспектив развития транспортных систем глубоких не только рудных, но и угольных карьеров.

Обобщение опыта эксплуатации глубоких карьеров, анализ проектов их развития на перспективу до 1995 г. и до конца разработки позволили достаточно четко на каждом из них выделить три основные зоны по глубине, имеющие по совокупности признаков существенно различные условия для горных работ и транспортирования горной массы. Верхняя зона характеризуется возможностью организации прямых заездов, стационарностью основных транспортных коммуникаций. Средняя зона вскрывается средствами железнодорожного и автомобильного транспорта путем организации временных съездов, зачастую с неоднократным изменением направления движения. Нижней зоне свойственны сложность сооружения даже временных транспортных коммуникаций, ограниченность пространственных размеров, необходимость постоянного вскрытия и подготовки новых горизонтов.

Необходимость применения практически на каждом карьере большой глубины и производительности нескольких видов транспорта заложена в самой природе их различия по технологическим, техническим и экономическим характеристикам. Одним из методов приведения в сопоставимый вид условий транспортирования при различных расстояниях транспортирования (L_o) и высоты подъема горной массы (H) по энергозатратам может служить величина приведенного расстояния транспортирования $L_п=L_o+kH$, где k — коэффициент, который для автомобильного

транспорта равен 0,03, для железнодорожного 0,22, для конвейерного 0,02. Влияние изменяющихся с ростом глубины карьеров энергозатрат, производительности и себестоимости транспортирования весьма велико. Установлено, что при увеличении объемов перевозок в 1,43 раза за счет роста высоты подъема в 1,75 раза и дальности транспортирования в 1,17 раза в целом работа по подъему горной массы увеличивается в 2,5 раза.

Выводы исследований в 1984–1985 гг., не утратившие своей обоснованности, сводились к следующему. Замедление темпов роста, а затем и снижение объемов добычи руды на большинстве крупных карьеров, систематическое отставание объемов вскрышных работ, снижение технико-экономических показателей, связанное с некомпенсируемым техническим прогрессом ухудшением горно-технических условий разработки месторождений с ростом глубины карьеров – все это позволяет сделать вывод о том, что предусмотренные в проектах и, тем более, сформировавшиеся в процессе эксплуатации транспортные системы карьеров в большинстве случаев отстали в своем развитии от темпов понижения горных работ, не обеспечивают рациональных условий эксплуатации отдельных видов транспорта и не отвечают масштабам и условиям ведения горных работ в глубоких карьерах уже на исследованном этапе их развития, а тем более на перспективу. Этот важный принципиальный вывод подтверждается следующими фактами:

1. Около половины карьеров большой глубины и производительности не достигли проектного уровня добычи руды, и практически все карьеры имели значительное отставание по вскрышным работам.

2. При небольшой, в тот период в сравнении с конечной, глубине карьеров, железнодорожный транспорт в своем развитии существенно отставал от темпов понижения горных работ: так, только на ЮГОКе железнодорожные пути введены до дна карьера, на Сарбайском карьере — на 87,5 % его глубины, а на таких карьерах, как Полтавский, Ингулецкий, Коршуновский, карьеры ЦГОКа, НКГОКа и др., — менее чем на 50 % общей их глубины, несмотря на значительные пространственные размеры.

3. Велика доля комбинированного автомобильно-железнодорожного транспорта, достигающая на ряде карьеров (Коршуновский, Первомайский, Полтавский, карьеры НКГОКа, ЦГОКа и др.) 50 % и более, что, во-первых, связано с большими объемами вторичных перевозок, во-вторых, требует создания значительных по размерам площадок, использования на расположенных на них перегрузочных пунктов с автомобильного на железнодорожный транспорт дополнительных экскаваторов и т.п.

4. Высота подъема горной массы автосамосвалами только в карьерах, не считая отвалов и профиля автодорог на поверхности, достигала с нижних горизонтов на таких карьерах, как Соколовский, Сарбайский, карьеры ЦГОКа, НКГОКа, Ковдорский, Стойленский, Лебединский, Ингулецкий, Первомайский, 120–160 м, а на некоторых и более, хотя рациональное ее значение находится в пределах 80–100 м.

5. На большинстве карьеров с железнодорожным транспортом, исключая карьеры ЮГОКа и ССГОКа, путевое развитие было недостаточно развито, внешних траншей почти не было, траншеи внутреннего заложения ограничены по длине, имели малые уклоны, внутрикарьерные съезды и даже станции расположены на рабочих бортах, препятствуя нормальному подвиганию фронта горных работ и создавая помехи в работе в периоды их вынужденного переноса.

Это вызвано целым рядом обстоятельств, но главными являются следующие:

— проектирование и строительство многих карьеров осуществлялось в период, когда специалистами недооценивались роль и значение железнодорожного транспорта, существенно переоценивались показатели эффективности автомобильного транспорта, а также слишком оптимистично оценивались по срокам ввода и эффективности эксплуатации циклично-поточная и поточная технологии;

— на многих карьерах, имеющих значительные пространственные размеры и объемы горных работ, т.е. именно те условия, в которых предпочтительно применение железнодорожного транспорта, он или не закладывался в проект вообще, или имел ограниченное, подчиненное автомобильному транспорту развитие, или был ориентирован на тепловозную тягу;

— практически совсем отсутствовали внешние траншеи, все съезды на нижние горизонты располагались в контуре карьера или на нерабочем борту, вызывая его дополнительный разнос, или в рабочей зоне, приводя к временной консервации запасов, затрудняя производство горных работ, сокращая их активный фронт.

6. В неоптимальных условиях эксплуатировался автомобильный транспорт: слишком велика высота подъема горной массы от забоев до пунктов перегрузки, да и общие объемы вторичных перевозок неоправданно велики. Оказывается, что практически почти половина, по крайней мере 40 %, горной массы перевозится по схемам комбинированного транспорта, дважды грузится в транспортные средства, что ведет к использованию дополнительных погрузочных и транспортных средств и, естественно, к дополнительным расходам, а также вынуждает занимать под внутрикарьерные перегрузочные склады значительные площади, также требующие дополнительного разноса бортов или консервации части запасов.

В методическом плане отмеченные выше недостатки связаны с тем, что не реализовывались основные положения общей стратегии формирования транспортных систем глубоких карьеров [23].

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 самостоятельно или в комбинации. Предпочтительные условия применения различных видов и схем транспорта в глубоких карьерах (*рис. 6.1*) представлены в работе [157].

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 отработки 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, при этом важнейшим показателем является высота подъема руды и вскрыши различными видами транспорта (*рис. 6.2*).

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 раз-

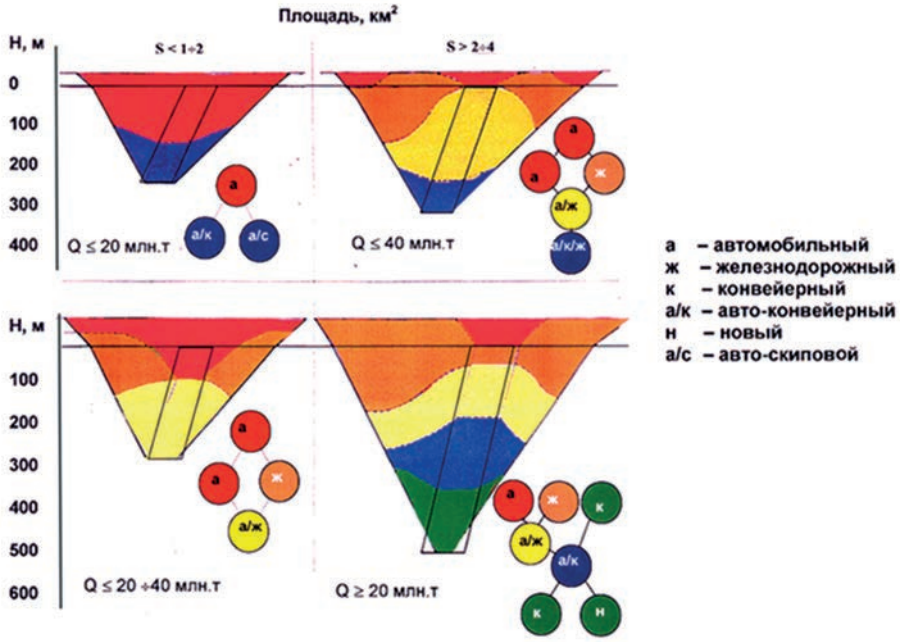


Рисунок 6.1. Зоны применения видов транспорта по глубине карьера

носа борта, была сформирована другая система транспортных коммуникаций, чтобы обеспечить нормальную работу предприятия в период реконструкции карьера без снижения его производственной мощности. Предложения по развитию транспортных систем глубоких железорудных карьеров до 1995 г., разработанные по итогам исследования 1984–1985 гг., изложены в табл. 6.1. Однако реализации их в силу известных политических и социально-экономических событий в СССР после 1986 г. не суждено было сбыться.

Приведенные в табл. 6.1 предложения 1985 г. по развитию транспортных систем глубоких карьеров до 1996 г. в полной мере, естественно, не были и не могли быть реализованы в силу известных обстоятельств, поэтому оценку современного их состояния целесообразно производить в сравнении с достигнутыми параметрами и показателями 1990 г.

В качестве позитивных моментов следует отметить увеличение доли перевозок горной массы непосредственно из забоев карьеров Курской магнитной аномалии (КМА) даже при существенном росте глубины карьера (*табл. 6.2*). Это способствовало тому, что расстояние транспортирования автосамосвалами до пунктов перегрузки горной массы на железнодорожный транспорт практически не увеличивалось и составило, соответственно, 2,3; 2,9; 2,71 км, при росте расстояния перевозок железнодорожным транспортом соответственно по карьерам: с 9,7 до 14,64 км; с 8,5 до 10,6 км; с 11,4 до 14,61 км.

На железорудных карьерах России отмечается в 2014 г. в сравнении с 1990 г. снижение объемов работ с применением циклично-поточной технологии (с 39,2 до 23,67 млн т) и существенное увеличение объемов перевозок автомобильным транспортом: Михайловский ГОК — с 56,6 до 109,3 млн т, Лебединской ГОК — с 13,2

Таблица 6.1

Предложения по развитию транспортных систем глубоких карьеров до 1995 г. (выводы исследования по состоянию на 1985 г.).

Мероприятие	Карьер	Цель и ожидаемые результаты
1. Коренная реконструкция транспортной системы на основе: — применения ЦПТ; — изменения схемы вскрытия и транспортных коммуникаций; — изменения порядка развития горных работ и формирования транспортной системы.	Ковдорский, № 3 НКГОКа, № 1 ЦГОКа, Анновский, № 2-бис НКГОКа, Ингулецкий, Стойленский, Полтавский	Формирование транспортных систем с рациональными параметрами, обеспечение проектных объемов добычи руды и вскрыши
2. Более глубокий ввод железнодорожного транспорта за счет: — глубоких траншей внешнего и внутреннего заложения; — уклонов путей 50–60 ‰; — рационализации схем путевого развития.	№ 3 НКГОКа, Оленегорский, № 1 ЦГОКа, Ингулецкий, Первомайский, Анновский Сарбайский, Ингулецкий, Коршуновский, ЮГОК	Перераспределение объемов перевозок между видами транспорта, сокращение вторичных перевозок. Эффект 120 тыс. руб. на 1 млн т
3. Перенос пунктов перегрузки горной массы: — с автомобильного на железнодорожный транспорт; — с автомобильного на конвейерный транспорт.	Анновский, Полтавский, № 2-бис НКГОКа, Лебединский, № 1 ЦГОКа № 2-бис НКГОКа	Сокращение высоты подъема и дальности транспортирования автосамосвалами Эффект 8 тыс. руб. на 1 млн т и 10 м высоты подъема
4. Техническое перевооружение на основе: —электрификации железнодорожного транспорта; — оптимизации структуры парка автосамосвалов; — применения дизель-троллейвозов; — тяговых агрегатов и думпкаров повышенной прочности.	Анновский, Полтавский, № 2-бис и № 2 НКГОКа, Ингулецкий, Стойленский, № 1 ЦГОКа. Карьеры с двумя и более потоками: Ковдорский, Костомукшский, Стойленский, Первомайский, Коршуновский, ЮГОК, ССГОК, КачГОК	Повышение производительности, экономия ГСМ, сокращение парка погрузочного и транспортного оборудования
5. Создание складов горной массы вблизи ДПП	Ковдорский, Ингулецкий, Стойленский, № 3 НКГОКа, № 1 ЦГОКа	Обеспечение ритмичной работы автомобильного и конвейерного звеньев комплекса ЦПТ
6. Создание и внедрение безэкскаваторных перегрузочных пунктов	Карьеры с объемами автомобильно-железнодорожного транспорта более 15 млн т	Интенсификация процесса перегрузки, сокращение размеров площадок
7. Использование выработанного пространства карьеров для отвалов	Оленегорский, № 2-бис НКГОКа, Анновский, № 1 ЦГОКа	Сокращение затрат на транспортирование, сокращение площадей под отвалы

до 37,0 млн т. В числе причин увеличения доли автомобильного транспорта помимо субъективных есть и объективные, связанные с ростом глубины карьеров (*табл. 6.3*): технологические преимущества при вскрытии и разработке глубоких горизонтов карьеров; маневренность, возможность в короткие сроки ввода в эксплуатацию,

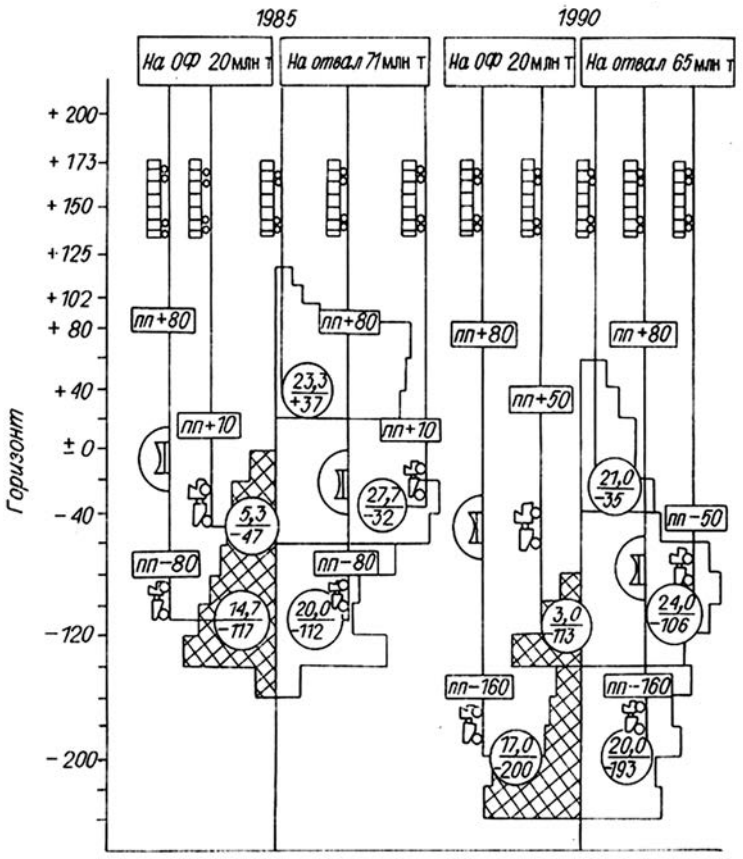


Рисунок 6.2. Распределение объемов руды (заштриховано) и вскрыши Сарбайского карьера по горизонтам и видам транспорта

увеличения или снижения объемов горных работ; относительно более интенсивный в сравнении с другими видами транспорта технический прогресс в создании новых машин и систем, их технического обслуживания и ремонтов.

На железорудных карьерах стран СНГ по состоянию на начало 2014 г. средняя грузоподъемность увеличилась с 87,6 до 131,2 т. Тот факт, что на каждом из карьеров может и должно применяться несколько марок автосамосвалов с характеристиками,

Таблица 6.2

Изменение доли перевозок железнодорожным транспортом в 2010 г.

Карьер	Глубина, м		Доля ж.-д. перевозок из забоев, %	
	1990 г.	2014 г.	1990 г.	2014 г.
Михайловский	195	350	30,4	34.76
Стойленский	230	359	22,5	48.5
Лебединский	265	412	27,7	39.9

Таблица 6.3

Технологические особенности основных видов транспорта и рекомендуемые способы их учета при формировании транспортных систем карьеров

Достоинство	Недостаток	Рекомендуемая область применения
Автомобильный		
1. Высокая маневренность. 2. Возможность селективной разработки полезных ископаемых. 3. Быстрый ввод в действие в начальный период строительства карьера. 4. Возможность большой концентрации работ на ограниченном фронте. 5. Независимость движения отдельных транспортных единиц. 6. Простота устройства заездов в карьер, в том числе на нижние горизонты с использованием спецмашин для уклонов до 30‰	1. Высокая себестоимость перевозок. 2. Зависимость от климатических условий. 3. Засорение атмосферы карьера выхлопными газами. 4. Большой штат шоферов и ремонтных рабочих	1. Транспортировка вскрышных пород в начальный период строительства карьера. 2. Отработка верхних уступов вблизи предельного контура. 3. Вскрытие и подготовка новых горизонтов. 4. Работа в качестве сборочного звена при комбинированных видах транспорта. 5. Доработка запасов до дна карьера с применением углубочных комплексов
Железнодорожный		
1. Высокая экономическая эффективность при больших объемах и дальности перевозок. 2. Надежность работы в любых климатических условиях. 3. Высокая производительность труда поездных бригад. 4. Возможность разработки горных пород с любыми физико-механическими свойствами	1. Большой объем путевых работ и их трудоемкость. 2. Сложность организации заездов на нижние горизонты карьера. 3. Взаимозависимость движения составов по общим транспортным коммуникациям. 4. Низкие эксплуатационные показатели при малых объемах перевозок. 5. Большой объем подготовительных работ при вводе в эксплуатацию	1. Верхняя и ценртальная части рабочей зоны карьера с погрузкой непосредственно в забое экскаватора. 2. Вывозка горной массы с перегрузочных пунктов при комбинированном транспорте. 3. Транспортировка горной массы по поверхности при значительном удалении от фабрик и отвалов
Конвейерный		
1. Равномерность и непрерывность процесса. 2. Минимальная протяженность транспортных коммуникаций. 3. Высокая производительность труда. 4. Независимость от рельефа местности	1. Необходимость предварительного дробления крупнокускового материала. 2. Взаимозависимость всех звеньев конвейерной линии. 3. Большой износ ленты и сложность ее замены. 4. Зависимость от климатических условий	1. Выдача горной массы от дробильно-грохотильных перегрузочных пунктов в карьере до приемных устройств на поверхности. 2. Передача горной массы с автомобильного транспорта на железнодорожный при комбинированном автомобильно-конвейерно-железнодорожном транспорте

в наибольшей степени соответствующими конкретным условиям их использования, является объективно закономерным, а вот реализуется ли это на практике, есть сомнение. Об этом свидетельствуют показатели производительности среднесписочного автосамосвала на различных предприятиях, которые колеблются в значительных пределах из-за несоответствия условий эксплуатации моделей автосамосвалов условиям их использования по высоте подъема и дальности транспортирования.

Важнейшим показателем эффективности применения на карьерах автосамосвалов в схемах комбинированного транспорта является их производительность, которая зависит не только от технического состояния и грузоподъемности, организации погрузо-транспортных работ, состояния дорог и систем технического обслуживания и ремонта, но и от таких важных технологических параметров, как расстояние транспортирования и высота подъема горной массы, которые в совокупности определяют средневзвешенный уклон, влияющий, в свою очередь, на скорость движения и расход топлива. Приведенные в табл. 6.4 данные свидетельствуют о степени совершенства транспортных систем отдельных карьеров [123, 154].

В настоящее время на железорудных карьерах стран СНГ применяется значительное число марок и моделей автосамосвалов, многие из которых сняты с производства, поэтому одним из путей повышения эффективности его эксплуатации, помимо отмеченных выше, является оценка соответствия для каждого карьера автосамосвалов по грузоподъемности, тягово-динамическим параметрам и выделения для каждого из них наиболее благоприятных условий применения. Всего по состоянию на 2012 г. мировыми фирмами (*табл. 6.5*) производится 45 марок автомобилей грузоподъемностью от 30 до 350 т с различными типами трансмиссий и другими характеристиками, что позволяет с учетом сложившихся на предприятии и перспективных технологических параметрах эксплуатации автосамосвалов (объем перевозок, вместимость ковшей экскаваторов, высота подъема и дальность

Таблица 6.4

Производительность среднесписочного автосамосвала в зависимости от расстояния транспортирования (2014 г.)

ГОК	Грузоподъемность, т	Расстояние, км	Производительность на 1 т грузоподъемности		Высота подъема*, м	
			тыс.ткм	тыс.т	сред.	макс.
Качканарский	53,4	1,2	19,9	16,7	25	45
Михайловский	102,0	2,2	36,95	16,8	42	60
Лебединский	127,3	2,16	30,3	14,0	83	145
Стойленский	100,3	2,42	28,76	11,84	92	130
Северный	125,5	2,96	36,1	12,45	90	150
Центральный	116,3	2,75	25,16	9,15	75	200
Полтавский	115,3	3,43	38,2	11,08	70	105
Ингулецкий	90,0	2,58	26,6	10,3	90	210
Южный	92,3	3,27	9,1	4,0	92,3	Н.д.

* Данные 1985 г.

транспортирования, ширина и радиусы поворота трасс и др.) формировать парк автосамосвалов по критерию экономической эффективности.

Дальнейшая разработка глубоких горизонтов крутопадающих месторождений связана с перспективами применения автомобильного транспорта, от степени соответствия технических, конструктивных и технологических параметров выпускаемых мировыми фирмами марок и моделей автосамосвалов условиям их эксплуатации, а также с необходимостью и возможностью создания новых специализированных погрузо-транспортных комплексов и автотранспортных средств, чему посвящены совместные исследования последних лет специалистов ИГД УрО РАН, НАН Беларуси и БелАЗа. Следует подчеркнуть сложившееся в последние годы соотношение между средней грузоподъемностью автосамосвала и вместимостью ковша экскаватора (*табл. 6.6*).

Особого внимания заслуживает опыт эксплуатации карьеров Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного объединения, в особенности Сарбайского, формирование транспортной системы которого всегда было объектом изыскания оптимальных решений генерального проектировщика — института Гипроруда, Института горного дела МЧМ СССР и инженерно-технического руководства комбината. Оно завершившилось созданием системы тупиковых железнодорожных тоннелей (*рис. 6.3*); был реализован проект Гипроруды вместо предлагавшегося ИГД (*рис. 6.4*) конвейерного подъема горной массы с глубоких горизонтов до перегрузочного пункта на ж.-д. транспорт в верхней зоне карьера.

Уникальным с точки зрения формирования транспортной системы глубокого карьера является угольный разрез Коркинский. Его уникальность подтверждается следующим: в течение 70 лет было реализовано 7 проектов с пересмотром конечной глубины карьера (40, 80, 115, 350, 475, 570, 630 м); начиная с 1938 г., когда был построен первый угольный конвейер и после ввода в эксплуатацию наклонных стволов, оборудованных конвейерами КРУ-900 (один длиной наклонной части

Таблица 6.5

Характеристика автосамосвалов мировых фирм

Модель	Грузоподъемность	Тип трансмиссии	Мощность двигателя, кВт	Макс. скорость, км/ч	Ширина, м	Радиус поворота, м
БелАЗ от 7540 до 7560 (10 моделей)	30 – 360	ГМП ЭМТ	265 – 2800	43 – 64	3,86 – 9,25	8,7 – 17,2
Caterpillar от 770 до 797B (10 моделей)	36,3 – 345	ГМП	355 – 2513	52,6 – 79,7	4,75 – 9,66	8 – 20,25
Hitachi от EH1100 до EH5000 (5 моделей)	59 – 290	ГМП ЭМТ	567 – 2014	55,7 – 66,9	4,98 – 9,28	9,6 – 15,8
Komatsu от HD325 до 930E (9 моделей)	36,5 – 290	ГМП ЭМТ	379 – 2014	48,8 – 70	4,14 – 8,69	7,2 – 15
Unit Rig от MT3300 до MT6300 (5 моделей)	136 – 363	ЭМТ	1081 – 2796	64 – 65	7,10 – 9,70	12,5 – 16,2
Terex от TR35 до TR100 (5 моделей)	32 – 91	ГМП	298 – 783	48,5 – 65	3,95 – 5,93	8,8 – 12,65

Таблица 6.6

Мощность горнотранспортного оборудования на 8 крупнейших ГОКах России по годам

Показатель	1990 г.	2000 г.	2007 г.	2009 г.	2014 г.
Вместимость ковша среднесписочного экскаватора, м^3	7,7	8,3	8,94	9,08	10,1
Среднесписочное число экскаваторов с ковшами более 10 м^3	5,1	60,0	140,2	177,2	198,4
То же в процентах к общему числу экскаваторов	1,9	23,4	49,3	62,2	62,8
Средняя грузоподъемность среднесписочного автосамосвала, т	87,6	98,4	117,9	119,9	131,2
Среднесписочное число автосамосвалов грузоподъемностью >100 т	325	217	268,5	273,9	337,6
То же в процентах к общему числу автосамосвалов	69,1	74,3	84,1	84,5	86,3
Среднесписочное число тяговых агрегатов	205	172	183,1	203	225,5
То же в процентах к общему числу локомотивов	74,3	72,6	83,6	82,4	86,1
Удельный вес циклично-поточной технологии в добыче железной руды, %	16,7	7,8	7,7	9,3	8,5

729 м и горизонтальной 322 м, другой, соответственно, 578 и 238 м), весь объем добытого угля забойными конвейерами на расстояние 150–200 м и сборочными 200–300 м выдается на поверхность углеподъемными конвейерными линиями на расстояние 2 км; вскрытие карьера и перевозка вскрышных пород осуществлены с использованием железнодорожного транспорта, система путевого развития которого также является уникальной, ибо в карьере, в отличие от всех других глубоких карьеров, никогда не применялись для вскрытия и подготовки новых глубоких горизонтов автосамосвалы.

Изменившиеся в странах СНГ социально-экономические условия, а также научно-технические достижения диктуют необходимость в начале XXI века обсудить и наметить пути дальнейшего развития теории и практики решения проблем открытых горных разработок, в том числе транспортных. К числу наиболее актуальных проблем дальнейшего развития карьерного транспорта в XXI веке, требующих проведения научных исследований и проектно-конструкторских разработок, относятся следующие пять:

1. Анализ научно-методической базы исследований и разработка новых методик, критериев оценки эффективности различных видов и технологических схем транспорта, обоснование направлений развития учения о карьерном транспорте.

2. Исследование перспектив развития открытых горных разработок с целью уточнения условий формирования и функционирования транспортных систем на долгосрочную (15–20 лет) перспективу.

3. Исследование направлений развития технических средств отдельных видов транспорта, отвечающих требованиям эффективности, в том числе энергосбережения и экологичности.

4. Совершенствование теории и методов проектирования транспортных систем.

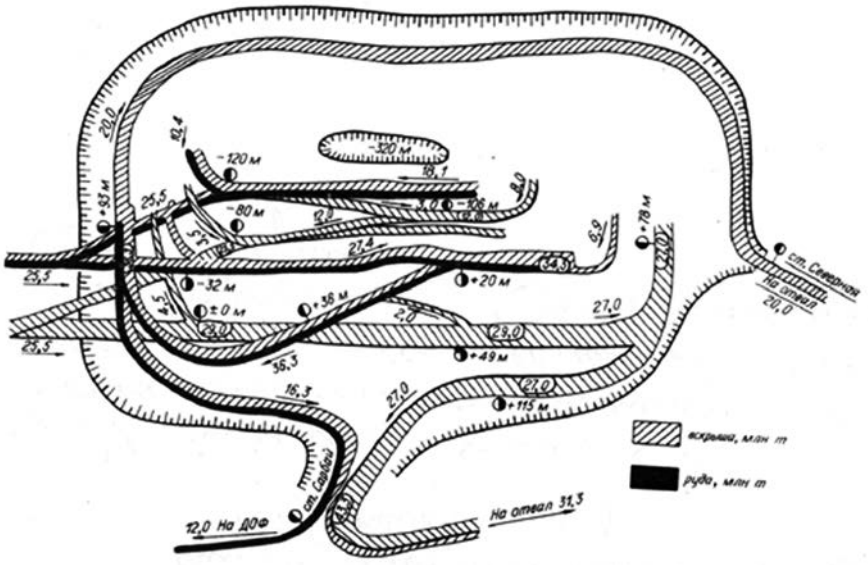


Рисунок 6.3. Схема грузопотоков Сарбайского карьера на 1995 г., предложенная институтом Гипроруда

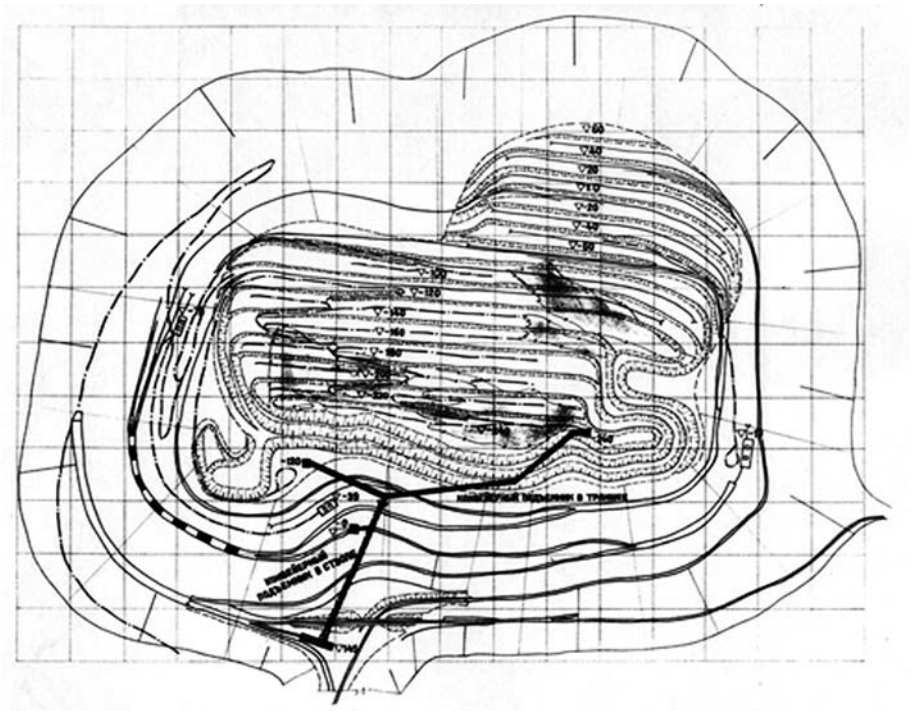


Рисунок 6.4. Схема транспорта для разработки нижних горизонтов Сарбайского карьера, предложенная ИГД МЧМ СССР на 1995 г.

5. Разработка новых принципов организации и управления транспортными процессами на карьерах с использованием современных методов, компьютерных технологий с учетом динамики развития горнотехнических систем при разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений, чему посвящены материалы данной монографии.

6.2. Основные факторы, учет которых необходим при формировании транспортных систем карьеров при освоении запасов глубокозалегающих сложноструктурных месторождений

Учитывая роль и место карьерного транспорта в горнотехнических системах при формировании транспортных систем карьеров следует учитывать две группы природных условий при освоении запасов глубокозалегающих сложноструктурных месторождений. Горно-геологическая группа: запасы, их качество, категория сложности геологического строения, обводненность пород, мощность покрывающих пород, крепость вмещающих пород и полезного ископаемого, тектоническая нарушенность, угол падения залежи, глубина разработки, число рудных тел (угольных пластов), их мощность и строение, коэффициент вскрыши и др. Физико-географическая группа: средняя температура воздуха в июле и январе, относительная влажность воздуха (минимальная и максимальная), величина атмосферного давления, количество осадков, высота снежного покрова, число туманных дней в году, средняя минимальная и максимальная скорость ветра, суммарная солнечная радиация, сейсмичность района, характер рельефа, водные ресурсы, географическая широта и долгота, наличие вечной мерзлоты. Важнейшее значение имеют также факторы, определяющие начальные условия освоения месторождения: годовая производственная мощность предприятия, показатели кондиций, системы вскрытия и разработки месторождения, характеристики социально-производственной инфраструктуры района освоения.

Применительно к рудным месторождениям под качеством запасов понимают число полезных компонентов и их среднее содержание, структуру баланса минералов и элементов в рудах, технологические свойства, их неоднородность и изменчивость, неоднородность и изменчивость полей содержания полезных компонентов, рудоносность, изменчивость мощности залежи, буримость, взрываемость и дробимость руд и вмещающих пород.

В целом зависимость показателей эффективности освоения месторождений полезных ископаемых одноименного сырья от естественной дифференциации природных условий весьма значительна. Она методологически и теоретически объяснена в

геолого-экономической оценке месторождений и в механизме рентных платежей. Именно этой закономерностью объясняется деление месторождений и их участков на балансовые и забалансовые.

При проведении геолого-технолого-экономической оценки месторождений, проведении научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ, принятии решений о целесообразности и очередности разработки месторождений, при обосновании ее интенсивности и сроков, выборе способов и технологий, в том числе при формировании транспортных систем карьеров, должны учитываться комплексность месторождения, структура баланса минералов и элементов в рудах, физико-механические характеристики пород, технологические свойства. В процессе разработки месторождения естественные условия добычи и переработки полезных ископаемых, глубина разработки и ее рост, сопровождающийся нарастанием геологической, горнотехнической и технико-экономической информации, в том числе связанной с ухудшением качества минерального сырья, усложнением условий его добычи и переработки, с изменением вкрапленности полезных минералов и компонентов в руде требует решения научных, технических и организационно-методических проблем.

Особенность сложноструктурных месторождений состоит в том, что они залегают в сложной геологической обстановке в виде жил, линз, пластов переменной мощности. Тела полезного ископаемого во многих случаях содержат включения пустых пород или некондиционных руд разных размеров и формы, осложнены складчатыми и разрывными тектоническими нарушениями; мощность и элементы залегания тел полезных ископаемых меняются в широких пределах. Количество рудных тел велико. Устойчивость горных пород, их трещинноватость, естественная блочность и слоистость, пределы прочности и деформационные свойства меняются в широких пределах. В еще большей степени, чем форма, размеры тел и механические свойства, изменяется качественный состав полезного ископаемого. Имеет место закономерная и случайная зональность общего баланса минералов, высокая неравномерность их содержания и гранулометрического состава от сплошных до тонковкрапленных руд, которые связаны между собой сложными взаимопереходами.

Нарастание информации о месторождении по мере его освоения создает трудности принятия решений. Наиболее полными знания о месторождении становятся всегда к моменту его полной отработки. Поэтому за критерий «истинных» геологических условий и всех параметров рекомендовано принимать значения и характеристики по данным отработки месторождения и его участков. Эта информация используется в анализе точности геологических прогнозов на разных стадиях геологоразведочного процесса для совершенствования методов опробования, разведки и оценки месторождений, оптимизации распределения затрат по стадиям разведки и освоения месторождения в целом.

Важнейшей задачей принятия решений по формированию транспортных систем глубоких карьеров на всех этапах освоения запасов глубокозалегающих месторождений (*табл. 6.7*) является исследование и реализация переходных процессов в технике и технологии горно-обогатительного производства.

При решении транспортной проблемы глубоких карьеров следует учитывать основные современные тенденции совершенствования технологических процессов на период до 2025–30 гг.

Экскавация: рост единичной мощности мехлопат связан прежде всего с увеличением вместимости ковша экскаватора до 12–50 м^3. Увеличение доли гидравлических экскаваторов, формирование специализированных экскаваторных комплексов, роботизация операций. Возобновление выпуска экскаваторов с ковшом активного действия (ЭКГ-5В).

Транспортирование: применение автотранспорта в основном в качестве сборочного звена. Повышение грузоподъемности автосамосвалов до 350–400 т пропорционально увеличивающейся вместимости ковша карьерных экскаваторов, сокращение высоты подъема, возрастание роли циклично-поточной технологии,

Таблица 6.7

Этапы принятия решений по эффективному освоению месторождения и последовательности формирования транспортной системы его разработки

Этап освоения месторождения	Этап формирования транспортной системы
1. Оценка геологических, природно-климатических и социально-экономических условий освоения месторождения: разведанность, условия залегания, запасы	Обоснование возможных для применения видов и технических средств транспорта, в том числе внутрикарьерного (сборочного и магистрального) и внешнего
2. Проект разработки месторождения: Способ разработки. Границы и глубина карьера, поэтапная разработка. Производственная мощность по рудной и горной массе. Схема вскрытия и системы разработки. Система управления качеством	Выбор видов и технических средств транспорта, их параметров, зон эффективного применения; переходные процессы (внутри вида транспорта, с одного вида транспорта на другой). Перегрузочные пункты при схемах комбинированного транспорта, места их расположения, периодичность и порядок переноса по мере роста глубины карьера. Схема транспортных коммуникаций по этапам разработки до предельных контуров карьера
3. Строительство и ввод в эксплуатацию горного предприятия. Применяемая техника может отличаться от проектной. Уточняются: объем и качественная характеристика запасов. Вывод: требуется корректировка проектных решений, в том числе принятие новых технологий	Применяемые в период строительства карьера виды технических средств транспорта, транспортные коммуникации должны стать звеном формируемой в дальнейшем транспортной системы. Особенно это важно при применении циклично-поточной технологии, железнодорожного транспорта, транспортные коммуникации которых следует развивать с момента ввода карьера в эксплуатацию
4. Поэтапная разработка месторождения: 4.1. Открытая геотехнология с выделением этапов, их границ по глубине, временно законсервированных запасов и бортов карьера. 4.2. Переход на подземную разработку месторождения с полной изоляцией внутришахтных выработок и коммуникаций внутрикарьерного пространства. 4.3. Комбинированная открыто-подземная разработка с одновременным или последовательным ведением открытых и подземных горных работ	Формирование поэтапных схем развития транспортных коммуникаций. Периодическая реконструкция транспортной системы карьера с переносом транспортных коммуникаций с временно нерабочих бортов на постоянные. Вскрытие новых, в том числе глубоких, горизонтов. Перенос перегрузочных пунктов. Использование карьерного транспорта для доставки на поверхность горной массы из подземных горных выработок

ввод крутонаклонных конвейеров и специализированных транспортных средств с дистанционным управлением. Для сложных климатических и горнотехнических условий использование гусеничных автосамосвалов грузоподъемностью 20–40 т и более.

Отвалообразование: стабилизация объемов экскаваторного отвалообразования. Рост доли автоотвалов в период строительства новых карьеров и доли внутренних отвалов при их доработке.

Безусловно, требует дополнительного исследования целесообразность изменения параметров автомобильно-железнодорожного транспорта. Здесь возможны два основных пути решения проблемы интенсификации горных работ в нижней зоне карьеров:

— существенное сокращение высоты подъема и расстояний транспортирования горной массы из забоев до перегрузочных пунктов на железнодорожный транспорт, однако здесь есть одно труднопреодолимое препятствие — применение экскаваторов с ковшом большой вместимости (30–40 м^3) на погрузке в забое верхних горизонтов и на перегрузочных пунктах сдерживается вместимостью погонного метра думпкаров;

— применение на нижних горизонтах более мощных погрузо-транспортных (экскаваторно-автомобильных) комплексов в отличие от существовавшего многие годы мнения, что этого делать не следует из-за необходимости создания более широких рабочих площадок и автомобильных съездов.

Перспективы технологического развития, в том числе, формирование транспортной системы карьера и управление ее функционированием при разработке глубокозалегающих месторождений, связаны с решением следующих задач:

— реконструкция границ открытой разработки с одновременным увеличением глубины разработки и изменением технологии;

— вскрытие глубоких горизонтов карьеров с использованием крутых углов откоса уступов и бортов карьеров, с применением специальной горной и транспортной техники (относительно малые габариты машин, повышенные до 20–30% уклоны транспортных коммуникаций) или расширением и возобновлением использования крутонаклонных и ленточных конвейеров — ЦПТ);

— переход на подземные горные работы с возможным использованием транспортного комплекса карьера, как это предусматривается при разработке глубоких горизонтов Сарбайского железорудного месторождения;

— комбинированная разработка глубоких горизонтов с одновременным ведением открытых и подземных горных работ с различными вариантами взаимного использования транспортных коммуникаций и выработанного пространства для складирования вскрышных пород;

— управление качеством поставляемой на обогатительную фабрику рудной массы путем применения селективной разработки запасов, имеющих различные геологические характеристики (содержание основных и попутных полезных компонентов, физико-механические свойства и др.), требующих предобогащения в карьере и усреднения перед последующими процессами доведения добываемого минерального сырья до товарной продукции;

— развитие рабочей зоны, в том числе при поэтапной разработке месторождения, применение нескольких видов транспорта при самостоятельном и комбинированном их использовании, создание условий для временного размещения транспортных коммуникаций и перегрузочных пунктов.

Особенности формирования транспортных систем кимберлитовых карьеров Якутии состоят в том, что помимо специфических природных условий (многолетнемерзлые горные породы) на формирование транспортных систем оказывают влияние горнотехнические и технологические параметры кимберлитовых карьеров: ограниченные размеры по поверхности и дну при значительной их глубине и крутых углов наклона бортов, что, с одной стороны, определило предпочтительное применение автомобильного транспорта, с другой — вызвало необходимость создания специализированных транспортных средств и погрузо-транспортных комплексов, способных преодолевать повышенной крутизны уклоны внутрикарьерных автомобильных дорог, особенно съездов при вскрытии и отработке запасов глубоких горизонтов с целью увеличения глубины карьера без дополнительного разноса бортов сформированного предельного проектного контура на действующих карьерах, а также при освоении новых месторождений открытым способом.

6.3. Основные принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров

Учеными сформировавшихся научных школ в области открытой разработки месторождений и карьерного транспорта во второй половине XX столетия в Московском горном институте, ныне МГГУ (Е.Ф. Шешко, В.В. Ржевский и др.), Институте проблем комплексного освоения недр (Н.В. Мельников, К.Н. Трубецкой и др.), Институте горного дела МЧ СССР, ныне ИГД УрО РАН, (М.В. Васильевым, В.Л. Яковлевым и др.), Свердловском горном институте, ныне УГГУ (В.С. Хохряковым и др.), Санкт-Петербургском горном институте, ныне СПбГГИ(ТУ) (А.А. Кулешовым и др.), Днепропетровском горном институте, ныне НГУ (М.Г. Новожилов и др.) внесен большой вклад в теорию и практику формирования транспортных систем карьеров, обоснование областей рационального применения различных видов транспорта, в том числе автомобильного, развитие и широкое применение которого связано с большой ролью Белорусского автомобильного завода, его конструкторов и ученых (З.Л. Сироткин, П.Л. Мариев, А.Н. Егоров и др.) в создании и производстве автосамосвалов семейства БелАЗ. Сформировавшийся и до последнего времени широко применявшийся в исследованиях и при проектировании метод опирался на обоснование сфер рационального применения различных видов карьерного транспорта, выбор вида и схемы транспорта, применяемых типов транспортного оборудования из достаточно широкого ряда выпускаемой отечественными и зарубежными заводами техники.

В процессе разработки глубокозалегающих, в частности железорудных, месторождений происходят изменения условий и результатов развития транспортных систем карьеров (*табл. 6.8*).

В сравнении с 1990 г. в 2014 г. наибольшие изменения произошли в глубине карьеров (в среднем в 1,5 раза), грузоподъемности автосамосвалов (в 1,4–1,6 раза), расстояния транспортирования (авто — в 1,6–2,0 раза). К сожалению, в [123] не приводятся данные о высоте подъема горной массы из забоев до перегрузочных пунктов, которая в большей степени, чем рост расстояний транспортирования, свидетельствуют о недостаточно интенсивом развитии железнодорожного и отсутствии в карьере конвейеров в качестве магистрального транспорта от пункта приема горной массы от автосамосвалов. Если в 1990 г. объем работ применением циклично-поточной технологии составлял 39,2 млн т, в том числе 35,4 млн т руды и 3,8 млн т вскрыши, то в 2014 г. он снизился до 23,67 млн т и только на Оленегорском и Ковдорском ГОКах, а на Стойленском ГОКе в 2007 г. комплекс ЦПТ вообще был ликвидирован.

Значительные затраты ресурсов приходятся на карьерный транспорт (*табл. 6.9*), в частности автомобильный (*табл. 6.10*).

В данной работе обосновывается и формируется новый методический подход, суть которого состоит в следующем. Каждое месторождение уникально по форме, объемам и условиям залегания, физико-механическим свойствам слагающих запасы и вмещающих их горных пород, рельефу местности, климату и гидрографии района месторождения, социально-экономической обстановке, развитости инфраструктуры. В идеале, исходя из специфических особенностей каждого конкретного месторождения, следовало бы создавать такой комплекс горной и транспортной техники и технологию ее рационального применения, которые позволили бы обеспечить мак-

Таблица 6.8

Изменение горнотехнических условий развития транспортных систем железорудных карьеров России (1990-2014гг)*

ГОК	Объем горной массы, млн т	Глубина карьера, м	Вместимость ковша экскаватора, м³	Сред. грузоп. автосамосвала, т	Транспорт из забоев, %		Расстояние трансп-ия, км	
					Авто	Ж/д	Авто	Ж/д
Михайловский	97,9 / 123,4	195 / 350	8,4 / 9,3	84,3 / 114,9	55,8 / 65,2	30,4 / 34,7	2,17 / 2,3	9,7 / 14,6
Стойленский	66,2 / 85,0	230 / 359	7,2 / 9,4	76,0 / 110,0	41,7 / 41,9	22,5 / 48,5	2,38 / 4,9	8,5 / 10,6
Лебединский	85,0 / 96,2	265 / 412	8,1 / 8,8	93,0 / 140,0	54,6 / 54,7	27,7 / 39,9	1,67 / 2,71	11,4 / 14,6
Костамукшский	70,7 / 138,9	240 / 315	7,9 / 12,8	108,0 / 175,0	100 / 100	–	2,3 / 3,07	5,4 / 14,1
Оленегорский	31,1 / 6,0	245 / 404	6,6 / 11,4	93,3 / 136,0	64,0 / 100,0	16,0 / –	1,78 / 2,57	9,8 / 11,7
Ковдорский	65,2 / 43,0	211 / 398	8,0 / 9,8	106,0 / 130,0	65,2 / 45,4	–	3,39 / 4,72	–
Коршуновский	56,8 / 44,7	180 / 338	7,6 / 9,4	97,0 / 121,0	53,2 / 97,0	46,8 / 3,0	1,76 / 3,0	13,1 / 11,7

* Числитель — 1990 г., знаменатель — 2014 г.

Таблица 6.9

Проблемы развития карьерного транспорта и пути их решения на действующих горных предприятиях

Проблема	Путь решения
1. Низкая производительность автосамосвалов и тяговых агрегатов вследствие: 1.1. Старения парка и его несоответствия условиям эксплуатации. 1.2. Низких коэффициентов готовности и использования. 1.3. Неоптимальности параметров транспортных систем	1. Анализ структуры парка, условий и показателей его использования, в том числе: — списание физически и морально устаревших машин и их замена; — устранение причин простоев; — анализ условий функционирования транспортной системы и оптимизация ее параметров
2. Неоправданно большая доля вторичных перевозок в системах комбинированного транспорта	2. Более глубокий ввод ж.-д. транспорта и перегрузочных пунктов с целью сокращения объемов и высоты подъема горной массы автосамосвалами
3. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров	3. Создание и применение новых погрузочно-транспортных комплексов

симальный экономический эффект при полноте и комплексности освоения недр, минимизацию негативного воздействия горного производства на природную среду. В реальности, несмотря на многообразие условий разработки месторождений, можно выделить несколько их групп, систематизировав по ряду важнейших определяющих признаков, для каждой из этих групп условий предложить комплекс технологий и технических средств, в том числе специализированных средств карьерного автомобильного транспорта. Особенности выбора транспортных систем отработки формирования проектируемых, реконструируемых карьеров и освоении новых месторождений в новых регионах представлены на рис. 6.5. При этом важную роль играют взаимосвязи научных, проектных и машиностроительных организаций (*рис. 6.6*).

Опыт эксплуатации карьеров, практика проектирования новых и реконструкции действующих горно-добывающих предприятий, результаты многолетних научных исследований свидетельствуют о том, что для карьера глубиной более 200–300 м к моменту освоения проектной мощности невозможно создать транспортную систему, которая могла бы обеспечить эффективную разработку месторождения в течение всего срока службы. Это обусловлено следующими причинами: а) разработка глубоких крутопадающих месторождений осуществляется поэтапно с выделением промежуточных контуров, временной консервацией части рабочих бортов карьера, в связи с чем при переходе от одного этапа к другому перестройка транспортной системы карьера становится неизбежной; б) по мере развития карьера, условия разработки и транспортирования горной массы, эффективность различных видов транспорта изменяются неодинаково, поэтому для обеспечения оптимальных параметров транспортной системы необходима ее периодическая реконструкция с введением новых видов транспорта; в) техническое развитие действующих и создание новых видов за длительный период эксплуатации карьера позволяет неоднократно менять оценку эффективности применения тех или иных видов транспорта и пересматривать решение о целесообразности их применения в конкретных горно-технических условиях.

Таблица 6.10

Пути снижения расхода дизельного топлива на технологических автоперевозках

Основные направления и мероприятия	Ожидаемый результат
Технологические	
Сокращение высоты подъема и дальности транспортирования горной массы в комбинированных транспортных схемах за счет правильного выбора места перегрузочных пунктов	Уменьшение высоты подъема сборочным автотранспортом на 10 м позволяет сэкономить на перевозке 1 млн т горной массы 10–12 т топлива; сокращение дальности транспортирования на 100 м — 2,5–3,2 т топлива
Увеличение уклона карьерных автодорог	Сокращение дополнительного разноса бортов от размещения транспортных коммуникаций, уменьшение расхода топлива за транспортный цикл на 1,6–3,0% на 1% увеличения уклона
Оптимизация схемы вскрытия рабочих горизонтов временными автосъездами	Снижение горизонтальной составляющей грузооборота на 20–40%, сокращение расхода топлива на 2–6%
Повышение транспортно-эксплуатационных качеств и надежности конструкций карьерных автодорог	Сокращение расхода топлива на 0,8–1,2% при снижении сопротивления качению на 1 кН/т
Устройство внутрикарьерных стоянок технологического автотранспорта	Экономия 8–15 т топлива на 1 млн т перевезенной горной массы сборочным автотранспортом при Нк ⩾ 200 м
Внедрение дизель-троллейвозного транспорта	Сокращение расхода топлива на 50-70%, повышение энергетической эффективности транспортных систем на 3,0-3,5% в настоящее время и на 18-20% в перспективе
Организационные	
Совершенствование управления работой автотранспорта. Разработка и внедрение автоматизированных экспертных систем планирования, нормирования и анализа расхода топлива	По опыту горнорудных предприятий достигается снижение на 8–10% простоев автосамосвалов, вызванных необеспеченностью топливом и недостаточной обоснованностью нормативов
Совершенствование технического обслуживания и ремонта автосамосвалов, внедрение аппаратуры комплексной диагностики	Снижение удельного расхода топлива по парку автосамосвалов до 5%

В научно-методическом плане решение транспортной проблемы глубоких карьеров имеет следующую специфику: вместо решения задачи о выборе вида транспорта, как она обычно формулировалась многие годы, стоит вопрос о разработке научно обоснованной теории последовательного формирования транспортных систем глубоких карьеров в течение всего срока службы до конца отработки месторождения. Составными частями теории формирования транспортных систем глубоких карьеров являются:

— исследование закономерностей формирования грузопотоков при поэтапной разработке месторождений;

— обоснование оптимальной продолжительности отдельных этапов, сроков долговременной консервации и расконсервации временно нерабочих бортов карьеров под транспортными коммуникациями;

Рисунок 6.5. Роль науки в выборе стратегии формирования транспортных систем карьеров

Рисунок 6.6. Взаимосвязи научных, проектных и машиностроительных организаций в решении проблем карьерного транспорта.

— техническая и технологическая оценки основных видов карьерного транспорта и обоснование рациональных параметров и условий их применения в общей транспортной системе глубоких карьеров в различные периоды их эксплуатации;

— разработка критерия оптимальности стратегии формирования транспортной системы до конца отработки месторождения;

— разработка методики определения моментов перехода на новые виды и схемы транспорта и установления пространственных границ рациональной эксплуатации различных видов транспорта в предельных контурах карьера;

— оптимизация параметров погрузочного и транспортного оборудования и элементов транспортной системы карьера с учетом динамики горно-технических условий и соответствующих им технико-экономических показателей используемых видов и технических средств транспорта;

— типизация схем формирования транспортных систем глубоких карьеров.

Методическое обеспечение долго- и дальнесрочного прогнозов формирования транспортных систем карьеров включает следующие этапы: 1. Установление факторов влияния прогноза. 2. Выявление основных закономерностей и тенденций формирования транспортных систем карьеров. 3. Определение основных параметров прогнозного фона, в частности темпов роста цен на углеводородное сырье, ужесточения экологических требований к карьерному транспорту. 4. Разработка алгоритма сценариев развития ситуации по этапам. 5. Имитационно-статистическое моделирование функционирования транспортных систем карьеров. Выявление ограничений их развития. 6. Разработка способов верификации и корректировки прогноза. 7. Разработка алгоритма принятия решения по окончательному варианту сценария.

Решения сформулированной выше проблемы методического обеспечения прогноза формирования транспортных систем карьеров предлагается достичь при:

— прогнозе на основе количественного и качественного анализа тенденций и закономерностей их развития при адаптивном управлении, совершенствовании научно-методической базы и программного обеспечения моделирования функционирования транспортных систем карьеров;

— учете адаптивного характера развития транспортных систем карьеров, выявлении закономерностей и ограничений их формирования, определении наиболее вероятного прогнозного фона;

— использовании разработанных имитационных интерактивных моделей функционирования основных видов карьерного транспорта. Это позволяет «проиграть» варианты развития транспортных систем карьеров;

— вероятном прогнозном фоне с учетом макроэкономических показателей, в частности, цен на углеводородное сырье;

— обширном материале по формированию горно-транспортных систем, наработанным уральской школой карьерного транспорта.

Наиболее обобщающим принципом, которым следует руководствоваться при решении всех вопросов, связанных с транспортом, является оптимизация параметров транспортной системы карьера на всех этапах разработки месторождения. Способность этого принципа быть обобщающим подтверждается тем, что он может быть сформулирован в виде целевой функции и учитывает непосредственное или опосредованное воздействие всех основных групп влияющих факторов: природных, тех-

нических, технологических и социально-экономических. Реализуется этот принцип при формировании алгоритмов выбора оптимальных параметров как отдельных подсистем, так и горно-обогатительного комбината в целом. Основные принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров и способы их учета могут быть представлены следующей таблицей 6.11.

На основе многолетних исследований опыта разработки железорудных месторождений обоснованы положения общей стратегии формирования транспортных систем глубоких карьеров.

1. Ни один из видов карьерного транспорта не имеет в совокупности технических, технологических и экономических достоинств, которые позволили бы утверждать, что с его использованием без помощи других видов транспорта можно отрабатывать хотя бы один карьер большой глубины: одновременное или последовательное применение двух и более видов транспорта в самостоятельном или комбинированном использовании является объективно неизбежным.

2. Как при проектировании нового глубокого карьера, так и при его реконструкции в процессе эксплуатации транспортная система для всех этапов разработки должна рассматриваться и приниматься с учетом ее формирования до конца разработки месторождения, в том числе с учетом возможного перехода на открытоподземный и подземный способы разработки.

3. Последовательность формирования транспортной системы должна увязываться 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 неизбежен периодический перенос системы вскрывающих выработок и транспортных коммуникаций, однако он должен

Таблица 6.11

Основные принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров

Принцип	Способ реализации
1. Оптимизация параметров транспортной системы карьера в течение всего срока разработки месторождения	1.1. Системный подход к оценке эффективности видов и схем транспорта. 1.2. Поэтапная оптимизация на основе критериев народнохозяйственной эффективности. 1.3. Учет динамики технико-экономических показателей
2. Обеспечение соответствия транспортной системы карьера изменяющимся горнотехническим условиям разработки месторождения	2.1. Дифференциация горно-технических условий разработки по глубине карьера. 2.2. Учет изменения величины и направления грузопотоков полезного ископаемого и вскрыши в процессе эксплуатации карьера. 2.3. Комплексное решение схемы вскрытия и транспортной системы карьера в увязке с обоснованием промежуточных и конечных контуров карьера
3. Обеспечение единства функционирования технологических процессов добычи, транспортировки, переработки и складирования руд и пород	3.1. Учет взаимодействия отдельных видов транспорта между собой и с технологичей смежных процессов. 3.2. Обеспечение способности транспортной системы к адаптации

осуществляться таким образом, чтобы в любой момент времени была возможность обеспечения грузопотоков горной массы со всех горизонтов рабочей зоны карьера. Иными словами, по мере развития горных работ к моменту ликвидации действующей системы вскрывающих выработок, съездов, подъемников, попадающих в зону разноса борта, должна быть сформирована другая система транспортных коммуникаций, способных обеспечить нормальную работу карьера в период реконструкции его транспортной системы без снижения производственной мощности [157].

6.4. Формирование транспортной системы карьера на основе циклично-поточной технологии горных работ

Циклично-поточная технология (ЦПТ) является перспективным направлением разработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых [47, 84, 87]. Эта технология предусматривает использование для перемещения горной массы комбинации с конвейерным автомобильного и железнодорожного транспорта. В мире преимущественное применение на карьерах получил комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт как имеющий возможность наиболее полной адаптации к условиям разработки глубоких горизонтов. ЦПТ с автомобильно-конвейерным транспортом впервые была применена на железорудных карьерах США в конце 30-х годов прошлого столетия. Некоторые особенности развития и совершенствования комплексов ЦПТ на отечественных и зарубежных карьерах приведены в табл. 6.12.

ЦПТ с автомобильно-конвейерным транспортом применяется в различных климатических условиях в США, Канаде, Мексике, Чили, Перу, Либерии, Австралии, России, Украине, Узбекистане. Применение этой технологии в СССР впервые было осуществлено в начале 1960-х годов на небольших флюсовых, а позднее на мощных рудных карьерах. Широкое распространение ЦПТ с автомобильно-конвейерным транспортом получило в связи с возможностью существенного снижения расхода материальных, энергетических и финансовых ресурсов при разработке глубоких карьеров.

Эффективность использования комплексов ЦПТ, несмотря на их значительную капиталоемкость, проявляется в ресурсосбережении за счет существенного уменьшения рабочего парка автосамосвалов, обслуживающих дробильно-конвейерные комплексы, снижения себестоимости транспортирования 1 т горной массы на 30–35%, повышения производительности труда на 25-35% и рационального ведения горных работ.

Анализ эксплуатации комплексов ЦПТ показал, что использованы далеко не все резервы повышения эффективности прогрессивной технологии на глубоких карьерах. Перспектива развития ЦПТ должна основываться на прогрессивных техниче-

Таблица 6.12

Тенденции развития циклично-поточной технологии на карьерах

Период	Объем перевозок, млн т (вид п.и.)	Расстояние транспортирования, км		Оборудование
		Сборочным транспортом	Конвейерным транспортом	
1945–1960 гг.	4–5 (медная и железная руды)	0,3–1,0 (иногда до 3)	0,3–3,0 (максимальное 12)	Экскаваторы с вместимостью ковша 3–4 м^3; автосамосвалы грузоподъемностью 20–34 т (редко 40–45 т); щековые дробилки с приемным отверстием 1000×1200, 1200×1500, 1524×2183 мм, ленточные конвейеры преимущественно с лентой шириной 760 и 914 мм и скоростью ее движения до 3 м/с
1961–1970 гг.	До 20–25 (медная и железная руды)	0,4–2,0 (иногда до 3)	0,4–3,8 (максимальное 15,4)	Экскаваторы с вместимостью ковша 11, 19, 23 м^3; автосамосвалы грузоподъемностью 65–85 т (иногда 110–120 т); конусные дробилки с шириной приемного отверстия 1372–1524 мм; ленточные конвейеры с лентой шириной 814–1524 мм (преимущественно 1200, 1372, 1524 мм) и скоростью движения 2–4 м/с
1971–2000 гг.	До 22–36 (медная, железная руды, скальные вскрышные породы)	1,2–2,5	1,5–3,0	Экскаваторы с вместимостью ковша 8, 19, 23 м^3; автосамосвалы грузоподъемностью 75–110, 120–138 т; конусные дробилки с шириной приемного отверстия 1370–1524 мм (до 2769 мм); щековые дробилки с приемным отверстием 1500×2100 мм; передвижные дробильно-перегрузочные установки; ленточные конвейеры с лентой шириной 1600–2000 мм и скоростью движения до 4–5 м/с; крутонаклонные ленточные конвейеры с лентой шириной 2000 мм
После 2000 г.	ЦПТ получила более широкое распространение. Введены в эксплуатацию комплексы ЦПТ: для перемещения скальных вскрышных пород; с передвижными ДПУ; с крутонаклонным двухконтурным конвейером, поднимающим руду из карьера под углом 37° на высоту 270 м. Основные направления развития ЦПТ сохраняются			

ских и технологических решениях: применении в карьерах передвижных дробильно-перегрузочных пунктов; крутонаклонном конвейерном подъеме горной массы из карьеров до приемных пунктов на поверхности; рациональных системах вскрытия горизонтов размещения дробильно-конвейерных комплексов при многофункциональном использовании отдельных карьерных выработок и транспортных связей. Кроме этого важное значение имеет момент ввода комплексов ЦПТ в эксплуатацию [86].

Для вновь разрабатываемых месторождений использование комплексов ЦПТ необходимо рассматривать как вариант для доставки руды на ДОФ с самого начала добычи полезного ископаемого. В этом случае в период строительства карьера следует подготовить площадки для размещения дробильно-перегрузочного пункта (ДПП), который по мере освоения производственной мощности будет оснащаться

необходимым оборудованием. Также необходимо проложить конвейерную линию для подачи руды от ДПП на 2-ю стадию дробления дробильно-обогатительной фабрики (ДОФ).

Для карьеров, разрабатывающих глубокозалегающие месторождения скальных полезных ископаемых с большой заданной производительностью и относительно небольшим сроком разработки, необходима высокая скорость понижения горных работ. Для таких карьеров первоначальное размещение дробильно-перегрузочного пункта на конечном борту карьера на глубине более 100 м от поверхности может оказаться экономически невыгодным из-за небольших оставшихся объемов разработки. Наиболее рациональной может быть выдача по дробильно-конвейерному комплексу из карьера на ДОФ всего объема полезного ископаемого. В этом случае целесообразно использовать передвижные дробильно-перегрузочные установки (ПДПУ), которые на момент начала выдачи на ДОФ полезного ископаемого размещают во внешней траншее, расположенной за конечным контуром карьера (*рис. 6.7*). При таком размещении дробильных установок и конвейерной линии уменьшается сейсмическое влияние взрывных работ в карьере на дробильно-конвейерное оборудование. 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. Применение передвижных дробильно-перегрузочных установок позволяет повысить эффективность работы дробильно-перегрузочного пункта за счет уменьшения количества простоев, связанных с переносом и монтажом дробильной установки. В качестве дробилок рационально использовать щековые дробилки крупного дробления. При их использовании глубина траншеи составит 15 м и потребуется выемка относительно небольшого объема вскрышных пород. Проведение внешней траншеи для размещения в ней дробильных установок и части конвейерной линии осуществляется при выходе уступов верхнего горизонта карьера на конечный контур.

При удлинении дробильно-конвейерного комплекса ленточный конвейер размещают во внутренней траншее, которая с целью наименьшего объема горно-подготовительных работ должна быть выполнена в форме полутраншеи. Дробильные установки на новое место на нижних горизонтах 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 потребуется относительно мало времени. Поэтому дробильно-перегрузочный пункт, оборудованный передвижными дробильно-перегрузочными установками, целесообразно до конца разработки разместить в одном месте на конечном борту карьера, куда эти установки перемещают из внешней конвейерной траншеи.

Для эффективной разработки основного объема горной массы в глубоком карьере необходимо использовать автосамосвалы большой грузоподъемности. В то же время использование в карьере только таких автосамосвалов требует выемки большого объема вскрышных пород под рабочие площадки и транспортные коммуникации. При разработке глубокозалегающих месторождений большой площади эффективным может быть одновременное применение автосамосвалов разной грузоподъемности. Использование в глубинной части рабочей зоны карьера автосамос-

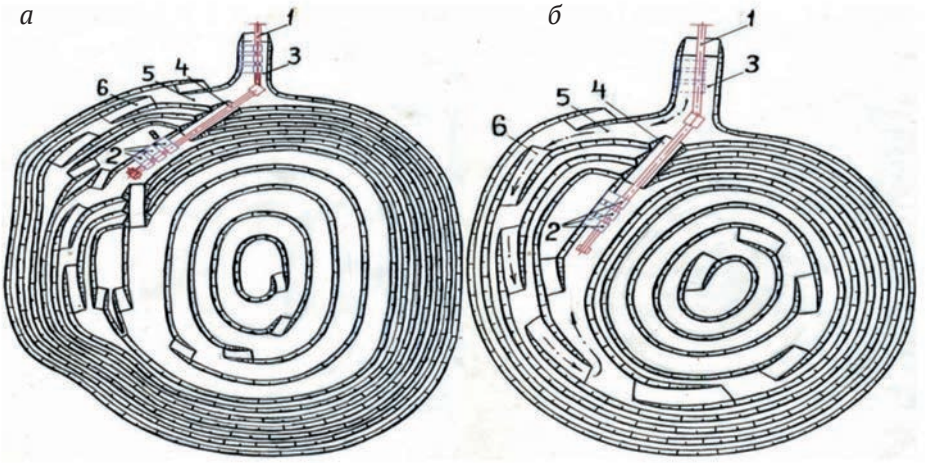


Рисунок 6.7. Разработка карьера по ЦПТ с выдачей всего объема полезного ископаемого на ДОФ дробильно-конвейерным комплексом: *а* – при однобортовой системе разработки; *б* – при центрально-кольцевой системе разработки; *1* – конвейерная линия; *2* – ПДПУ; *3* – внешняя конвейерная траншея; *4* – конвейерная полутраншея; *5* – горизонтальная транспортная берма; *6* – автомобильный съезд

валов относительно малой грузоподъемности для выдачи полезного ископаемого на дробильно-перегрузочные установки позволит вести разработку при большом угле откоса рабочего борта карьера с минимальным текущим коэффициентом вскрыши. При этом автосамосвалы большой грузоподъемности должны быть использованы при транспортировании основного объема горной массы из нижней части карьера. При выходе рабочих уступов в нижней части карьера на конечный контур съезд для автосамосвалов большой грузоподъемности необходимо разместить на временных целиках пород, расположенных по границе рабочего и конечного бортов карьера. Параллельно этому съезду в рабочей зоне карьера необходимо сформировать съезд для автосамосвалов малой грузоподъемности (*рис. 6.8*). Когда при углублении карьера размещение съездов для автосамосвалов большой грузоподъемности на его бортах из-за уменьшающихся размеров рабочей зоны станет невозможным, целики пород под широкими съездами и оставшийся объем горной массы в карьере разрабатывают с формированием на конечных бортах карьера только съезда для автосамосвалов малой грузоподъемности [93]. При этом полезное ископаемое и скальные вскрышные породы транспортируют на внутрикарьерный дробильно-перегрузочный пункт, оборудованный передвижными дробильно-перегрузочными установками.

Использование при транспортировании основного объема горной массы из нижней части карьера автосамосвалов большой грузоподъемности позволит сократить транспортные расходы, а формирование на конечном контуре в нижней части карьера съезда только для автосамосвалов малой грузоподъемности позволит повысить углы откоса конечных бортов карьера и, соответственно, уменьшить объем выемки вскрышных пород в карьере. Использование в нижней зоне карьера автосамосвалов малой грузоподъемности позволяет складировать объем пород из этой

зоны карьера на некоторой ширине бермы широкого съезда [92]. Оставшуюся ширину этой бермы используют под съезд для автосамосвалов малой грузоподъемности. От ярусов вскрышных пород съезд отделен предохранительными валами.

В качестве автосамосвалов малой грузоподъемности могут быть использованы автосамосвалы с шарнирно-сочлененной рамой, которые могут преодолевать более крутой уклон, чем обычные колесные автосамосвалы. Их можно эффективно использовать при доставке полезного ископаемого на дробильно-конвейерный комплекс. Они могут быть использованы с самого начала разработки полезного ископаемого, когда месторождение вскрыто с использованием автосамосвалов большой грузоподъемности, но для дальнейшего их использования при добыче полезного ископаемого требуется выемка больших текущих объемов вскрышных пород. Полезное ископаемое транспортируют по отдельному съезду для этих автосамосвалов (*рис. 6.9*).

Как и обычные автосамосвалы малой грузоподъемности, автосамосвалы, преодолевающие повышенный уклон, могут быть использованы для складирования вскрышных пород, доставляемых ими из нижней части карьера, при сооружении съезда для автосамосвалов большой грузоподъемности. В этом случае съезд с повышенным уклоном для таких автосамосвалов должен быть сформирован с поверхности до горизонта проектной глубины карьера. Этот съезд необходимо разместить так, чтобы горизонтальная площадка между смежными ветвями съезда размещалась над горизонтальной площадкой перед концом съезда для автосамос-

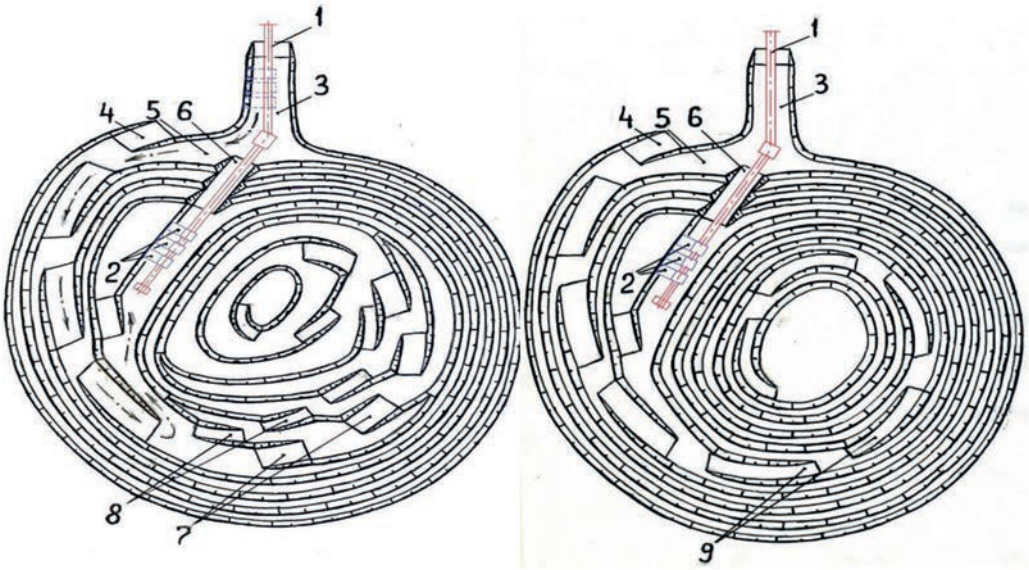


Рисунок 6.8. Разработка карьера по ЦПТ с использованием автосамосвалов разной грузоподъемности: *1* – конвейерная линия; *2* – ПДПУ; *3* – внешняя конвейерная траншея; *4* – съезд для автосамосвалов большой грузоподъемности на конечном борту карьера; *5* – горизонтальная транспортная берма; *6* – конвейерная полутраншея; *7, 8* – съезды для автосамосвалов, соответственно, большой и малой грузоподъемности в рабочей зоне карьера; *9* – съезд для автосамосвалов малой грузоподъемности на конечных бортах карьера

валов большой грузоподъемности. При таком размещении автомобильных съездов автосамосвалы, преодолевающие повышенный уклон, могут разгружать вскрышные породы из нижней части карьера на берму съезда для автосамосвалов большой грузоподъемности [94].

При выдаче из карьера больших объемов полезного ископаемого для его транспортирования одновременно могут быть использованы автосамосвалы, преодолевающие повышенный уклон, и автосамосвалы большой грузоподъемности, которые используются для транспортирования вскрышных пород. Для разгрузки этих автосамосвалов во внешней конвейерной траншее устанавливают одну или две передвижные дробильно-перегрузочные установки. Их размещают на противоположном борту этой траншеи, где установлена дробильная установка для разгрузки в нее автосамосвалов, преодолевающих повышенный уклон. В этой же траншее может быть расположен и дробильно-конвейерный комплекс для выдачи на отвал скальных вскрышных пород. Для дробления скальных вскрышных пород используют отдельную передвижную дробильно-перегрузочную установку, а конвейеры для руды и вскрышных пород на участке во внешней траншее могут быть расположены в одной галерее. Если съезд для автосамосвалов, преодолевающих повышенный уклон, на конечном борту карьера не сформирован, то эти автосамосвалы могут быть использованы в нижней части карьера с перегрузкой полезного ископаемого в автосамосвалы большой грузоподъемности на экскаваторном складе, расположенном в рабочей зоне карьера.

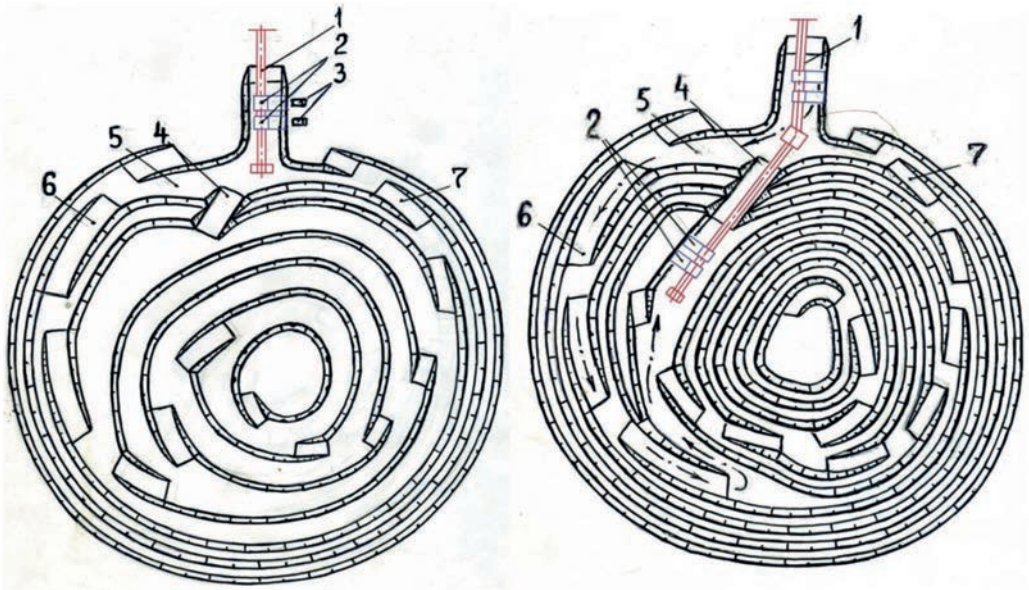


Рисунок 6.9. Разработка карьера по ЦПТ с использованием автосамосвалов большой грузоподъемности и с шарнирно-сочлененной рамой: *1* – конвейерная линия во внешней траншее; *2* – ПДПУ; 3 – автосамосвалы с шарнирно-сочлененной рамой; *4* – конвейерная полутраншея; *5* – горизонтальная транспортная берма; *6, 7* – съезды для автосамосвалов, соответственно, большой грузоподъемности и с шарнирно-сочлененной рамой

Выполненные исследования показали, что существенное влияние на технико-экономические показатели применения ЦПТ на открытых горных работах имеют годовой объем перевозок горной массы и глубина расположения ДПП в карьере. В определенных условиях они могут быть ограничивающими факторами применения ЦПТ. Другими важными факторами, влияющими на эффективность ЦПТ и момент ее ввода на карьерах, являются тип горных пород (руда или скальная вскрыша) и расположение приемных пунктов на поверхности, что вместе с высотой подъема горной массы определяет расстояние ее транспортирования конвейерами и автомобилями. На эффективность применения ЦПТ тип горных пород влияет в связи с возможностью их транспортирования традиционными ленточными конвейерами при максимальном размере куска не более 300–500 мм, что вызывает необходимость их механического дробления в дробильных установках.

Расстояние транспортирования горной массы автосамосвалами в карьере определяется средневзвешенной высотой ее подъема с рабочих горизонтов и протяженностью автомобильных дорог от капитального съезда до экскаваторных забоев. Анализ конвейерных и автомобильных трасс на поверхности в условиях действующих карьеров, использующих ЦПТ, показал, что соотношение их протяженности находится в интервале 1:1,5 — 1:2,5, т.е. расстояние транспортирования автотранспортом в 1,5–2,5 раза превышает длину конвейерных линий. В соответствии с этим, задавшись длиной конвейерной линии до приемного пункта горной массы на поверхности, можно с некоторой погрешностью определить эквивалентное расстояние транспортирования автосамосвалами, что не скажется существенно на оценке влияния этого фактора на транспортные расходы.

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

Формирование карьерного пространства, позволяющего размещать оборудование комплексов ЦПТ в карьере с минимальными объемами горно-капитальных работ, предполагает применение рациональных способов разработки месторождений с использованием ЦПТ с момента ее ввода и до консервации карьера. Предлагаемый способ заключается в следующем (рис. 6.10). Из забоев полезное ископаемое по рабочей зоне *1* и нерабочему борту *2* карьера по капитальному съезду *3* автосамосвалами *6* доставляется на приемную эстакаду *5* (на площадке *4*), оборудованную бункерами с пластинчатыми питателями *7* и конусной дробилкой *8*. Далее горная масса подъемным конвейером *9* и магистральным конвейером *10* перемещается на обогатительную фабрику. По мере понижения горных работ и формирования конечного борта карьера дробильно-конвейерный комплекс переносится на площадки *11, 12, 14*. Доставка полезного ископаемого из рабочей зоны карьера до дробильно-перегрузочного пункта осуществляется автосамосвалами.

Установлено, что автомобильно-конвейерный транспорт эффективнее автомобильного при транспортировании руды во всех рассмотренных условиях горных работ (годовой объем перевозок 5–20 млн т, расстояние между ДПП и приемным пунктом горной массы на поверхности 0,5–2,35 км, размещение ДПП во внешней траншее карьера и в карьере на глубине 90 м). При транспортировании скальных

вскрышных пород автомобильно-конвейерный транспорт эффективен при производительности более 6–11 млн т руды в год и удаленности ДПП, размещенного во внешней траншее, от приемного пункта горной массы на поверхности 2–0,5 км. При производительности менее 6–11 млн. т при указанном расстоянии транспортирования вскрышных пород целесообразно применение автомобильного транспорта. При размещении ДПП в карьере на глубине 90 м автомобильно-конвейерный транспорт целесообразно применять для транспортирования вскрышных пород во всех рассмотренных условиях.

Обоснована целесообразность использования ЦПТ с автомобильно-конвейерным транспортом для разработки глубокозалегающих месторождений твердых полезных

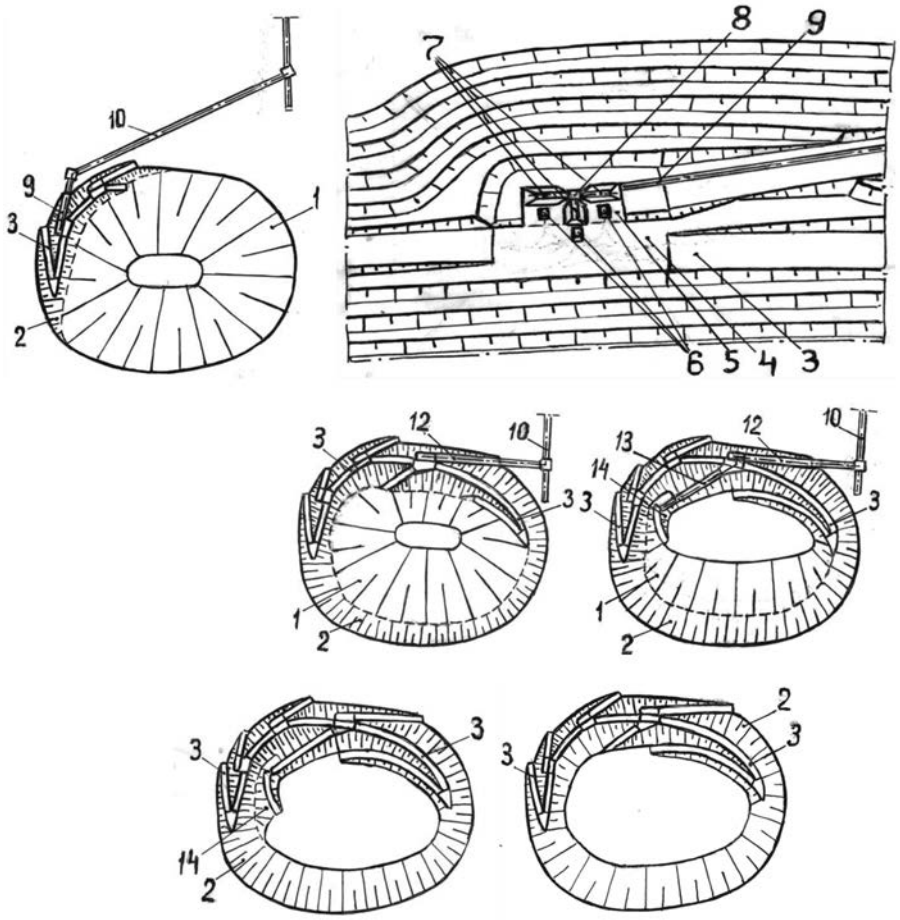


Рисунок 6.10. Разработка на основе ЦПТ месторождения твердых полезных ископаемых, с большими размерами в плане: *1* — рабочая зона карьера; *2* — конечный борт карьера; *3* — капитальный съезд; *4* — горизонтальная площадка; *5* — металлическая эстакада; *6* — автосамосвалы; *7* — бункеры с пластинчатыми питателями; *8* — конусная дробилка; *9* — подъемный конвейер; *10* — конвейерная линия на ДОФ; *11, 12, 13* — подъемные конвейеры; *14* — временный породный целик

ископаемых с самого начала их освоения. Разработаны схемы поэтапного формирования карьерного пространства при циклично-поточной технологии (автомобильно-конвейерный транспорт), обеспечивающие размещение комплексов конвейерного транспорта на бортах карьера с минимальным разносом бортов и возможностью сработки нижних рудных целиков, оставленных под дробильно-перегрузочным пунктом на завершающем этапе отработки (*рис. 6.11*).

Галереи со ставами ленточных конвейерных подъемников размещаются в выработке, основание которой является наклонной предохранительной бермой карьера, которая по трассе подъемника заменяет участки горизонтальных предохранительных берм карьера. Транспортно-строительная коммуникация, включающая площадки для установки монтажного крана и дорогу движения тракторной тележки для подвоза конвейерного оборудования и строительных конструкций, размещается в такой же наклонной выработке, являющейся наклонной предохранительной бермой, заменяющей участки горизонтальных предохранительных берм карьера. Выработки одна от другой отделены откосом уступа. При таком размещении выработок не требуется разноса под них конечного борта карьера. Верхний дробильно-перегрузочный пункт размещается на площадке между выработками под конвейерные ставы. Площадка для разгрузки в него автосамосвалов размещается на уступе выше и граничит с разворотной площадкой капитального автомобильного съезда. Нижний ДПП размещается на временном целике пород, который после доработки нижней части карьера отрабатывается с транспортированием горной массы на верхний ДПП. При больших размерах горизонта проектной глубины карьера руду транспортируют на верхний ДПП, а вскрышные породы укладывают на горизонте проектной глубины карьера (*рис. 6.12*).

Выполнены укрупненные технико-экономические расчеты по вариантам схем вскрытия месторождения крутонаклонными съездами на примере карьера Весенне-Аралчинского месторождения, обеспечивающие доработку карьера на большую глубину по сравнению с проектами при существующей технологии и технике за счет перехода на вскрытие крутонаклонными съездами (как альтернатива переходу на подземную добычу) (*рис. 6.13 и 6.14*).

Использование разработанных технологических решений, связанных с применением ЦПТ с начала добычи полезного ископаемого, способствует существенному снижению материальных ресурсов при разработке глубоких карьеров.

Рисунок 6.11. Последовательность формирования карьерного пространства при размещении комплекса циклично-поточной технологии

По результатам моделирования и расчетов сделаны следующие выводы:

1. Технология доработки месторождения за счет вскрытия крутонаклонными съездами эффективна в тех условиях, когда при обычной технологии углы откоса бортов карьера выполаживаются конструктивно из-за расположения на них транспортных коммуникаций (автодорог).

2. Применение повышенных уклонов автодорог на конечном контуре карьера при том же граничном коэффициенте вскрыши позволит рентабельно отработать месторождение открытым способом до глубины 250–260 м (прирост глубины 30–40 м), добыв дополнительно до 800 тыс. м^3 руды (ориентировочно 3,2 млн т).

3. Параметры устойчивости откосов уступов и бортов карьера в целом не позволяют в полной мере реализовать преимущества технологии вскрытия крутонаклонными съездами на Весенне-Аралчинском месторождении. Так, по базовому варианту вскрытия 8-процентными автомобильными съездами углы откоса уступов в погашенном состоянии составляют 50–60°, а борта в целом при таких уступах — порядка 30–33°. Применение крутонаклонных съездов на данном месторождении позволяет увеличить углы откоса бортов всего на 2–6°, в то время как в устойчивых породах такое увеличение может достигать 7–15°.

4. Из рассмотренных вариантов целесообразно применение варианта отработки с применением уклонов автодорог 25 % в карьере на всю глубину. Это позволяет при сохранении среднего коэффициента вскрыши увеличить глубину отработки с 220 м до 250 м, прирезав дополнительно 12 % запасов медной руды. При этом в качестве транспортных машин могут быть использованы серийно выпускаемые полноприводные шарнирно-сочлененные автосамосвалы.

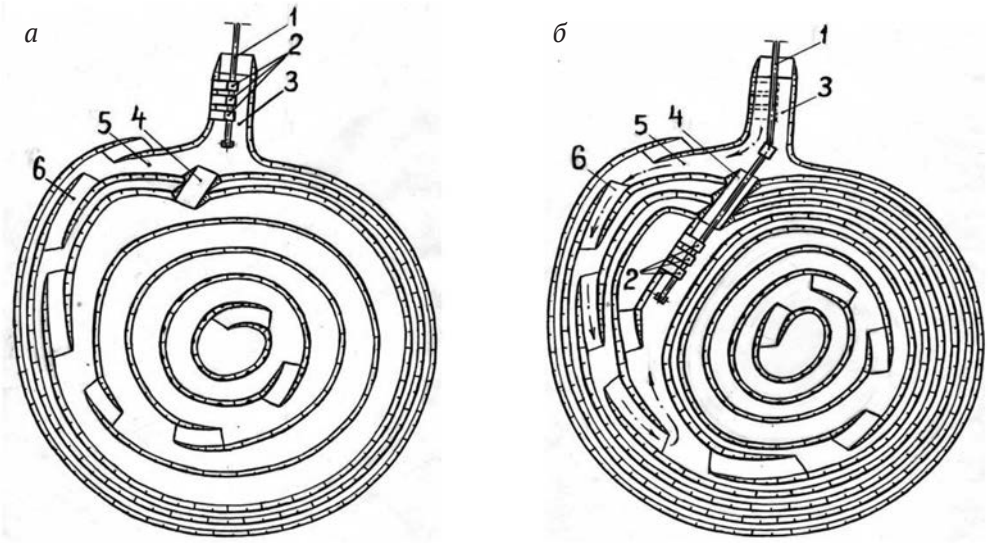


Рисунок 6.12. Разработка месторождения твердых полезных ископаемых по циклично-поточной технологии с первоначальным расположением ДПП во внешней траншее (*а*) и после переноса ДПП в карьер (*б*): *1* – конвейерная линия; *2* – ДПП; *3* – внешняя траншея; *4* – конвейерная полутраншея; *5* – транспортная коммуникация, связывающая внешнюю траншею и капитальный съезд; *6* – капитальный съезд

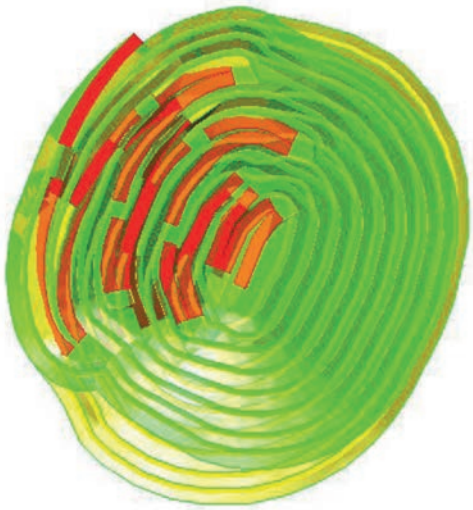


Рисунок 6.13. План двух карьеров с топоповерхностью
(*зеленый* — проектный контур карьера с уклонами 80 ‰ глубиной 220 м;
желтый — карьер с уклоном трассы 250 ‰ глубиной 250 м)

5. Перспективен вариант вскрытия карьера на полную глубину крутонаклонными съездами с уклонами 35 % и более. Для его реализации необходимо создание специальных транспортных машин, надежно работающих на таких уклонах при обеспечении необходимого сцепления движителя с дорожным полотном и приемлемой скорости движения.

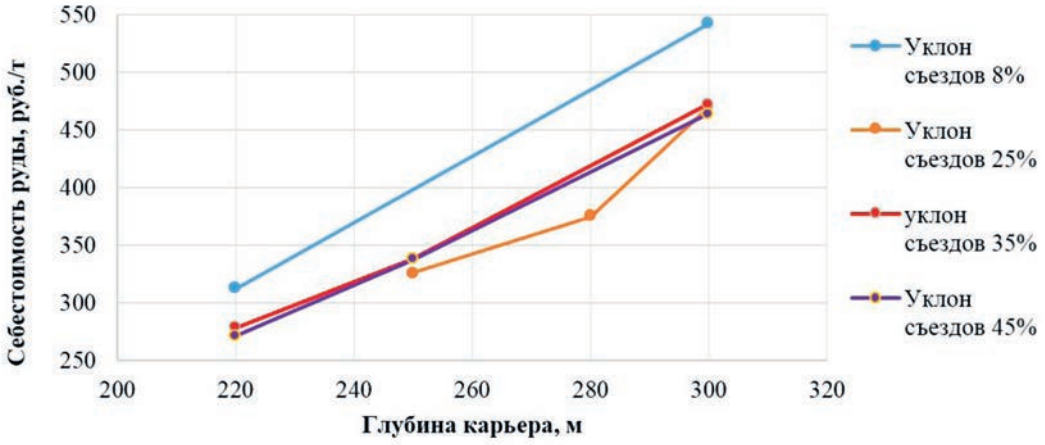


Рисунок 6.14. Средняя себестоимость добычи руды (включая затраты на вскрышные работы) по рассмотренным вариантам при различной глубине карьера и уклонах карьерных дорог

Глава 7. ГИС-технологии — инструмент для оценки и принятия решений

7.1 Горнодобывающее предприятие как объект моделирования

В качестве основного определения термина «геоинформатика» принята трактовка из отраслевого стандарта Минобразования России (утв. 16.01.98 г. № 68, ОСТ ВШ 02.001-97): геоинформатика — научно-технический комплекс, объединяющий одноименную отрасль научного знания, технологию и прикладную (производственную) деятельность, которые связаны со сбором, хранением, обработкой и отображением пространственных (географических) данных, а также проектированием, созданием и эксплуатацией ГИС. Первые геоинформационные (географические) системы появились в конце 80-х — начале 90-х годов XX века одновременно с распространившимися персональными компьютерами, а также программными средствами для их создания. Профессором Хохряковым В.С. был сформулирован геоинформационный метод моделирования горных предприятий [30, 133].

Горнодобывающее предприятие как объект моделирования представляет собой сложный природно-технологический комплекс, в котором на системном уровне взаимодействуют природные, технологические добывающие, технологические перерабатывающие объекты, объекты инфраструктуры горного предприятия, в том числе вспомогательного назначения, защитные и опасные зоны, объекты правовой защиты — горный и земельный отводы, обеспечивающие ведение хозяйственной деятельности. Главным системным свойством горнодобывающего предприятия является развитие во времени и пространстве всех его структурных составляющих.

В современных условиях проектирование горных предприятий должно осуществляться в кратчайшие сроки с сохранением при этом высокой точности и достоверности результатов, а также глубокой, зачастую многовариантной, проработки проектных решений. Необходимым условием эффективной работы проектной организации становится использование проектной документации современных технологий проектирования, к каковым относится геоинформационное моделирование объектов горного производства. Специфика горного предприятия как сложного динамического объекта определяет дополнительные требования к алгоритмам, в числе которых: учет динамики объектов моделирования и связей между ними; учет экологических последствий ведения горных работ; учет материало-, энерго- и капиталоемкости производства в условиях значительных сроков окупаемости вложений.

Формально процесс проектирования и планирования горных работ при автоматизированных расчетах может быть представлен как процедура переработки данных по некоторым алгоритмам: ДАННЫЕ -> ПРОГРАММА ->ДАННЫЕ -> ПРОГРАММА -> … С точки зрения обмена информацией расчетный алгоритм служит связующим

процессом между некоторыми содержательными данными, а логическая последовательность реализации тех или иных расчетных алгоритмов, выстроенная в виде формальных и эвристических правил их использования, представляет собой технологическую линию проектирования или планирования горных работ. По окончании проектирования горного предприятия разработанные в ходе его эксплуатации геоинформационные модели могут продолжать использоваться для решения различных задач: оформления земельного отвода, капитального строительства, планирования горных работ, мониторинга движения запасов, оценки сбросов и выбросов, управления транспортом и многих других. По характеру использования решаемые задачи могут быть разбиты на три группы:

— стратегические, связанные с определением основных направлений освоения недр на ближайшую и длительную перспективу;

— тактические, обслуживающие организацию и выполнение работ на конкретном объекте или группе объектов, площади, районе для некоторого круга компаний-недропользователей;

— оперативные, обеспечивающие решение конкретных вопросов недропользования, корректировку методики и объемов горных и разведочных работ на объектах, сбор, систематизацию и анализ периодической и оперативной информации.

Главной целью компьютерной обработки исходных горно-геологических, графических и текстовых материалов является сокращение информационной насыщенности и избыточности используемых для технологических расчетов массивов данных. Для примера: при подготовке технологического регламента на отработку Эльгинского каменноугольного месторождения (*рис. 7.1*) для хранения исходных данных потребовалось 18,21 Гб памяти, в том числе исходный геологический пакет — 3,1 Гб и дополнительно привлеченные данные — 4,2 Гб. Последующая обработка более чем на порядок сократила информационную емкость потребных для принятия решения моделей, повышая при этом скорость вычислений. Емкость векторных моделей месторождения и рельефа местности составила 209 Мб, комплекса моделей месторождения 84 Мб, моделей горных работ 416 Мб, отчетных документов (пояснительная записка, графические приложения, презентация) 777 Мб. Это означает, что направленная обработка горно-геологических данных требует, во многих случаях, специфичных программных средств, в качестве которых могут быть использованы как разветвленные профессиональные системы, так и общераспространенные пакеты, совершенствование которых должно подчиняться определенным целям.

Анализ элементов горнодобывающего предприятия как сложной горно-технической системы позволил предложить новую структуру комплексных исследований (*табл.7.1*) при построении горных геоинформационных систем, включающую такие объекты изучения, как геосистемы, геообъекты и геоданные. Теория геосистем изучает закономерности их построения, на выделенных геообъектах изучаются закономерности их описания, применительно к геоданным изучаются закономерности их обработки.

Одной из задач исследований в области горной геоинформатики является разработка продукционных правил и алгоритмов, обеспечивающих на первых же шагах построения горных ГИС и технологических линий проектирования понимание структуры геосистемы с одновременным обоснованием содержания и порядка обра-

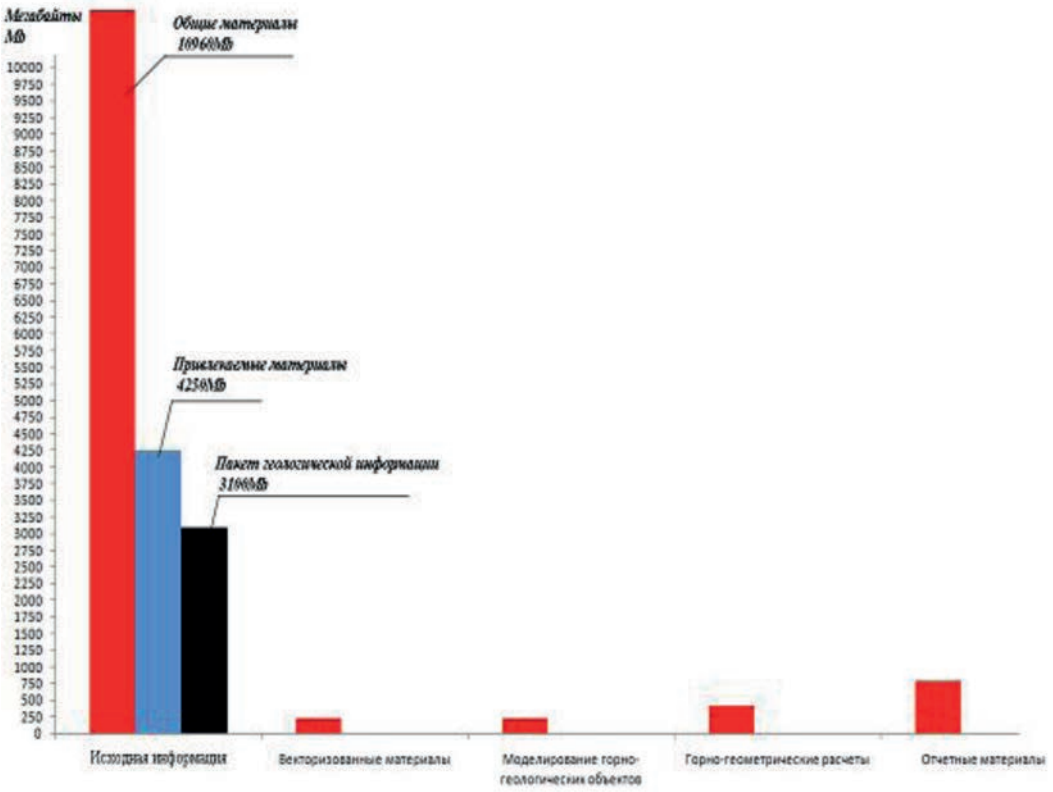


Рисунок 7.1. Информационная насыщенность исходных данных и моделей, используемых при разработке проектной документации (Эльгинское месторождение)

ботки геоданных, а также методов описания геообъектов применительно к существу решаемой задачи.

Процесс формирования геоинформационной модели геосистемы заключается в изыскании ее ведущих (эмерджентных) свойств, определении и обосновании ее структуры и основных экономических, технико-технологических, организационных и экологических ограничений, обеспечивающих целенаправленное формирование эффективных первичных геоинформационных моделей данных и подбор соответствующих программных средств. При проектировании геоинформационного обеспечения и системы баз данных горного предприятия следует учитывать:

— возможность формирования технологических линий проектирования с организацией сквозного использования принципа расчетов по типу: данные -> программа -> данные ...;

— использование точечно-координатного принципа кодирования и хранения данных в единой системе координат;

— необходимость оценки разрабатываемых структур баз данных на непротиворечивость и информационную избыточность;

— выделение совокупности связанных по технологическим соображениям баз данных, обеспечивающих системное решение плановых и проектных задач;

Таблица 7.1

Структура комплексных исследований при построении горных геоинформационных систем

Объекты изучения		
Геосистемы	**Геообъекты**	**Геоданные**
Закономерности построения	Закономерности описания	Закономерности обработки
Направления исследований		
Изучение структуры, взаимодействия и использования	Разработка методов и методик построения	Исследование методов получения и накопления
Область исследований		
Системный анализ взаимодействия геоинформационных подсистем	Математические методы, математическое обеспечение для построения ГИС	Исследование и разработка методов обработки геоданных, методология информационного обеспечения ГИС
Задачи исследований		
Формирование системы справочных, аналитических, экспертных и др. оценок для решения социально-экономических и экологических проблем, прогноза последствий и предупреждения чрезвычайных ситуаций	Анализ многоуровневой и разнородной геоинформации, геоинформационной инфраструктуры, оценка методик моделирования	Оценка достоверности пространственно-временной геоинформации, методология построения баз данных и баз знаний

— учет назначения информационных массивов, их размеров и порядка формирования на основе принципов раздельного моделирования, учитывающих время их создания и динамику объектов горного и вспомогательного назначения;

— моделирование природных и технологических условий разработки путем формирования геоинформационных слоев, классифицированных по назначению исследований и расчетов, а также степени детальности их графического отображения.

Объединение геоданных в геообъекты прежде всего позволяет установить совокупность методов и методик их описания, а также возможность использования при этом стандартных, общепрофессиональных, специализированных или авторских программных средств. Выбор какого-либо распространяемого авторского профессионального пакета программ или системы обладает, наряду с неоспоримыми достоинствами, рядом крупных недостатков. Одним из путей решения данной проблемы может стать применение модульной автоматизированной технологии проектирования, каждый модуль которой нацелен на решение локальной задачи или комплекса однородных задач с применением такого программного обеспечения, которое позволяет получить требуемый результат с наименьшими временными, энерго- и трудозатратами. Для каждого проекта может быть подобран уникальный набор универсальных программных средств или принят типовой, уже опробованный на аналогичных проектах.

В отличие от профессиональных интегрированных систем горного профиля, в которых весь процесс проектирования от формализации исходных данных до календарного планирования осуществляется в рамках единой системы, в модульной

технологии проектирования применяется комплекс относительно недорогих и совместимых по форматам данных программных пакетов, каждый из которых используется для решения отдельного блока задач.

Широко известны примеры совместной согласованной работы разных программных пакетов одной компании — разработчика программного обеспечения Autodesk: AutoCAD, MechanicalDesktop, Survey, RasterDesign, MAP 3D, AutoCADElectrical и др. Использование CAD-систем в качестве канвы проекта позволяет оперативно использовать результаты решения задач, полученных в любой удобной для проектировщика программе, не теряя при этом качества конечной проектной продукции. Эффективно с CAD-системами также работают такие программы, как Surfer (разработчик GoldenSoftware), CorelDraw (Corel), практически все графические редакторы, работающие с растровой графикой, Excel и Access (Microsoft) и др.

Дополнительные возможности программирования, которые предоставляют профессиональным пользователям CAD-системы, позволяют автоматизировать процесс рутинных многократно повторяющихся расчетов, а создание универсальной цифровой библиотеки горногеометрических объектов позволяет значительно облегчить и ускорить процесс оформления проектной документации с полным учетом действующих российских ГОСТов и нормативов, что является «ахиллесовой пятой» профессиональных интегрированных систем.

Анализ более чем 30-летнего практического опыта автоматизированного проектирования свидетельствует о том, что использование модульной технологии только для одного процесса выполнения горногеометрических расчетов, доля которых по трудоемкости составляет 40–70 % всего объема горно-технологической части проекта, позволяет снизить трудозатраты на выполнение проекта на 20–30 % по сравнению с традиционными методиками проектирования. При этом достигаемая точность результатов горногеометрических расчетов сопоставима с погрешностью исходных данных.

Ретроспективный анализ эксплуатации геоинформармационных систем в России и за рубежом показал, что большинство составляют тематические ГИС разного целевого назначения. В США на базе ГИС реализованы: программа повышения эффективности управления и контроля шахт в Британской Колумбии, программа минимизации ущерба от остановленных и заброшенных угольных шахт и их рекультивации в штатах Пенсильвания и Кентукки, создан банк пространственных данных для управления ресурсным потенциалом крупнейшей золотодобывающей компании мира Barrick. Веб-интерфейс EnviroMapper агентства по охране окружающей среды США дает возможность получить любому пользователю оперативные данные мониторинга по состоянию элементов природной среды (вода, воздух, почвы) и техногенному воздействию (отходы, радиоактивность, токсичные вещества). Интерактивная геологическая карта мира масштаба примерно 1:100 000 доступна для использования на портале OneGeology.

В России в рамках проекта управления водными ресурсами использование ГИС дает возможность любому пользователю получить оперативные гидрологические данные (уровни и расходы по рекам) по России или данные по водохозяйственному районированию. ГИС-атлас «Недра России» содержит геологические карты России, масштаба до 1:500 000. ГИС «Минеральные ресурсы Магаданской области» содержит разнообразные сведения о геологическом и гидрографическом строении указанного региона.

Основой указанных разработок являются серверные расширения настольных ГИС (ESRI, MapInfo, Quantum GIS и т.д.). Источником базовой информации (географической подложки) часто служат OpenSource векторные данные (OpenStreetMap, OneGeology). При создании базовой топографической карты источником данных о рельефе могут служить данные Shuttleradartopographicmission (SRTM), характеризующиеся достаточно высоким разрешением (для генерализованных средне- и крупномасштабных карт) [1.17].

Данные OpenStreetMap имеют устоявшуюся и общепринятую структуру слоев, обновляются на сайте gis-lab.info один раз в сутки; для скачивания доступны как данные конкретных слоев в формате shape, так и готовые проекты для QGIS (то есть содержат данные, стили условных обозначений и набор специализированных символов). Данные с сайта gis-lab.info покрывают всю территорию России и некоторые страны ближнего зарубежья (Казахстан, Белоруссия).

Широко распространены продукты Mapinfo, ArcGIS, Geomedia или комбинация нескольких СУБД и ГИС (например, система компании Шлюмберже). Развитыми средствами обработки обладают продукты, относящиеся к семейству ArcInfo компании ESRI (ArcReader и ArcGisExplorer), которые включают в себя различные процедуры обработки векторной и растровой графики, возможности управления базами данных, формирование сложных запросов, автоматизацию ввода векторной информации, проверки и исправления ошибок ввода, конвертацию данных в ГИС-форматы, работу со всеми широко распространенными географическими проекциями и инструментами анализа пространственной информации. Quantum GIS по многим функциональным возможностям сопоставим с семейством ArcGIS (особенно в части создания веб-интерфейса и серверных приложений) и может использоваться для решения многих задач. Сходными достоинствами обладает и система MapInfo, отличительной особенностью которой является ее большая ориентированность на картографию, а не на аналитическую обработку пространственных данных.

В России наиболее законченным является информационно-аналитический вебпортал ГИС «Природные ресурсы Магаданской области», который позволяет получить доступ к данным по геологии, минеральным ресурсам и биоразнообразию Магаданской области через веб-интерфейс, подключение к WMS-серверу или активной kml-ссылке.

7.2. Общая последовательность создания геоинформационных моделей при решении комплексных задач горного производства

Практика проектирования и существующие методики технологических расчетов свидетельствуют о том, что процесс обоснования технологических решений является, во-первых, итеративным, а во-вторых, последовательным. Например, обоснование границ горного отвода неразрывно связано с расчетом геометриче-

ских размеров карьера в отработанном виде, а они, в свою очередь, зависят от принятой технологии, производительности, цен, качества производимой продукции, кондиций на полезное ископаемое и пр. При этом главной методической задачей экспресс-расчетов является выбор такого порядка их организации, при которых они становятся параллельно-последовательными. На первой стадии системная оценка внешней и природной среды позволяет сформулировать основные правила построения обобщенной модели горного предприятия. На второй стадии, при сформированных ограничениях, разрабатывается регламент расчетов, при которых четко выделяются содержательные этапы вычислений, а также формулируются логические и ограничивающие промежуточные расчеты.

К порождающим этапам (*табл. 7.2*) рекомендуется относить виды работ, являющиеся основой для серии дальнейших вычислительных и проектных процедур. Как правило, эти этапы могут выполняться параллельно при наличии четко оговоренных исходных данных, которые согласуются перед началом работ. В процессе выполнения этих расчетов появляется ряд ограничений, связанных с необходимостью учета особенностей залегания месторождения и горнотехнических условий разработки, которые так или иначе необходимо учитывать в дальнейшем. После выполнения таких промежуточных расчетов реализуются завершающие проектные процедуры, которые прежде всего предназначены для системной увязки смежных разделов и уточнения принятых ранее решений.

Основными стадиями обоснований, где наиболее эффективно выполняются разного рода геоинформационные расчеты, является этап предварительного анализа решений и выявления системообразующих элементов минерально-сырьевой базы предприятия. На рис. 7.2 показана последовательность создания модели Эльгинского месторождения каменного угля. Модель послужила основой для обоснования порядка отработки месторождения, размеров выемочных блоков, рационального календарного графика ведения горных работ, вскрытия и формирования отвалов, осушения месторождения. При этом обеспечение информационного единства и непротиворечивости привлекаемых в различные подсистемы данных достигается совместным использованием принципов единой системы координат, точечно-координатного описания объектов, раздельного моделирования, выделения информационных слоев, единого времени и периодической актуализации данных.

Применительно к задачам предварительного анализа решений и выявления системообразующих элементов предприятия при разработке технологического регламента освоения Эльгинского угольного месторождения на базе созданной модели месторождения рассчитаны положения изолиний суммарной вертикальной мощности угольных пластов (*рис. 7.3*) и породных пропластков в границах горного отвода, что позволило создать блочную модель распределения линейных коэффициентов вскрыши ($м^3/т$) на территории месторождения (*рис. 7.4*) и выделить в его границах технологические блоки. Выделение в площади месторождения технологических блоков позволило оценить порядок развития горных работ и календарные графики его отработки исходя из заданной производительности по полезному ископаемому. Укрупненная оценка поперечной, продольной и комбинированной отработки позволила количественно увязать перемещение рабочей зоны будущего разреза с формированием внутреннего отвала и очередностью его заполнения в увязке с требуемой интенсивностью перемещения горных работ.

Таблица 7.2

Виды содержательных этапов проектных работ при экспресс-анализе Эльгинского месторождения

Порождающие	Ограничивающие	Реализующие
Геологические условия разработки. Модель месторождения	Основа горногеометрических расчетов, базирующаяся на известных геометризованных данных	Прогноз промышленных запасов
Порядок отработки месторождения, обеспечивающий рациональный график разработки по участкам месторождения	Обоснование текущих коэффициентов вскрыши по этапам отработки. Обоснование динамики вскрытия по грузообороту и грузовой работе транспорта	Расчет промежуточных положений внешних и внутренних отвалов по периодам разработки. Проект земельного отвода и акт выбора площадки
Прогноз распределения качества по участкам. Прогноз потерь и разубоживания углей	Уточнение порядка отработки, системы усреднения и селекции, требования к предварительному обогащению	Обоснование возможных схем комплексной механизации по этапам разработки и участкам месторождения по высоте (глубине) рабочей зоны. Ограничения на недропользование
Оценка устойчивости отвалов вскрышных пород и обоснование параметров устойчивых внешних и внутренних отвалов по периодам разработки	Заключение по устойчивости и рекомендации по технологии отсыпки отвалов в условиях вечной мерзлоты и сейсмоопасности	Определение мест заложения отвалов, приемной способности отвалов, максимальной вместимости отвалов. Формирование порядка заполнения отвалов в увязке с развитием горных работ по критерию минимума грузотранспортной работы
Обоснование элементов системы разработки в увязке с прогнозируемыми коэффициентами вскрыши	Разделение поля разреза в плане и по высоте по технологическим зонам. Карта коэффициентов вскрыши	Разработка технологических схем ведения горных работ и уточнение конструкции и параметров рабочей зоны, увязка интенсивности вскрышных и добычных работ
Конструирование рабочей зоны, определение интенсивности отработки по заданной производительности	Конструкция рабочей зоны в расчетных периодах (через 7-10 лет). Прогноз интенсивности отработки по участкам	Формирование динамики и положений горных работ. Схемы направления грузопотоков по периодам и технологическим зонам. Прогноз парка транспортного оборудования
Формирование календарных графиков добычи и вскрыши по участкам с разделением угольной массы по типам и обеспечением длительного устойчивого соотношения типов угля	Корректировка расчетных положений горных работ с учетом прогнозируемого качества – РЭР, генсхема, проект обогащения, решения по шихтовке и пр.	Обоснование очередности и схем вскрытия по участкам и этапам разработки в увязке с принятым порядком горных работ и отвалообразования. Прогноз парка оборудования. Регламент на рекультивацию нарушенных земель

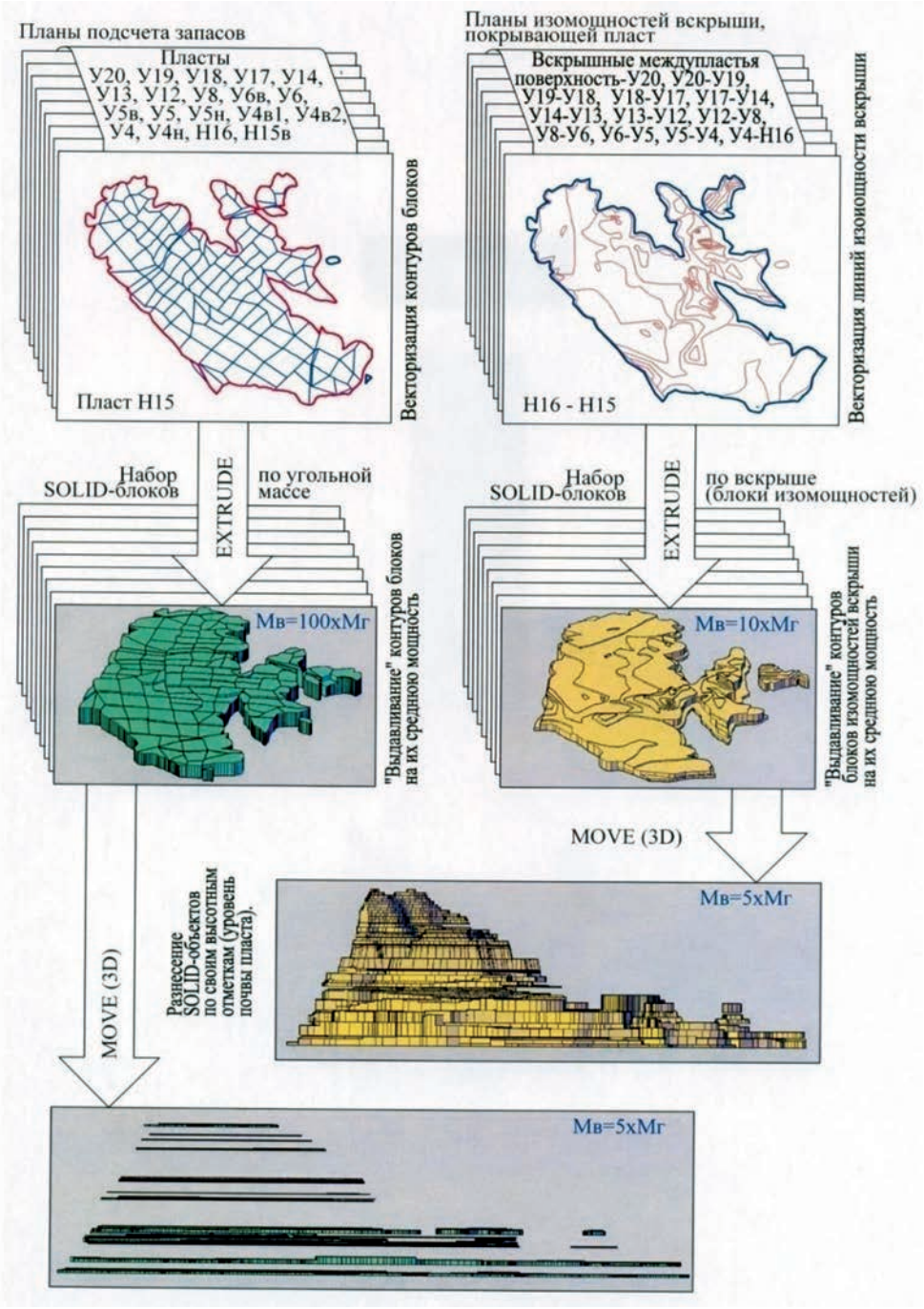


Рисунок 7.2. Схема формирования 3D-модели Эльгинского месторождения каменного угля

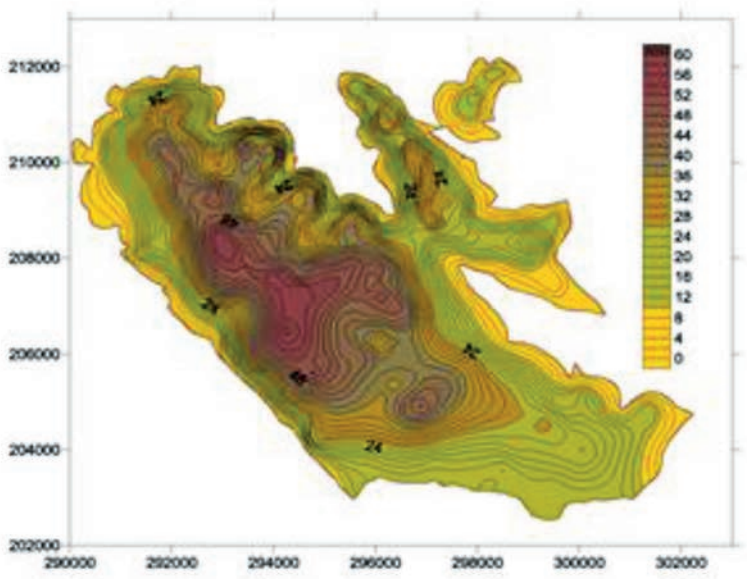


Рисунок 7.3. Изолинии суммарной мощности угольных пластов Эльгинского месторождения

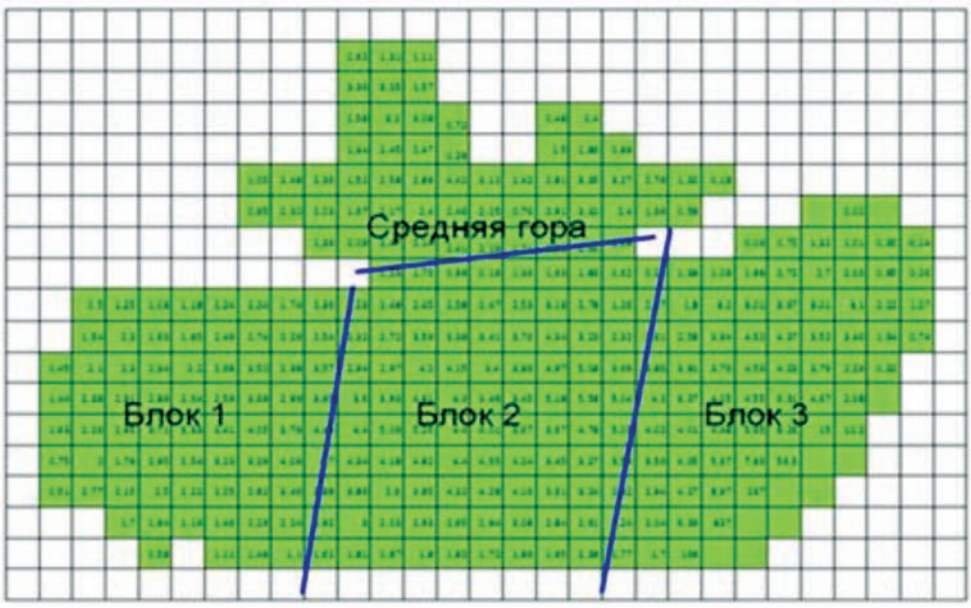


Рисунок 7.4. Блочная модель распределения линейных коэффициентов вскрыши ($м^3/т$) с выделением технологических блоков в границах Эльгинского месторождения

Установленные количественные характеристики интенсивности отработки месторождения позволили обосновать варианты схемы комплексной механизации и типоразмеры рекомендуемого к применению основного выемочного и транспортного оборудования. Указанные решения позволили рассчитать параметры технологических схем отработки угольных пластов и перемещения междупластий в процессе эксплуатации месторождения, а также соответствующую конструкцию фронта работ, обеспечивающую размещение оборудования и выдерживание принятого календарного графика ведения горных работ (*рис.7.5*).

Выделение на месторождении двух видов производимого сырья (энергетических и коксующихся углей) потребовало уточнить общий порядок развития горных работ исходя из необходимости поддержания стабильного соотношения этих видов

а)

б)

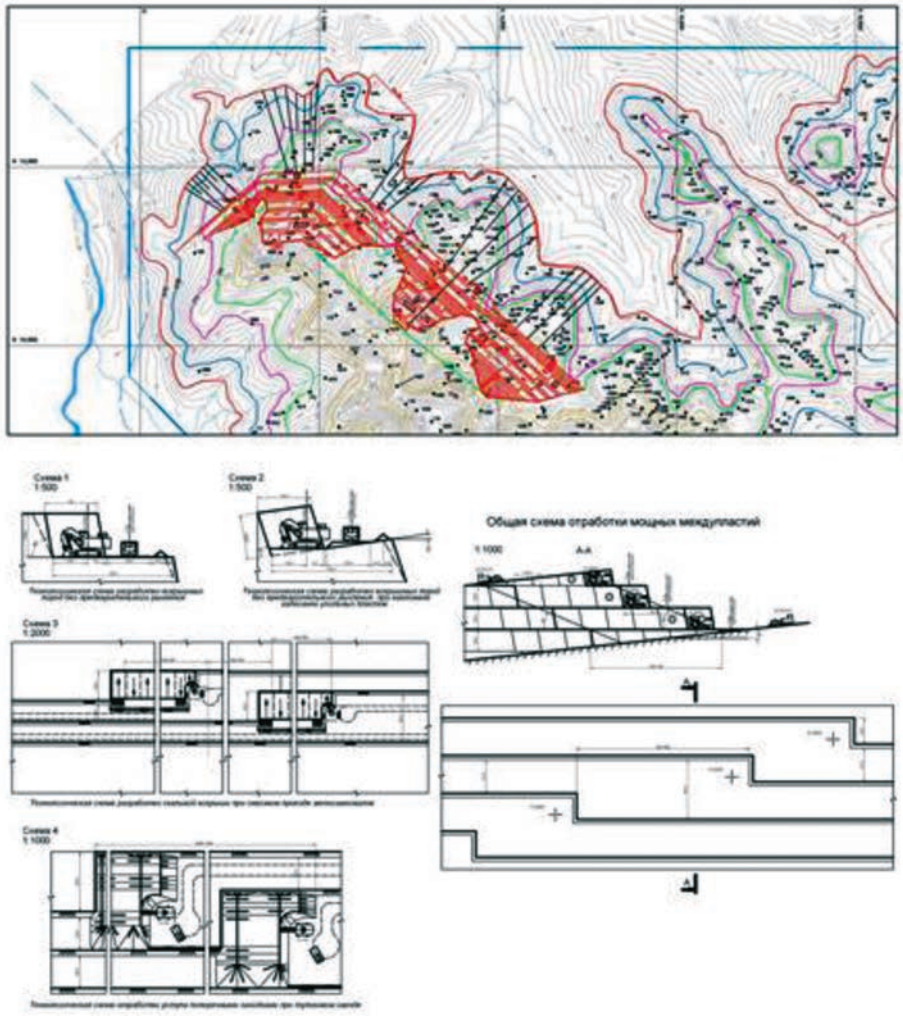


Рисунок 7.5. Конструкция фронта работ *а* и технологические схемы перемещения междупластий *б* при отработке Большой гряды

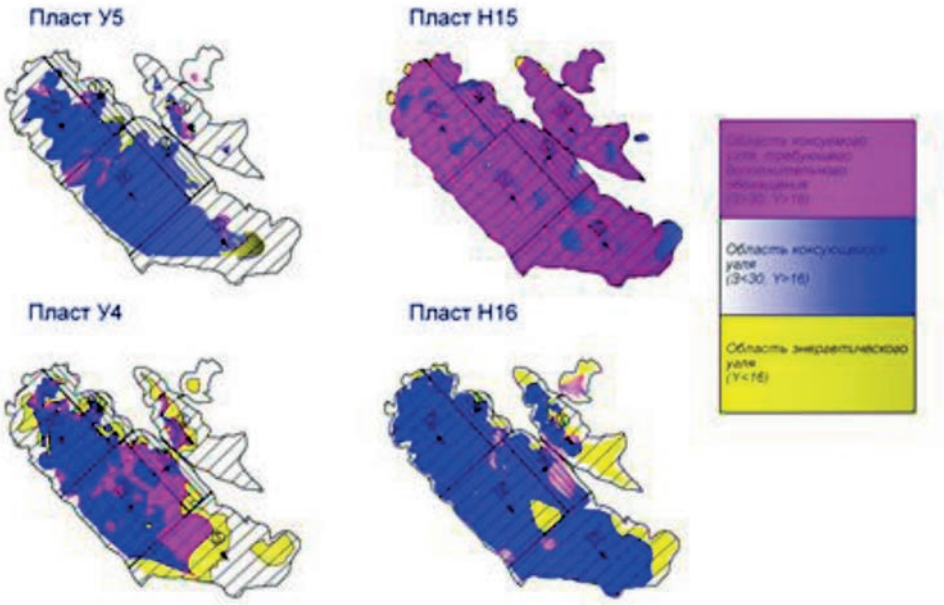


Рисунок 7.6. Модель размещения коксующихся и энергетических углей по основным пластам Эльгинского месторождения

продукции в общем объеме добычи. Это было обеспечено за счет создания и использования модели пространственного размещения коксующихся и энергетических углей по пластам (*рис.7.6*) Эльгинского месторождения и технологическим зонам.

Изучение природного гранулометрического состава добываемого угля свидетельствует об эффективности организации грохочения угольной массы вблизи мест производства горных работ с целью максимального снижения зольности добытого угля и сокращения объемов перевозок до обогатительной фабрики, а также минимизации грузоработы транспорта для размещения отходов предварительной подготовки полезного ископаемого.

На основании обоснованных конструктивных параметров разработки и данных о размещении качественных характеристик полезного ископаемого в динамике было рассчитано проектируемое положение горных работ и принципиальная схема вскрытия глубинной и нагорной частей Эльгинского месторождения по этапам его отработки (*рис. 7.7*).

Вопросы, связанные с обоснованием количества применяемого оборудования, ведением взрывных работ, обеспечением устойчивости отвалов и отрабатываемых уступов, выбором схемы осушения месторождения, созданием инженерной инфраструктуры, проектированием генерального плана предприятия и пр., решались по стандартным методикам исходя из предварительно сформулированных целей исследования.

Сокращение времени на выполнение работ по подготовке технологического регламента достигнуто за счет поэтапного обоснования параметров предприятия, максимального совмещения времени на исследовательскую и проектную подготовку месторождения с использованием опережающих или параллельных оценок, бази-

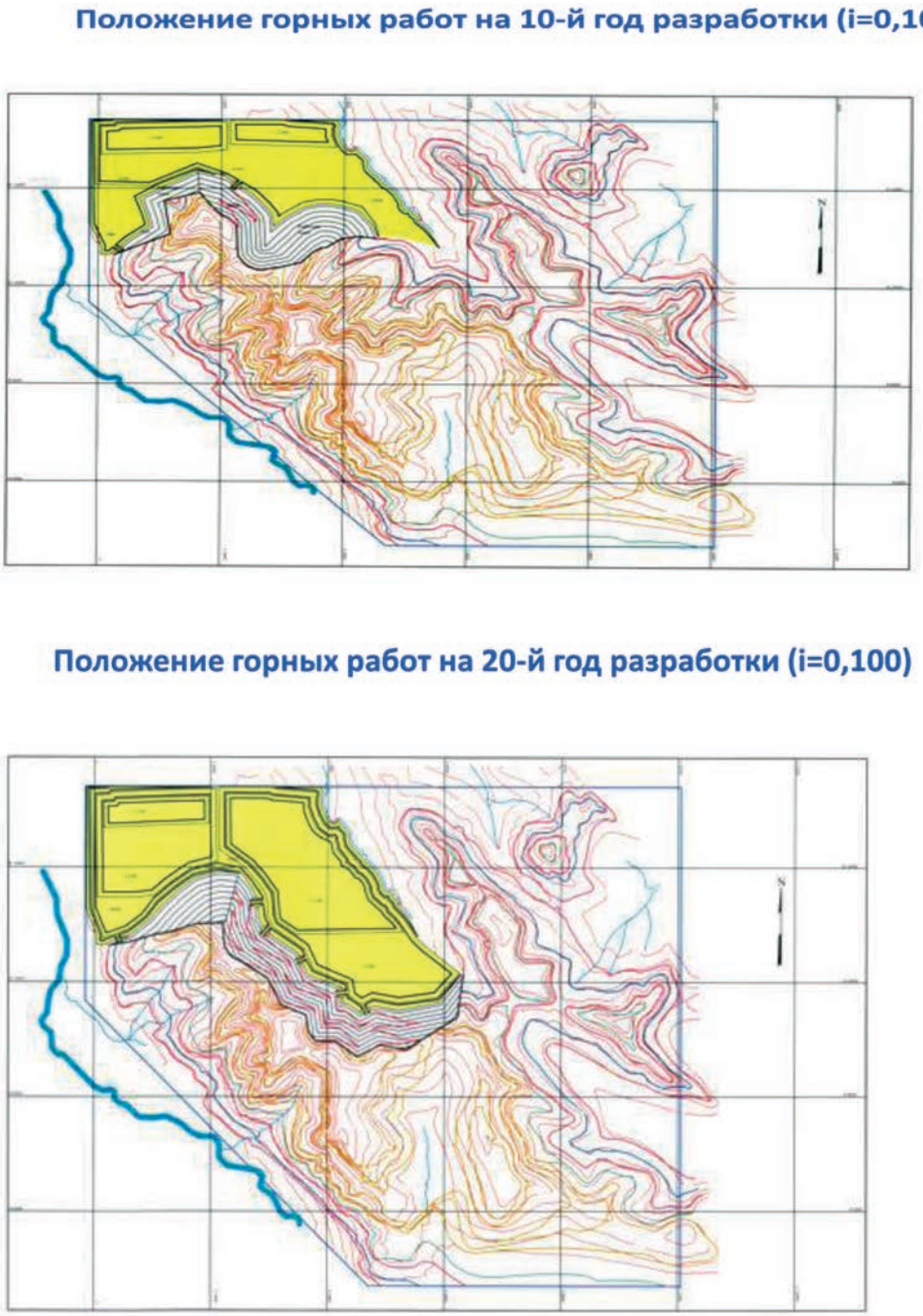


Рисунок 7.7. Проектируемое положение горных работ и принципиальная схема вскрытия по этапам отработки Эльгинского месторождения

рующихся на геоинформационном моделировании, сокращении информационной избыточности используемых для технологических расчетов данных, а также целевой компьютерной обработке исходных горно-геологических графических и текстовых материалов.

Методика горно-геометрических экспресс-расчетов, порядок геоинформационного моделирования, а также существо и очередность решаемых технологических задач опробованы не только в условиях обоснования главных параметров отработки Эльгинского месторождения каменного угля, но и для оценки Тарыннахского, Горкитского, Гаринского железорудных месторождений Якутии, уральских месторождений хромитовых с ограниченными запасами.

Проектные проработки свидетельствуют о том, что этапность проектирования при освоении сложных месторождений в наибольшей степени способствует пошаговому получению новых знаний об объекте, реализованных в виде конкретных инженерных решений по стадиям проектного прогноза.

7.3. Прогноз качественных показателей добываемого сырья на основе геоинформационных технологий

Прогноз качества извлекаемого из недр минерального сырья на всех этапах проектирования и планирования горных работ сопровождается геометризацией запасов полезных ископаемых на планируемых к отработке горизонтах и блоках, а также картированием выделенных в пространстве рудных участков с разными природными и технологическими свойствами, что позволяет в достаточной мере эффективно использовать потенциальные возможности действующего производства либо предусматривать необходимость его реконструкции в связи с меняющимися природными условиями или требованиями к потребительским свойствам производимой продукции. Предпосылки для создания системы управления качеством создаются уже на стадии предварительной и детальной разведки.

Важнейшим этапом оценки месторождения и основой для создания первичной информационной базы данных по прогнозу и управлению качеством минерального сырья является геометризация массива горных пород — базы для подсчета запасов, а также изучения и систематизации морфологических и структурных особенностей залегания минерального объекта, установления основных закономерностей размещения полезных и вредных компонентов внутри рудных тел, а также технологических характеристик полезного ископаемого в пространстве. Данные геометризации месторождения, представленные в виде модели месторождения, являются информационной основой для разработки проектной документации, а также стратегических, долгосрочных и перспективных планов разработки, в которых обосновываются методы стабилизации качества добываемого сырья и технологии его добычи и усреднения.

В процессе отработки месторождения степень детальности изучения недр повышается за счет данных эксплуатационной разведки и опробования руд. При этом появляется возможность упорядочения накопленной информации для оценки текущего качества минерального сырья с целью управления качеством формируемых в процессе добычи рудопотоков и совершенствования принятой системы рудоподготовки, мониторинга извлечения и рационального использования георесурсов. Меняющиеся условия отработки, снижение содержания полезных компонентов (в цветных металлах в рудах в 1,2–1,5 раза, железа и золота в 1,25 раза), увеличение доли труднообогатимых руд и угля с 15 до 40 %, а также современные экономические требования, прежде всего связанные с необходимостью снижения текущих расходов, требуют разработки технологических, организационно-экономических и других мероприятий по повышению степени комплексного освоения природных ресурсов. Текущее планирование отработки в этом случае тесно увязывается с геолого-технологическим картированием, которое базируется на модели распределения полезного компонента по содержанию в пространстве месторождения, изменчивости физико-механических свойств руд и пород, основных технологических характеристиках массива — буримости, взрываемости, обогатимости и показателей, определяющих потери при производстве горных работ и технологическом обогащении. Укрупненная блок-схема технологических этапов и процессов, характеризующих место геоинформационных технологий в процессе управления качеством минерального сырья на горнодобывающем предприятии, представлена на рис. 7.8.

Изученный опыт создания информационного и использования программного обеспечения при планировании горных работ на крупнейших железорудных ГОКах России (АО «Карельский окатыш», ОАО «ЕВРАЗ КГОК», ПАО «Коршуновский ГОК», ОАО «Михайловский ГОК») свидетельствует о том, что структура используемых при планировании горных работ данных на них одинакова. Сведения о качестве рудного сырья представлены данными детальной и эксплуатационной разведки, магнитного каротажа буровых скважин, опробования бурового шлама в химлаборатории, фабричного химического опробования, опробования после каждой стадии дробления геофизическими способами. АО «Карельский окатыш» дополнительно использует рудоконтрольные станции для технологического автотранспорта. На указанной информационной базе создаются информационные модели, используемые для годового и месячного планирования, а также оперативно-диспетчерского управления, имеющие однотипные цели и задачи.

Системы управления качеством руд и их усреднения на проанализированных предприятиях, предусмотренные соответствующими первоначальными проектами, также одинаковы, поскольку отрабатывается однотипное сырье. На большинстве ГОКов принята сквозная система управления качеством сырья — от забоя до обогатительной фабрики. Эффективное управление качеством рудоподготовки основано на данных детальной и эксплуатационной разведки, а также данных опробования качественных характеристик полезного ископаемого.

Под рудоподготовкой (в расширительной трактовке этого термина) следует понимать комплекс операций, охватывающий все технологические процессы не только обогащения, но и горных работ, включая распознавание технологических типов, сортов руды или пустой породы, усреднение качественных показателей рудных потоков или шихтовку отдельных партий кондиционной руды, транспортирование с

Рисунок 7.8. Принципиальная блок-схема прогноза качественных показателей при планировании горных работ

разделением на порции и отдельные потоки, разрушение минерального вещества для его эффективной выемки, доставки и раскрытия минеральных агрегатов с целью получения товарной продукции из добытой горной массы. Технологии предобогащения на железорудных ГОКах включают строительство прикарьерных корпусов сухой магнитной сепарации, внедрение которой существенно сокращает расходы на транспортирование рудной массы, изменяет структуру отходов обогащения, места их складирования и пр. Вовлечение в отработку некондиционных руд, отработка руд по типам, дообогащение полезного ископаемого являются технологическими изменениями в рудоподготовке последних периодов. В немалой степени эти изменения так или иначе связаны с изменением стратегических решений по управлению горными работами и, соответственно, динамикой качественных показателей добываемого сырья на долгосрочную перспективу.

Необходимым условием функционирования геоинформационных систем, предназначенных для принятия стратегических решений по управлению динамикой качественных показателей минерального сырья, является обеспечение непрерывной диагностики состояния горного производства. Использование современных ГИС для планирования и мониторинга разработки и других инноваций (GPS-навигации и диспетчеризации грузопотоков, организации автоматизированных комплексов

контроля рудопотоков, складов и рудных перегрузочных пунктов и др.) является информационным базисом и позволяет решать задачи эффективной отработки рудных тел и выемочных единиц, планирования горных работ и стабилизации качественных показателей руды, поэтому прогноз при планировании инвестиционной деятельности в строительство новых объектов, в модернизацию или реконструкцию действующего производства на основе геоинформационного моделирования приобретает все более важное значение. Например, стратегия поддержания сырьевой базы ОАО «Комбинат Магнезит», в том числе управления качеством минерального сырья, была определена моделированием качественного состава руд действующих участков (Мельнично-Паленихинского, Березовского) и перспективных — Северо-Карагайского, Ельничного, Восточный участок, Семибратского месторождения. Прогноз выхода магнезита марок МШ+МИ, реализованный в виде погоризонтных блочных моделей по рассматриваемым участкам (*рис. 7.9*), показал, что для обеспечения выпуска требуемого количества магнезита высших марок необходимо выполнение комплекса инновационных организационно-технических мероприятий [73], обеспечивающих повышение глубины переработки исходного сырья, включающих:

— совершенствование системы опробования магнезитового сырья в карьере на основе внедрения эксплуатационной разведки обуриваемых блоков;

— внедрение системы непрерывного контроля качества исходной руды и продуктов обогащения на ДОФ, в том числе геофизических методов опробования перерабатываемого магнезитового сырья;

— увеличение объемов сырья за счет вовлечения в переработку сырой руды марки ММП и МП с частичной подшихтовкой к сырью марки МШ+МИ на перегрузочных карьерных складах;

— внедрение технологии предобогащения на складах некондиционного сырья, включающей разделение рудной массы по содержанию полезного компонента непосредственно в зоне ведения горных работ с использованием стационарных или передвижных грохотильных установок.

Геоинформационное моделирование условий залегания известняков Шеинского месторождения, являющихся сырьем для производства цемента, показало, что изменившиеся требования к исходному качеству сырья требуют изменения техники и технологии его подготовки в процессе добычи. Значительное количество глинистых включений, а также известняков с пониженным содержанием CaO потребовало изменения параметров усреднительного склада, с которого рудная масса подавалась на дальнейшую переработку. Значительное количество некондиционных известняков удалось использовать за счет шихтовки их с кондиционным сырьем, однако для этого потребовалось создание специального буферного внутрикарьерного склада, объем и местоположение которого было обосновано моделированием отработки во времени.

Блочные модели широко применяются для выделения зон по какому-либо качественному или технологическому признаку, прогноза потерь и засорения, построения разрезов и планов горных работ, характеризующих оцениваемые варианты принятого порядка отработки месторождения и прогнозируемого в связи с этим качества извлекаемого полезного ископаемого и других горнотехнических, геологических, гидрогеологических задач. При создании достоверных блочных моделей учитывается фактор анизотропии массива горных пород (различие свойств горных

пород в разных направлениях) и их создание предваряется геостатистическими исследованиями.

При исследовании эффективности переработки титаномагнетитовых руд Гусевогорского месторождения по природным типам было показано, что суммарные технологические и экономические показатели раздельной выемки и обогащения руды малотитанистой и нормальнотитанистой разновидностей будут выше показателей обогащения руды при валовой добыче, а малотитанистая руда по сравнению с нормальнотитанистой имеет более высокую измельчаемость, обогатимость и меньшую магнитную жесткость.

Геометризация размещения исследуемых качественных характеристик рудного тела и геоинформационное моделирование реализованы в виде следующих этапов:

— формирование по данным скважин детальной разведки усредненных интервалов опробования по выделенным горизонтам для статистического анализа с целью локализации зон повышенного/пониженного содержания железа, титана и ванадия (*рис. 7.10*);

— преобразование данных, построение численных распределений и выделение областей, характеризующих пространственное размещение одноименной вкрапленности зерен титаномагнетита по обследуемым горизонтам, поскольку существуют классификации гусевогорских руд, основанные на их текстурных особенностях (вкрапленности), а также процентном содержании железа в магнитной фракции (обогатимости);

— погоризонтное моделирование распределения качественных характеристик рудного тела на основе построения изолиний содержания Fe_2O_3, TiO_2, V_2O_5, железа в магнитной фракции;

— погоризонтное выделение и моделирование границ рудных зон, отражающих распределение вкрапленности и показателя обогатимости титаномагнетитовых руд.

Гор-т	ЮЗ				Разрез по линии										СВ		Итого по горизонту
	55	55а	56	56а	57	57а	58	58а	59	59а	60	60а	61	61а	62	62а	
460-448					31										22		30
448-436															18		18
436-424		84											55		47	66	64
424-412	63	68	46		41	43							55		47		53
412-400	63	62	44		43	43							67				52
400-388	63	52	35	43	63	41	47	26	58	65	43	39	58		93		50
388-376	61	68	29	42	66	40	44	37	75	58	51	43	39		93		56
376-364	58	64	26	43	71	21	55	51	77	62	33	82			93		62
364-352				88		57	60	56	74	42	59	82					65
352-340			71	46	73	64	56	64									60
340-328	83	54	57	49	73	68	56										59
328-316	83	45	56	45													52
316-304		45	52	41													50
Итого по разрезам	64	61	49	49	65	55	56	49	77	58	43	49	52	-	71	66	Итого по участку 56

Условные обозначения

- выход марки МШ + МИ > 75% ;
- выход марки МШ + МИ 25 -50% ;
- выход марки МШ + МИ 50 -75% ;
- выход марки МШ + МИ < 25% .

Рисунок 7.9. Прогнозируемый выход марок магнезита на Березовском участке Саткинского месторождения

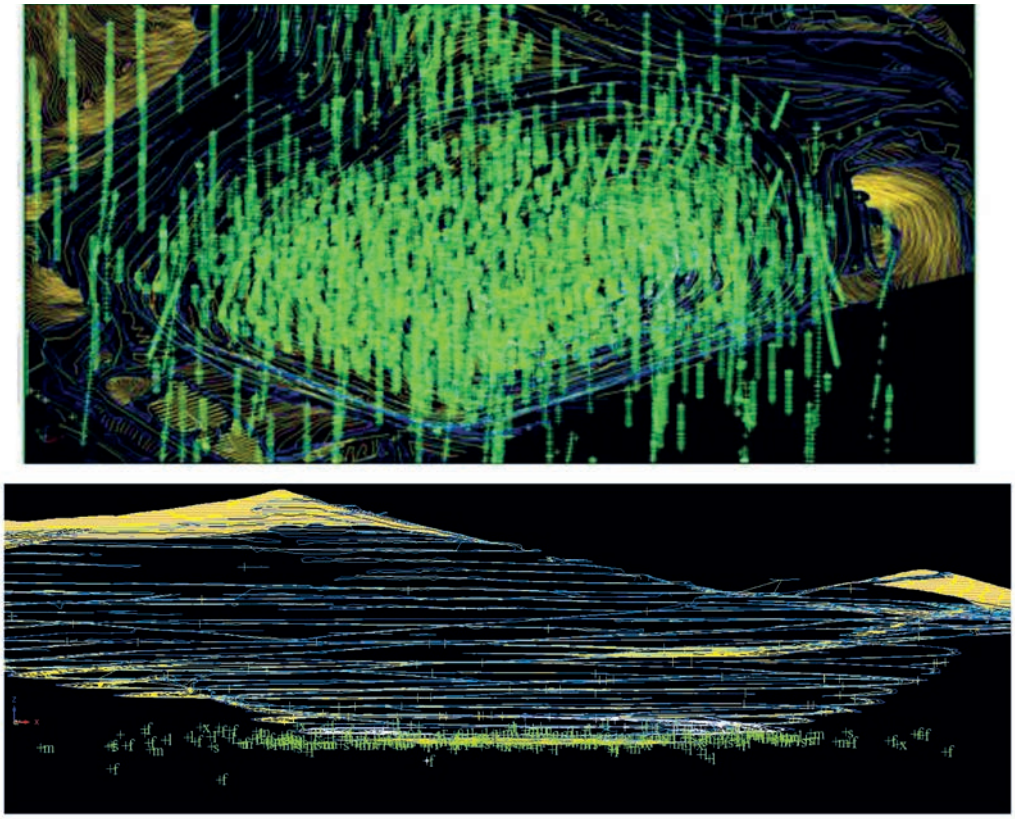


Рисунок 7.10. Модель данных опробования гор.+55 м (Главный карьер, КГОК)

По результатам моделирования распределения показателей качества для планирования горных работ в существующую классификацию руд по обогатимости, помимо принятых на ГОКе показателей, рекомендовано ввести дополнительный параметр — предельное содержание диоксида титана в добываемых рудах. Это означает, что помимо изменения методики опробования бурового шлама следует откорректировать и геоинформационную модель месторождения, на базе которой будут производиться горногеометрические расчеты. Кроме того выделение областей рудных тел, характеризующихся повышенными или заданными величинами содержания диоксида титана в рудах на каждом из отрабатываемых горизонтов, является отдельной геостатистической задачей, назначением которой является обоснование не только текущего состава руд, предназначенных к отработке, но и их металлургических свойств.

На примере отработки россыпных месторождений проиллюстрируем подходы к технологическому картированию (TechnologyRoadmapping), которое является основой системной оценки при выборе инновационной технологии, обеспечивающей существенное улучшение технико-экономических показателей при эксплуатации конкретного участка недр, включая оценку рисков инвестиций, модернизацию отдельных технологических элементов производственного цикла, обоснование

организационно-технических мероприятий и практических рекомендаций по использованию средств комплексной механизации.

Кластерное строение характерно для абсолютного большинства россыпных и рудных месторождений, когда 10–30 %, а иногда до 60 % объема подсчетного блока приходится на зону скоплений полезного компонента, в которой содержится более 85 % запаса металла. В последнее время особенности и закономерности кластерной организации геологических объектов достаточно активно изучаются с целью совершенствования методики проведения геологоразведочных работ и разработки методов опережающего и эксплуатационного опробования. Основной задачей кластерного анализа является разбиение заданной выборки объектов (ситуаций) на подмножества и нахождение групп схожих объектов. Решение этой задачи базируется на разработке типологии или классификации, исследовании полезных концептуальных схем группирования объектов, порождении гипотез и проверке их на соответствие выделенных групп исходным данным. К ним при разработке россыпей в первую очередь относятся гранулометрический состав полезного компонента и гранулометрический состав продуктивной массы, поскольку первый определяет способность шлюзов и других аналогичных технологических аппаратов улавливать его в зависимости от крупности, второй — промывистость продуктивной толщи и, как результат, дезинтеграцию ее на отдельные минеральные частицы.

Наиболее целесообразным алгоритмическим подходом к созданию технологической карты является использование модели распределения полезного компонента в россыпи или техногенном образовании, аналитических зависимостей, описывающих гранулометрический состав драгметалла и продуктивной массы, извлечение и потери полезного компонента при использовании определенного типа оборудования, что позволяет рассчитать количество планируемой добычи металла по отдельным участкам и блокам. В качестве достаточно информативного признака целесообразно использовать технологические показатели: коэффициент извлечения или потерь. По этим факторам возможно создание технологических карт, отражающих зональное распределение участков месторождения по величине извлечения или потерь, что позволяет определить количество извлекаемого золота, прогнозируемого при отработке конкретного участка недропользования.

Компьютерное оконтуривание блоков для трех отвалов золотосодержащей россыпи реки Винновка выполнено на всю галечно-песчаную толщу отвала по результатам валового опробования шурфов (*рис. 7.11*). Расчет балансовых запасов произведен при среднем содержании золота в контуре не менее 240 мг/м^3. Результаты компьютерного моделирования указывают на целесообразность учета пространственной связи геоданных и технологических потерь при промывке золотосодержащих песков. Пример компьютерного расчета технологического извлечения золота на шлюзах глубокого наполнения ШГН–15 приведен на рис. 7.12. В приведенных сведениях низкое извлечение золота обусловлено несоответствием используемого обогатительного оборудования гранулометрическому составу продуктивной массы и вмещающих пород. Таким образом, раздел геоинформационных исследований — технологическое картирование является инструментом выбора эффективных схем отработки минеральных объектов, обеспечивающих повышение полноты извлечения из недр.

Приведенные материалы свидетельствуют о том, что геоинформационное обеспечение принятия стратегических решений по управлению динамикой формиро-

вания качественных показателей добываемого сырья должно сопровождать технологии сквозной рудоподготовки — от забоя до обогатительной фабрики. При этом прогноз динамики качественных показателей полезного ископаемого во времени разработки основывается на геометризации его запасов, картировании выделенных в пространстве рудных участков с разными природными и технологическими свойствами, мониторинге качества и объемов извлекаемого сырья.

Эффективное управление качеством рудоподготовки в немалой степени связано с изменением стратегических решений по управлению горными работами, технологиями переработки сырья и, соответственно, достигаемыми показателями качества руд на долгосрочную перспективу.

Учет кластерного распределения полезного компонента повышает достоверность картирования залежей по технологическим показателям и позволяет на стадии планирования горных работ достаточно надежно обосновывать извлечение и потери полезного компонента при использовании определенного типа оборудования.

Проанализированные подходы к созданию рудоподготовительных систем на железорудных предприятиях свидетельствуют о том, что в последнее время наибольшее внимание уделяется учету отличительных природных особенностей перерабатываемого сырья. Это создает базу для развития информационных технологий и автоматизированных систем планирования горных работ по следующим основным направлениям:

— расширение областей использования ГИС для планирования разработки на основе совершенствования методик моделирования месторождений и их опробования;

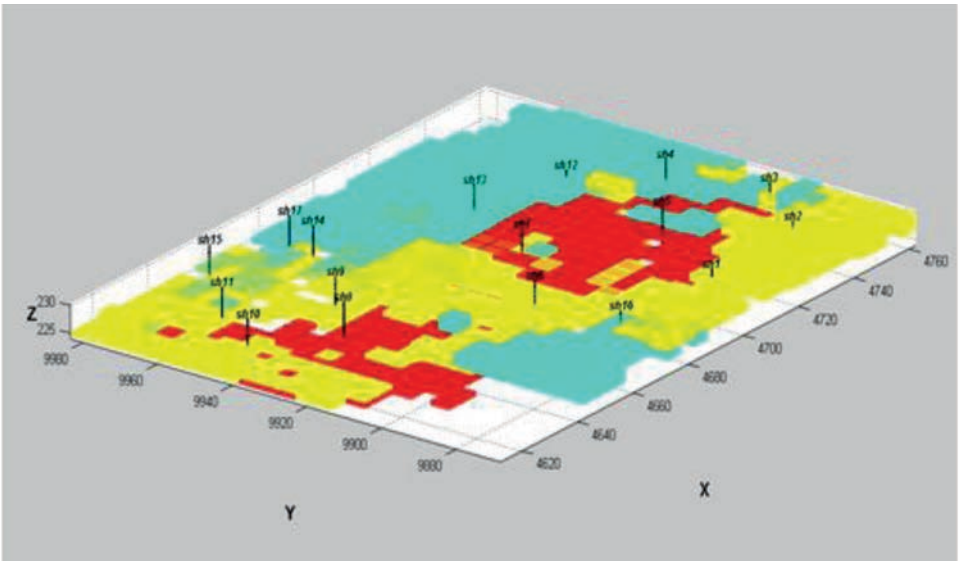


Рисунок 7.11. Пространственное распределение золота в техногенном отвале № 1 (россыпь р. Виновка)

Microsoft Excel - Расчёт технологического извлечения

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

F10

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	**Крупность металла, мм**	**-0.06**	**0.06-0.12**	**0.12-0.25**	**0.25-0.5**	**0.5-1.0**	**1.0-2.0**	**2.0-4.0**	**+4.0**
2	**Извлечение, %**	0	8	17	31	48	75	99	100
3	**Кол-во металла данной крупности, %**	0	0.4	7.7	20.1	20	38.3	13.5	0
4	**Технологическое извлечение, %**	**0.00**	**0.03**	**1.31**	**6.23**	**9.60**	**28.73**	**13.37**	**0.00**
5									
6	**Сумма по количеству металла, %**	**100**							
7	**Общее технологическое извлечение, %**	**59.26**							

Рисунок 7.12. Исходные данные для расчета технологического извлечения металла

— создание информационного и технического обеспечения для планирования загрузки мобильных и полустационарных прикарьерных рудосортировочных комплексов;

— совершенствование автоматизированных систем диспетчеризации, оптимизации транспортных систем, технических средств рудоконтроля (в карьерах, транспортных средствах, на усреднительных складах, обогатительных фабриках);

— применение безлюдных технологий, обеспечивающих управление горнотранспортным процессом, совершенствование экспресс-методов сквозного рудоконтроля и технологического перерабатывающего оборудования.

7.4. Обобщенная структура пилотной геоинформационной модели «Комплексное освоение природного и техногенного сырья Урала»

Изучение зарубежного опыта создания и эксплуатации геоинформационных систем разного целевого назначения позволяет выделить следующие особенности в развитии средств ГИС: 1) работы по созданию региональных или федеральных ГИС заканчиваются созданием веб-портала, обеспечивающего доступ конечного пользователя через браузер или через подключение активной ссылки (для интернет-глобусов и просмотрщиков настольных ГИС), 2) основой функционирования таких ГИС являются серверные расширения настольных ГИС (ESRI, MapInfo, Qgis и т.д.), 3) источником базовой информации (географической подложки) часто служат OpenSource векторные данные (OpenStreetMap, OneGeology) и открытые фондовые данные, 4) наблюдается тенденция к более широкому ис-

пользованию открытого программного обеспечения географических информационных систем.

В качестве отдельного средства визуализации и удобного справочника может рассматриваться ПО Веб-ГИС Google Earth, которая позволяет послойно организовать и редактировать данные, экспортированные из широко используемых ГИС-форматов, так как в большинстве случаев отпадает необходимость в создании картографической подложки (*рис. 7.13*). С этих позиций предложенная геоинформационная система «Комплексное освоение природного и техногенного сырья Урала» является основой для оптимизации эксплуатации природных и техногенных месторождений Урала, выявления и ранжирования факторов и процессов, определяющих приоритетные направления и возможности освоения минерально-сырьевой базы уральского региона, организации мониторинга и прогнозирования развития добычи, а также принятия решений в сфере управления природо- и недропользованием как на локальном — предприятие, холдинг, — так и на региональном уровне.

Созданию пилотной ГИС предшествовали следующие сформулированные научно-практические предпосылки:

— показано, что под минерально-сырьевой базой (МСБ) добывающей отрасли следует понимать совокупность минеральных ресурсов, а также средств добычи и переработки, поэтому выбор стратегии освоения недр на государственном, региональном или корпоративном уровне следует основывать на рассмотрении и оценке инициирующих причин развития МСБ;

— разработана общая структура модели взаимодействия техносферы и природной среды при разработке месторождений полезных ископаемых и общие положения экспресс-методики оценки геолого-технологических условий эксплуатации месторождения;

— предложена концепция построения и анализа виртуальной модели горного предприятия, определена последовательность экспресс-расчетов и основных правил построения модели горного предприятия при отработке месторождения, разработке регламента расчетов, при которых четко выделяются содержательные этапы вычислений — порождающих, ограничивающих и реализующих;

— опробование предложенной методики целенаправленного поиска и генерирования вариантов последовательности отработки, освоения и разведки месторождений, а также рекомендованный общий порядок принятия решений при формировании таких стратегий, свидетельствуют о том, что базой для обоснованного формирования управляющих воздействий являются комплексные исследования, основанные на опережающих или параллельных оценках. Получение таких оценок предусматривает эффективность применения ГИС, формирующей совокупность прогнозных, проектных, справочных, аналитических, экспертных и других сведений для решения различных горно-технологических, социально-экономических, экологических и прочих задач.

Назначением пилотной геоинформационной система «Комплексное освоение природных и техногенных ресурсов Урала» как аналитической платформы для выявления и ранжирования факторов и процессов, определяющих приоритетные направления и возможности поддержания сырьевой базы уральского региона, организации мониторинга опасных процессов и прогнозирования освоения природных и техногенных месторождений полезных ископаемых являются:

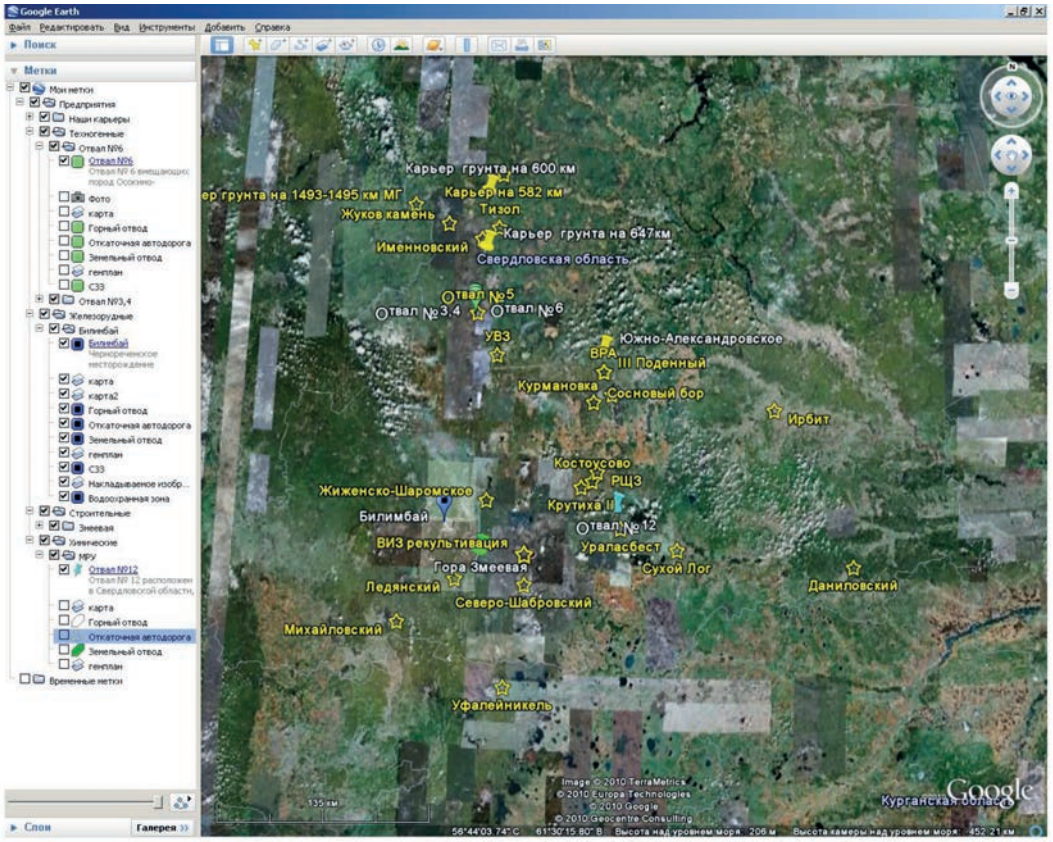


Рисунок 7.13. Базовая информационная оболочка «Google Earth»

— хранение сведениий о природно-географических, геологических, технологических и эколого-экономических условиях разработки;

— моделирование отработки месторождений и развития инфраструктуры предприятий при разработке проектной документации, пополнение и корректировка данных, возникших в результате эксплуатации месторождения для планирования горных работ;

— накопление и пополнение данных о характере техногенного влияния горнодобывающего предприятия на окружающую среду, в том числе оценка размещения техногенного сырья, возникающего при переработке минеральных ресурсов;

— технико-экономические оценки, получение интегральных показателей взаимодействия горных предприятий с внешней средой, в том числе прогноз текущего загрязнения окружающей среды, а также последствий консервации или прекращении эксплуатации предприятия;

— прогноз развития возможных техногенных катастроф и других чрезвычайных ситуаций, связанных с эксплуатацией недр.

Следует отметить, что только первая обозначенная функция ГИС является базовой, реализуется и целиком основывается на первичных данных геологическо-

го, гидрогеологического и геофизического изучения недр, а также инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий.

Исходя из основных решаемых задач, а также особенностей описываемых объектов и методов их геоинформационного моделирования, все горные предприятия разделены на четыре группы по типам ресурсов (*табл. 7.4*). Внутри групп, в свою очередь, выделены разделы, соответствующие отдельным видам полезных ископаемых: месторождения твердых полезных ископаемых — цветные металлы; черные металлы; благородные металлы; нерудные ископаемые; энергетические ресурсы: угольные; торфяные; месторождения подземных вод: питьевых; технических; дренажных; техногенные месторождения: отходы горнодобывающего производства; отходы металургического производства; отходы обогатительных комбинатов.

В структуре ГИС выделено два блока — геоинформационный и мультимедийный, взаимодействие между которыми обеспечивается системой перекрестных ссылок с возможностью подключения к внешним источникам данных, в том числе и из сети интернет. Геоинформационный блок включает данные, которые могут быть охарактеризованы объектами с пространственно определенными границами, атрибутами и маркерами, присущими только этим границам. Мультимедийный блок предусматривает одновременное использование различных форм представления данных в виде текстов, таблиц, фотографий, илюстраций, в том числе топографических карт, геологических разрезов, генеральных планов предприятия, видео-материалов, интернет-ссылок и т.п.

Пилотная версия ГИС настроена на максимальное использование веб-сервисов, открытых кодов, облачных вычислений. В качестве отдельного средства визуализации и удобного справочника предусмотрено широкое использование программных средств Веб-ГИС Google Earth, которая позволяет послойно организовать и редактировать данные, экспортированные из широко используемых ГИС-форматов.

Для хранения геоинформационных данных используется удобный в использовании язык разметки на основе XML для представления трехмерных геоинформационных данных — KML (KeyholeMarkupLanguage). Это позволяет привлекать для пополнения базы данных, помимо внешних информационных ресурсов, сторонних разработчиков, в том числе и непрофессиональных, например, инициативные группы экологов. Возможности языка KML включать в описание объектов гиперссылки позволяет организовать интерактивное взаимодействие с блоком мультимедийных данных, а его открытость — произвести перенос данных на иную программную платформу. В качестве программной основы для работы с геоинформационными массивами выбрана система ArcGisDesktop.

Методика построения пилотной ГИС как интегрированной геоинформациной базы данных основана на идеологии послойного фиксирования, обработки и анализа свойств, показателей и параметров изучаемых геосистем и их элементов.

При работе с геоинформационной оболочкой, выбранной в качестве базовой — «Google Earth», структура базы данных представляется в виде дерева папок, используя которое, можно в интерактивном режиме включать отображение как отдельных элементов, так и их групп, что реализовано в виде экранного меню (*рис. 7.14*). Структура базы данных может быть достаточно легко перестроена или дополнена при расширении круга решаемых задач.

Источниками данных для разработанной пилотной ГИС являются: геологические отчеты и карты разных масштабов и назначения; заключения различных служб, занимающихся сбором и обработкой данных по климату, сейсмологии, гидрологии, гидрогеологии, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и пр.; ежегодные планы работы действующих предприятий и их годовые отчеты; условия лицензирования каждого отдельного участка недр; пакет законодательных актов, регламентирующих деятельность горных предприятий; набор указаний, рекомендаций, СанПиН и СНиП, обеспечивающих упорядочение и безопасность работы горного производства.

При построении пилотной версии ГИС формируется геоинформационная база данных действующих горных предприятий Свердловской области, отработана методика построения геоинформационных моделей месторождения, а также оценки зон техногенного воздействия на окружающую среду (санитарно-защитные, водоохранные, взрывоопасные зоны), геоинформационные данные об объектах и сетях и пр. (*рис. 7.15*).

Вышеперечисленное позволило обосновать основные положения методики построения пилотной ГИС мониторинга и анализа МСБ — интегрированной геоинформациной базы данных, основанной на идеологии послойного фиксирования, обработки и анализа свойств, показателей и параметров изучаемых геосистем и их элементов.

Геоинформационный банк данных содержит информацию, которая наилучшим образом, а иногда и единственно возможным, представляется в виде точек, контуров или линий на карте с фиксированными координатами и соответствующими атрибутами. Такого рода информацией являются: место размещения горного предприятия, зоны влияния предприятия на окружающую среду, охраняемые природные и прочие объекты, элементы инфраструктуры.

В геоинформационной системе банка даных представлены собственно административные, топографические, геологические и прочие карты, а также космические и аэроснимки местности и т.п. Такое представление позволяет наглядно оценить взаимное расположение интересующих объектов как в пространстве, так и во времении и, благодаря этому, быстро и четко выявить «проблемные участки», то есть места,

Таблица 7.3

Структура баз данных ГИС-проекта «Комплексное освоение природного и техногенного сырья Урала»

Минеральные ресурсы	Твердые полезные ископаемые	Цветные металлы		Запасы. Размеры. Степень освоения. Экологический риск
		Черные металлы		
		Благородные металлы		
		Энергетические		
	Техногенно-минеральные образования	Отвалы	карьеры, шахты Обогащение ГРЭС Металлургия	Запасы. Сырье. Перспективы переработки. Экологический риск
		Шламохранилища		
		Шлакоотвалы		
	Подземные воды	Питьевые		Запасы. Водоотбор. Качество
		Технические		
		Дренажные		

Рисунок 7.14. Интерфейс геоинформационной базы данных для анализа минерально-сырьевой базы. Быстрый поиск

где зоны негативного воздействия предприятия перекрывают охраняемые зоны и объекты; повысить скорость и качество принимаемых решений, таких как логистические решения, размещение и взаиморасположение объектов ГП, перспективные направления геологоразведочных работ и пр.

Все графические объекты, содержащиеся в геоинформационной базе данных, могут быть снабжены текстовыми пояснениями, иллюстрациями и ссылками на информационный блок данных. Состав геоинформационных объектов содержит постоянную (обязательную) и адаптивную часть, состав которой может меняться в зависимости от конкретных условий. Например, для горного предприятия по добыче твердых плезных ископаемых предлагается следующий состав «обязательной» части: местоположение предприятия, краткие сведения, ссылки на «паспорт предприятия»; геологические карты; границы и размеры земельного и горного отвода; генеральный план предприятия; санитарно-защитная и взрывоопасная зоны. Адаптивная часть может содержать размеры и границы депрессионной воронки; подъездные дороги; водозаборные скважины; фотоматериалы и т.д.

Информационный банк данных предназначен для хранения прежде всего «карточек предприятий», которые являются основной формой представления данных о конкретном предприятии и реализуются в виде страницы гипертекста, снабженной таблицами, иллюстрациями и гиперактивными ссылками на дополнительные источники данных, в том числе и в сети интернет. Карточки предприятий могут иметь различную структуру в зависимости от типа предприятия.

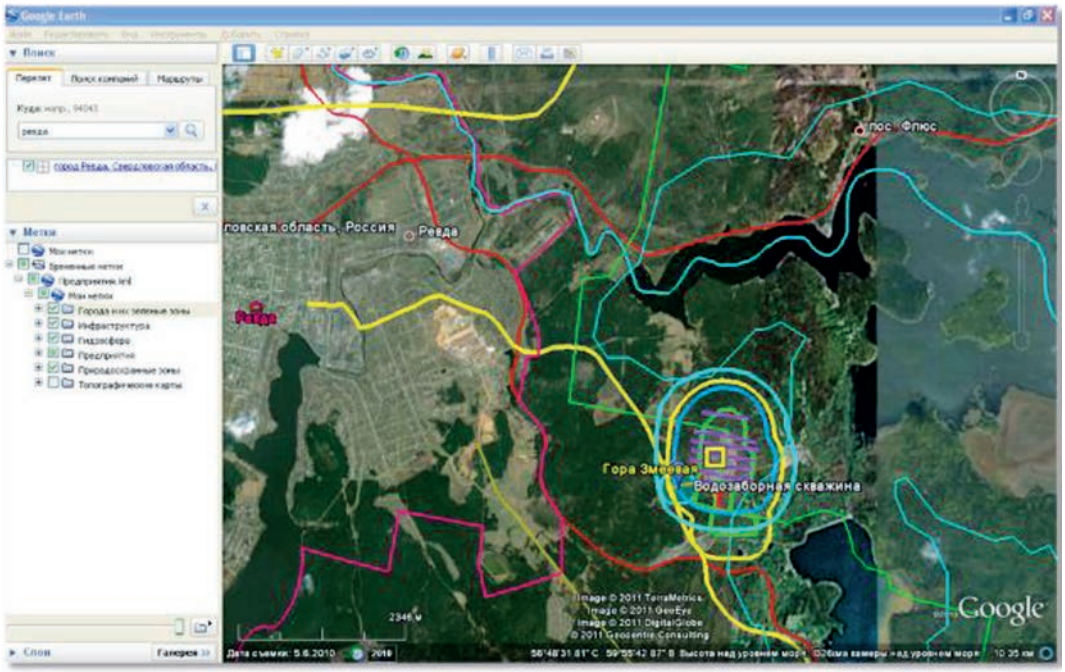


Рисунок 7.15. Геоинформационная модель природоохранных и опасных зон при отработке месторождения Гора Змеевая

Оба банка данных имеют возможность подключения внешних источников данных, в том числе и из сети интернет. Геоинформационный и информационный банки данных взаимно дополняют друг друга таким образом, чтобы содержащиеся в них данные могли быть представлены наиболее полно и наглядно в соответствии с решаемой конкретной задачей.

Для удобства пользования геоинформационные данные представлены в открытом формате .kmz, прочие данные организованны в виде страниц гипертекста .html и могут включать ссылки на любые типы файлов.

Следует отметить, что последовательное включение слоев геоинформационной модели предприятия, особенно будущего (Слои: Внешний транспорт, «Энергетика», «Лесные угодья», Водоохранные зоны, Техногенные объекты и др.), позволяет уже на стадии замысла технического задания на проектирование горного предприятия последовательно оценить места размещения производственных объектов с учетом всех требований по экологической и промышленной безопасности.

Анализ данных и их обработка осуществляется посредством формирования SQL-запросов по информации, содержащейся в базах атрибутивных данных ГИС, что позволяет решать широкий круг задач, направленных на геолого-технолого-экологическую оценку комплексного освоения природных и техногенных ресурсов Урала. К атрибутивным данным могут быть присоединены гиперссылки, позволяющие, например, просматривать вид и химический состав сырья, возможные технологии его переработки или утилизациии и т.п. Например, при оценке влияния уже сформировавшихся техногенно-минеральных образований на качество подземных

вод формируется следующий объектный геометрический запрос: выбрать объекты (месторождения подземных вод), на площади которых содержатся техногенные минеральные образования (пересечение объектов); представить химический состав складированных на выбранных территориях отходов.

В процессе разработки пилотного проекта ГИС «Комплексное освоение природного и техногенного сырья Урала» были определены следующие перспективные направления ее развития:

1. Расширение круга решаемых задач; благодаря открытой структуре системы количество решаемых задач ограничивается только информационными возможностями базы данных.

2. Разработка комплексных междисциплинарных проектов — простота работы по редактированию, пополнению и расширению базы данных разработанной ГИС, а также прямой доступ к базе через интернет позволяет привлекать для исследований в области оценки минерально-сырьевой базы и технологической подготовки горного производства широкий круг специалистов.

3. Создание аналитического аппарата — объединение геоинформационной и мультимедийной составляющей ГИС на единой платформе позволяет существенно развить теорию и методику системного геолого-технолого-экономического обоснования развития минерально-сырьевой базы страны, регионов и других комплексных оценок развития добывающих и перерабатывающих отраслей промышленности.

4. Усовершенствование поиска — продолжение и расширение исследований в области методики обработки, хранения и передачи геоданных, а также совершенствование систем их быстрого поиска и присоединения данных к ГИС.

5. Организация единого информационного центра — тенденция последнего десятилетия заключается в повсеместном переходе к использованию веб-сервисов, открытых кодов и прочего, что влечет за собой необходимость создания объединенных геоинформационных сервисных служб МПР и институтов Отделения наук о Земле РАН.

7.5. Формализация процесса накопления, пополнения и корректировки данных в ГИС

На основе обобщенного рассмотрения различных подходов выделена единая методика представления данных, что позволило унифицировать структуру базы данных, а также сформулировать общий подход к созданию функционального прототипа рабочего места пользователя ГИС, обеспечивающего ввод, обработку и использование карт и планов с учетом особенностей местных систем координат; построение пространственных объектов из каталогов координат; ввод, хранение и обработку тематических пространственных слоев; совмещение картографических слоев.

Основными методами наполнения ГИС применительно к описанию природных и техногенных месторождений признано использование: общераспространенных программных средств (ПС); специализированных ПС; профессиональных ПС; фрагментов привлеченных ГИС; веб-порталов как универсального информационного

инструмента. На основании анализа предложена схема навигации по разрабатываемому веб-порталу (*рис. 7.16*), обеспечивающая создание, накопление, корректировку и использование накопленных данных о конкретном объекте, которая предполагает наличие: распределенной сети передачи данных; программно-аппаратного комплекса сервера базы данных; подсистемы администрирования (обработки и конвертирования данных, назначения прав и уровней доступа и т.д.); программно-технического комплекса для обработки запросов пользователей ГИС через веб-интерфейс; программного инструментария пространственного анализа, математического моделирования и прогнозирования.

Опытный образец ГИС предусматривает наличие в своем составе базовой картографической подсистемы, сформированной из цифровых топографических карт уральского региона и ориентированной на возможность ее дальнейшего развития. При этом организация данных в ГИС строится на базовой картографической основе и предусматривает взаимоувязанное представление информационных моделей различных объектов управления; пространственную привязку, систематизацию и возможность произвольного отбора всей поступающей и хранимой информации; комплексность и наглядность представления информации; возможность динамического моделирования процессов и явлений.

Технический проект ГИС «Комплексное освоение природных и техногенных ресурсов Урала» разработан в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52155-2003 «Географические информационные системы федеральные, региональные, муниципальные» и предусматривает: ввод, обработку и использование топогеодезических и фотографических карт и планов с учетом особенностей местных систем координат; ввод, валидацию и построение пространственных объектов из каталогов координат;

Рисунок 7.16. Принципиальная схема навигации по веб-порталу

ввод, хранение и обработку тематических пространственных слоев; возможность совмещения картографических слоев; автоматизированное преобразование систем координат картографических слоев; возможность аналитической обработки хранимых пространственных и атрибутивных данных; возможность автоматизированной интеграции с другими информационными системами; обеспечение многопользовательского режима доступа к информации с разграничением прав доступа пользователей, а также возможность функционирования клиентских рабочих мест пользователей ГИС через веб-интерфейс.

Одним из основных условий является обеспечение защиты открытой и конфиденциальной информации, а также выполнение соответствующих требований действующего законодательства в области информационной безопасности государственных информационных ресурсов с учетом требований «Специальных требований и рекомендаций по технической защите конфиденциальной информации (СТР-К)» от 02.03.2011.

Технические требования к созданию тематических подсистем ГИС разрабатываются на основании результатов инвентаризации имеющихся баз данных и информационных систем и содержат:

— перечень информационных ресурсов, содержащих пространственную информацию, в базах данных и информационных системах;

— предложения по техническим решениям по объединению таких ресурсов в единую информационную среду, включая механизм их пространственной привязки к базовому картографическому слою, с учетом особенностей местных систем координат, а также оценку затрат, необходимых для обеспечения такого объединения;

— предложения по модернизации существующих информационных систем.

Выбор проектного решения для развертывания ГИС должен осуществляться на основе оценки функциональных прототипов подсистем в соответствии с положениями ГОСТ 28195-99 «Оценка качества программных средств». Сравнительное прототипирование сервера базы данных должно обеспечить мотивированный выбор технических средств серверного вычислительного комплекса и базового программного обеспечения сервера приложений, проектного решения для разработки веб-сервисов, веб-приложений и специализированных АРМ с учетом предполагаемых затрат на приобретение и лицензирование.

Систематизированные подходы к созданию и наполнению веб-портала ГИС «Комплексное освоение природных и техногенных ресурсов Урала» применительно к решению задач горного производства свидетельствуют о том, что основные разделы ГИС для конкретного месторождения должны по содержанию соответствовать «Методическим рекомендациям по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых» (Москва, 2007), в том числе содержать: перечень объектов, по которым представлена картографическая информация; оцифрованные материалы, принятую систему координат, используемые подложки, масштабы; структуру атрибутивных данных, описание полей; материалы в растровом виде, в том числе масштаб, параметры растра; материалы в 3D-формате, масштаб и параметры растра; материалы в текстовом и табличном виде; фотоматериалы, параметры их настроек.

Концепция разработанной геоинформационной системы предоставляет разграничение прав доступа к информации. Дополнительно в качестве графических и

табличных приложений используются протоколы утверждения запасов полезного ископаемого, топографические карты, перспективные и текущие планы горных работ, проектные положения горных выработок, геологические разрезы, кондиции для подсчета запасов и т.п.

Элементами справочно-схематического отображения объектов являются внемасштабные примитивы (линия, точка, многоугольник) с расширенным описательным полем и ссылками на сетевую базу данных формата Hyper Text Markup Language (HTML) — «язык гипертекстовой разметки», который характеризует графическое представление данных с целью экспресс-анализа входной информации (геологической, технологической и т.д.) для обоснования предварительных проектных решений. Здесь содержатся сведения о промышленно-экономической характеристике района, геологические сведения о месторождении, характеристике полезного ископаемого — качество, физико-механические свойства пород и руд, климат и т.п.

Для региональных и локальных методов такая трансформация данных подразумевает переход от выгруженных табличных данных в формат *.shp — векторной информации для хранения объектов (точка, полилиния, полигон, триангуляционная поверхность), описываемых геометрией и сопутствующими атрибутами. Основной плюс данного решения — быстрое представление бесконечно большого массива данных в табличном виде в геопространстве. Минусом же является необходимость ручной доработки каждого объекта для создания связей с «картотекой» предприятий и подключения из репозитария файлов приложений (*рис. 7.17*).

Важным этапом стандартизации процесса формирования, накопления и пополнения специализированных баз данных является разделение информации на исходную (первичную, базовую), нормативную (оценочную, обеспечивающую сравнение и сопоставление), расчетную (адаптивную). Для формирования перечня исходных данных, входящих в информационные слои — специализированные базы данных предлагается использовать предложенную ранее систематизацию основных свойств, показателей и параметров природно-технологических геосистем, основанную на выделении логически взаимодействующих подсистем: «Район разработки», «Месторождение», «Выемочная (структурная) единица», «Перерабатывающее предприятие», «Добывающий элемент (карьер, шахта)», обеспечивающих послойное генерирование информационной среды для последующих расчетов и оценок.

Анализ источников получения данных для формирования базы данных свидетельствует о том, что по виду и способу их получения следует выделять первичные, адаптированные и электронные сведения. В таблице 7.4 представлен перечень основных исходных данных, необходимых для формирования информационных слоев, характеризующих только один блок — «Район разработки». Стандартизация процесса накопления информации позволила формализовать приемы построения геоинформационых баз данных, а также процессы их актуализации ГИС (*табл. 7.5*).

Выполненные исследования свидетельствуют о необходимости интеграции усилий. В процессе создания требований к функциональному прототипу рабочего места пользователя ГИС изучен картографический ресурс «Интерактивная электронная карта недропользования Российской Федерации» [https://map.mineral.ru/Auth/logon.aspx?returnurl=%2FStandard%2F%3Fl%3Dru&l=ru], находящийся на стадии опытной эксплуатации, являющийся отечественной альтернативой геоинформационной оболочке «Google Earth».

Электронная карта недропользования России ориентирована на максимально простое и быстрое получение краткой справочной информации по следующим блокам, имеющим отношение к недропользованию в нашей стране:

— данные о геологическом строении территории — геологические карты масштабов от 1:2 500 000 до 1:500 000 и другие материалы;

— сведения о минерально-сырьевой базе — месторождения, рудопроявления, перспективные площади, минерагенические подразделения всех рангов, базовый масштаб 1:2 500 000;

— данные об изученности территории — картограммы геологической, геохимической, геофизической изученности масштабов от 1:1 000 000 до 1:50 000;

— сведения о распределенном фонде недр (лицензий на право недропользования), карта работ по геологическому изучению недр за счет федерального бюджета, карта органов управления недропользованием, внемасштабные данные;

— инфраструктура минерально-сырьевого комплекса — карта инфраструктуры МСК с указанием основных коммуникаций, производственных мощностей и пр., карта особо охраняемых территорий федерального уровня масштаба 1:2 500 000;

— географические карты и карта административного деления масштаба 1:2 500 000.

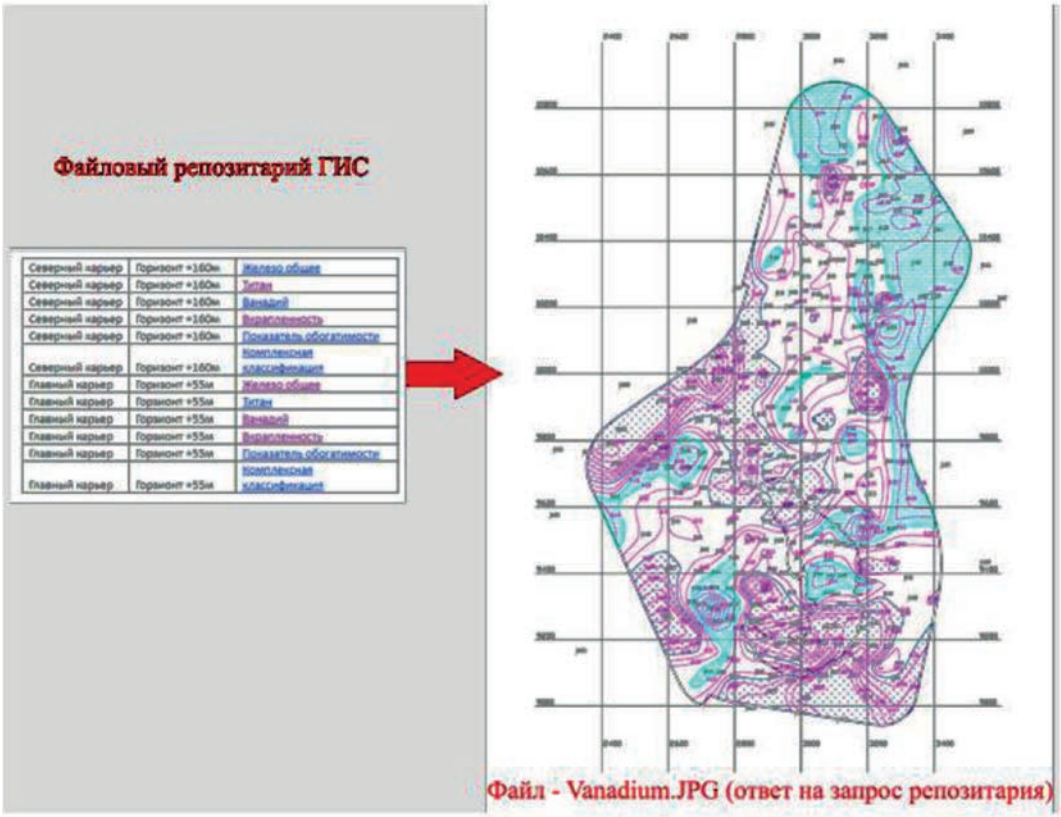


Рисунок 7.17. Связи в файловом репозитарии представленной ГИС

Таблица 7.4

Источники получения данных о свойствах, показателях и параметрах района разработки

Раздел ГИС	Характеристика информационного слоя (специализированной базы данных)		
	Свойства	**Показатели и параметры**	**Вид и источники данных**
1	*2*	*3*	*4*
1. Район разработки	Географические и природно-климатические условия	Расположение и сейсмичность региона.	Первичные: данные геофизической службы РФ. Адаптированные: отчеты Роснедра РФ о геологическом изучении района, ТЭО кондиций, проектная документация о разработке. Электронные: административные данные (электронная топооснова масштабов 1:500000; 1:200000). Номенклатура планшетов М 1:500 000: границы области, границы муниципальных образований, административные центры муниципальных образований.
		Климатическая зона, перепад температур	Первичные: Госкомгидромет РФ. Адаптированные: отчеты о геологическом изучении недр.
		Рельеф	Первичные: разномасштабные географические карты. Адаптированные: картографические атласы. Электронные: данные наземных, аэро- и космических съемок.
		Гидрогеология и гидрография (поверхностный сток, размеры водоемов, дебит, проницаемость пород и пр.)	Первичные: данные Росгидромет РФ, Роснедра РФ. Адаптированные: отчеты о гидрогеологическом изучении недр и изысканиях. Электронные: - гидрологические данные Федерального агентства Росводресурсы: реки, озера, водохозяйственные участки. - гидрогеологические данные: границы бассейнов подземных вод, карта гидрогеологического районирования, ВСЕГИНГЕО, 2001; модуль эксплуатационных ресурсов подземных вод (основа – результаты оценки обеспеченности населения Свердловской области источниками питьевого водоснабжения за счет подземных вод). Подземные воды (данные государственного учета вод, данные государственной статистической отчетности 2-тп водхоз); питьевые подземные воды, технические подземные воды, дренажные подземные воды - дренажные системы месторождений полезных ископаемых (контуры депрессионных воронок водоотливов с утвержденными запасами дренажных подземных вод

1	2	3	4
	Промышленная освоенность	Размещение и мощность транспортных и энергетических структур	Первичные: данные администрации области. Электронные: административные данные (электронная топооснова масштабов 1:500000; 1:200000), номенклатура планшетов М 1:500 000: границы области, границы муниципальных образований, административные центры муниципальных образований.
		Местные источники вспомогательного сырья	Первичные: данные Роснедра РФ.
		Мощности, обеспечивающие переработку сырья на местах	Первичные: данные Роснедра РФ, данные администрации области.
	Национально-этнические особенности района	Заселенность и профессиональная структура населения региона	Первичные: данные Роскомстата РФ, данные администрации области.
		Источники комплектования рабочими кадрами	Первичные: данные Роскомтруда РФ, данные администрации области.
	Общее состояние экологической обстановки	Наличие охраняемых территорий, водоемов, видов животных и растений	Первичные: данные Роснедра РФ, бассейновых комиссий, Росприроднадзора РФ. Адаптированные: атласы и перечни охраняемых объектов, животных, растений.
		Фоновые концентрации	Первичные: данные Роскомгидромет РФ, данные инженерно-экологических изысканий. Адаптированные: отчеты специализированных организаций.
		Площади лесных и сельскохозяйственных угодий и неудобий	Первичные: данные лесо- и землеустроительных организаций. Адаптированные: данные администрации области.

Таблица 7.5.

Систематизация приемов построения геоинформационных баз данных

Блок геоинформационной модели	Порядок формирования	Среда функционирования	Признаки структурирования данных			Способ использования данных
			Исходные: первичные, базовые	Нормативные: сравнение и сопоставление	Расчетные: вычисляемые, прогнозируемые	
Геоинформационный	Послойная обработка объектов	Веб-ГИС GoogleEarth, ArcInfo	Инструментальные съемки и геометризованные данные: геология и гидрогеология, гидрография, топография	Размеры водоохранных зон, нормативные размеры СЗЗ и пр. Границы и категории лесных массивов, сельскохозяйственных угодий и неудобий	Зоны рассеивания выбросов и сбросов; угнетения растительности; загрязнения и миграции поверхностных и подземных вод; границы отчуждения земель	— Прямой расчет технических параметров горного производства. — Моделирование областей, сформированных по нормативному воздействию или в соответствии с некоторым предельным их состоянием
	Фиксирование пространственно определенных границ, атрибутов и маркеров	Язык разметки и хранения данных XML	Карты и планы промышленной и социальной инфраструктуры. Данные других ГИС	Условия размещения промышленных отходов, нормативы отвода земель, загрязнений (ПДК)	Зоны сдвижения и деформаций, взрывоопасные зоны, зоны разрушении при ЧС	— Моделирование развития и оценка последствий природно-техногенных катастроф. — Оценка общего состояния или тенденций развития процесса или явления
Мультимедийный	Тексты, таблицы, фотографии, илюстрации	Веб-ГИС GoogleEarth	Первичные и электронные сведения	Адаптированные сведения	Адаптированные сведения. Данные других исследований	— Подборка, характеризующая общее состояние или тенденцию развития того или иного процесса или явления. — Описание границ, сформированных по нормативному воздействию или в соответствии с некоторым предельным их состоянием
	Сканированные объекты (карты, разрезы, планы), видеоматериалы, интернет-ссылки	Перекрестные гиперссылки на языке KML	Векторизуемые объекты			
			Справочные материалы			

Проанализированные возможности системы Mineral.ru свидетельствуют об ее значительной эффективности и подтверждают правильность сделанных ранее выводов по выбранному направлению работ.

Разрабатываемая геоинформационная система «Комплексное освоение природных и техногенных ресурсов Урала» является продолжением системы Mineral.ru, которая для нее один из основных источников данных, а также может быть, при соответствующей адаптации, дополнением к разрабатываемой по заказу Минпромторга РФ ГИС-Промышленности (ГИС-П).

7.6. Концепция создания геоинформационной подсистемы «Безопасность природо- и недропользования»

К настоящему моменту в исследовательских и проектных организациях, а также разного вида государственных органах надзора накоплено достаточное количество данных для интегральных прогнозных оценок состояния и развития опасных природных и техногенных процессов во взаимосвязи с развитием техносферы. Такие материалы позволят осуществлять системную оценку влияния развивающихся промышленных предприятий на окружающую природную среду, управлять на региональном и государственном уровнях размещением промышленности, строительством, развитием территорий. Техногенные катастрофы регионального уровня могут развиться из-за деформации дневной поверхности, подвергшейся подработке, нарушения целостности особо ответственных капитальных зданий и сооружений, загрязнения водных объектов из-за сброса взвешенных веществ при частичной потере устойчивости шламохранилищ. Закрытие горных предприятий также во многих случаях влечет за собой развитие ряда негативных последствий. Для большинства горных предприятий, в соответствии с установленным законом о промышленной безопасности перечнем опасных объектов и веществ, обращающихся в производственном цикле, является обязательной разработка деклараций промышленной безопасности, в которых оценивается технический уровень производства, распределение веществ по объекту, наиболее вероятные и наиболее опасные сценарии развития аварий и их возможные последствия для промышленного персонала и населения, а также размеры прямого экономического ущерба. Проекты переработки, захоронения и консервации отходов производства также подлежат экологической экспертизе, т. е. наравне с оценкой эффективности выявляется степень негативного влияния переработки.

Результаты исследований, при которых в качестве инструмента применяются геоинформационные технологии, могут быть использованы специалистами Госкомприроды для экспертизы и комплексной оценки опасных природных процессов в увязке с развитием техносферы региона; специалистами МЧС РФ для анализа опасности производственных объектов, оценки вероятности аварий регионального масштаба и разработки стратегии снижения степени риска ЧС и техногенных катастроф; специалистами Госгортехнадзора РФ для управления повышением степени промышленной безопасности; специалистами и в области жилищного, промышленного и транспортного строительства для определения мест заложения инженерных

и транспортных коммуникаций, промышленных зданий и сооружений, а также населенных пунктов, в том числе садово-огородных участков; работниками региональных и муниципальных органов самоуправления для принятия решений о перспективах социально-экономического развития территорий. При этом главной задачей исследований является разработка ядра геоинформационной системы, обеспечивающей выполнение прогнозов динамики развития опасных природных процессов, спровоцированных техногенным влиянием горнодобывающих предприятий, текущих оценок и обоснование экологического и социального рисков при планировании экономического развития уральского региона.

При структурировании данных, хранимых и перерабатываемых с использованием средств разрабатываемой ГИС, следует стремиться к четкому подразделению геоинформационных данных по следующим признакам:

— исходные (первичные, базовые данные: геология и гидрогеология, топография, гидрография, действующая промышленная и социальная инфраструктура), полученные из других ГИС, геометризованные, инструментальные и пр.;

— нормативные (данные второй очереди: оценочные, обеспечивающие сравнение и сопоставление, водоохранные зоны, категория лесных массивов, категория сельскохозяйственных угодий, условия размещения промышленных отходов, нормативы отвода земель, нормативы загрязнений (ПДК), нормативные размеры СЗЗ и пр.);

— расчетные (адаптивные) — вычисляемые, прогнозируемые: зоны сдвижения, взрывоопасные зоны, прогнозируемые залповые разрушения, выбросы и сбросы; зоны загрязнения: рассеивание пыли, разнос загрязнений водой, миграция загрязненных подземных вод; отчуждение земель — постоянное временное, зоны угнетения растительности — инициирующие принятие решений, корректировку, поиск и т.п.).

Использование такого подхода к моделированию позволяет расширить постановку решаемых задач и методику обоснования параметров горного производства. Установлено, что решение разнообразных задач системной оценки размещения и совокупного техногенного влияния объектов горнодобывающих предприятий в районе ведения горных работ и комплексного взаимодействия их с природной средой может осуществляться в нескольких типовых вариантах:

— прямая задача — расчет техногенных параметров горного производства с обоснованием размеров зон техногенного нарушения на базе первичных данных ГИС с последующим прогнозированием природоохранных мероприятий и мер технологической защиты;

— обратная задача — моделирование границ зон, сформированных по нормативному воздействию или в соответствии с некоторым предельным их состоянием, внутри которых нужно искать технологические решения, адаптированные под заданные ограничения;

— задача-«катастрофа» — разработка вариантов сценария провоцирования и развития аварий, моделирование развития и оценки последствий природно-техногенных катастроф с обоснованием упреждающих мероприятий по их предотвращению и организационных мер по ликвидации их последствий, получение «разведданных» в виде прогноза развития ЧС и установления способов доступа к местам ведения спасательных работ;

— задача-обобщение — аналитическая подборка, характеризующая общее состояние или тенденцию развития того или иного процесса или явления, предваряющая

классифицированную ранее совокупность объектов, входящих в ГИС (отрабатываемые или разведываемые месторождения — по видам сырья, техногенно-минеральные объекты — по видам отходов и полезных компонентов, месторождения подземных вод и т.п.).

Задача-обобщение является наиболее сложной с точки зрения организации данных, хранящихся в ГИС, и порядка их обработки. Это объясняется тем, что показатель-критерий, по которому осуществляется выборка, не всегда очевиден и не может быть учтен (спрогнозирован) при проектировании информационной структуры данных. Тем не менее, в последующем такой подход должен быть разработан, скорее всего с использованием идеологии последовательной смены оценочных показателей и графической их интерпретации.

Расширение возможностей ГИС «Комплексное освоение природного и техногенного сырья Урала» проиллюстрировано ниже на примере анализа экспериментальных данных в области современной геодинамики. В ИГД УрО РАН создана и зарегистрирована «База экспериментальных данных о параметрах современных геодинамических движений», основу которой составляют данные о современных геодинамических движениях, происходящих в сейсмичных и асейсмичных областях России и Казахстана. Эта база, интегрированная в единую информационную систему, послужила основой для разработки общей концепции подсистемы ГИС «Безопасность природо- и недропользования». Общая структура модели взаимодействия техносферы и природной среды при разработке месторождений полезных ископаемых, обусловленная влиянием как природных, так и техногенных факторов, представлена на рис. 7.18.

Проверка сформулированных подходов к построению и анализу подсистемы проводилась на примере геомеханической оценки распространения опасных сдвижений и подтопления техногенно нарушенной территории г. Березовский, возникших в результате более чем 300-летней отработки золоторудного месторождения. Березовский рудник относится к категории наиболее масштабных горных предприятий как по подработанной площади, охватывающей всю городскую территорию, так и по объемам добычи и достигнутой 500-метровой глубине разработки. При его ликвидации или консервации с затоплением горных выработок возникает обширный комплекс опасностей для городского населения и промышленной инфраструктуры.

Основными из них являются: неизбежная активизация процессов сдвижения горных пород и земной поверхности от подземных разработок; подтопление городских территорий и инфраструктуры города, оказавшихся ниже восстановленного уровня подземных вод; активизация современных геодинамических движений массива горных пород и земной поверхности с опасностью проявления наведенной сейсмичности и техногенных землетрясений. Наибольшую опасность представляет затопление рудника, которое вызывает активизацию процессов сдвижения. Проявления наблюдаемого процесса сдвижения пород за 1957–2014 годы охватывают большую часть города и особенно его современную центральную часть. Полезное использование подработанных территорий, претерпевших воздействие процесса сдвижения, основывалось на предположении, что массив горных пород пришел в равновесное состояние за счет консолидации и уплотнения пород в зонах обрушения и частичной закладки выработанного пространства пустыми породами и гидравлической закладкой на основе эфельных песков. Такой подход оправдан при условии

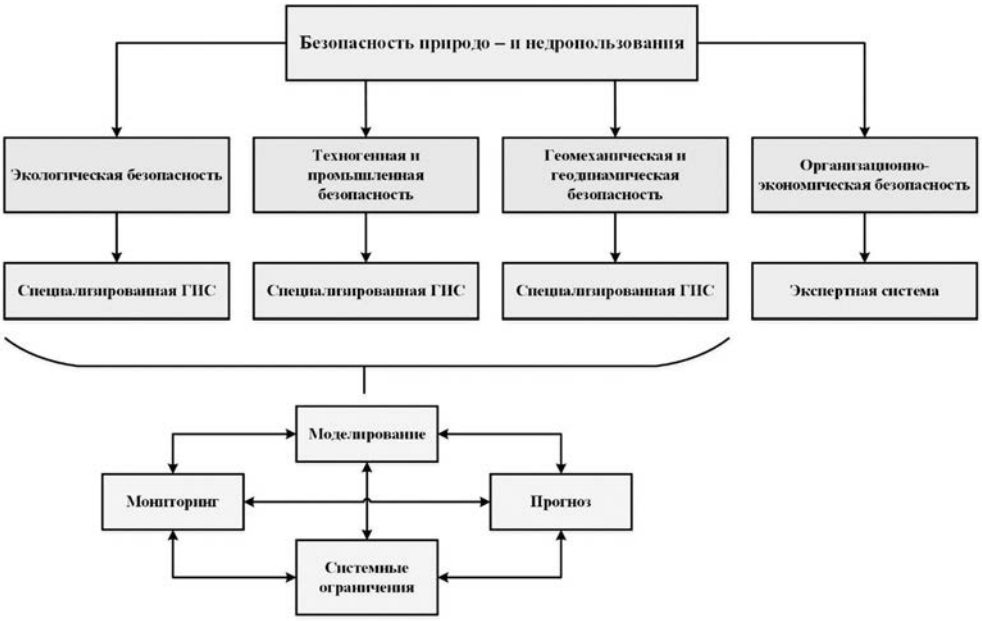


Рисунок 7.18. Концепция ГИС «Безопасность природо- и недропользования»

сохранения на территории города сложившегося гидрогеологического режима подземных вод. В настоящее время территория города полностью находится в границах депрессионной воронки, создаваемой водоотливом рудника.

Геоинформационное моделирование процессов сдвижения основывалось на анализе маркшейдерских данных относительно применявшихся технологий добычи: старательской отработки, принудительного обрушения, отработки системами с закладкой выработанного пространства (*рис. 7.19*); на учете данных геологического изучения месторождения с фиксированием положения отрабатываемых даек, эксплуатационных и разведочных шурфов, а также провалов, образовавшихся в результате подработки поверхности (*рис. 7.20*). Данные о провалах были взяты из журналов наблюдений маркшейдерской службы Березовского рудника, затем оцифрованы, географически привязаны и индексированы по геометрическим параметрам зафиксированных проявлений. В базу данных вошли зафиксированные нарушения (порядка 500 проявлений) за последние 60 лет с момента начала регистрации событий маркшейдерской службой в 1957 г. Анализ их размещения на территории города по времени проявления, проведенный с использованием геоинформационной системы, позволил выявить потенциально опасные участки территории города, наиболее неблагоприятные для хозяйственной деятельности. Общее распределение провалов по территории города представлено на рис. 7.20. Размеры кружков, фиксирующих места провалов, качественно характеризуют размеры провалов, среди которых большая часть имеет диаметр 1–3 м при глубине от 1–2 до 3–10 м. Преобладающие размеры провалов свидетельствуют о том, что источником их происхождения являются старые горные работы в коре выветривания на глубине до 40–45 м.

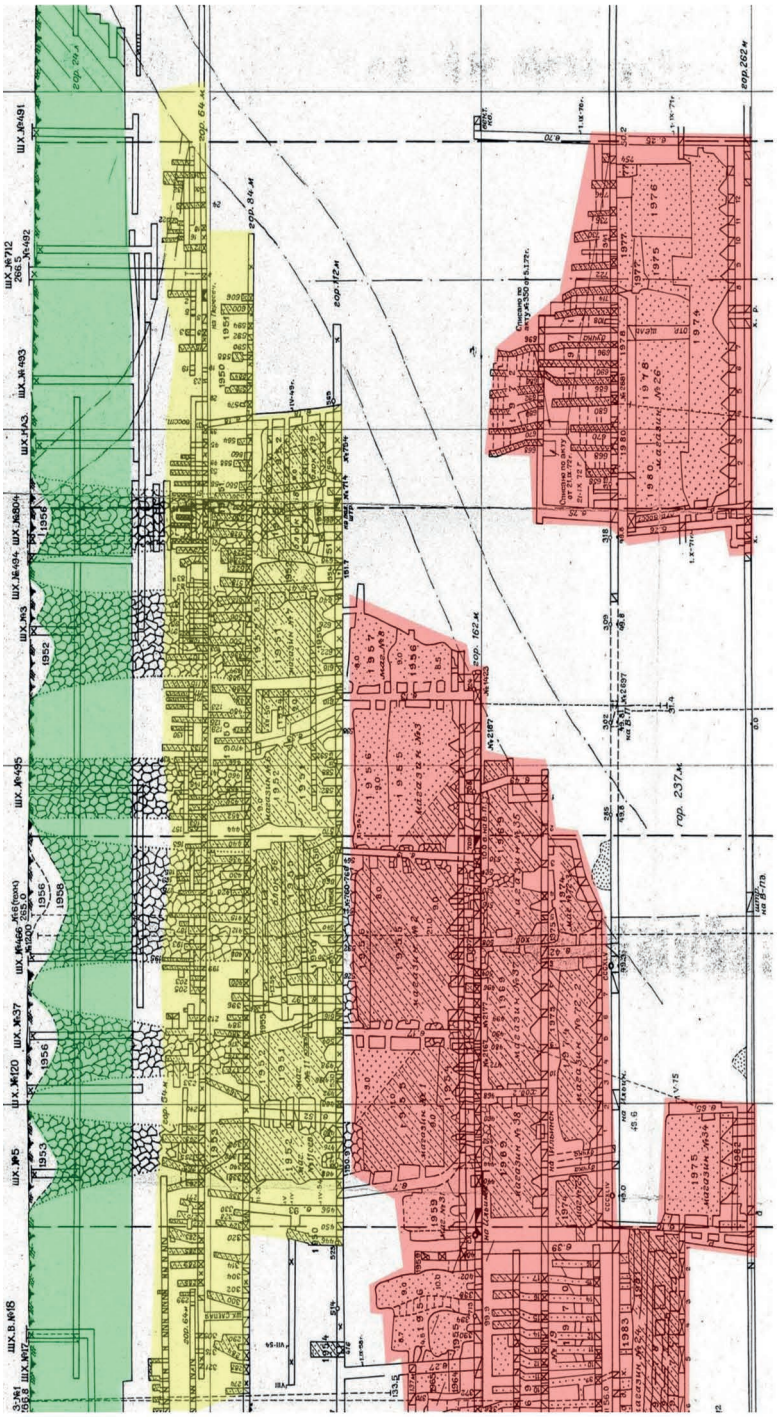


Рисунок 7.19. Уровни подработки поверхности в районе г. Березовский: *зеленый* — старательские работы; *желтый* — 1940–50 гг. с принудительным обрушением; *красный* — 1950–80 гг. с закладкой и локализацией пустот

В целом провальные явления концентрируются полосой, вытянутой с юго-востока на северо-запад и проходящей через центральную часть города. Интенсивность проявления процессов сдвижения горных пород в виде воронок обрушения, провалов и проседаний является одним из факторов оценки потенциальной опасности дальнейшего развития деформационных процессов. С одной стороны, провальные явления свидетельствуют о завершении процесса сдвижения над частью горных выработок и сокращении количества оставшихся пустот, над которыми процесс сдвижения не реализовался в сложившихся условиях. Продолжению процесса воронкообразования будут способствовать: снижение прочностных и деформационных свойств пород, особенно слагающих зону выветривания; дополнительное уплотнение закладки из пустых горных пород в выработках, а также обрушенных пород, заполняющих воронки обрушения, провалы, локализовавшиеся в массиве процессы

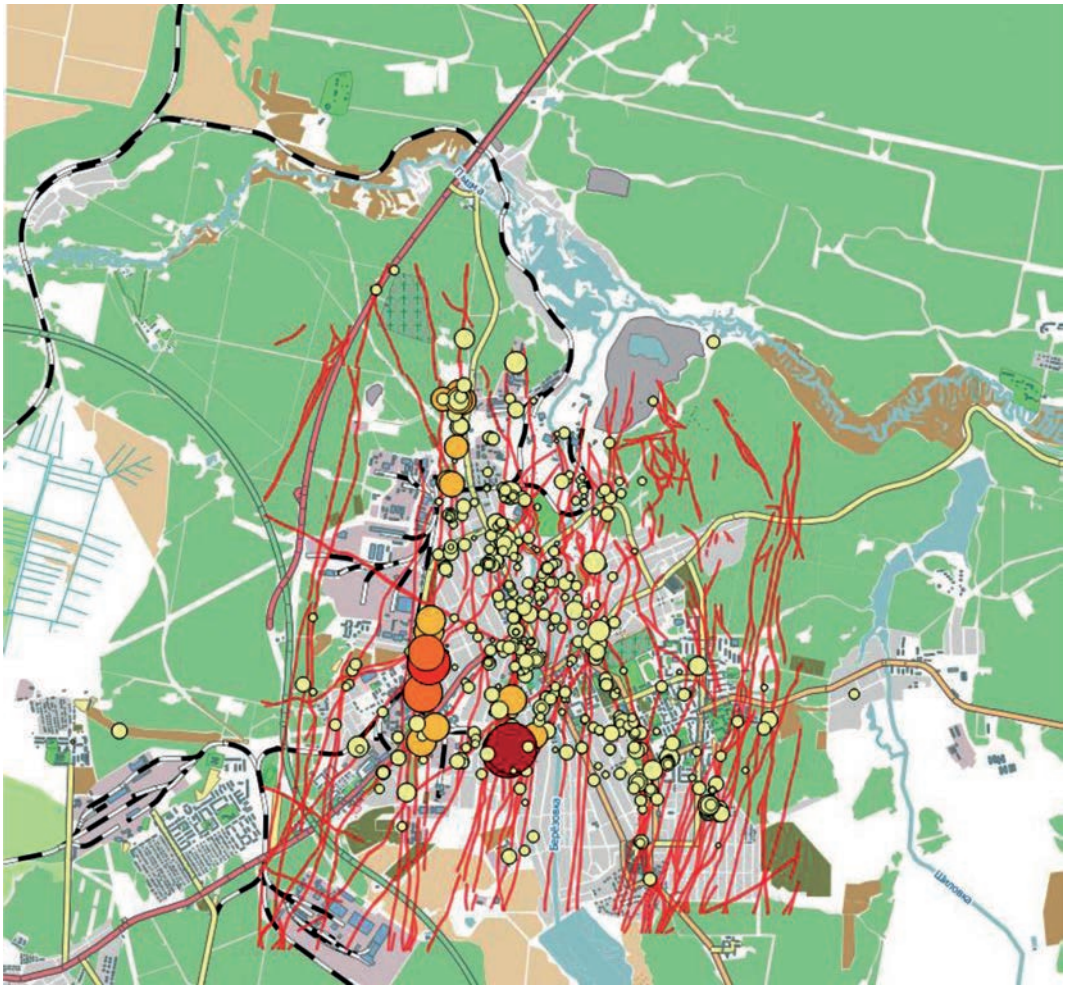


Рисунок 7.20. Распределение провалов по территории города за период наблюдений в 1957–2014 гг.

обрушения; суффозионный вынос мелкодисперсной фракции из закладочных материалов; возможный перепуск гидрозакладки на основе эфелевых песков на пустоты нижележащих горизонтов.

С затоплением рудника и восстановлением уровня подземных вод ситуация изменяется коренным образом. Во-первых, обводнение пород приведет к снижению их прочностных показателей и может вызвать новые провалы над сохранившимися пустотами, которые в осушенном состоянии сохраняли устойчивость. Во-вторых, обводнение пород закладки выработок и особенно гидравлической закладки на основе эфельных песков вызовет ее уплотнение, суффозионный вынос мелких фракций, результатом чего станет снижение полноты закладки горных выработок и развитие провальных явлений. При этом обводнение пород, нарушенных процессами сдвижения, активизирует в них процессы уплотнения, стабилизировавшиеся в осушенном состоянии, и вызовет на земной поверхности дополнительные деформации, которые могут оказаться разрушительными для городских объектов.

Под влиянием обводнения пород в целом и особенно слабой приповерхностной зоны выветривания участки интенсивного воронкообразования вновь оживут. В реализовавшихся воронках массив горных пород может продолжить уплотняться с образованием на поверхности разрушительных деформаций, могут произойти

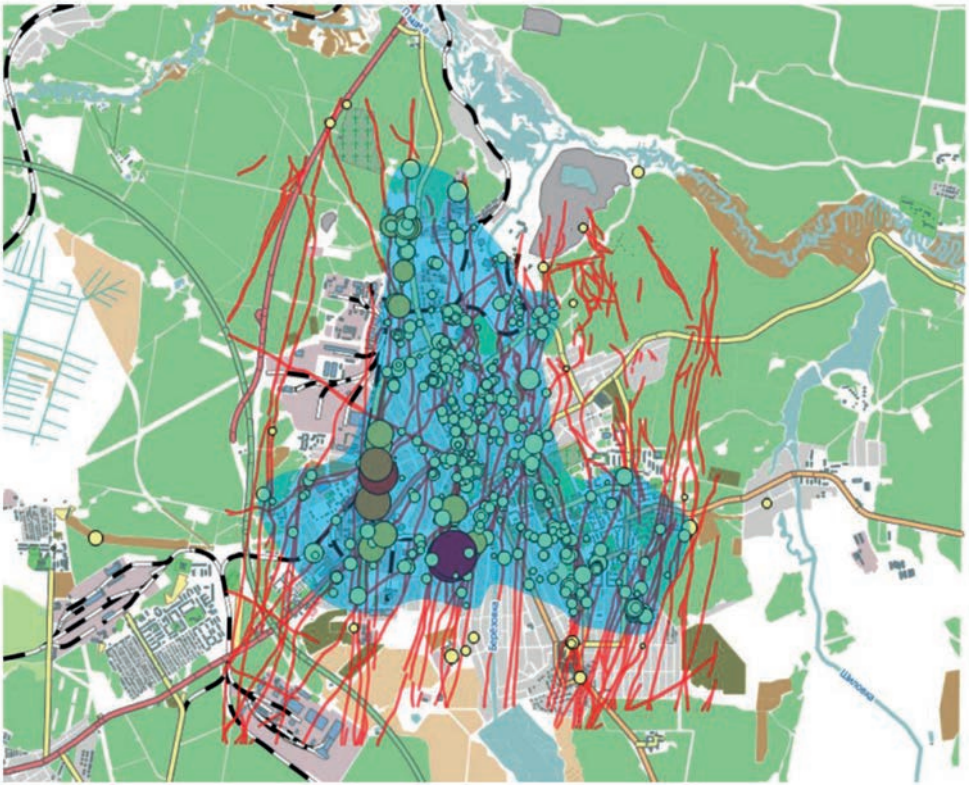


Рисунок 7.21. Прогнозируемые границы потенциально опасной зоны по развитию процесса сдвижения при затоплении рудника

новые обрушения в выделенных зонах и прилегающих территориях. Прогнозируемые границы зоны, потенциально опасной по развитию процесса сдвижения при затоплении рудника, показаны на рис. 7.21.

Исходными данными для оценки степени подработанности массива послужили вертикальные проекции горных работ на разрабатываемых дайках (*рис.7.19*). На поверхности, на выходах даек на поверхность, степень подработанности ранжировалась по четырем ступеням: неподработанная территория, территория, подработанная на 25; 50%; 75%, соответственно.

Сопоставление границ сдвижения подработанной зоны и зоны, потенциально опасной по развитию процесса сдвижения при затоплении подработанного массива, свидетельствует о том, что они в достаточной степени коррелируют между собой и могут являться основанием для выработки рекомендаций по защите поверхности от негативных процессов, происходящих в недрах. В частности, рекомендовано продолжение мероприятий по осушению территории месторождения даже в случае прекращения его отработки.

Отладка методики анализа геоинформационных моделей для принятии решений и формирования требований к оценке совокупного техногенного влияния горнодобывающих предприятий в районе ведения горных работ осуществлена на ряде реальных объектов.

Формирование генерального плана развития Тарыннахского ГОКа (Якутия) осуществлялось при разработке ТЭО кондиций на основании инженерных расчетов и с учетом нормативных требований промышленной и экологической безопасности. Анализ рассчитанных или принятых по нормативам зон по видам техногенного поражения позволил выделить:

— границы горного отвода и конфигурацию технологически связанных с ним опасных зон (зона обрушения в зоне влияния подземного рудника, границы взрывоопасной зоны, зоны сдвижения бортов, размеры и границы зон деформации хвостохранилища и отвалов пустых пород);

— границы земельного отвода предприятия, а также участков поверхности, подвергающихся изъятию, антропогенному и техногенному воздействию или при чрезвычайных ситуациях — землетрясениях до 9 баллов;

- области гидросферы и водных ресурсов (поверхностных и подземных), загрязняемых сбросами, а также продуктами эрозии и выщелачивания, область распространения депрессионной воронки и размещения водоемов питьевой и технической воды;

— особо охраняемых территорий и прилегающих районов, подверженных влиянию техногенных выбросов, пыли от организованных и неорганизованных источников загрязнений, продуктов эрозии пород в соответствии с преобладающими направлениями ветров источники образования и места накопления промышленных и бытовых отходов границы (санитарно-защитной зоны);

— положение объектов промышленной и социальной инфраструктуры предприятия (производственные здания и сооружения, инженерные и энергетические коммуникации, источники водоснабжения и очистные сооружения, вахтовый поселок и пр.), обеспечивающих производство основной продукции, размещающих исходя из принципов организации рациональных логистических потоков и безопасного взаиморасположения.

Вместе с этим требование улучшения экономических показателей добычи потребовало изменения вида конечной продукции комбината, что повлекло за собой:

— увеличение отрабатываемых запасов, расширение границ карьеров и увеличение их глубины с полным изменением параметров всех обеспечивающих объектов;

— уточнение границ земельного отвода в связи с изменением технологии переработки руд и необходимостью выпуска горячебрикетированного железа (ГБЖ);

— размещение цеха ГБЖ с изменением логистики перемещения промпродукта по территории промплощадки, расширением складского хозяйства, увеличением энергетических мощностей, количества отходов, количества работающих и пр.;

— строительство обособленных корпусов сухой магнитной сепарации при каждом из участков месторождения (Тарыннахском и Горкитском);

— оценку неучтенного техногенного воздействия на земли, изымаемые для строительства железной дороги, ЛЭП, газопровода, региональных и местных автомобильных дорог.

Аналогичный анализ применительно к отработке Эльгинского месторождения каменного угля позволил осуществить взаимоувязку приятых ранее решений в части уточнения порядка отработки месторождения по условиям обеспечения требуемого объема добычи коксующихся и энергетических углей в увязке с явлениями сезонной деформации бортов разреза из-за осушения месторождения и оттайки массива вечномерзлой толщи; корректировки размещения склада ВМ из-за высокой степени опасности непрерывного циркулирования по промплощадке предприятия разрядных грузов в сравнении с его размещением к востоку от предприятия; уточнения взаимного размещения основных объектов промплощадки по условиям организации водохранилища, появляющегося в результате мероприятий по осушению месторождения.

На примере отработки Полевского мраморного карьера проанализировано влияние изменения технологии добычи (производство пильного камня – взрывная подготовка массива для производства микрокальцита) на параметры разработки и размеры карьера. В связи с тем, что окружающая карьер территория застроена, а взрывная подготовка массива требует обеспечения безопасного удаления защищаемых объектов от места взрыва, нахождение уточненных границ отработки прежде всего связано с поиском геометрического места точек, равноудаленных от защищаемых объектов на величину радиуса разлета осколков при взрыве, что наиболее просто достигается вводом в модель вышеуказанного параметра.

Анализ ситуационного плана Малышевского подземного рудника свидетельствует о возможности развития чрезвычайной ситуации регионального масштаба за счет развития зоны деформаций при вовлечении в разработку нижних горизонтов месторождения.

Отработка нижних горизонтов Сарбайского железорудного месторождения [100] подземным способом будет сопровождаться локальными деформациями значительного участка борта карьера, а также изменением гидродинамического режима подземных вод в районе всего месторождения.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что предложенная методика геоинформационного анализа территории предприятия, основанная на выделении областей (зон) по типам «техногенного поражения», позволяет системно оценить и взаимоувязать принятые ранее решения, выявить ошибки, определить направления

Таблица 7.6

Основные решения по компенсации выявленных противоречий

Анализируемый объект	Существо выявленных противоречий	Компенсирующее мероприятие
Тарыннахское месторождение	Затраты на добычу и ценность продукции не обеспечивают погашения всех разведанных запасов	Смена вида готовой продукции (ГБЖ) с целью увеличения цены. Приближение корпусов сухой магнитной сепарации к местам производства работ
	Высокая сейсмоопасность района ведения работ	Изменение конструкции дамб, отвалов и способа пропуска вод
Эльгинское месторождение	Повышенная опасность перемещения ВМ	Пересмотр взаиморасположения объектов промплощадки
	Высокая зольность коксующихся углей	Геоинформационный прогноз качества
	Резкие сезонные колебания гидродинамического режима подземных вод	Изменение порядка отработки. Ввод участка углеподготовки
Малышевское месторождение	Низкая рентабельность производства	Комплексность переработки сырья. Сквозная рудоподготовка
	Высокая вероятность ЧС из-за слабых вмещающих пород	Смена общего порядка отработки
Сарбайское месторождение	Прогнозируемые значительные деформации бортов	Отказ от типовых технологических схем отработки, переход к этапному вводу участков
	Изменение гидродинамического режима	Изменение схем осушения
Полевское месторождение	Изменение вида готовой продукции (с мраморной плитки на микрокальцит) привело в изменению технологии работ	Обоснование границ карьера исходя из ограничений на взрывоопасную зону. Рудоподготовка. Смена целей эксплуатационной разведки
Золотоносные отвалы (г. Пласт)	Неэффективность повторной переработки и высокая экологическая нагрузка из-за малых содержаний золота	Комплексная переработка с получением нескольких видов продукции. Гибкий график выпуска конечной продукции
Отвалы переработки медно-цинковых руд (г. Карабаш)	Действующие технологии не позволяют экономически эффективно переработать отходы	Смена цели с экономической на реабилитационную. Изменение технологий на физико-химические с комплексной переработкой и замкнутым водооборотом

компенсации «узких мест», осуществить прогноз и т.п. Кроме этого, последовательное формирование и анализ типовых формируемых слоев геоинформационной модели предприятия, позволяет уже на стадии замысла технического задания на проектирование горного предприятия оценить места размещения производственных объектов с учетом требований к экологической и промышленной безопасности. В табл. 7.6 приведены сведения об изменении существа решений, обусловленном необходимостью повышения эффективности добычи. Основанием для смены показателя, по которому производится оценка или изменение количественных ограничений, является предварительный геоинформационный анализ данных.

Глава 8. Обоснование стратегии освоения глубокозалегающих рудных месторождений инновационными эколого-ориентированными подземными геотехнологиями

8.1. Основные положения формирования геотехнологической стратегии освоения глубокозалегающих рудных месторождений подземным способом

8.1.1. Анализ условий и факторов, влияющих на формирование геотехнологической стратегии освоения месторождения

Многие отечественные ученые отмечают необходимость разработки стратегии освоения месторождений полезных ископаемых (СОМ) на основе комплексного системного подхода, охватывающего весь цикл производства в горнодобывающей промышленности [152]. Определяется СОМ как долгосрочные планы развития разведки, разработки и переработки полезных ископаемых или развития минерально-сырьевого комплекса, обеспечивающие эффективное извлечение полезных ископаемых, и набор заранее спланированных реакций на изменения внешних и внутренних условий их реализации [115]. Подчеркивается, что научно обоснованный выбор геотехнологической стратегии комплексного освоения месторождений различными способами или их рациональным сочетанием во времени и пространстве должен базироваться на методологии проектирования, которая всесторонне учитывает и адекватно отображает проектируемый объект с прогнозными показателями освоения недр и технического прогресса [46]. Определены три области научных исследований, определяющих выбор геотехнологической стратегии (ГС): методологическая, геотехнологическая и технико-экономико-экологическая. В данном разделе монографии применяется термин геотехнологическая стратегия освоения месторождения, поскольку предметом исследований является подземная геотехнология, включающая схемы и способы вскрытия, системы разработки, методы обогащения и способы использования выработанного пространства, в отличие от финансовой, маркетинговой и других ее видов.

Дефицит железорудного сырья, который испытывает металлургический комплекс Урала, и высокая стоимость дальнепривозного сырья предопределяют развитие местной сырьевой базы. В соответствии со стратегией развития горнорудной базы НТМК до 2025 г. намечена отработка глубокозалегающих горизонтов месторождений Тагило-Кушвинской группы (Естюнинского и Гороблагодатского). Вопрос выбора геотехнологической стратегии освоения данных месторождений

подземным способом, включая разработку цели и задач, обоснование и оценку технологических схем вскрытия и очистной выемки, порядка отработки, целесообразности подземного обогащения, а также учета острейших экологических проблем до сих пор не решен. Между тем, еще в 1991 году «Программой ООН по окружающей среде» (United Nations Environment Programme — UNEP) принцип «более чистого производства» (Cleaner Production) был принят в качестве императива развития производств и технологий. Данный принцип акцентирует внимание не на очистке и обезвреживании образовавшихся отходов, а на уменьшении их объемов и степени опасности в процессе производства, например, за счет использования отходов горно-обогатительного производства для закладки выработанного пространства.

Особенность данной проблематики состоит в том, что в современной теории и практике обоснования ГС освоения мощных глубокозалегающих месторождений основано на традиционном — последовательном нисходящем — порядке ведения горных работ. Причем, это присуще как освоению месторождения комбинированным способом (последовательный переход от открытых горных работ к подземным), так и подземным способом (переходная зона и далее нисходящая поэтажная выемка). Применение новых, более эффективных стратегических решений, основанных на комбинированном порядке освоения месторождения, эколого-ориентированной подземной геотехнологии добычи и обогащения руды с утилизацией отходов горно-обогатительного производства в образованном выработанном пространстве сдерживается отсутствием:

— методологической базы долгосрочного (на весь срок существования) и целевого (получение максимального интегрального экономического и экологического эффекта) планирования разработки месторождения, учитывающего всю совокупность геотехнологических проблем их освоения, развитие горных работ во времени (порядок) и в пространстве (направление), социально-экологические последствия реализации того или иного плана (варианта) ГС;

— принципов формирования вариантов ГС и конструирования соответствующих им горнотехнических систем (ГТС) с учетом динамики их развития, характеризующихся многофакторностью и комплексностью;

— отсутствием критерия и методики комплексной эколого-экономической оценки сформированных вариантов ГС.

Очевидно, что ГС освоения отдельно взятого месторождения, осваиваемого горнодобывающей компанией (ГОКом), кроме учета общих принципов должна обеспечивать внутрикорпоративные цели — в первую очередь эффективность и рентабельность. При этом надо иметь в виду, что деятельность российских компаний осложняют следующие факторы [29]:

— более сложные природно-климатические и горно-геологические условия освоения недр в сравнении с другими мировыми лидерами производства большинства видов минерально-сырьевых ресурсов (МСР) (большая глубина залегания, невысокое содержание ценного компонента);

— более низкое по качеству сырье приводит к повышенным затратам. Например, в богатых медных рудах содержание меди составляет 3,0–2,5 %, в рядовых 2,5–1,0 %, в бедных 1,0–0,5 %. Чтобы произвести одно и то же количество меди приходится добывать в 2,5–6,0 раз больше руды, тогда пропорционально возрастают издержки;

— сокращение масштабов открытых горных работ (ОГР) и переход на подземные горные работы (ПГР), что приводит к существенному удорожанию и сокращению объемов добычи руды;

— существенный рост капитальных и эксплуатационных затрат из-за несоответствия устаревших горных технологий условиям разработки месторождений. Компенсация данных затрат возможна только при комплексном повышении производительности труда на всех процессах добычи, снижении ее капитало-, материало- и энергоемкости;

— дефицит инноваций и высокотехнологичных процессов для добычи и обогащения из-за отставания материально-технической базы выпуска соответствующего оборудования;

— растущие экологические риски, связанные с тем, что функционирование горнодобывающих предприятий сопряжено с большим ущербом для окружающей среды (ОС);

— неуклонное повышение затрат в силу общей инфляции и роста количества проектов, осуществляемых в отдаленных районах, где отсутствует энергетическая, транспортная и бытовая инфраструктура, квалифицированная рабочая сила.

Добыча железных руд подземным способом в России осуществляется на семи предприятиях: ОАО «Комбинат КМАруда» (22 % общего объема подземной добычи, Центр); ОАО «Высокогорский ГОК», включая Гороблагодатское РУ, ОАО «Богословское РУ», ОАО «Бакальское РУ» (33,5 %, Урал); ООО «Абаканское РУ», ОАО «Шерегешское РУ» и ООО «КузГОК», включающее ОАО «Таштагольский рудник» и ОАО «Казский рудник» (44,5 %, Западная Сибирь). Добываются магнетитовые руды с содержанием железа в недрах от 35 до 49 % в Западной Сибири, от 30 до 46 % на Урале и 32–34 % в Центре. Глубина разработки месторождений — от 325 до 900 м. Общие балансовые запасы составляют 800 млн т, активные запасы в проектном контуре — 390 млн т.

В настоящее время подземная добыча железной руды вызывает очень слабый инвестиционный интерес, так как ее себестоимость в 2–4 раза выше себестоимости ОГР. Инвестор нацелен на инвестиционные проекты с быстрой окупаемостью (порядка 4–6 лет), что для подземных предприятий нереально. Собственники озабочены реконструкцией металлургических производств, основными инвестициями на подземных предприятиях являются только амортизационные отчисления. Поэтому в условиях дефицита денежных средств усилия концентрируются на сокращении производственных расходов, снижении себестоимости продукции, на жесткой экономии, улучшении показателей извлечения руды из недр. Хотя опыт работы отдельных предприятий показывает, что даже в этих условиях технический прогресс возможен и приносит существенные результаты.

Анализ показал, что факторы, влияющие на выбор ГС освоения месторождений, можно разделить на внешние (социально-экологические, рыночные, природные и инновационно-технологические), не зависящие от деятельности предприятия, и внутренние (производственные). Разработка любого месторождения в экологическом плане всегда представляет собой развитие во времени и пространстве природно-технической системы, в которой обе составляющие находятся в противоречии. При этом считается, что граничные условия, регламентирующие интенсивность техногенного воздействия, должны определяться исключительно по условиям и требованиям биосферы, тогда как все возможности обеспечения этих условий сосредоточены

в техносфере, т. е. связаны с особенностями и свойствами применяемых геотехнологий. Практически же выбор технологических решений производится с учетом только горно-геологических, горнотехнических и экономических факторов, а все проблемы, связанные с охраной ОС, решаются как система действий по полному или частичному устранению последствий применения этих геотехнологий. Между тем, статьей 36 Федерального закона «Об охране окружающей среды» прямо предписывается использовать в целях повышения уровня экологической безопасности при осуществлении технических решений наилучшие (по экологическим параметрам) существующие технологии. В рамках концепции совместного и бесконфликтного развития техно- и биосферы особую актуальность приобретают проблема коренного изменения самого подхода к созданию геотехнологий и формирование новой методологии их построения на принципах устранения причин экологических опасностей [151]. Например, разработка месторождений подземным способом требует значительно меньших площадей горного отвода по сравнению с ОГР, не вызывает столь масштабных нарушений и изменений ландшафтов, однако и ей сопутствуют существенные изменения ОС. Основным мероприятием по сокращению площадей отвалов и хвостохранилищ является использование пустых пород и отходов обогатительных фабрик (ОФ) для закладки подземного выработанного пространства, что одновременно решает проблему сохранности земель от оседания и провалов над ним [20].

Направление создания малоотходных и безотходных технологий, имеющих замкнутый цикл обращения твердых, жидких и газообразных элементов, разрабатывается в горной науке достаточно давно. Одним из реальных решений при подземной разработке считается переход от традиционной нисходящей отработки этажей к восходящей, позволяющей разместить в пустотах, образованных при отработке запасов этажа, весь объем пустых пород и 40–45 % хвостов обогащения [25, 151]. Создание экологически безопасных геотехнологий с размещением отходов производства в подземном пространстве является одним из приоритетных направлений защиты ОС.

Внешнеэкономические факторы влияют на эффективность горнодобывающих компаний, находящихся в зависимости от внешнего рынка: импорта оборудования или экспорта продукции. Основным внешнеэкономическим фактором является конъюнктура мирового рынка — уровень цен на мировых товарных рынках на металл (концентрат), условия продажи на этих рынках.

Основные макроэкономические факторы, определяемые фискальной и монетарной политикой государства, — это уровень инфляции, валютный курс, налоговые ставки, ставка рефинансирования ЦБ РФ [68]. Они определяют уровень цен на потребляемые электроэнергию, топливно-энергетические и материально-сырьевые ресурсы, оборудование и т. д. Перечисленные факторы влияют на прибыль через объем реализуемой продукции (доход) и себестоимость, они находятся в тесной взаимосвязи и взаимозависимости. Экономический эффект горных предприятий зависит и от природных условий — богатые руды и простые условия их добычи способствуют уменьшению себестоимости продукции и получению большей прибыли. Известно, что экономическая эффективность освоения месторождения обусловливается рядом объективных природных факторов: географо-экономическое расположение месторождения (удаленность от существующей инфраструктуры, климат и рельеф местности и др.); количество полезного ископаемого в недрах; качественные характери-

стики минерального сырья; технологические свойства руд; горно-геологические и гидрогеологические условия добычи.

На современном этапе внедрение нововведений (инновации) стало ключевым фактором рыночной конкуренции, позволяя добиваться сверхприбылей за счет интеллектуальной ренты, образующейся при монопольном использовании новых эффективных технологий. Главная проблема российской экономики — значительный физический и моральный износ производственных мощностей, что не позволяет выдержать конкуренцию с западными производителями даже на внутреннем рынке. Задача поэтому состоит в переходе на выпуск и потребление более глубоко переработанной и высокотехнологичной продукции, в повышении извлечения запасов полезных ископаемых из недр, в продлении жизненного цикла разрабатываемых месторождений, в создании современных отечественных производств по выпуску необходимого оборудования и технологий.

Производственные факторы непосредственно определяют технологический уровень и эффективность горнодобывающего предприятия, его надежность и стабильность в обеспечении объемов добычи, энерго- и ресурсосбережение, качество и себестоимость товарной продукции, промышленную и экологическую безопасность разработки месторождения. Основными производственными факторами являются:

— горнотехнические: производственная мощность предприятия (интегральный показатель, учитывающий природные и производственные факторы), глубина разработки, способ и схема вскрытия и подготовки, система разработки;

— технологические: схема и параметры БВР, схема выпуска и доставки руды; тип, состав и производительность комплекса технологического оборудования на проходке и очистной выемке; параметры выемочных единиц и конструктивных элементов системы разработки; показатели извлечения; способ погашения выработанного пространства;

— организационные: порядок разработки месторождения во времени (ярусный, многоярусный); порядок ввода в эксплуатацию месторождения (количество этапов); направление развития горных работ по вертикали (нисходящий, восходящий порядок); последовательность отработки запасов в этаже (сплошной, целиковый порядок); организация ведения очистных и проходческих работ (последовательность выполнения технологических операций и определение рационального объема отбойки, выпуска и доставки руды в цикле очистной выемки); использование прогрессивных технологий и производительного технологического оборудования; модернизация и техническое перевооружение производства.

К производственным факторам при комбинированной разработке месторождения отнесены следующие специфические факторы: последовательная или параллельная схема ведения ОГР и ПГР; глубина перехода от ОГР к ПГР; объем запасов, их пространственное расположение относительно карьера; необходимость изолирования подземных выработок от карьерного пространства и способы изоляции [79, 90].

Вышеприведенные факторы, влияющие на формирование ГС освоения глубокозалегающих рудных месторождений подземным способом, в частности при комбинированной разработке, систематизированы по классам, группам и непосредственно действующим факторам (*табл. 8.1*).

Таблица 8.1

Систематизация факторов, влияющих на формирование ГС

Класс	Группа	Фактор
Внешние факторы		
Социальные	Здоровье и занятость населения. Улучшение условий работы, учебы, жизни человека	Затраты на восстановление здоровья, обеспечение занятости населения, достойного уровня зарплаты, проживания, отдыха
Экологические	Воздействия на ОС — литосферу, гидросферу, атмосферу, почвенный покров и естественную биоту	Затраты на отчуждение земель под ОФ, отвалы и хвостохранилища, загрязнение и восстановление атмосферы, гидросферы, почвы, естественной биоты
Рыночные	Внешнеэкономические (конъюнктура мирового рынка)	Цена на мировых товарных рынках на металл (концентрат), условия продажи на этих рынках, тенденции их изменения
	Макроэкономические (результат фискальной и монетарной политики государства)	Инфляция, валютный курс, налоговые ставки, ставка рефинансирования ЦБ РФ, определяющие уровень внутренних цен на электроэнергию, трудовые, топливно-энергетические, материально-сырьевые ресурсы, оборудование
Природные (геолого-экономические)	Географо-экономические	Удаленность, наличие инфраструктуры, рельеф, климат
	Количество и качество полезного ископаемого в недрах	Объем запасов и содержание ценного компонента
	Технологические свойства руд	Свойства руд по их способности подвергаться обогащению
	Горно-геологические и гидрогеологические условия добычи	Условия залегания (глубина, мощность, угол падения, форма и размеры рудных тел), оруденение, крепость и устойчивость вмещающих пород и руд, гидрогеология, газоносность
Инновационно-технологические	НТП, инновации	Наличие, разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих, эколого-ориентированных технологий, их социальная направленность
Внутренние факторы		
Производственные	Горнотехнические	Производственная мощность рудника, глубина разработки, способ и схема вскрытия, система разработки
	Технологические	Схемы отбойки, выпуска и доставки; вид и производительность оборудования; параметры систем разработки; потери и разубоживание; способ погашения выработанного пространства
	Организационные	Порядок разработки месторождения во времени и пространстве, организация ведения горных работ. Модернизация и техническое перевооружение производства
	Специфические	Схема комбинированной разработки. Использование карьера для вскрытия и отработки. Глубина карьера и распространения запасов. Необходимость и способ изоляции ПГР от карьера

8.1.2. Основные принципы формирования геотехнологической стратегии

В качестве цели результативности освоения георесурсов предприятием в мировой практике принято получение максимального экономического эффекта (прибыли или ЧДД) от эксплуатации всех запасов месторождения либо его части в пределах лицензии. В контексте проведенного анализа для определения цели следует добавить и обеспечение максимальной экологической безопасности производства. Суть процесса разработки ГС состоит в том, чтобы выстроить такую последовательность выполнения мероприятий, которая обеспечивает достижение поставленной цели в условиях действия не только изменяющихся, но зачастую и неизвестных факторов.

Обобщая вышесказанное, мы выделили семь основных принципов стратегического планирования деятельности горнодобывающего предприятия, имея в виду масштаб воздействия на ОС.

1. Системность. ГС рассматривается как система, включающая совокупность элементов (мероприятий), связанных между собой и направленных на достижение общей цели в условиях действия множества факторов. Стратегическая цель является основанием системы и ее внутреннего единства.

2. Комплексность цели и задач. Стратегическая цель сочетает в себе комплекс целей разнонаправленного, подчас антагонистического, характера – получение максимального экономического эффекта, достижение экологической и промышленной безопасности, обеспечение социального благополучия, а решаемые задачи направлены на различные элементы подземной геотехнологии.

3. Оптимальность результатов. Наиболее выгодный вариант ГС устанавливается на основе эколого-экономического сравнения конкурирующих вариантов по критерию оптимальности, учитывающему долгосрочность реализации стратегических решений, сопоставимость условий, максимум эффекта и фактор времени.

4. Принцип «более чистого производства» (Cleaner Production). Определение данного принципа было дано в 1991 г. «Программой ООН по окружающей среде» (United Nations Environment Programme — UNEP) в следующем виде: «Более чистое производство» представляет собой постоянно действующую экологическую стратегию, применяемую к процессам, продуктам и услугам для увеличения их эффективности и снижения рисков для людей и ОС.

5. Комбинирование (рациональное сочетание) геотехнологий. Такое сочетание направлено на нейтрализацию (уменьшение) недостатков и усиление преимуществ технологий, присущих различным способам добычи (восходящий, нисходящий порядок разработки и т.д.) и обогащения (традиционное, подземное).

6. Инновационная направленность геотехнологий. Определяется наличием, разработкой и внедрением ресурсо- и энергосберегающих, экологоориентированных геотехнологий в горно-обогатительное производство (ГОП).

7. Безопасность производства. В настоящее время угрозы утраты имущества предприятия и ущерба здоровью людей, присущие опасным производственным объектам горнодобывающей промышленности, становятся все более весомыми и требования к формированию безопасного производства усиливаются.

Разработка ГС всегда выполняется в рамках определенной концепции (руководящей идеи). Инициатором концепции выступает недропользователь, коротко формулируя в ней цель и основные задачи в зависимости, прежде всего, от положения предприятия на рынке, например, при росте спроса на товарную продукцию невозможность обеспечить требуемую производственную мощность ГОКа только мощностью карьера актуализирует переход на комбинированную открыто-подземную разработку. В данных условиях возможны два варианта концепции: наращивание производственной мощности ГОКа путем ввода в эксплуатацию подземного рудника дополнительно к карьеру. В этом случае принимается стратегическое решение о параллельной схеме освоения месторождения ОГР и ПГР; поддержание производственной мощности ГОКа на достигнутом уровне путем восполнения выбывающей мощности карьера вводом подземного рудника. Тогда принимается стратегическое решение о последовательной схеме освоения месторождения с переходом от ОГР к ПГР.

Геотехнологическая стратегия освоения мощных глубокозалегающих рудных месторождений подземным способом определена как комплекс взаимоувязанных мероприятий, включающий: установление схемы комбинированной разработки в зависимости от принятой концепции развития предприятия, установление производственной мощности подземного рудника, порядка развития горных работ в пространстве и во времени, способа и схемы вскрытия, технологии очистной выемки, способа погашения выработанного пространства, схемы и способа транспортирования руды, целесообразности подземного обогащения, схемы и способа утилизации отходов горно-обогатительного производства, направленных на обеспечение максимального экономического эффекта от эксплуатации всех запасов месторождения и экологической безопасности. В соответствии с этим определением можно сформировать варианты ГС освоения месторождения подземным способом при его комбинированной разработке (*рис. 8.1*), состоящие из комплекса взаимоувязанных мероприятий по последовательному и согласованному решению конкретных технических, технологических и организационных задач, направленных на достижение стратегической цели:

1. Установление схемы комбинированной разработки (последовательная, параллельная) месторождения в зависимости от принятой ГОКом концепции.

2. Определение производственной мощности подземного рудника по горным возможностям и ее сравнение с мощностью карьера.

3. Выбор порядка освоения подземных запасов (этажный, многоэтажный, ярусный) и обоснование количества этажей в одновременной отработке. При этажной (многоэтажной) отработке очистные работы в этажах могут вестись разно- или одновременно, но по взаимоувязанным технологическим схемам, а при ярусной отработке — одновременно и без взаимного влияния.

4. Определение направления (порядка) развития горных работ в пространстве (нисходящий, восходящий, их сочетания).

5. Обоснование систем разработки и способа погашения выработанного пространства. Применение систем с обрушением руды и вмещающих пород допустимо только при последовательной схеме комбинированной разработки или нисходящем порядке развития горных работ в пространстве, а систем с закладкой ограничено только экономической целесообразностью.

Рисунок 8.1. Принципиальная блок-схема формирования варианта ГС освоения подземных запасов при комбинированной разработке месторождений

6. Обоснование способов и схем вскрытия подземных запасов и транспортирования горной массы. При системах с обрушением вскрытие производится вертикальными стволами с поверхности, при системах с закладкой и сохранением очистного пространства и бортов карьера в устойчивом состоянии возможны различные способы и схемы вскрытия.

7. Рациональное размещение обогатительного комплекса (на земной поверхности, под землей).

8. Выбор места и способа утилизации отходов горно-обогатительного производства (поверхность, карьер, подземное выработанное пространство).

При обосновании вариантов ГС центральным моментом является определение рациональных схем вскрытия и систем разработки запасов, методов обогащения руды, способов погашения выработанного пространства в их взаимосвязи, составляющих суть подземной геотехнологии. Ниже рассмотрены конкретные направления ее развития, обеспечивающие экономическую и экологическую эффективность.

8.1.3. Основные направления развития подземной геотехнологии

Одним из основных направлений развития подземной геотехнологии является использование самоходного оборудования (СО). Разнообразие предлагаемого СО и широкий диапазон его типоразмеров позволяют выбрать оптимальные комплексы для любых условий разработки. Следует отметить, что происходит постоянное его совершенствование по пути увеличения грузоподъемности и производительности, замены двигателей внутреннего сгорания на электропривод, использования дистанционного управления (ДУ), в том числе автоматизированного с поверхности. Вместе с тем, эффективное применение СО невозможно без соответствующей модернизации как отдельных технологических процессов, так и способов вскрытия и систем разработки в целом, основными направлениями которой можно считать следующие [79]:

в области вскрытия и подготовки месторождений

— вскрытие штольнями и автоуклонами с соответствующим увеличением области и масштабов применения автомобильного транспорта для перевозки и подъема руды. Это решение особенно эффективно при комбинированной разработке в случае использования пространства карьера для сокращения длины автоуклонов и применения для подъема руды на поверхность карьерных дорог и автосамосвалов, а в перспективе и новых видов универсальных (в том числе шахтных) транспортных средств;

— при отработке наклонных рудных залежей целесообразен переход от погоризонтной схемы подготовки запасов к пространственно-объемной;

в области систем разработки

— восходящий порядок отработки этажа или всего месторождения с заменой твердеющей закладки сухой или гидравлической, в том числе с использованием хвостов обогащения и пород от проходки выработок;

— увеличение выемочных единиц с сокращением количества буровых подэтажей путем применения более мощных буровых и погрузо-доставочных машин (ПДМ);

— создание простых конструкций днищ блоков, обеспечивающих безопасность выпуска и эффективные показатели извлечения, особенно при системах с массовым обрушением и площадным выпуском руды;

— использование в системах с закладкой конструктивных элементов, свойственных другим классам, например, рудных целиков, оставляемых с целью снижения разубоживания;

— переход на системы с обрушением там, где использование систем с закладкой не вызвано необходимостью выполнения требований экологической и промышленной безопасности. Так, технико-экономические расчеты показали, что для условий Полярного Урала и Якутии экономически целесообразно применять системы с обрушением;

— применение СО как на основных процессах добычи руды (проходка выработок, бурение скважин, погрузка и доставка руды), так и на вспомогательных (крепление, доставка материалов и т. д.) должно быть императивом.

Актуальным направлением является применение технологий переработки рудного сырья в местах добычи с использованием сухих методов предварительного обогащения, например рентген-радиометрической сепарации, с целью сокращения расходов на транспортирование и исключение негативного воздействия хвостов обогащения на ОС. Данная технология прошла проверку при отработке медных месторождений Урала и Казахстана [140]. На удаленных месторождениях, например Полярного Урала, полученный промпродукт можно вывезти в индустриальные регионы для последующей глубокой переработки; при этом хвосты предварительного обогащения могут быть использованы для производства щебня.

Традиционные пути снижения ресурсо- и энергоемкости остаются актуальными, но требуют, как правило, первоначальных финансовых вложений, вследствие этого перспективным направлением является оптимизация показателей извлечения руды при отработке не только всего месторождения, но и конкретных выемочных единиц. В кризисных условиях его актуальность возрастает, поскольку не требует инвестиций [117]. Технико-экономическое сравнение (в ценах 2008 г.) систем разработки с обрушением и с закладкой выработанного пространства по критерию прибыли на 1 т балансовых запасов при освоении уральского медноколчеданного месторождения показало, что, несмотря на более высокие затраты на добычу, системы с закладкой при разработке комплексных руд оказываются эффективнее систем с обрушением за счет лучших показателей извлечения (*табл. 8.2*).

Одним из важных направлений повышения эффективности освоения недр является создание комбинированных геотехнологий по принципу рационального сочетания процессов различных способов добычи [50]. Примером может служить предложенная ИГД УрО РАН открыто-подземная геотехнология освоения прибортовых и подкарьерных запасов Сарбайского железорудного месторождения с применением этажного принудительного обрушения с площадным двусторонним выпуском руды [100]. В целях снижения энерго- и ресурсоемкости предусмотрено применение карьерных буровых станков СБШ-190/250-60, которыми обуривается верхняя часть прибортовых уступов скважинами диаметром 190 мм (*рис. 8.2*). Нижняя часть запасов обуривается станками DL 420-10 вертикальными веерами скважин из подземных выработок. Выпуск и доставка всей отбитой руды ведется из буро-подсечных ортов ПДМ.

Таблица 8.2

Эффективность разработки медноколчеданного месторождения

Система разработки	Потери, %		Разубоживание, %		Себестоимость добычи и переработки, руб/т	Прибыль, руб/т
	диапазон	среднее	диапазон	среднее		
Системы с обрушением руды и вмещающих пород						
Этажное принудительное обрушение	8 – 13	11	10 – 20	15	1175	675
Подэтажное обрушение	10 – 15	12	15 – 25	20	1260	480
Системы с закладкой выработанного пространства						
Этажно-камерная	2 – 10	6	4 – 10	7	1333	710
Горизонтальными слоями	1 – 7	4	2 – 8	5	1466	640

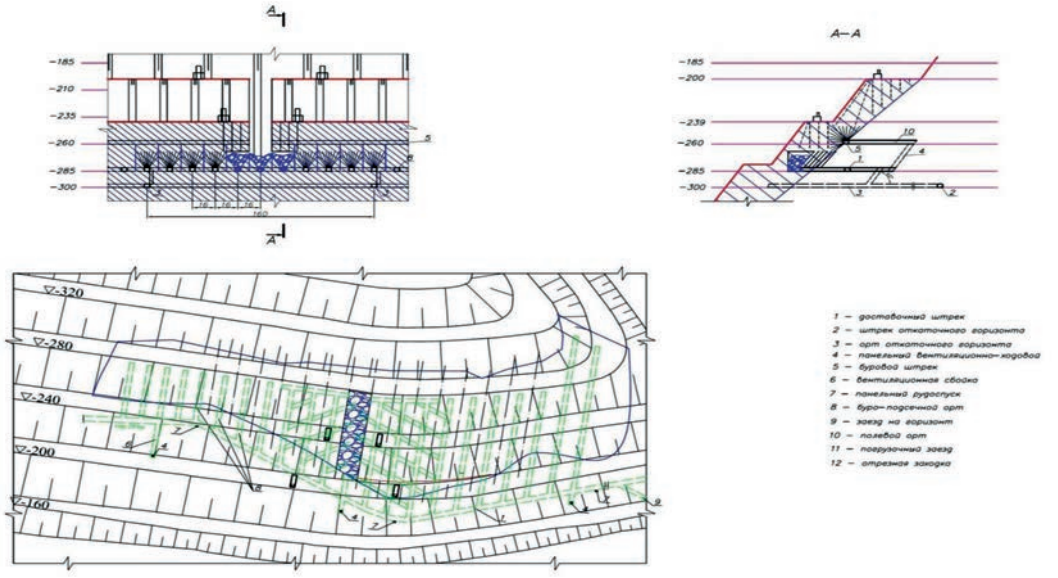


Рисунок 8.2. Этажное принудительное обрушение с использованием СБШ-190/250-60

ТЭП по системам разработки близки лучшим мировым аналогам (*табл. 8.3*). Проектная мощность рудника 6 млн. т при отработке прибортовых запасов и 10 млн т — подкарьерных достигается за счет параллельно-последовательной отработки запасов в двух смежных этажах одновременно. Разработанная технология обеспечивает стратегическое развитие Сарбайского подземного рудника в течение ближайших 45 лет.

В настоящее время комбинированная разработка мощных глубокозалегающих рудных месторождений базируется на ГС применения двух технологических схем развития ОГР и ПГР: последовательной (*рис. 8.3, а*) или параллельной (*рис. 8.3, б*) [28, 45], которые можно охарактеризовать следующими особенностями:

Таблица 8.3

ТЭП систем подземной разработки Сарбайского месторождения

Технико-экономический показатель	Подэтажное обрушение	Этажное обрушение (Центр)	Этажное обрушение (Восток)	Этажное обрушение (с ОГР)	По руднику
Потери, %	13,28	12,80	4,87	4,87	11,15
Разубоживание, %	21,05	21,93	2,91	2,91	16,62
Удельный объем ПНР, $м^3$/1000 т руды	23,0	16,1	11,9	9,2	19,2
Производительность труда, т/чел-смену	114,7	155,1	183,6	210,5	133,3

— параллельная схема требует значительно больше начальных капитальных вложений, чем последовательная, где они растянуты во времени;

— недостатком параллельной схемы является системная ошибка при определении границ перехода на ПГР (глубины карьера), связанная с большим временным лагом (20–30 лет) между проектированием и достижением карьера предельного положения, а последовательной схемы — увеличение капитальных и эксплуатационных затрат на ПГР при освоении переходных зон;

— при последовательной схеме карьер можно использовать для проведения главных вскрывающих выработок, при параллельной — только для вспомогательных;

— на способ и схему вскрытия подземных запасов существенно влияют объем запасов, их пространственное расположение относительно карьера (наличие прибортовых и подкарьерных запасов, глубина распространения под дном карьера), технология добычи. При системах с обрушением вскрытие производится только вертикальными стволами с поверхности, при системах с поддержанием очистного пространства в устойчивом состоянии возможны различные способы и схемы вскрытия;

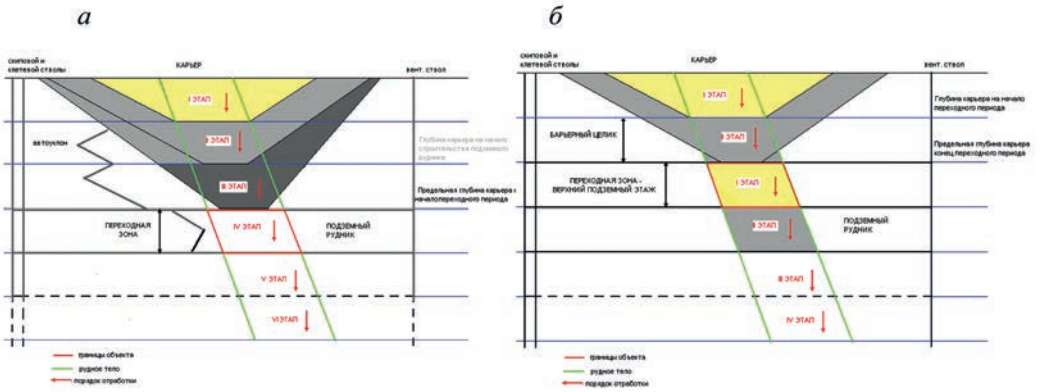


Рисунок 8.3. Последовательная *а* и параллельная *б* схемы комбинированной разработки глубокозалегающего рудного месторождения

— при освоении переходных запасов действуют негативные специфические факторы: повышенное горное давление в конструктивных элементах блока и сопряженных с ним барьерных целиках; активные аэродинамические и гидравлические связи с карьером;

— при последовательной схеме возникает необходимость изолировать подземные очистные выработки от карьерного пространства. Отработка и погашение переходной зоны ведется с целью обеспечить приемлемый уровень изолированности подземных выработок от карьера при освоении основных подземных запасов;

— способы изоляции (рудным или искусственным монолитным массивом; массивом пород в разрыхленном состоянии; специальными инженерными сооружениями) влияют на выбор и эффективность подземной технологии выемки запасов переходной зоны. При разработке мощных рудных месторождений технологически наиболее просто формировать предохранительный слой (подушку) из отбитой породы или руды.

Подземная геотехнология при рассмотренных схемах комбинированной разработки соответствует ГС, базирующейся на традиционном нисходящем порядке ведения ОГР и ПГР, и имеет указанные выше недостатки. Для их устранения актуальна выработка новых технологических решений, позволяющих использовать преимущества ОГР и ПГР, что, в свою очередь, создаст базу для формирования новой ГС. Восходящий способ подземной отработки может лежать в основе такой стратегии. Его сущность состоит во вскрытии месторождения на всю глубину разведанных запасов (или шаг) и их поэтажной выемке с закладкой выработанного пространства в направлении снизу вверх, начиная с нижнего этажа. Технически рациональная область применения восходящего способа — отработка крутопадающих глубокозалегающих месторождений любой мощности камерными системами с закладкой выработанного пространства. Известно, что восходящая отработка имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной нисходящей [74]:

1. Возможность использования выработанного пространства в качестве емкостей для складирования отходов горно-обогатительного производства.

2. Существенное снижение вредного влияния ПГР на ОС за счет длительного обеспечения сохранности дневной поверхности.

3. Повышение безопасности ПГР за счет снижения напряжений в конструктивных элементах системы разработки в 1,5–2,0 раза, разгрузки тектонических напряжений и возможности качественного заполнения выработанного пространства закладкой.

4. Возможность размещения в шахте породы, поступающей из проходческих забоев. Экономический эффект достигается за счет исключения процессов выдачи породы на поверхность и складирования ее в отвалы, а также платы за размещение в отвалах.

5. Уменьшается стоимость закладки. При нисходящей выемке нормативная прочность закладки, формирующей кровлю нижележащих камер, составляет не менее 5 МПа. При восходящей отработке обнажаются только бока камер, поэтому нормативную прочность закладки можно снизить в 2–3 раза, т.е. до 1,5–2,0 МПа. В результате уменьшается расход цемента на 60–100 кг/м^3, а себестоимость закладки — на 30–35 %.

6. Уменьшаются эксплуатационные затраты на добычу вследствие снижения удельного объема ПНР в 1,2–1,7 раза из-за упрощения конструкции днищ очистных блоков.

7. При комбинированной разработке выемка подземных запасов практически весь период осуществляется с полной изоляцией от карьера, что исключает влияние негативных специфических факторов.

Для последовательной схемы комбинированной разработки глубокозалегающего (500 м) крутопадающего (50^0) мощного (40 м) протяженного (600 м) медноколчеданного месторождения рудником с производственной мощностью $A_{год}$ = 400 тыс. т/год выполнено экономико-математическое моделирование (ЭММ). Рассмотрено применение подэтажно-камерной системы разработки с закладкой и два варианта вскрытия: двумя вертикальными центрально расположенными стволами с поверхности (главным скиповым и вентиляционно-вспомогательным) и автотранспортным из карьера и вентиляционно-вспомогательным уклонами с поверхности. Построены графики ЧДД при нисходящей и восходящей отработке месторождения (*рис. 8.4*).

В результате установлено, что нетрадиционная подземная технология восходящей выемки в определенных условиях (например, при вскрытии вертикальными стволами) обладает заметными достоинствами и может рассматриваться на стадии определения ГС как альтернатива традиционной (*рис. 8.5*). Применение данной стратегии позволяет использовать преимущества как параллельной схемы (исключение действия негативных специфических факторов и использование карьера в качестве вскрывающей выработки), так и последовательной (полная реализация преимуществ ОГР). При этом предельная глубина карьера определяется по фактическому положению ОГР и ПГР на конец разработки месторождения, т.е. естественным, а не прогнозным путем. Таким образом весь период освоения месторождения оба способа — открытый и подземный — развиваются гармонично по присущим им закономерностям, реализуя имманентные преимущества путем их разобщения в пространстве и (или) во времени.

Использование сухого сыпучего материала в качестве сухой закладки (СЗ) привлекательно с точки зрения дешевизны и возможности утилизации отходов горно-обогатительного производства, но ограничено горно-геологическими условиями месторождения. На практике таким способом отрабатывают крутопадающие жилы

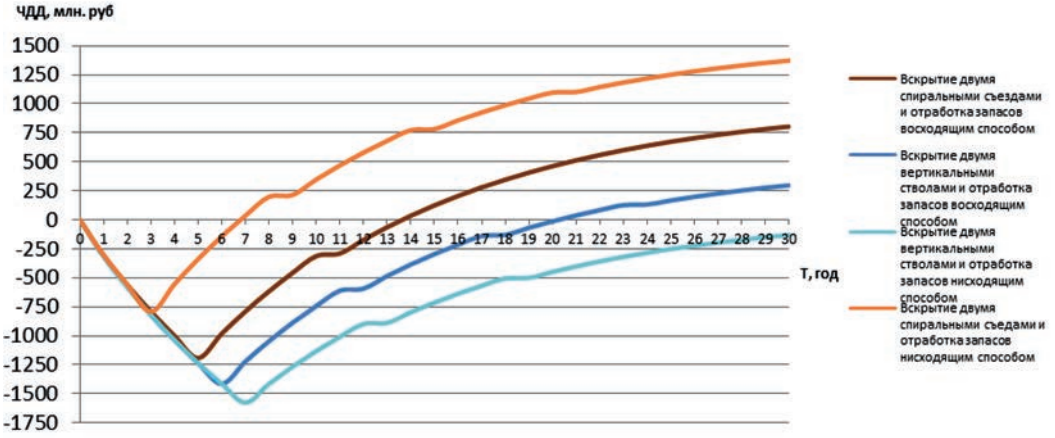


Рисунок 8.4. ЧДД при нисходящем и восходящем порядке отработки

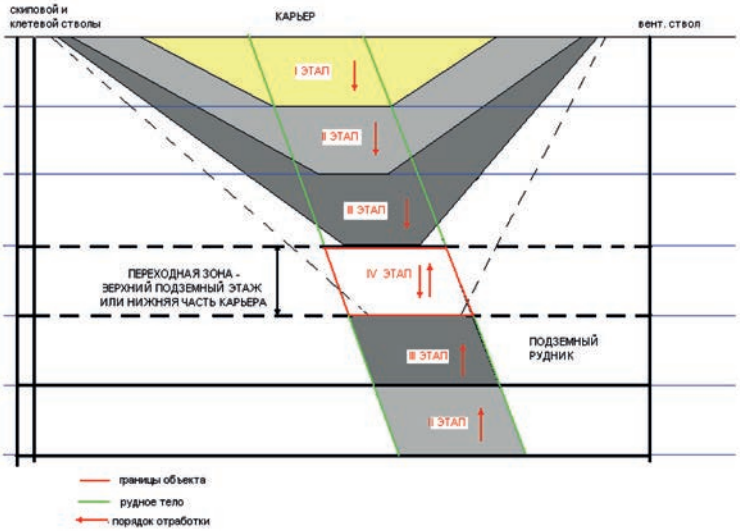


Рисунок 8.5. Параллельная схема разработки месторождения с восходящей выемкой

малой мощности [41]. ИГД УрО РАН обоснованы безопасные и экономически целесообразные системы разработки горизонтальными слоями и подэтажно-камерная с восходящей выемкой, СЗ выработанного пространства хвостами золотоизвлекательной фабрики и применением СО, обеспечивающие выемку тонких жил с минимальными потерями полезного компонента и низким разубоживанием (*рис. 8.6*). Применение СЗ позволяет исключить из состава закладки цемент и, как следствие, снизить себестоимость добычи; исключить долговременный цикл отвердевания закладки; улучшить экологическую обстановку за счет сокращения хвостохранилища и отвал пустых пород.

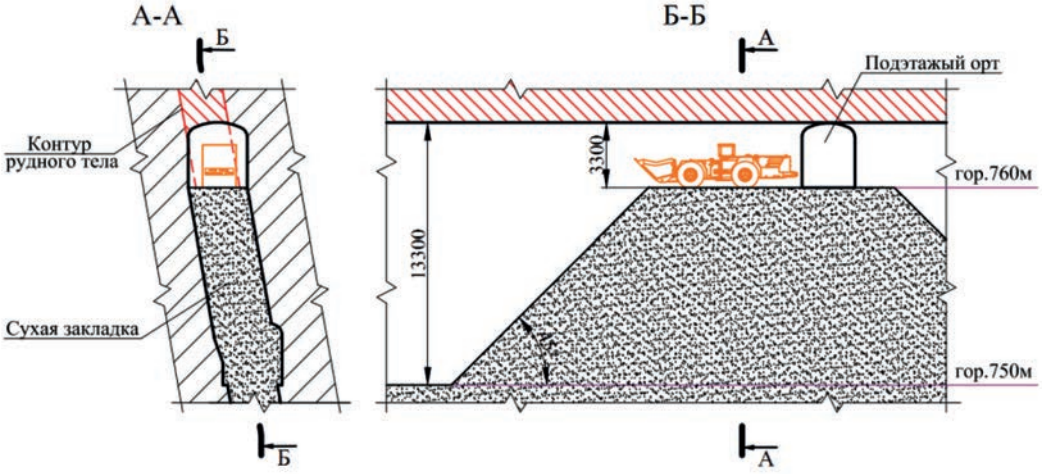


Рисунок 8.6. Подэтажно-камерная система разработки золоторудного месторождения снизу вверх с формированием закладочного слоя сухой закладкой

При комплексном освоении недр основными направлениями ресурсосбережения являются малоотходность; создание ресурсосберегающих технологий и вовлечение в комплексное освоение техногенных и природно-техногенных минеральных ресурсов; воспроизводство ресурсов; создание новых ГТС на основе комбинированных технологий освоения и утилизации всех георесурсов в замкнутом технологическом цикле. Одним из направлений создания ГТС с замкнутым технологическим циклом является подземное обогащение руд. Идея его практической реализации активно обсуждается в последнее время. НИИКМА предлагает размещать фабрики по обогащению железистых кварцитов в существующих подземных камерах шахты им. Губкина [37]. При этом совмещают в пространстве технологические единицы по добыче руды (очистные камеры), единицы по ее переработке (дробление и обогащение) и хвостохранилища, сводя к минимуму протяженность транспортных коммуникаций. Концентрат поднимается гидротранспортом на поверхность. Таким образом формируется безотходная технология добычи и обогащения руды с замкнутым подземным экологически безопасным циклом производства.

Традиционно применяемая технологическая схема добычи и переработки руд создает парадоксальную ситуацию: с одной стороны, из-под земли на поверхность вместе с рудой выдается большое количество пустых пород, с другой — для локализации подземных пустот подается порода, большая часть которой добывается на специальных карьерах [81]. Предложено исключить затраты на перемещение и переработку пород за счет отделения их в подземных условиях и выдавать на поверхность только концентрат (промпродукт). Отмечены и недостатки: увеличение объемов камерных выработок и затрат на их сооружение; увеличение численности подземных рабочих, занятых на переработке руды; при отработке месторождений руд цветных металлов, характеризующихся низким содержанием металла (1–5 %), образуется дефицит объема выработанного пространства для размещения всего количества отходов горно-обогатительного производства; при отработке месторождений железных руд с высоким содержанием металла (35–60 %) создается дефицит необходимого объема отходов производства для полной закладки выработанного пространства. Чем выше содержание и объем добычи руды, тем острее проблема дефицита отходов производства. Также образуется дефицит закладочного материала, если применяется только СМС с получением промпродукта.

Опыт создания ПОК на зарубежных предприятиях показал, что преимущества переноса процессов обогащения под землю используются не в полной мере (табл. 8.4) [137]. Это касается, в первую очередь, объемно-планировочных решений, которые практически полностью копируют цеховую компоновку наземных ОФ, где оборудование размещается в горизонтальной плоскости, что влечет за собой необходимость использования значительного числа конвейерных и гидравлических передаточных устройств. Вместе с тем, размещение ОФ в горном массиве позволяет использовать вертикальную компоновку оборудования, обеспечивающую самотек перерабатываемого сырья и пульпы. Сочетание горной выработки с конструкцией заводского изготовления позволит существенно сократить строительный объем подземной ОФ. Нахождение фабрики в непосредственной близости к очистным работам ведет к изменению схемы вскрытия рудника с сокращением объемов горно-капитальных работ (ГКР) на рудовыдачной комплекс.

Преимущества ПОК сводятся к следующим:

Таблица 8.4

Характеристика зарубежных подземных обогатительных комплексов

Рудник	Производительность, т/сутки	Технологическая схема
«Мадригал» (Перу) медно-свинцово-цинковый	1980	Крупное дробление, грохочение, повторное дробление, измельчение, сгущение, селективная флотация, фильтрация и сгущение
«Рио-Бланко» (Чили) медно-вольфрамовый	30000	Трехстадийное дробление, измельчение, флотация, сгущение. Обезвоживание и сушка на поверхности
«Салофоса» (Италия) с винцово-цинковый	–	Дробление, тяжелые суспензии
«Сонро» (Канада) медный	1350	Трехстадийное дробление, двухстадийное измельчение, флотация
«Сало» (Франция) вольфрамовый	270	Двухстадийное дробление, двухстадийное измельчение, классификация, гравитация, флотация
«Витватерсренд» (ЮАР) золотодобывающий	2000	Дробление, измельчение, флотация, сгущение
«Миндлозиан» (Канада) золотодобывающий	50	–
«Джокер-Флатс» (Канада) золотодобывающий	675	Двухстадийное дробление, измельчение, классификация, гравитация, флотация, сгущение, измельчение в цианистой среде, фильтрация

— размещение ПОК в непосредственной близости от очистных забоев позволяет на 15–25 % сократить затраты на подъем и транспортировку руды;

— использование отходов ГОП в составе закладочных смесей и сокращение длины их транспортировки на 30–50 % удешевляет закладочные работы; снижается расслаиваемость закладочных смесей;

— исключается (полностью или частично) строительство хвостохранилищ;

— обогащение руд на ПОК может быть выполнено по высотной схеме, чем обеспечивается самотечный транспорт сырья и пульпы, и при этом на 30–40 % сокращаются строительные объемы по сравнению с наземной ОФ;

— концентрация в подземном пространстве процессов добычи и переработки руды с захоронением отходов производства в отработанных горных выработках резко повышает экологическую безопасность горно-обогатительного производства.

Анализ современных подземных геотехнологий, обеспечивающих экономическую эффективность и экологическую безопасность, позволил выявить перспективные направления их развития, которые следует учитывать при формировании новых вариантов ГС освоения мощных глубокозалегающих рудных месторождений:

— увеличение производительности труда на всех технологических процессах разработки месторождения за счет использования высокопроизводительного СО;

— изыскание и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий добычи и переработки руды (в том числе в местах добычи с применением сухих методов предварительного обогащения);

— обеспечение полноты извлечения полезного ископаемого, оптимизация показателей извлечения при отработке как всего месторождения, так и выемочных единиц;

— разработка новых геотехнологий, позволяющих использовать преимущества открытого и подземного способов при комбинированной разработке месторождений;

— применение нетрадиционной подземной технологии восходящей выемки в качестве альтернативы традиционной (нисходящей);

— использование отходов горно-обогатительного производства (породы от проходки выработок и хвостов обогащения) в качестве закладочного материала;

— обоснование оптимальной области применения подземного обогащения руды, радикально повышающего экологическую безопасность освоения месторождения;

— создание эффективных и экологически безопасных геотехнологий добычи и переработки руды, позволяющих утилизировать в выработанном пространстве весь объем отходов горно-обогатительного производства, с целью формирования замкнутых ГТС.

8.1.4. Методология конструирования горнотехнических систем

Как было показано, центральным моментом разработки ГС является определение комплекса взаимоувязанных мероприятий по обоснованию конкретных способов достижения намеченной цели. Вся совокупность организационных, технологических и технических решений (состав ГС), принятых в соответствии с установленными принципами, порядком и целями, представляет собой сформированный вариант ГС определенной структуры.

Для исследования ГС целесообразно представить ее в виде горнотехнической системы (ГТС) «подземная геотехнология при комбинированной разработке мощных глубокозалегающих рудных месторождений», состоящей из подсистем вскрытия, очистной выемки, транспорта, обогащения и погашения выработанного пространства, которые конкретизируются в соответствующих технологических схемах. Для конструирования такой ГТС (желательно замкнутой), основанной на эффективной эколого-ориентированной подземной геотехнологии, установлены следующие принципы:

1. С целью утилизации в выработанном пространстве отходов добычи и обогащения руды, создания безопасных условий ведения горных работ и снижения эксплуатационных затрат необходимо использовать энерго- и ресурсосберегающий способ восходящей камерной выемки подземных запасов с закладкой (сухой).

2. Для существенного (до двух раз) повышения производственной мощности подземного рудника следует ориентироваться на порядок, обеспечивающий независимую отработку этажей в пределах месторождения (шага вскрытия и отработки).

3. Вскрытие осуществлять с учетом схемы комбинированной разработки: при последовательной использовать карьерное пространство и оборудование с проведением главных вскрывающих выработок (автоуклонов), при параллельной — вертикальные стволы с поверхности на всю глубину месторождения (шага вскрытия и отработки).

4. При отработке переходной зоны формировать искусственные изолирующие массивы — монолитные при системах с твердеющей закладкой или из разрыхленной породы при системах с обрушением руды и вмещающих пород.

5. Для обеспечения максимальной интенсивности проведения подготовительно-нарезных выработок и очистной выемки на основных и вспомогательных технологических процессах (отбойке, выпуске и доставке руды, креплении выработок) использовать высокопроизводительное СО и проходческие комбайны.

6. Обеспечивать полноту выемки руды из камер и полноту закладки нижележащих камер применением СО с дистанционным управлением.

7. Установить целесообразность применения ПОК с получением концентрата и использованием отходов обогащения (дробленой породы и хвостов) в качестве СЗ выработанного пространства в соответствии с принципом более чистого производства.

8. С целью организации замкнутого цикла ГОП и размещения под землей всех отходов, образуемых в рамках ГТС, применить комплексную подземную геотехнологию добычи руды, сочетающую камерную систему с СЗ и восходящей выемкой при освоении нижних этажей и системы с обрушением руды и вмещающих пород при освоении верхних этажей. Оптимальное соотношение долей применения систем в производственной мощности рудника определять по условию организации замкнутого цикла.

9. В качестве резерва емкостей для размещения отходов обогащения рационально использовать выработанное пространство карьера.

10. Схемы и способы (самотечная, локомотивная, автомобильная, конвейерная, трубопроводная) транспортирования грузов (руда, порода, концентрат, закладка) обеспечивать оптимальным расположением ПОК в вертикальной и горизонтальной плоскостях. При этом максимально использовать силы гравитации.

11. Использовать вертикальную схему компоновки технологического малогабаритного оборудования ПОК, что позволит минимизировать строительный объем, капитальные и эксплуатационные затраты, и эффективно перемещать грузы.

12. Для повышения комплексности использования недр и повышения эффективности производства отходы, получаемые на стадии сухой магнитной сепарации (щебень), выдавать на поверхность отдельно для реализации (при наличии спроса).

8.2. Варианты геотехнологической стратегии и методика их выбора

8.2.1. Обоснование вариантов геотехнологической стратегии

Изыскание, разработка и оценка вариантов ГС освоения мощных глубокозалегающих рудных месторождений выполнены на конкретном примере освоения глубоких горизонтов Естюнинского месторождения железных руд, состоящего из Естюнинской и Ново-Естюнинской рудоносных зон, вскрытых до гор. -240 м. Длина по простиранию рудного тела 1, где сосредоточен 91 % балансовых запасов Естюнинской зоны, составляет 1385 м, средняя мощность 25 м и угол падения 40°. Ново-

Таблица 8.5

Запасы глубоких горизонтов Естюнинского месторождения

Этаж	Естюнинская зона		Ново-Естюнинская зона	
	Балансовые запасы, тыс. т	Fe, %	Балансовые запасы, тыс. т	Fe, %
-240 – -420	38700	28,6	13001	36,4
-420 – -780	78478	28,9	26807	35,8
-780 – -1020	29067	30,1	63006	34,7
Итого	146245	28,8	102814	35,0

Естюнинская зона имеет длину по простиранию 430 м, мощность 40 м и угол падения 38°. Вмещающие породы и руды устойчивые с $f = 4 \div 20$, наблюдается зависание кровли. Месторождение удароопасно. Балансовые запасы ниже горизонта -240 м составляют около 250 млн т (*табл. 8.5*).

В основу формирования вариантов ГС освоения глубоких (ниже гор. -240 м) горизонтов Естюнинского месторождения положена концепция восполнения выбывающих мощностей Высокогорского ГОКа (ВГОК). Граничными условиями являются обеспечение производственной мощности собственно шахты Естюнинская (2,5 млн т руды в год) и ВГОКа за счет увеличения мощности шахты Естюнинская до 5 млн т руды в год. В рамках концепции для шахты Естюнинская сформировали пять вариантов ГС (*табл. 8.6*); исходили из следующих ограничений:

— применяемая система разработки с обрушением и традиционный нисходящий порядок обеспечивают производственную мощность шахты 2,5 млн т руды в год, определенную по горным возможностям одного этажа. Использование ПОК здесь технически не приемлемо. При этих условиях реализуется базовый вариант 1 ГС;

— производственную мощность 2,5 млн т руды в год обеспечивает также камерная система разработки с закладкой и восходящей выемкой, причем технически реализовать данную ГС можно как без ПОК (вариант 2), так и с его применением (вариант 3);

— увеличение производственной мощности шахты до 5 млн т технически может обеспечить только параллельная (нисходящая или восходящая) отработка двух этажей одновременно в одном шаге освоения (вскрытия и отработки). Данную стратегию можно реализовать как без использования ПОК (вариант 4), так и с его применением (вариант 5).

Таблица 8.6

Варианты ГС развития шахты Естюнинская

Порядок выемки запасов	Годовая производительность		
	2,5 млн т	5,0 млн т	
	Без применения ПОК		Применение ПОК
Нисходящий (традиционный)	1-й вариант (базовый)	–	–
Восходящий	2-й вариант	–	3-й вариант
Комбинированный нисходяще-восходящий	–	4-й вариант	5-й вариант

Разработана схема вскрытия глубоких горизонтов Естюнинского месторождения в отм. -240/-1020 м с разделением на 2 этапа (яруса): I — в отм. -240/-640 м, II — в отм. -640/-1020 м (рис. 8.7). Вскрытие осуществляется вертикальными главным скиповым и вентиляционными стволами с поверхности, этажными квершлагами. Высота этажа принята 100 м. При применении ПОК концентрационным является его верхний горизонт.

Конкретные технологические схемы (*табл. 8.7*), соответствующие вариантам ГС, разработаны применительно к одному шагу освоения глубоких горизонтов Естюнинского месторождения с учетом следующих положений [49]:

— порядок отработки этажей — во времени (последовательный, параллельный); в пространстве (восходящий, нисходящий, комбинированный); одноэтажный, многоэтажный;

— система разработки — с обрушением, с закладкой, с применением СО;

— расположение обогатительной фабрики — на земной поверхности, под землей;

— технология обогащения руды на ПОК — сухая магнитная сепарация, мокрая магнитная сепарация;

— способ транспортирования грузов (руды, породы, концентрата, закладки) — железнодорожный, автомобильный, конвейерный, трубопроводный, самотечный;

— объект размещения отходов ГОП (породы от ГПР и хвосты обогащения) — подземное выработанное пространство. При избытке отходы размещаются в отвале, хвостохранилище, карьере.

Вариант 1 ГС (традиционный) соответствует применяемой в настоящее время технологии (*рис. 8.8*). Производительность шахты 2,5 млн т руды в год. Этажи отрабатываются последовательно в нисходящем порядке этажно-камерной системой с последующим обрушением целиков. Руда и порода от проходки выработок с эксплуатационных этажей перепускается по рудоспускам на концентрационный горизонт

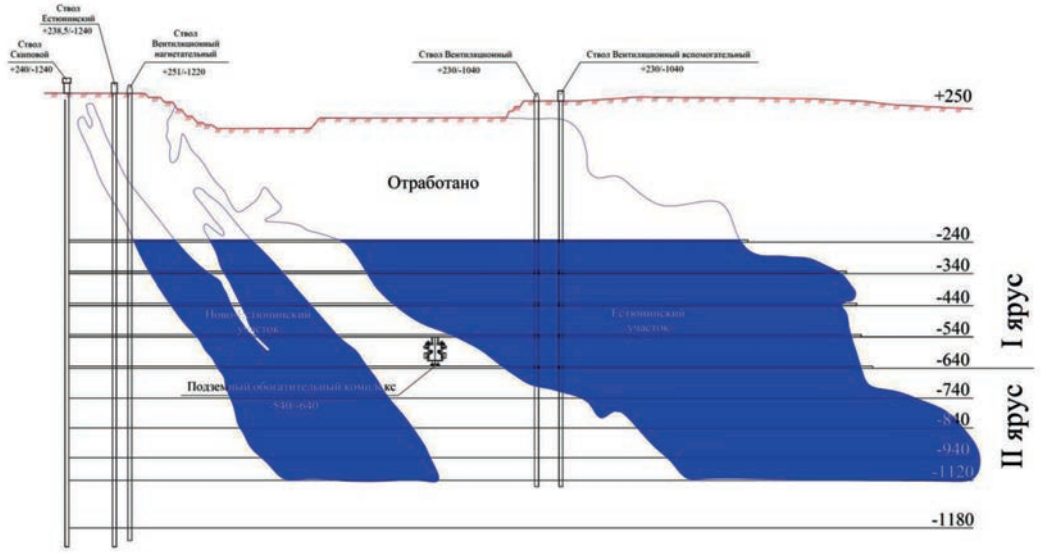


Рисунок 8.7. Схема вскрытия Естюнинского месторождения в отм. -240/-1020 м

Таблица 8.7

Технологические схемы освоения глубоких горизонтов Естюнинского месторождения

Вариант	Порядок развития горных работ		Система разработки	Месторасположение ОФ	Способ погашения выработанного пространства и утилизации отходов ГОП
1	Последовательный нисходящий одноэтажный		Камерная с последующим обрушением целиков	На земной поверхности	Обрушенными породами. На поверхности
2	Последовательный восходящий одноэтажный		Камерная с СЗ	На земной поверхности	Камеры погашаются СЗ
3	Последовательный восходящий одноэтажный		Камерная с СЗ	Под землей	Камеры погашаются СЗ
4	Параллельный комбинированный многоэтажный	Нисходящий	Верхние этажи – камерная с обрушением целиков	На земной поверхности	Верхние этажи – обрушенными породами
		Восходящий	Нижние этажи – камерная с СЗ		Нижние этажи – камеры погашаются СЗ
5	Параллельный комбинированный многоэтажный	Нисходящий	Верхние этажи – камерная с обрушением целиков	Под землей	Верхние этажи – обрушенными породами
		Восходящий	Нижние этажи – камерная с СЗ		Нижние этажи – камеры погашаются СЗ

и с помощью электровозной откатки транспортируется до дробильно-загрузочного комплекса ствола (ДЗК). ОФ располагается на поверхности. По скиповому стволу руда выдается на поверхность и железнодорожным транспортом перевозится на ОФ, порода перевозится автотранспортом и размещается в отвалы. Отходы СМС (дробленая порода) и ММС (хвосты) транспортируются, соответственно, в отвал пустых пород и хвостохранилище.

Вариант 2 ГС (*рис. 8.9*). Производительность шахты 2,5 млн т руды в год. Этажи отрабатываются последовательно в восходящем порядке этажно-камерной системой с СЗ. Руда с эксплуатационных этажей перепускается по рудоспускам на концентрационный горизонт и с помощью электровозов транспортируется до ДЗК. Порода от проходки выработок доставляется ПДМ в отработанные камеры. ОФ располагается на поверхности. По скиповому стволу руда выдается на поверхность и перевозится на ОФ. Отходы СМС и ММС направляются на закладочный комплекс (ЗК) и в составе закладочной смеси транспортируются до выработанного пространства камер по трубам.

Вариант 3 ГС (*рис. 8.10*). Производительность шахты 2,5 млн т руды в год. Технология и порядок отработки аналогичны варианту 2 ГС. ПОК располагается на нижнем этаже. Добытая руда из нижнего эксплуатационного этажа по автоуклону транспортируется автосамосвалами к ПОКу, из верхних этажей – перепускается в ПОК по рудоспускам. Отходы СМС и ММС после предварительного обезвоживания в виде закладки (сухой или пастовой) транспортируются от ПОКа до выработанного пространства камер. Концентрат по концентрационному горизонту электровозами до ствола и скипами выдается на поверхность.

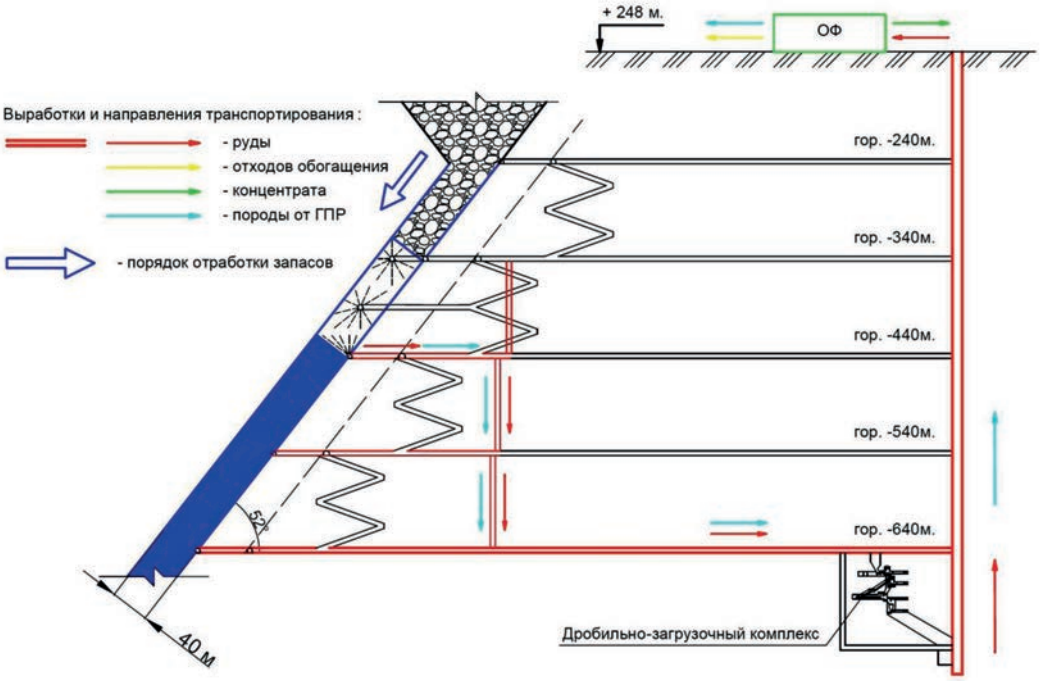


Рисунок 8.8. Технологическая схема нисходящей камерной выемки с обрушением целиков и ОФ на земной поверхности (вариант 1 ГС)

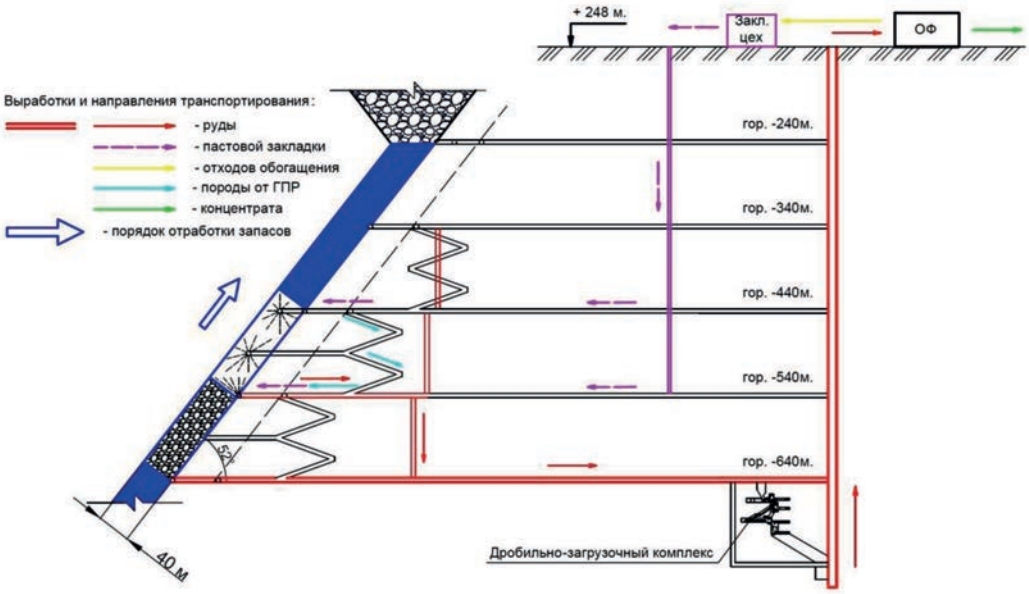


Рисунок 8.9. Технологическая схема восходящей камерной выемки и ОФ на поверхности (вариант 2 ГС)

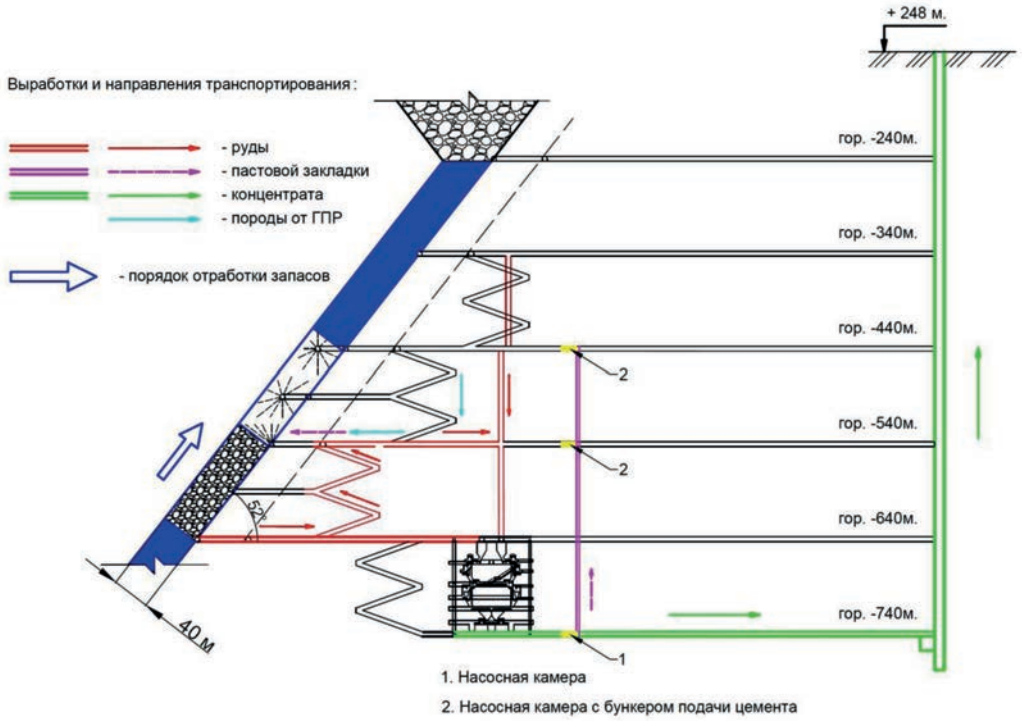


Рисунок 8.10. Технологическая схема восходящей камерной выемки и ПОК (вариант 3 ГС)

Вариант 4 ГС (*рис. 8.11*). Производительность шахты 5,0 млн т руды в год. Этажи отрабатываются параллельно в комбинированном порядке: верхние – в нисходящем порядке этажно-камерной системой с последующим обрушением целиков, нижние – в восходящем порядке этажно-камерной системой с СЗ. Порода от проходки с верхних этажей по рудоспускам перепускается на нижние этажи, а затем транспортируется СО в отработанные камеры, с нижних этажей — доставляется ПДМ в отработанные камеры. ОФ располагается на земной поверхности. Руда с эксплуатационных этажей по рудоспускам транспортируется на концентрационный горизонт и далее локомотивами до ДЗК. Скипами руда выдается на поверхность и железнодорожным транспортом перевозится на ОФ. Отходы СМС и ММС направляются на ЗК и в составе твердеющей закладки транспортируются до выработанного пространства камер по трубам.

Вариант 5 ГС (*рис. 8.12*). Производительность шахты 5,0 млн т руды в год. Технология и порядок отработки аналогичны варианту 4. ПОК располагается в подземных выработках нижнего этажа. Руда с нижних этажей по автоуклону транспортируется до ПОК автосамосвалами, с верхних этажей — по рудоспускам в ПОК. Отходы СМС и ММС после предварительного обезвоживания в виде закладки (сухой или пастовой) транспортируются от ПОКа до выработанного пространства камер. Концентрат — по концентрационному горизонту электровозами до ствола и скипами выдается на поверхность.

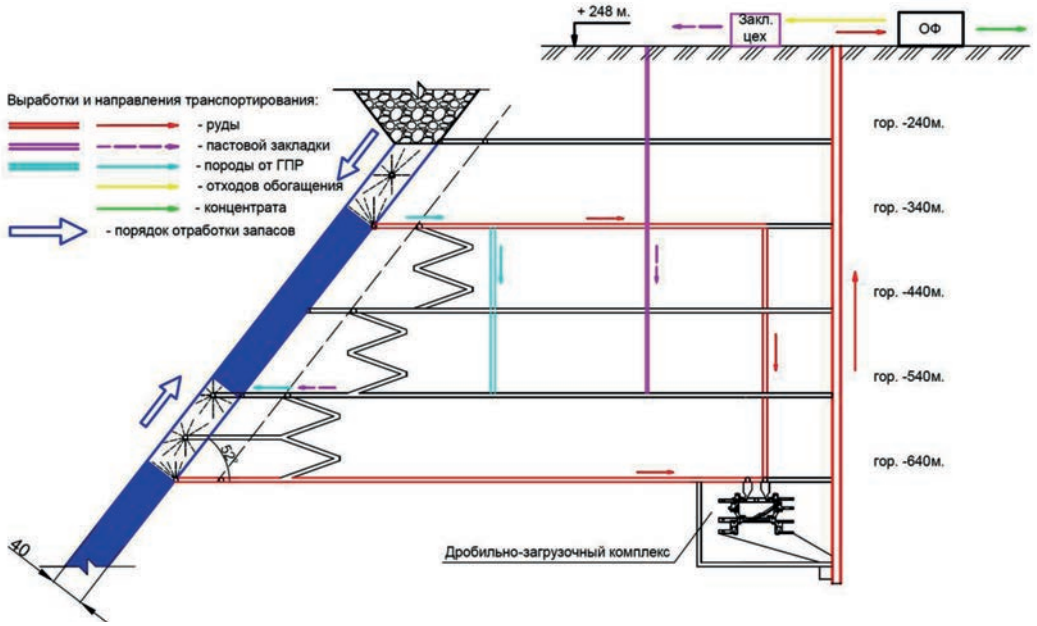


Рисунок 8.11. Технологическая схема комбинированной нисходяще-восходящей выемки и ОФ на земной поверхности (вариант 4 ГС)

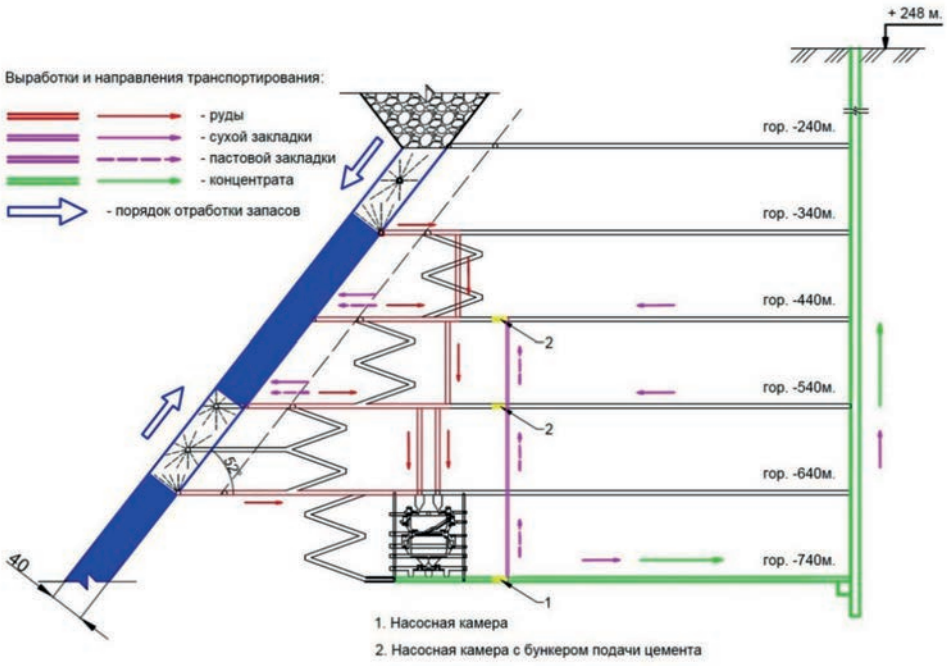


Рисунок 8.12. Технологическая схема комбинированной выемки и ПОК (вариант 5 ГС)

Нетрадиционные варианты ГС 4 и 5 основаны на новой эколого-ориентированной геотехнологии комплексной добычи и переработки железных руд, включающей вскрытие, подготовку, разработку с обрушением верхних этажей и камерную выемку нижних этажей, транспортирование руды до ПОК, подземное обогащение, транспортирование хвостов обогащения до погашаемых камер, закладку выработанного пространства, транспортирование и подъем концентрата на поверхность, и в принципе позволяют весь объем отходов ГОП, образованных в рамках ГТС, утилизировать в подземном выработанном пространстве [3, 134]. Для их реализации требуется разработать соответствующие технические решения по технологии очистной выемки.

8.2.2. Камерная система разработки при восходящем порядке освоения месторождений

Для восходящей отработки мощных и средней мощности рудных тел Естюнинского месторождения сконструировано 7 вариантов камерной системы разработки с СЗ и СО, различающихся по порядку отработки камер и целиков, технологии очистной выемки, способу создания и сохранения закладочного массива, схеме подготовки и конструкции днища (*табл. 8.8*). Варианты 1–5 разработаны для рудных тел средней мощности (до 50 м), 6 и 7 — мощных. Доставка руды до рудоспуска производится ПДМ, закладочного материала до закладываемых камер — автосамосвалами. Параметры камер: высота 50–100 м, длина 50–200 м в зависимости от устойчивости массива, ширина равна мощности рудного тела при расположении по простиранию. Подробно рассмотрены наиболее эффективные 3-й, 5-й и 7-й варианты.

Вариант 3 камерной выемки с СЗ и временными междукамерными целиками (МКЦ) (*рис. 8.13*). Камеры в этаже отрабатываются по трехстадийной схеме 1-МКЦ-2-МКЦ-1. Между камерами 1-й и 2-й очереди формируется МКЦ шириной 15–20 м. Очистная выемка включает отбойку руды веерными скважинными зарядами, ее площадной выпуск и доставку. Закладка камер СЗ осуществляется отсыпкой из выработок буро-вентиляционного горизонта, которые являются доставочными при отработке камер вышележащего этажа. Отработка МКЦ осуществляется подэтажным или этажным обрушением, после чего выработанное пространство дозакладывается отсыпкой СЗ из тех же выработок.

Вариант 5 выемки трапециевидными камерами с наклонными торцевыми стенками из СЗ, упроченной укрепляющим раствором (*рис. 8.14*). Данный вариант позволяет реализовать стадийный камерно-целиковый порядок отработки камер в этаже по двухстадийной схеме 1-2-1. С целью создания устойчивого закладочного массива в обеих торцевых частях камеры 1-й очереди формируется откос приданием торцевым стенкам камеры наклона 55°–70°. Закладочный массив создается отсыпкой слоев СЗ и последующим их упрочнением укрепляющим раствором (цемент + вода). В камерах 2-й очереди закладочный массив формируется аналогично варианту 1 из выработок буро-вентиляционного горизонта.

Вариант 7 выемки ромбовидными камерами с СЗ (*рис. 8.15*). Камеры в этаже отрабатываются в камерно-целиковом порядке по двухстадийной схеме 1–2–1, по

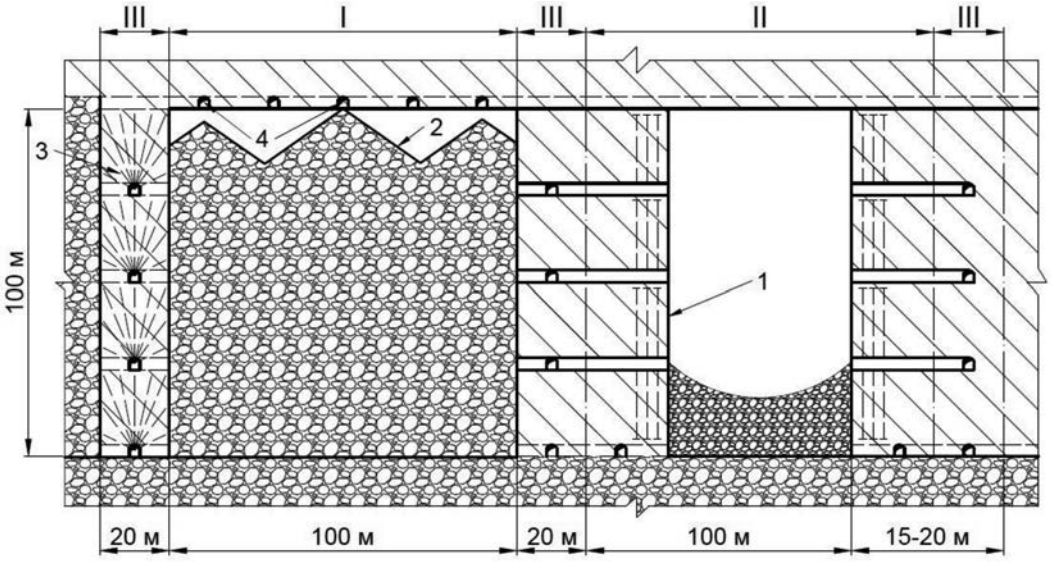


Рисунок 8.13. Вариант 3 камерной выемки с СЗ и временными рудными целиками: I, II, III – порядок отработки, *1* – выемка камеры 2-й очереди, *2* – отсыпка СЗ в камере 1-й очереди, *3* – отработка МКЦ подэтажным обрушением, *4* – закладочные выработки

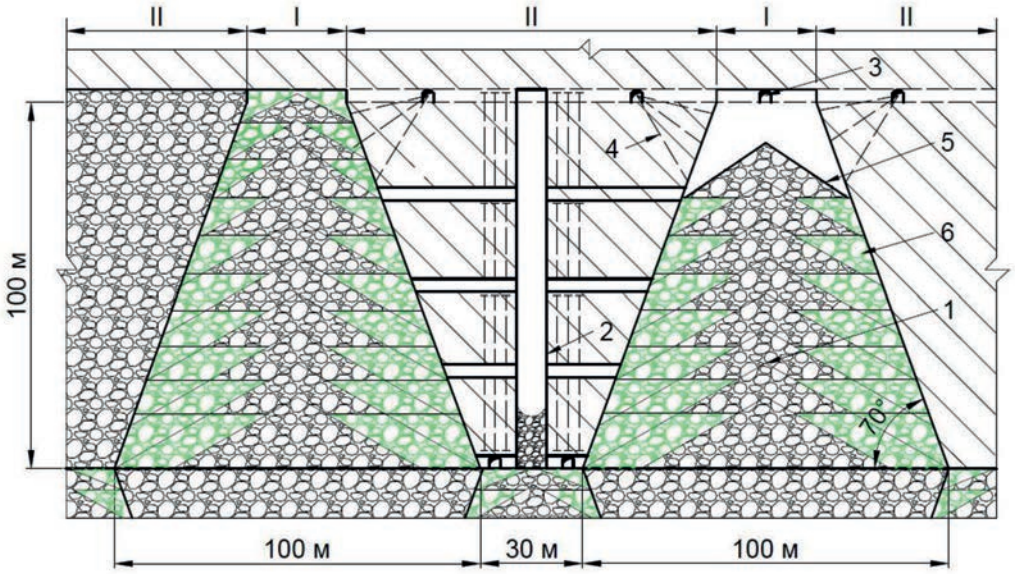


Рисунок 8.14. Вариант 5 выемки трапециевидными камерами с комбинированной закладкой: I, II – порядок отработки, *1* – отсыпка слоев СЗ и их укрепление в камере 1-й очереди, *2* – закладочные выработки, *3* – отработка камер 2-й очереди, *4* – закладочные скважины для подачи укрепляющего раствора, *5* – формируемый слой СЗ, *6* – укрепленный откос

Таблица 8.8

Систематизация вариантов камерной восходящей выемки с СЗ

Система разработки	Порядок отработки камер и целиков	Технология очистной выемки	Способ создания закладочного массива	Схема подготовки, конструкция днища
Рудные тела средней мощности (до 50 м)				
Камерная с оставлением МКЦ	Камерно-целиковый 1-МКЦ-2-МКЦ-3	Отбойка веерами скважин и выпуск руды через траншейное днище	Отсыпка из выработок вышележащего этажа и уплотнение под собственным весом	Полевая кольцевая с расположением выработок выпуска и доставки в лежачем боку. Днище — траншейное для площадного выпуска руды ПДМ из погрузочных заездов; формируется заблаговременно путем соответствующего оформления кровли нижележащей камеры
Камерная с бетонными целиками (БЦ)	Камерно-целиковый с опережающим созданием БЦ: 3-БЦ-2-БЦ-3	Аналогично вар. 1	Опережающее формирование БЦ между камерами 2 и 3 очереди твердеющей закладкой	
Камерная с временными МКЦ	Камерно-целиковый с выемкой МКЦ: 1-МКЦ-2-МКЦ-1	Камеры отрабатываются аналогично вар. 1, МКЦ – с обрушением	Формирование МКЦ между камерами 1 и 2 очереди. Отсыпка аналогично вар. 1	
Наклонными камерами с укрепленной СЗ	Сплошной	Основная часть камеры аналогично вар. 1, меньшая — с взрыводоставкой	Отсыпка аналогично вар. 1 с последующим укреплением откоса цементным раствором	
Трапециевидными камерами с укрепленной СЗ	Камерно-целиковый с выемкой МКЦ: 1-2-1-2-1	Камеры отрабатываются аналогично вар. 1	Отсыпка слоев СЗ и укрепление их цементным раствором	
Мощные рудные тела (более 50 м)				
Камерная с временным МКЦ	Камерно-целиковый с временным МКЦ: 1-МКЦ-2-МКЦ-1	Камеры отрабатываются с торцовым выпуском, МКЦ — подэтажным обрушением	Отсыпка, планирование СЗ бульдозером с ДУ	Полевая кольцевая штреками и ортами. Днище — плоское для торцового выпуска руды ПДМ. Доставочные орты над целиками, сформированными в кровле нижней камеры
Ромбовидными камерами	Камерно-целиковый: 1-2-1-2-1	Камеры отрабатываются с торцовым выпуском ПДМ с ДУ.	Отсыпка, планирование СЗ и укрепление откосов твердеющей закладкой	

вертикали — в шахматном порядке и смещены относительно друг друга на половину высоты этажа. Отработанные камеры заполняются СЗ из выработок бурового и вентиляционного горизонтов. Устойчивость закладочного массива достигается укреплением верхних откосов закладочного массива отработанной камеры твердеющей закладкой или укрепляющим раствором (цемент + вода), подаваемым из выработок или по скважинам. При отработке вышележащей камеры укрепленные откосы представляют собой борта выпускной траншеи.

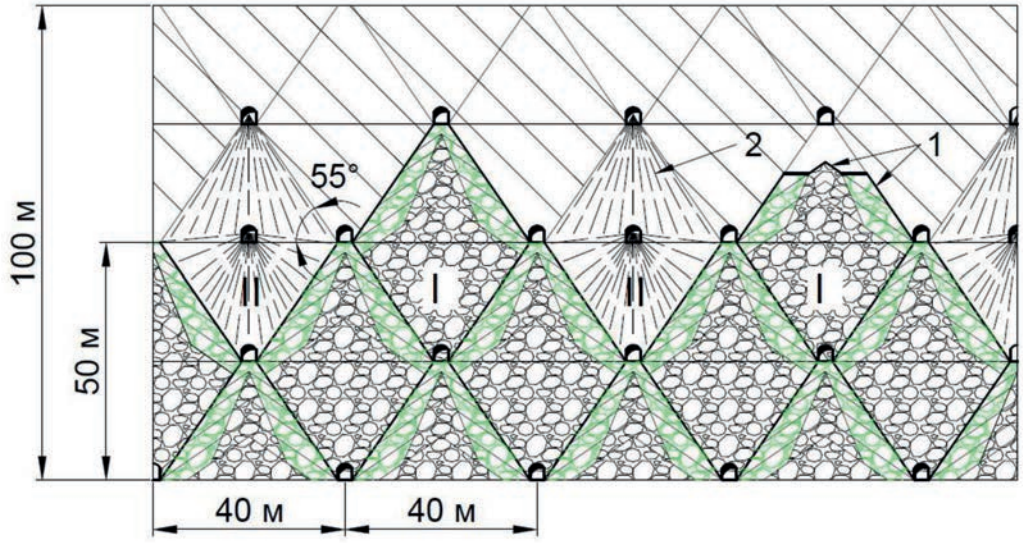


Рисунок 8.15 – Вариант 7 выемки ромбовидными камерами с укрепленной СЗ:
I, II – порядок отработки, *1* – отсыпка закладочного массива СЗ и укрепление его верхних откосов твердеющим раствором в камерах 1-й очереди, *2* – выемка камер 2-й очереди

Особенностью разработанных технических решений является обнажение закладочного массива в процессе выемки смежных камер. При восходящей камерной выемке с СЗ можно до 2 раз (с 6 до 3 месяцев) снизить время на набор прочности массива по сравнению с твердеющей закладкой, соответственно повысить интенсивность отработки этажа. Одной из главных задач является изыскание эффективных способов создания и сохранения устойчивого закладочного массива, обеспечивающего одновременно безопасность ведения очистных работ, полноту выемки, интенсивность отработки камер и низкую себестоимость закладочных работ. Основные положения ведения закладочных работ при восходящей выемке для обеспечения устойчивости закладочного массива из СЗ:

— основная часть выработанного пространства камеры (85–90 % объема) засыпается СЗ из нарезных выработок. Доставка в камеру породы от проходки выработок, хвостов СМС и ММС производится автосамосвалами или ПДМ. Объем СЗ определяется выходом материала и коэффициентом разрыхления, соответственно: порода от проходки 5–10 % и 1,5; хвосты СМС 15–30 % и 1,4; хвосты ММС 10–40 % и 1,25;

— дозакладка камеры (10–15 % ее объема) ведется с целью формирования днища вышележащей камеры. Закладочный массив отсыпается, планируется и уплотняется по всей площади камеры СО с ДУ бульдозерами или ПДМ;

— выполняются мероприятия по обеспечению устойчивости закладочного массива — упрочнение откоса, служащего стенкой выпускной траншеи при отработке вышележащей камеры, в кровле отработанной камеры укрепляющим раствором (цемент + вода); формирование бетонного целика между камерами; создание устойчивого торцевого откоса в отработанной камере путем придания ему наклона и

упрочнения. Объем укрепляющего раствора может составлять от 2 до 20 % объема отработанного блока.

Предложен способ отработки крутопадающих рудных месторождений с разделением по высоте на ярусы, вскрытием на всю глубину или на глубину разведанных запасов стволом и квершлагами. Ярусы могут состоять из одного или нескольких этажей и быть неодинаковыми по высоте, что зависит от устойчивости руд и пород (*рис. 8.16, а*).

Первый нижний ярус отрабатывают камерами в восходящем порядке с заполнением выработанного пространства СЗ. Затем в таком же порядке производят отработку третьего снизу яруса. После этого производят отработку второго снизу яруса системами с обрушением.

Отработка вышележащих ярусов осуществляется аналогичным способом. В процессе выпуска при крутом падении рудного тела в выработанное пространство в первую очередь затекает вышележащая СЗ, а затем оставшиеся пустоты заполняются обрушившимися породами висячего бока. При этом в висячем боку развивается зона обрушения налегающих пород (*рис. 8.16, б*). Зона обрушения пород висячего бока формируется не в период отработки первого нижнего яруса, а при выемке руды второго яруса. Размер зоны обрушения при отработке всего месторождения с обрушением существенно больше, чем при предлагаемом способе. Таким образом,

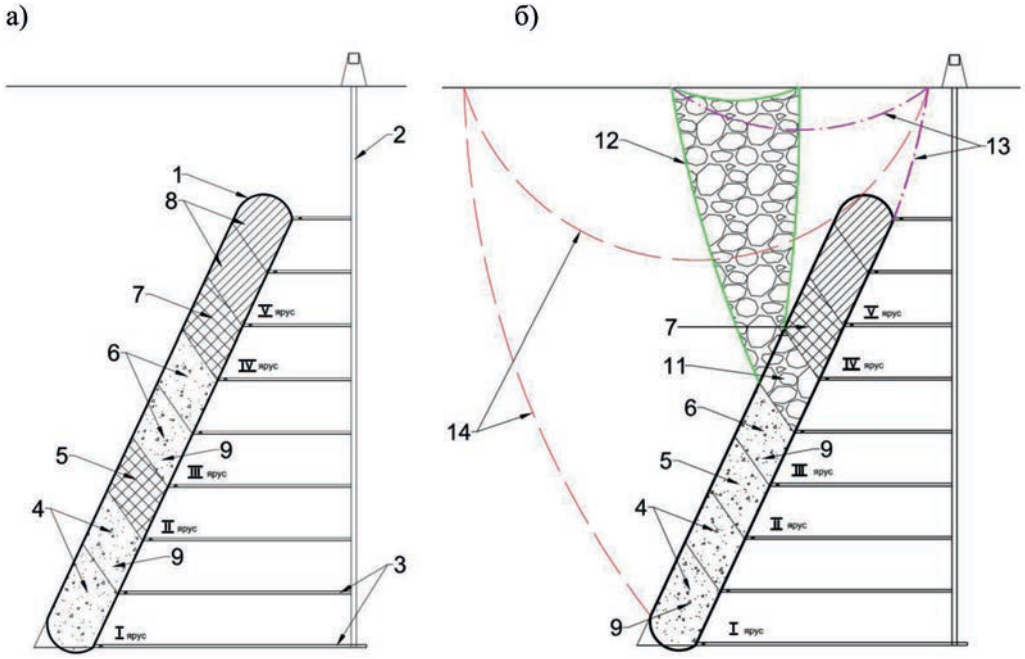


Рисунок 8.16. Способ отработки крутопадающих рудных месторождений:
1 – рудное тело; *2* – ствол; *3* – квершлаги; *4,6,8* – ярусы, отрабатываемые камерами с СЗ; *5,7* – ярусы, отрабатываемые с обрушением; *9* – СЗ; *10* – отбитая руда второго яруса; *11* – обрушенная порода висячего бока; *12* – зона обрушения висячего бока после выемки второго яруса; *13* – максимальные размеры зоны обрушения при полной отработке месторождения; *14* – зона обрушения при отработке всего месторождения системой с обрушением

предлагаемый способ позволяет размещать в выработанном пространстве отходы ГОП и обеспечивает уменьшение площади обрушения земной поверхности по сравнению с системами с обрушением. На данное техническое решение получен патент на изобретение [95].

8.2.3. Технологическая и конструктивная схемы комплексов подземного обогащения железных руд

Практически все скарново-магнетитовые руды уральских месторождений являются легкообогатимыми, и для их переработки применяется одна простая и эффективная принципиальная схема обогащения с использованием сухой (СМС) и мокрой (ММС) магнитной сепарации. Руды Естюнинского месторождения относительно малоценные, с невысоким содержанием железа, однако использование достаточно дешевой схемы обогащения позволяет получать на основе этих руд высококачественный концентрат с содержанием железа 67–69 %. Первой стадией переработки руды является ее дробление и СМС. Для получения высококачественных концентратов необходима трехстадиальная схема дальнейшего измельчения в мельницах и три-четыре стадии ММС. Размещение хвостов обогащения в отработанных камерах предопределяет необходимость их обезвоживания, поэтому для ПОК важным показателем является расход воды при обогащении и содержание воды в продуктах обогащения (концентрате и хвостах). По аналогии с показателями обогащения железных руд на предприятиях Урала и Казахстана показатели СМС можно определить по постоянному приросту качества и постоянному содержанию железа в хвостах СМС (*табл. 8.9*).

Для ПОКа принята типичная для обогащения железных руд последовательность операций, соответствующих агрегатов и аппаратов. При детализации компоновки ПОК использованы нормативные, справочные материалы и техническая литература по обогащению. На основе принятого оборудования скомпоновано расположение машин и механизмов ПОК в подземных камерах. При этом предусматривалась установка вспомогательного оборудования, необходимого для монтажа и ремонта (подъемные краны, монтажные лебедки), электрооборудования и пр. Для сокращения затрат на перемещение материала принято каскадное расположение дробилок в пределах высоты одного этажа (100 м) с максимальным использованием сил гравитации. При компоновке расположения дробилок использовался опыт сооружения подземных дробильных комплексов [120] и участковых дробилок на Гайском подземном руднике. Компоновка ПОК на два потока руды общей производительностью 5 млн т в год [118] показана на рисунке 8.17.

Объем выработок ПОК составляет 137,67 тыс. м^3, в том числе СМС — 44,88 тыс. м^3, ММС — 92,79 тыс. м^3. Расход воды в соответствии с принятой схемой ММС составляет 6,5 м^3/т руды. Следует предусмотреть оборотное водоснабжение ПОКа с использованием воды шахтного водоотлива. На выходе 4-й стадии ММС получается концентрат с содержанием воды 65 %. Хвосты ММС в виде шлама можно разделить на три вида: хвосты 1-й стадии ММС с содержанием твердого в шламе 28 % в количестве 50 % от общего количества хвостов ММС; хвосты 2-й стадии ММС с содержанием твердого в

Таблица 8.9

Фактические показатели обогащения руд Естюнинского месторождения

Исходные данные и показатели	Обозначение	Значение, %	Кол-во, тыс. т / тыс. м^3
Содержание Fe в балансовых запасах, %	$\alpha_{бал}$	30,5	–
Содержание Fe в добытой руде, %	$\alpha_{доб}$	28,1	5000 / 1378
Прирост содержания Fe в промпродукте СМС, %	$\Delta\alpha$	6,3	–
Содержание Fe в промпродукте СМС, %	$\beta_{пп}$	34,4	–
Содержание Fe в хвостах СМС, %	$\beta_{хв}$	11,0	–
Выход промпродукта СМС, %	$\gamma_{пп}$	73,08	3654 / 981
Выход хвостов СМС,%	$\gamma_{хвСМС}$	26,92	1346 / 381
Содержание Fe в концентрате, %	$\beta_{конц}$	67,00	–
Выход концентрата из промпродукта, %	$\gamma_{концпп}$	40,73	–
Выход концентрата из руды, %	$\gamma_{концр}$	29,76	1488/ 3191
Содержание Fe в хвостах ММС, %	$\beta_{хв.ммс}$	12,00	
Выход хвостов ММС,%	$\gamma_{хвММС}$	43,34	2167 / 40300
Извлечение Fe в концентрат, %	$\Sigma_{конц}$	70,96	–
Общий выход хвостов, %	$\gamma_{хвост}$	70,26	3512 / 40681
Расход воды, м^3/т руды	-	6,5	32500 тыс. м^3
Выход шламов, % от общего выхода хвостов ММС с содержанием твердого в шламе: – 28 % – 8 % – 1,5 %	 – – –	 50 35 15	 1084 / 3868 758 / 10942 325 / 25490

Примечание: Количество продуктов обогащения показано в тыс. т для сухого остатка, в тыс. м^3 для продуктов обогащения в виде пульпы (шлама).

шламе 8 % в количестве 35 % от общего количества хвостов ММС; хвосты последующих стадий ММС в количестве 15 % с содержанием твердого в шламе в среднем 1,5 %. Для каждого вида шлама целесообразно предусматривать свою схему обезвоживания.

Обезвоживание концентрата до содержания воды 8 – 10 % является обычной практикой обогатительного производства. Для ее осуществления применяются операции сгущения и фильтрования. Отличительной особенностью ПОКа является то, что хвосты ММС полностью используются для закладки отработанных камер. Причем хвосты могут быть использованы в виде СЗ (с влажностью до 8–10 %), и в виде пасты (с влажностью 18–20 %). В обоих случаях необходимо их сгущение и фильтрование. Для сгущения предусматриваются пластинчатые сгустители СП 8А, для фильтрования вакуум-фильтры КДФ-150. Комплекс для обезвоживания должен включать также камеры для сгустителей, вакуум-фильтров, а также насосов оборотного водоснабжения, транспортные, вентиляционные и вспомогательные выработки,

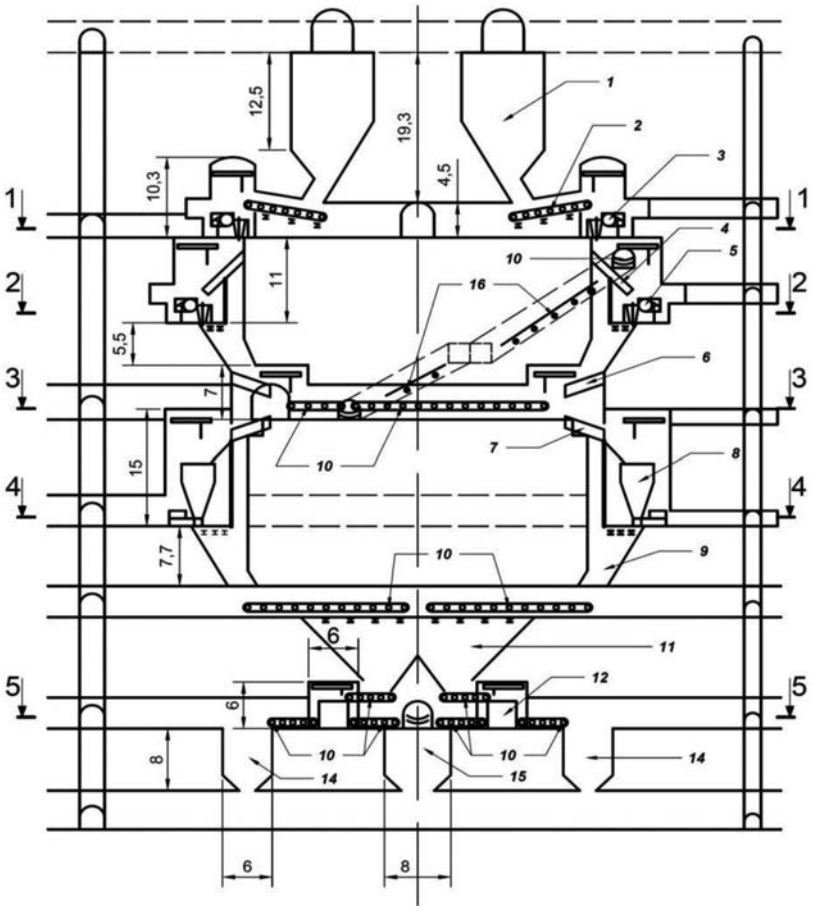


Рисунок 8.17. Компоновка оборудования СМС ПОК

его объем 31,68 тыс. м^3. При необходимости сушки концентрата добавляются камеры для размещения сушильного оборудования. При использовании пастовой закладки необходимо добавление камер для смесителя и камеры для размещения насосов подачи пасты.

Общий объем камер и выработок для размещения ПОКа составляет 169,35 тыс. м^3, из них 93,067 тыс. м^3 камер, 8,92 тыс. м^3 бункеров, 67,363 тыс. м^3 прочих выработок.

Разработана новая технологическая схема комплекса дробления ПОК, отличающаяся тем, что комплекс дробления и грохочения состоит из двух или более однотипных секций, предназначенных каждая для переработки руды одного качества. При этом приемные бункеры, дробилки и грохоты каждой секции располагают друг над другом и соединяют одним рудоспуском для обеспечения самотечного движения руды, а в нижней части комплекса потоки дробленой руды каждой секции объединяют в одном бункере, где происходит усреднение руды. Техническое решение позволяет сократить капитальные затраты на строительство ПОК за счет уменьшения количества выработок для перемещения перерабатываемой руды, снизить величину

эксплуатационных затрат на это перемещение, повысить эффективность подземного обогащения за счет усреднения качества поступающей на обогащение исходной руды, а также обеспечить доставку крупногабаритного обогатительного оборудования по подземным выработкам для его монтажа и ремонта. Данное техническое решение защищено Патентом на изобретение № 2565300 [96].

Укрупненная оценка эффективности строительства ПОК

Стоимость строительства ОФ на поверхности для переработки 5 млн т железной руды в год (типа Высокогорской ОФ), по справочным данным в ценах 2013 г., составляет 7,9–9,8 млрд руб.: капитальные затраты на строительство основных и вспомогательных сооружений 5,5–6,7; стоимость основного и вспомогательного оборудования 2,25–2,75; монтаж оборудования 10 % от его стоимости.

Капитальные затраты на строительство ПОКа включают затраты на проведение горно-капитальных выработок (ГКВ), на строительно-монтажные работы (СМР), стоимость основного и вспомогательного обогатительного оборудования и его монтажа. Стоимость проведения выработок на железорудных шахтах составляет 3000–4000 руб/м^3. Однако выработки ПОКа имеют весьма значительный срок службы и должны закрепляться тяжелыми типами крепи. По аналогии с другими ГКВ стоимость их проведения может быть принята: для камерных выработок большого сечения 15000; для бункеров 12000; для прочих выработок 8000. Затраты на проведение ГКВ составят 2041,95 млн руб.

Затраты на СМР включают затраты на устройство фундаментов и металлоконструкций под оборудование, прокладку коммуникаций (трубопроводов, электрокабелей и пр.) и могут быть приняты в размере 30 % от стоимости ГКВ 612,585 млн руб.

Стоимость основного и вспомогательного оборудования принимается по аналогии с таковым поверхностной ОФ с учетом удорожания на 10 % за счет дополнительных затрат на аппараты обезвоживания 3025 млн руб.

Затраты на монтаж оборудования вследствие стесненности подземных условий и транспортирования крупногабаритных агрегатов по выработкам несколько увеличиваются и принимаются как 20 % от стоимости оборудования 605 млн руб.

Общие затраты на строительство ПОК составляют 6284,535 млн руб.

В целом строительство ПОКа оказывается дешевле строительства поверхностной ОФ на 20–35 %. Такой результат нельзя назвать неожиданным, так как в этом случае исключаются затраты на обустройство шламохранилищ, отвалов, складов сырой руды, промпродуктов и хвостов обогащения на поверхности и связывающих их коммуникаций. При этом следует отметить возможность заметного снижения стоимости строительства ПОКа за счет применения более современного, производительного и компактного обогатительного оборудования, а также за счет использования специальных методов проходки камерных выработок и прогрессивных видов крепи.

Учитывая общность технологической схемы переработки руды, можно считать себестоимость обогащения руды на поверхности и под землей одинаковой.

Примерное распределение продуктов ПОК при переработке 5 млн т железной руды показано на рисунке 8.18. При этом хвосты СМС (в виде щебня) могут быть реализуемой продукцией и подниматься на поверхность. Отказаться совсем от отвалов пустых пород на поверхности нельзя — они необходимы на первом этапе строительства и эксплуатации рудника. При последовательной схеме комбинированной

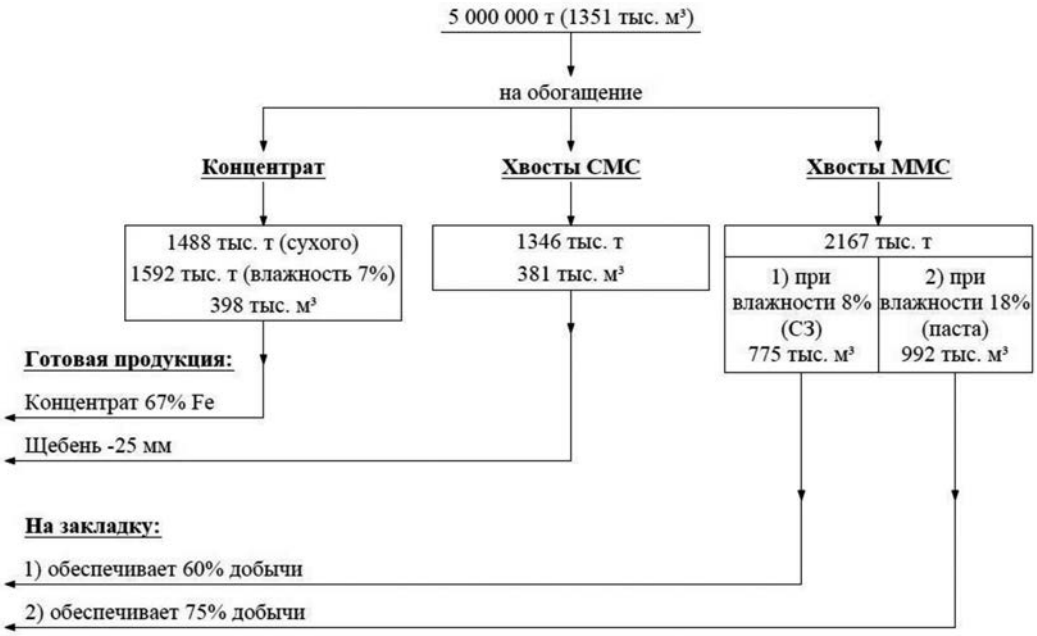


Рисунок 8.18. Схема распределения продуктов обогащения ПОК

разработки в связи с безопасностью пустых пород отвалы могут быть размещены в отработанном пространстве карьеров или в зонах обрушения. Приведенный пример показывает, что объем хвостов ММС обеспечивает закладку камер на 60–75 % от общего объема добычи.

Использование хвостов для закладки

Хвосты СМС (-25 мм) и обезвоженные хвосты ММС (+0,074 – 2 мм) могут использоваться в качестве СЗ. От ПОК они автосамосвалами, конвейерным или железнодорожным транспортом доставляются на соответствующие горизонты и далее до закладываемых камер. Хвосты ММС могут использоваться в качестве твердеющей (пастовой) закладки при добавлении 2 – 3 % цемента. Закладочная смесь от ПОК бетононасосами по скважинам подается на горизонты и далее до закладываемых камер. Максимальная высота подъема в рассмотренных схемах не превышает 300 м.

В настоящее время достаточно широко пропагандируется пастовая закладка, она же закладочная смесь высокой плотности. Для образования пасты необходимо, чтобы в смеси было не менее 15 % (по массе) частиц крупностью -20 мкм. Закладочные смеси высокой плотности наилучшим образом реализуют свои преимущества при содержании в смеси тонкодисперсных частиц размером –43 мкм не менее 40 % и содержании воды по массе в пределах 18–22 %, что обеспечивает транспортировку по трубам на значительное расстояние (до 2,2 км) и быстрое загустение после укладки.

На руднике «Грунд» (Германия) применяется насосный способ транспортирования пастовой смеси. Она содержит менее 25 % воды, которая не выделяется из за-

кладки после ее укладки, происходит полная гидратация цемента уже при добавке 2–3 % цемента по весу, и образуется тощая бетонная закладка с прочностью 2 МПа, которая в целом удовлетворяет требованиям устойчивости вертикальной стенки закладочного массива.

Транспортная схема, например, в вариантах 3 и 5 ГС (см. рис. 8.10 и 8.12), принимает следующий вид: хвосты ММС после обезвоживания до 18 % от ПОК на гор. –740 м бетононасосами типа Putzmeister BSA (рис. 8.19) по скважинам подаются на закладочные горизонты до смесительного бункера, где после добавления цемента пастовая смесь направляется по трубам диаметром 150–200 мм до закладываемых камер.

Предложен новый способ разработки месторождения камерными системами с закладкой выработанного пространства и полного обогащения добытой руды на ПОК, имеющем в своем составе устройства для дробления, измельчения, классификации, СМС и многостадийной ММС руды, обезвоживания концентрата и выдачи его на поверхность. Способ отличается тем, что в состав ПОК дополнительно включают комплекс сгущения и обезвоживания хвостов ММС, причем по отдельной схеме осуществляют обезвоживание хвостов первой и второй стадий ММС с содержанием твердого в пульпе 8–30 %. Хвосты последующих стадий ММС, когда содержание твердого в пульпе составляет 0,5–4 %, перекачивают в отстойники-осветлители воды, оборудованные устройствами управляемого осаждения твердых частиц из

Технические данные	BSA 14000 HP-D	BSA 14000 HP-E
Макс. объем подачи, м3/ч	82/54	95/65
Макс. давление подачи, бар	185/260	150/220
Макс. фракция бетона, мм	40	40
Диаметр цилиндра, мм	180	200
Макс. высота подачи, м	350	350
Макс. дальность подачи по гор., м	1000	1000
Ход поршня, мм	2100	2100
Мощность двигателя, кВт	470	320
Габаритные размеры (Д х Ш х В), мм	7330 х 1950 х 3125	
Вес, кг	10500	

Рисунок 8.19. Техническая характеристика бетононасосов Putzmeister BSA

загрязненной воды. Твердую фазу удаляют при чистке отстойников, смешивают с обезвоженными хвостами первой и второй стадий ММС и транспортируют в закладываемые очистные камеры.

Степень обезвоживания хвостов определяется принятым при проектировании системы разработки видом закладки (сухая, гидравлическая или твердеющая) и схемой транспортирования хвостов в закладываемые камеры. Закладку очистных камер производят или обезвоженными хвостами обогащения с содержанием воды 3–9 %, или сгущенными хвостами обогащения с содержанием воды 17–25 % в виде тиксатропной (пастообразной) закладки. При необходимости в сгущенные хвосты добавляют цемент, что позволяет получить твердеющую закладку.

Предлагаемое техническое решение позволяет существенно сократить объем трудоемких и дорогостоящих мероприятий по изоляции закладываемых камер для предотвращения прорыва текущих хвостов обогащения в подземные выработки, мероприятий по отводу выделяющейся из закладки воды и обеспечить более высокий уровень безопасности горных работ. На данное техническое решение [97] получен Патент на изобретение №2578138.

8.2.4. Методика расчета параметров и показателей вариантов геотехнологической стратегии

Оценка вариантов ГС освоения месторождения в новом шаге с балансовыми запасами ($Q_б$) должна учитывать комплекс производственного и социально-экологического эффектов от реализации стратегических решений. С учетом динамики развития ГТС во времени Т целесообразно в качестве критерия оценки принять максимум ЧДД в следующем виде (руб.):

$$\text{ЧДД} = \frac{\sum_{t=0}^{T} Ц_{it}}{(1+E)^t} - \left(\frac{\sum_{t=0}^{T} K_{it}}{(1+E)^t} + \frac{\sum_{t=0}^{T} Э_{it}}{(1+E)^t} + \frac{\sum_{t=0}^{T} СЭП_{it}}{(1+E)^t} \right) \rightarrow \max, \qquad (8.1)$$

где T — длительность оценки. Равна времени строительства и отработки, год;

$Ц_{it}$ — доход от реализации продукции (извлекаемая ценность руды по всем полезным компонентам), получаемый в t-м году оценки при реализации i-го варианта ГС, руб/год;

K_{it} — капитальные затраты на строительство подземного рудника и ОФ в t-м году оценки при реализации i-го варианта ГС, руб/год;

$Э_{it}$ — эксплуатационные затраты на процессы добычи и обогащения руды в t-м году оценки при реализации i-го варианта ГС, руб/год;

$СЭП_{it}$ – денежная оценка социально-экономических (занятость населения, затраты на профессиональное перепрофилирование и т.п.) и экологических последствий для развития региона от реализации i-го варианта ГС, руб/год;

E – норма дисконта, доля ед.

Эффективность отдельных технических решений, характеризующих вариант ГС, например по системам разработки, схеме вскрытия и транспорта, месту размещения ПОК лучше устанавливать по критерию условной недисконтированной прибыли (эффекту Э) [118]. При сравнении вариантов ГС необходимо учитывать только различающиеся производственные процессы. В этом случае целесообразно оперировать не балансовыми запасами месторождения в шаге освоения, а годовой производственной мощностью рудника $A_г$, к которой следует привести K в зависимости от T. Тогда целевая функция для каждого варианта ГС освоения железорудного месторождения:

$$Э = [\, cZ\varepsilon_д\varepsilon_0 A_г] - [[(K_{кв} + K_п + K_{по} + K_{ОК} + K_{ДЗК} + K_{ЗК}) / T] + (Э_{ПНР} + \\ + Э_{зак} + Э_{ВШТ} + Э_{под} + Э_{ТОФ} + Э_о)] + СЭП \to \max, \text{ руб.} \qquad (8.2)$$

где с — содержание железа в балансовых запасах, доля ед.; Z — цена металла FOB, руб/1 % содержания железа в 1 тонне товарной руды (концентрата); $\varepsilon_д$ — коэффициент качественного извлечения при добыче, доля ед.; $\varepsilon_о$ — коэффициент извлечения железа в концентрат, доли ед.; $K_{кв}$, $K_п$, $K_{по}$, $K_{ОК}$, $K_{ДЗК}$ и $K_{ЗК}$ — капитальные затраты на проходку ГКВ, сооружение поверхностных зданий, приобретение стационарного оборудования, строительство ОК, дзк, ЗК, руб.; T — срок отработки запасов в шаге освоения, год; $Э_{ПНР}$, $Э_{зак}$, $Э_{ВШТ}$, $Э_{под}$, $Э_{ТОФ}$ и $Э_о$ – эксплуатационные затраты на ПНР, закладочные работы, ВШТ, подъем, поверхностный транспорт руды до ОФ, обогащение руды, руб/год.

Капитальные затраты на проходку ГКВ, поверхностные здания и сооружения, приобретение и монтаж горно-механического стационарного оборудования по вариантам ГС различны и зависят от схемы вскрытия.

Капитальные затраты на сооружение ПОК включают затраты на проведение ГКВ и СМР, стоимость основного и вспомогательного обогатительного оборудования и затраты на его монтаж, на поверхностную ОФ принимаются по аналогам в зависимости от $A_г$.

Капитальные затраты на сооружение ДЗК в вариантах с ПОК равны нулю, поскольку они включены в затраты $K_{ОК}$. При размещении ОФ на поверхности ДЗК строится у ствола на концентрационном горизонте.

Капитальные затраты на сооружение ЗК в вариантах с ПОК равны нулю, поскольку они включены в затраты $K_{ОК}$.

Эксплуатационные затраты на ПНР по вариантам ГС также различаются в зависимости от применяемой системы разработки.

Эксплуатационные затраты на закладочные работы зависят от объема и вида закладочного материала (хвостов СМС, ММС, породы) и способа его доставки от ОК или забоя до закладываемой камеры.

Эксплуатационные затраты на внутришахтный транспорт и подъем руды и концентрата обусловлены соответствующими схемами и способами.

Эксплуатационные затраты на наземный транспорт руды до ОФ зависят от расстояния транспортирования руды от промплощадки шахты до ОФ и вида транспорта.

Эксплуатационные затраты на дробление и обогащение руды по всем вариантам ГС приняты одинаковыми.

Весьма важным моментом в определении эффективности разработанных вариантов ГС является установление оптимального места расположения ПОК. В шаге освоения 240/640 м при одновременной нисходящей отработке верхних этажей (240/340 м, 340/440 м) и восходящей — нижних (440/540 м, 540/640 м) рассмотрено четыре места расположения ПОКа:

— в этаже -340/-440 м, гор. -440 м — концентрационный;
— в этаже -440/-540 м, гор. -540 м — концентрационный;
— в этаже -540/-640 м, гор. -640 м — концентрационный;
— ниже гор. -640 м, гор. -740 м — концентрационный.

Оптимальное место заложения ПОК в горизонтальной плоскости целесообразно определять по центру тяжести суммарных запасов рудных тел Естюнинского и Ново-Естюнинского месторождений и вне зоны сдвижения от их отработки [98] (рис. 8.20).

Размещение ПОК в вертикальной плоскости необходимо определять в зависимости от транспортной схемы перемещения всех грузов, образующихся в рамках ГТС. При формировании схем грузопотоков руководствовались принципом максимального использования сил гравитации для перемещения грузов (руда, порода, закладка, концентрат) и допущением, что весь объем образованных в процессе обогащения хвостов использовался для закладки выработанного пространства.

В качестве примера рассмотрены три рациональные схемы транспорта для варианта 5 ГС. Принято, что производственная мощность рудника 5 млн т руды в год обеспечивается добычей по 2,5 млн т с верхнего и нижнего ярусов, различающихся по типу перемещения руды до ПОКа и концентрата от ПОКа до вертикального ствола. При этом при расположении приемного бункера ПОК выше добычного горизонта руда до него доставляется по транспортному уклону или стволу, ниже — до рудоспуска.

1. Автотранспорт руды и конвейерный транспорт концентрата (А35+КУ) — руда из добычных блоков транспортируется автосамосвалом MT436LP грузоподъемностью 35 т (А35); порода из проходческих забоев до закладываемых камер ПДМ Scooptram ST14 (14 т); СЗ (хвосты СМС) от ПОК до закладочных горизонтов и закладываемых камер автосамосвалом MT436LP; закладка (хвосты ММС) от ПОК до закладываемых камер по трубам; концентрат от ПОК до ствола на горизонте -340 м по конвейерному уклону (КУ). Данная схема позволяет строить главный ствол только до гор. -340 м и использовать преимущество конвейерного подъема.

2. Автотранспорт руды и железнодорожный транспорт концентрата (А35+ЖД) — отличается от схемы 1 тем, что концентрат от ПОК до ствола транспортируется электровозом 14КР2А в вагонетках ВГ-10 (ЖД) по соответствующему концентрационному горизонту.

3. Железнодорожный транспорт руды и железнодорожный транспорт концентрата (ЖД+ЖД) – руда по откаточным горизонтам до капитальных рудоспусков или ствола электровозом 14КР2А в вагонетках ВГ-10; порода из проходческих забоев до закладываемых камер ПДМ Scooptram ST 14 (14 т); СЗ (хвосты СМС) от ПОК до ствола электровозом 14КР2А в вагонетках ВБ-4, подъем по стволу до закладочного горизонта, транспорт от ствола до закладываемых камер электровозом 14КР2А; закладка (хвосты ММС) от ПОК до закладываемых камер по трубам; концентрат от ПОК до ствола электровозом 14КР2А в вагонетках ВГ-10 по соответствующему концентрационному горизонту.

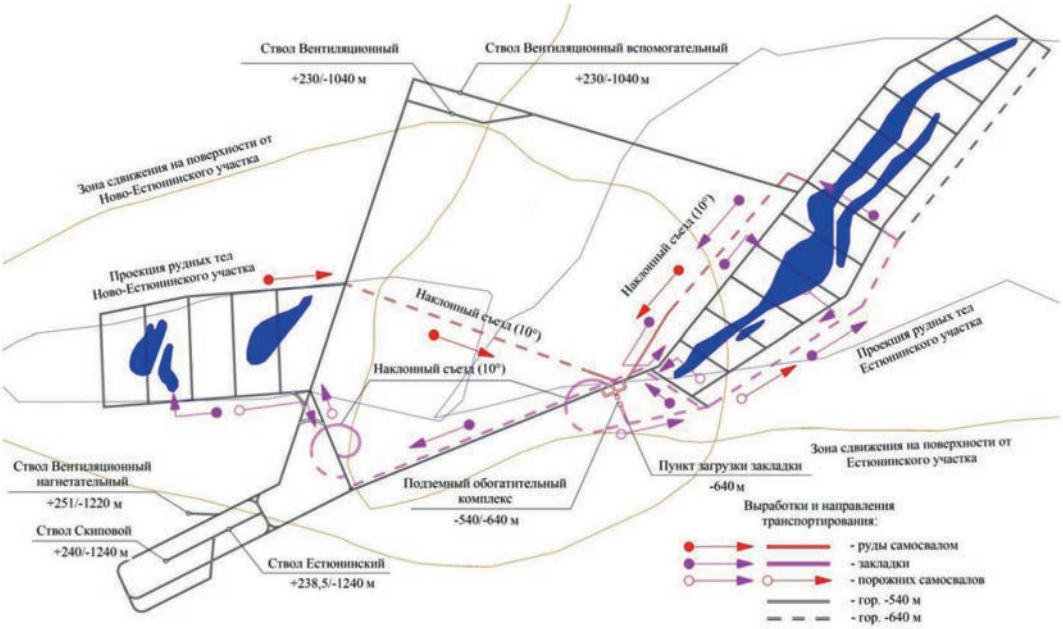


Рисунок 8.20. План гор. 540 м с грузопотоками (ПОК в этаже 540/640м)

Оптимальное место расположения ПОК в вертикальной плоскости определено по критерию минимума суммарных приведенных капитальных затрат на вскрытие и эксплуатационных затрат на транспортирование грузов. Приведение капитальных к годовым эксплуатационным затратам производилось делением суммарных капитальных затрат на срок отработки всего месторождения (шаг освоения).

$$З = \sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} (K_{ij} + Э_{ij}) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} (V_{ij}^{гкр} C_j^{пр} + C_j^{об} + L_{ij}^{руд} Q^{руд} C_j^{руд} + L_{ij}^{пор} Q^{пор} C_j^{пор} + L_{ij}^{хв} Q^{хв} C_j^{хв} + L_{ij}^{к} Q^{к} C_j^{к}) \quad \text{–> min, руб.} \qquad (8.3)$$

где n — количество мест (вариантов) расположения ПОК в шаге вскрытия, шт.; m — число транспортных схем в зависимости от типа применяемого транспорта руды; K_{ij} — капитальные затраты на проведение ГКВ для строительства ПОК и приобретение средств механизации для перемещения грузов по i-му варианту расположения ПОК и j-й транспортной схеме, руб.; $Э_{ij}$ — эксплуатационные затраты на перемещение грузов по i-му варианту расположения ПОК и j-й транспортной схеме, руб.; $V_{ij}^{гкр}$ — объем ГКВ, необходимых для подготовки ПОК, м^3; $C_j^{пр}$ — себестоимость строительства 1 м^3 ПОК, руб/м^3; $C_j^{об}$ — стоимость транспортного оборудования, руб.; $L_{ij}^{руд}$, $L_{ij}^{пор}$, $L_{ij}^{хв}$, $L_{ij}^{к}$ — расстояния перемещения грузов (руды, породы, закладки, концентрата), м; $Q^{руд}$, $Q^{пор}$, $Q^{хв}$, $Q^{к}$ — объемы перемещаемых грузов, т; $C_j^{руд}$, $C_j^{пор}$, $C_j^{хв}$, $C_j^{к}$ — себестоимости транспортирования грузов, руб/т·км.

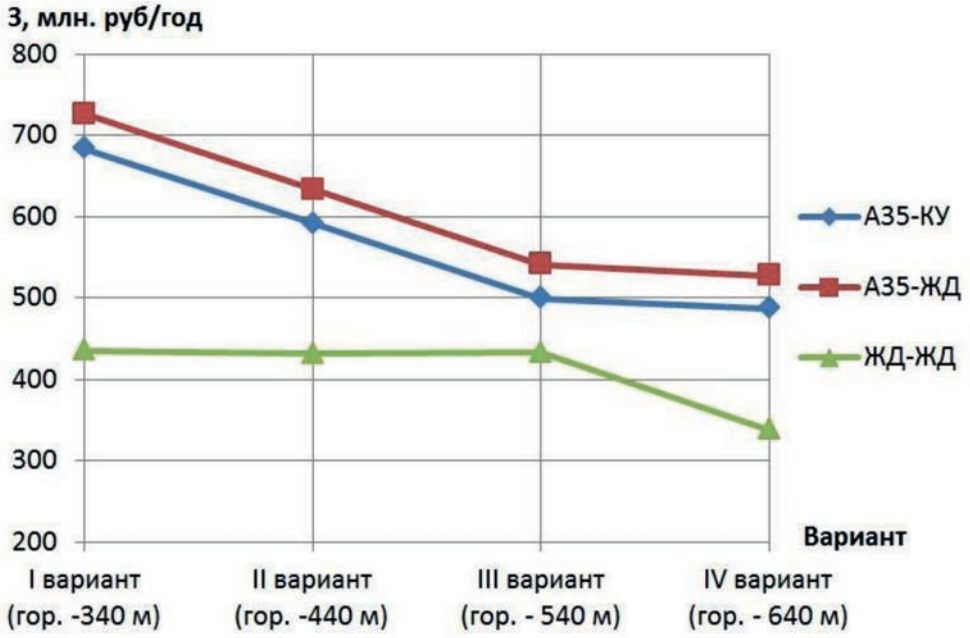


Рисунок 8.21. Зависимость суммарных приведенных капитальных и эксплуатационных затрат на транспортирование грузов ПОК (млн руб.) от высоты его расположения

В приложении Microsoft Excel составлена программа расчета ТЭП и для варианта 5 ГС определено местоположение ПОК. Установлено, что по критерию суммарных приведенных капитальных затрат на вскрытие и эксплуатационных затрат на транспортирование грузов оптимальным для всех видов транспорта является расположение ПОК ниже гор. -640 м (гор. -740 м концентрационный) (рис. 8.21).

Также специфическим моментом в данной методологии является формализация в соответствии с основными положениями ведения закладочных работ эксплуатационных затрат $С_{зак}$ на создание и сохранение устойчивости закладочного массива для разработанных вариантов 1–7 технологии.

Вариант 1 $$С_{зак} = С^{к}_{зак} = С^{к}_{оi} + С^{к}_{дi} + С^{к}_{у\,тр},$$ (8.4)

Вариант 2 $$С_{зак} = С^{ц}_{зак} + С^{к}_{зак} = (С^{ц}_{оi} + С^{ц}_{дi} + С^{ц}_{тв}) + (С^{к}_{оi} + С^{к}_{дi} + С^{к}_{у\,тр}),$$ (8.5)

Вариант 3 $$С_{зак} = С^{к}_{зак} + С^{ц}_{зак} = (С^{к}_{оi} + С^{к}_{дi} + С^{к}_{у\,тр}) + (С^{ц}_{оi} + С^{ц}_{дi}),$$ (8.6)

Вариант 4 $$С_{зак} = С^{к}_{зак} = С^{к}_{дi} + С^{к}_{у\,отк} + С^{к}_{у\,тр} + С^{к}_{оi},$$ (8.7)

Вариант 5 $$С_{зак} = С^{ц}_{зак} + С^{к}_{зак} = (С^{ц}_{оi} + С^{ц}_{дi} + С^{ц}_{у\,отк}) + (С^{к}_{оi} + С^{к}_{дi} + С^{к}_{у\,тр}),$$ (8.8)

Вариант 6 $$С_{зак} = С^{к}_{зак} + С^{ц}_{зак} = (С^{к}_{оi} + С^{к}_{дi}) + (С^{ц}_{оi} + С^{ц}_{дi}),$$ (8.9)

Вариант 7 $$С_{зак} = С^{к}_{зак} = С^{к}_{оi} + С^{к}_{дi} + С^{к}_{у\,отк},$$ (8.10)

где $С^{к}_{зак}$, $С^{ц}_{зак}$ — эксплуатационные затраты (ЭЗ) на закладочные работы при отработке камер и целиков для *j*-го варианта технологии, руб.; $С^{к}_{оi}$, $С^{ц}_{оi}$ — ЭЗ на формирование основного закладочного массива в камерах и целиках из *i*-го закладоч-

ного материала, руб.; $С^{к}_{дi}$, $С^{ц}_{дi}$ — ЭЗ на дозакладку камер и целиков, руб.; $С^{к}_{у\,тр}$ — ЭЗ на укрепление траншейного откоса закладочного массива камер, руб.; $С^{ц}_{тв}$ — ЭЗ на формирование твердеющего закладочного массива целиков, руб.; $С^{к}_{у\,отк}$, $С^{ц}_{у\,отк}$ — ЭЗ затраты на укрепление откоса торцовых стенок закладочного массива камер и целиков, руб.

ТЭО наиболее рациональных вариантов 5 и 7 технологии восходящей выемки с сухой закладкой в сравнении с традиционной этажно-камерной системой разработки выполнено на основании исходных данных технологического регламента отработки шахты Ново-Естюнинская с переводом в цены 2014 года. Себестоимость обогащения принята одинаковой во всех вариантах (табл. 8.10). Видно, что этажно-камерная система разработки с укрепленной СЗ (вариант 5) по критерию изменения условной прибыли на 1 т погашаемых балансовых запасов (ΔПр) эффективнее традиционной на 10,4 %, а подэтажно-камерная (вариант 7) — на 5 %.

8.3. Экономико-математическое моделирование и выбор оптимального варианта геотехнологической стратегии

8.3.1. Методика определения замкнутости ГТС

Для обеспечения замкнутости ГТС необходимо установить: соотношение объемов добычи руды системами с обрушением и с закладкой выработанного пространства; объем образовавшегося и закладываемого выработанного пространства; объем пустой породы подготовительно-нарезных выработок и объем хвостов обогащения (СМС, ММС), используемых в качестве закладочного материала. Под замкнутой понимаем такую ГТС, за пределы которой выходит только реализуемый продукт, а все образующиеся твердые отходы утилизируются внутри. Определение данных пара-

Таблица 8.10.

ТЭП вариантов технологии (традиционной и с восходящей выемкой)

Показатель	Система разработки		
	этажно-камерная с обрушением МКЦ	этажно-камерная с укрепленной СЗ (вар. 5)	подэтажно-камерная с укрепленной СЗ (вар. 7)
Потери, доли ед.	0,213	0,07	0,05
Разубоживание, доли ед.	0,125	0,10	0,08
$Ц_{изв}$, руб./т	513,6	606,9	620
Э, руб./т	115	121	121
$С_{зак}$, руб./т	–	64	96
ΔПр, руб./т	376,8	415,8	395,8

метров исходит из установленной при формировании вариантов ГС годовой производственной мощности рудника. Для вариантов 1– 5 ГС она складывается из годовой производительности этажей, одновременно разрабатываемых системами с обрушением и системами с закладкой.

$$A_г = A_{обр} + A_{зак}, \text{ т/год} \quad (8.11)$$

где $A_{обр}$, $A_{зак}$ – годовая производительность этажей, разрабатываемых системами с обрушением и системами с закладкой, соответственно, т/год.

Необходимый объем (доля) добычи системами разработки с обрушением и с закладкой определяется следующим образом:

1. Содержание железа в добытой руде

$$\alpha_{доб} = \alpha_{бал} (1 - R_{ср}) + R_{ср} \alpha_{пор}, \quad (8.12)$$

где $\alpha_{бал}$ — содержание железа в балансовых запасах, %; $R_{ср}$ — средневзвешенное засорение, зависящее от долей систем разработки, доля ед.; $\alpha_{пор}$ — содержание железа в породах, %.

2. Выход промпродукта (стадия СМС)

$$\gamma_{пп} = 100 (\alpha_{доб} - \alpha_{хв\ смс}) / (\alpha_{доб} + \Delta\alpha - \alpha_{хв\ смс}), \% \quad (8.13)$$

где $\alpha_{хв\ смс}$ — содержание железа в хвостах СМС, %; $\Delta\alpha$ — прирост качества (содержания железа в промпродукте), %.

Содержание железа в промпродукте СМС

$$\beta_{пп} = \alpha_{доб} + \Delta\alpha, \% \quad (8.14)$$

3. Для установления количества готовой продукции, получаемой в процессе обогащения, определяется выход концентрата из 1 т промпродукта

$$\gamma_{конц\ пп} = (\beta_{пп} - \beta_{хв\ ммс}) / (\beta_{конц} - \beta_{хв\ ммс}) \cdot 100, \% \quad (8.15)$$

где $\beta_{хв\ ммс}$, $\beta_{конц}$ — содержание железа в хвостах ММС и концентрате, соответственно, %.

Выход концентрата из 1 т добытой руды

$$\gamma_{конц\ р} = \gamma_{пп} \gamma_{конц\ пп} / 100, \% \quad (8.16)$$

4. На первой стадии обогащения СМС образуются хвосты, выход которых из 1 т добытой руды рассчитывается по формуле

$$\gamma_{смс} = 100 - \gamma_{пп}, \%. \quad (8.17)$$

5. На последней стадии обогащения ММС образуются хвосты, выход которых из 1 т добытой руды рассчитывается по формуле

$$\gamma_{ммс} = 100 - \gamma_{смс} - \gamma_{конц\,р}, \%. \quad (8.18)$$

6. Масса хвостов СМС, получаемых из годового объема добычи,

$$Q_{смс} = \gamma_{смс} A_г, т/год. \quad (8.19)$$

7. Масса хвостов ММС, получаемых из годового объема добычи,

$$Q_{ммс} = \gamma_{ммс} A_г, т/год. \quad (8.20)$$

8. Объем хвостов СМС, получаемых при заданной годовой производительности,

$$V_{смс} = 1{,}35\ Q_{смс}/\rho_{смс}, м^3/год, \quad (8.21)$$

где 1,35 — коэффициент разрыхления для хвостов СМС; $\rho_{смс}$ — удельный вес хвостов СМС, кг/м³.

9. Объем хвостов ММС, получаемых при заданной годовой производительности:
9.1. Необходимое количество воды на 1 м³ закладочной смеси (пастовой закладки)

$$P_{вод} = \rho_{смс} n_{1вод}, т/м^3 \quad (8.22)$$

где $n_{1вод}$ — количество воды в закладочной смеси, доля ед.

9.2. Вес закладочной смеси (пастовой закладки), получаемой из 1 м³ хвостов ММС,

$$P_{ммс\ 18\%} = P_{смс} + P_{вод} + P_{цем}, т \quad (8.23)$$

где $P_{смс}$ — вес 1 м³ хвостов СМС, т; $P_{вод}$, $P_{цем}$, — необходимое количество воды и цемента для закладочной смеси, т.

9.3. Объем закладочной смеси (пастовой закладки), получаемой из 1 м³ ММС, и необходимых компонентов — воды и цемента — находится по формуле

$$\nu_{ммс\ 18\%} = P_{смс}/\rho_{смс} + P_{вод}/\rho_{вод} + P_{цем}/\rho_{цем}, м^3 \quad (8.24)$$

где $\rho_{смс}$, $\rho_{вод}$ и $\rho_{цем}$ — плотность хвостов СМС, воды и цемента, соответственно, т/м³.

9.4. Плотность закладочной смеси (пастовой закладки), получаемой из 1 м³ хвостов ММС,

$$\rho_{ммс\ 18\%} = P_{ммс\ 18\%}/\nu_{ммс\ 18\%}, т/м^3 \quad (8.25)$$

9.5. Плотность сухой закладки, получаемой из 1 м³ хвостов ММС

$$\rho_{ммс\ 8\%} = (1 + n_{2\,вод})\ \rho_{смс}/1{,}25, кг/м^3 \quad (8.26)$$

где $n_{2\,вод}$ — количество воды, содержащейся в сухой закладке, доля ед.; 1,25 — коэффициент разрыхления сухой закладки, получаемой из хвостов ММС.

9.6. Объем хвостов ММС, образующихся из годового объема добычи,

$$V_{ммс} = (1{,}15 \div 1{,}25)\, Q_{ммс}/\rho_{ммс},\ м^3, \qquad (8.27)$$

где 1,15 и 1,25 — коэффициенты разрыхления пастовой и сухой закладки с 18 %-ной и 8 %-ной влажностью, соответственно, $\rho_{ммс}$ — удельный вес хвостов ММС, кг/м^3.

10. Объем породы, образующейся от проходки выработок,

$$V_{пор} = 1{,}35\, q_{пор} A_г,\ м^3, \qquad (8.28)$$

где $q_{пор}$ — удельный объем породы из ПНВ на 1000 т добытой руды, м^3/т.

11. Общий (суммарный) объем отходов ГОП – породы, хвостов СМС и ММС, полученных в рамках ГТС,

$$V^o = V_{ммс} + V_{смс} + V_{пор},\ м^3. \qquad (8.29)$$

12. Максимальный объем пустот, образуемых в рамках ГТС,

$$V^п = A_г / \rho_{руд},\ м^3. \qquad (8.30)$$

13. Сравниваем V^o и $V^п$ и определяем степень замкнутости ГТС,

$$\eta = V^o / V^п \to 1 \qquad (8.31)$$

Если $0 \leqslant \eta \leq 1$, то ГТС замкнута, если $\eta > 1$, то ГТС не замкнута.

Таким образом, степень замкнутости ГТС можно описать показателем η, равным отношению суммарного объема отходов, образующихся и утилизируемых в рамках ГТС, к максимальному объему пустот, образующихся в рамках ГТС. Следовательно, η показывает долю системы разработки с закладкой выработанного пространства в годовой производственной мощности рудника.

13.1. Если $\eta=1$, то в рамках ГТС весь объем полученных отходов заполняет все образованное выработанное пространство камер. В этом случае производительность рудника обеспечивается только камерными системами с закладкой

$$\eta = A_{зак} / A_г = V^o / V^п = 1 \qquad (8.32)$$

13.2. Если $\eta<1$, то имеется избыток пустот камер $V^п > V^o$. В этом случае производительность рудника обеспечивается производительностью камерных систем с закладкой, доля которой равна η, и производительностью систем с обрушением, доля которой равна $1-\eta$.

$$\eta = A_{зак} / A_г = V^o / V^п < 1 \qquad (8.33)$$

13.3. Если $\eta>1$, то имеется дефицит пустот камер $V^{п}<V^{о}$. В этом случае производительность рудника обеспечивается только камерными системами с закладкой, а излишки отходов складируются на поверхности.

$$\eta = V^{о} / V^{п} > 1 \qquad (8.34)$$

14. Утилизируемый в виде закладочного материала объем отходов ГОП (породы, хвостов СМС и ММС) $V^{оз}$ должен стремиться к максимуму, т.е. к $V^{о}$.

14.1. Если порода от проходки ПНР и хвосты ММС используются в полном объеме, а хвосты СМС дополнительно, то должно выполняться условие

$$V^{оз} = V_{пор} + V_{ммс} + \lambda V_{смс} -> V^{о}, \text{ м}^3. \qquad (8.35)$$

14.2. Если порода от проходки и хвосты СМС используются в полном объеме, а хвосты ММС дополнительно, то должно выполняться условие

$$V^{оз} = V_{пор} + V_{смс} + \lambda V_{ммс} -> V^{о}, \text{ м}^3. \qquad (8.36)$$

14.3. Доля хвостов СМС (или ММС), используемых для закладки пустот дополнительно к используемым в полном объеме породе и хвостам ММС (или СМС)

$$\lambda = \frac{(V_{пор} + V_{ммс\ (смс)})}{V_{смс\ (ммс)}} . \qquad (8.37)$$

14.4. Объем излишков отходов ГОП, образуемых в рамках ГТС, складируются на поверхности в хвостохранилище или в карьере

$$V^{ио} = (1 - \lambda) V_{смс\ (ммс)}, \text{ м}^3. \qquad (8.38)$$

Методика (8.11)–(8.38) позволяет определить эффективные доли применения систем разработки с закладкой и с обрушением в зависимости от степени использования различных видов отходов ГОП в составе закладочного материала с целью максимальной утилизации хвостов ГОП в выработанном пространстве и формирования потенциально замкнутой ГТС при отработке железорудного месторождения. На основе данной методики составлена компьютерная программа в приложении Microsoft Excel и выполнены расчеты на рассматриваемом примере освоения нижних горизонтов Естюнинского месторождения для вариантов 4 и 5 ГС. Необходимые объемы добычи разными системами в рамках ГТС определены в зависимости от содержания железа в балансовых запасах 29 (базовый вариант), 43, 50 и 60 %. Исходные данные представлены в таблице 8.11, а в таблице 8.12 показаны доли систем разработки в общей годовой производительности рудника в зависимости от доли дополнительно используемых хвостов СМС при полном использовании породы ПНВ и хвостов ММС в виде пастовой закладки и СЗ. При этом хвосты СМС могут не использоваться ($\lambda_{СМС}$=0 %), использоваться частично ($\lambda_{СМС}$=50 %) или полностью ($\lambda_{СМС}$=100 %). Аналогичные параметры в зависимости от дополнительно используемых хвостов ММС приведены в таблице 8.13.

По результатам ЭММ при базовом содержании железа в балансовых запасах 29 % можно сделать следующие выводы:

1. Использование для закладки только породы от проходки ПНВ и хвостов ММС (в виде пастовой закладки) позволяет заполнить 83 % от максимального объема пустот, которые могут образоваться в рамках ГТС. В этом случае доля камерной системы с закладкой в годовой производственной мощности рудника составляет 83 %, а 17 % обеспечивается системами с обрушением. При использовании для закладки только породы от проходки ПНВ и хвостов ММС (в виде СЗ) заполняется 82 % максимального объема пустот. При дополнительном использовании хвостов СМС (35 %) можно увеличить долю камерной системы с закладкой до 100 %, а избыточный объем хвостов СМС (65 %) складировать на поверхности.

2. Использование для закладки исключительно породы от проходки ПНВ и хвостов СМС позволяет заполнить 62 % максимального объема пустот. Тогда доля камерной системы с закладкой в годовой производственной мощности рудника составляет 62 %, а 38 % обеспечивается системами с обрушением. При дополнительном

Таблица 8.11

Исходные данные по Естюнинскому железорудному месторождению для экономико-математического моделирования

Показатель	Обозн.	Ед. изм.	Значение
Годовая производительность	$A_г$	т/год	5 000 000
Содержание Fe в балансовых запасах	$\alpha_{бал}$	%	29, 43, 50, 60
Содержание Fe во вмещающих породах	$\alpha_{пор}$	%	6
Содержание Fe в хвостах СМС	$\alpha_{хв.смс}$	%	13
Содержание Fe в хвостах ММС	$\beta_{хв.ммс}$	%	10
Содержание Fe в концентрате	$\beta_{конц}$	%	67
Прирост качества	$\Delta\alpha$	%	6,3
Плотность породы	$\rho_{пор}$	т/м^3	2,7
Плотность хвостов СМС	$\rho_{смс}$	т/м^3	2,8
Плотность руды	$\rho_{руд}$	т/м^3	3,7
Плотность воды	$\rho_{вод}$	т/м^3	1
Плотность цемента	$\rho_{цем}$	т/м^3	3,3
Содержание воды в закладочной смеси	-	%	18
Содержание воды в сухой закладке	-	%	8
Кол-во цемента для закладочной смеси	$Р_{цем}$	т	0,1
Потери при системе с обрушением	$П_1$	доли ед.	0,1
Засорение при системе с обрушением	R_1	доли ед.	0,15
Потери при системе с закладкой	$П_2$	доли ед.	0,8
Засорение при системе с закладкой	R_2	доли ед.	0,8
Коэф. разрыхления хвостов СМС	-	доли ед.	1,35
Коэф. разрыхления хвостов ММС (вл. 8 %)	-	доли ед.	1,25
Коэф. разрыхления хвостов ММС (вл. 18 %)	-	доли ед.	1,15
Уд. объем пород на 1000 т добытой руды	$q_{пор}$	м^3/1000 т	10

Таблица 8.12

Зависимость систем разработки (%) от вида используемых хвостов СМС при полном использовании породы и хвостов ММС

Базовое содержание железа в балансовых запасах руды, %	Доля системы с закладкой / системы с обрушением, %					
	при $\lambda_{СМС}$ = 0 %		при $\lambda_{СМС}$ = 50 %		при $\lambda_{СМС}$ = 100 %	
	пастовая закладка	сухая закладка	пастовая закладка	сухая закладка	пастовая закладка	сухая закладка
29	83/17	82/18	110/0*	109/0*	143/0*	142/0*
43	64/36	68/32	81/19	80/20	100/0	99/1
50	50/50	49/51	64/36	63/37	79/21	78/22
60	25/75	25/75	36/64	35/65	50/50	49/51

*Недостаток пустот или избыток отходов ГОП

Таблица 8.13

Доли систем разработки в зависимости от используемых хвостов ММС при полном использовании породы и хвостов СМС

Базовое содержание железа в балансовых запасах руды, %	Доля системы с закладкой / системы с обрушением, %					
	при $\lambda_{ММС}$ = 0 %		при $\lambda_{ММС}$ = 50 %		при $\lambda_{ММС}$ = 100 %	
	пастовая закладка	сухая закладка	пастовая закладка	сухая закладка	пастовая закладка	сухая закладка
29	62/38	62/38	102/0*	101/0*	143/0*	142/0*
43	40/60	40/60	70/30	69/31	100/0	99/1
50	34/66	34/66	57/43	56/44	79/21	78/22
60	29/71	29/71	39/61	38/62	50/50	49/51

*Недостаток пустот или избыток отходов ГОП

использовании хвостов ММС можно увеличить долю камерной системы с закладкой до 100 %, а избыточный объем хвостов ММС выдавать на поверхность.

3. При базовом содержании железа 29 % освоение нижних горизонтов Естюнинского месторождения невозможно без образования излишних отходов ГОП.

4. Баланс между максимальным объемом пустот и суммарным объемом отходов ГОП (породы, хвостов СМС и ММС), используемых в качестве закладки этих пустот, достигается при содержании железа 43 %, с дальнейшим его увеличением замкнутость ГТС обеспечивается увеличением доли систем с обрушением при полном использовании всех отходов ГОП.

Таким образом, количественным критерием оценки экологической эффективности созданной эколого-ориентированной геотехнологии комплексной добычи и переработки железных руд может служить показатель η — степень замкнутости ГТС, который показывает не только степень использования образовавшихся отходов в качестве закладки пустот, но и доли систем разработки с закладкой и с обрушением в производственной мощности рудника. Использование данного критерия в совокупности с экономическими повысит объективность оценки варианта ГС освоения мощных глубокозалегающих рудных месторождений.

8.3.2. Методика выбора оптимального варианта геотехнологической стратегии по эколого-экономическому критерию

Выбор оптимального варианта ГС освоения подземных запасов только по экономическим критериям (максимум ЧДД или максимум условной недисконтированной приведенной прибыли [7]) не отражает ее экологической ориентированности, поэтому необходима оценка по комплексному критерию, оценивающему как экономическую, так и экологическую эффективность. В случаях, когда необходимо выполнять оценку по нескольким независимым критериям, целесообразно вводить глобальный критерий принятия компромиссного решения. В нашем случае предложен комплексный эколого-экономический критерий R, рассчитываемый как сумма баллов по каждому из критериев экономической (ЧДД) и экологической (η) эффективности с учетом их веса.

$$R = k_{\text{ЧДД}}\, r_{\text{ЧДД}} + k_{\eta}\, r_{\eta}, \qquad (8.39)$$

где $r_{\text{ЧДД}}$, r_{η} – рейтинг по критерию ЧДД и η, соответственно, сравниваемых вариантов ГС;

$k_{\text{ЧДД}}$, k_{η} — вес в глобальном критерии критериев ЧДД и η, соответственно, изменяемый от 0 до 1. Учитывая равноценность для общества экономической и экологической эффективности ГОП, можно в первом приближении принять оба веса равными 1.

Блок-схема формирования и оценки ГС (*рис. 8.22*) указывает последовательность установления оптимальных решений по концептуальным (1–3) и технологическим (4–9) блокам в соответствии с локальными критериями, принятыми для соответствующих подсистем ГТС, и оценки их совокупности на уровне варианта ГС по комплексному критерию. При этом устанавливаются:

1. Схема комбинированной разработки (последовательная, параллельная) месторождения в зависимости от принятой ГОКом концепции развития его производственной мощности при переходе к ПГР — затухание, поддержание, увеличение.

2. Производственная мощность подземного рудника по горным возможностям, обеспечивающая мощность ГОКа, в зависимости от различных факторов, которые обобщаются в эксплуатационной площади и интенсивности эксплуатации месторождения, ее сравнение с мощностью карьера.

3. Порядок освоения подземных запасов (этажный, многоэтажный, ярусный) и обоснование количества этажей в одновременной отработке, обеспечивающие мощность рудника, в зависимости от горных возможностей этажей (ярусов). При этажной (многоэтажной) отработке очистные работы в этажах могут вестись разно- или одновременно, но по взаимоувязанным технологическим схемам, а при ярусной — одновременно и без взаимного влияния. Оптимальное решение зависит от блоков 1 и 2.

4. Направление (порядок) развития горных работ в пространстве (нисходящий, восходящий, их сочетания) по критерию получения максимума условной недисконтированной прибыли Э. Оптимальное решение зависит от блоков 2–4, 5.

5. Системы разработки и способ погашения выработанного пространства по критерию максимума условной недисконтированной прибыли Э, доля применения систем разработки по η. Оптимальное решение тесно связано с решением блоков

2–4 и 9. Применение систем с обрушением допустимо при последовательной схеме комбинированной разработки или нисходящем порядке развития горных работ, систем с закладкой ограничено экономической целесообразностью.

6. Способ и схема вскрытия подземных запасов по критерию минимума суммарных капитальных затрат на вскрытие и эксплуатационных затрат на ВШТ. Оптимальное решение тесно связано с решением блоков 2–5, 7 и 8. С одной стороны, при системах с обрушением вскрытие целесообразно вертикальными стволами с поверхности, при системах с закладкой и сохранением бортов карьера в устойчивом состоянии возможны различные варианты, с другой — вскрытие обусловлено способом и схемой транспортирования горной массы и наличием ПОК.

7. Способ и схема транспортирования грузов (руда, порода, концентрат, хвосты обогащения) в рамках ГТС по критерию суммарных капитальных затрат на вскрытие и эксплуатационных затрат на транспорт в зависимости от вида (железнодорожный, автомобильный, комбинированный). Оптимальное решение по виду и схеме транспорта тесно связано с решением блоков 6, 8 и 9 поскольку обусловлено способом и схемой вскрытия, наличием ПОК, местом и способом утилизации отходов горно-обогатительного производства.

8. Рациональное место размещения обогатительного комплекса (на земной поверхности, под землей) по критерию суммарных капитальных затрат на вскрытие и эксплуатационных затрат на транспорт. Оптимальное решение здесь определяется капитальными затратами на проходку ГКВ, строительство ОК, ДЗК, ЗК и ЭЗ на закладочные работы, ВШТ, поверхностный транспорт руды до ОФ, обогащение руды. Необходима взаимоувязка с решением блоков 5–7 и 9, поскольку обусловливается системой разработки, способом и схемой вскрытия и транспортирования грузов и влияет на место и способ утилизации отходов горно-обогатительного производства.

9. Место (поверхность, карьер, подземное выработанное пространство) и способ утилизации отходов горно-обогатительного производства (закладка выработанного пространства, складирование, реализация хвостов СМС) по критерию замкнутости ГТС η. В этом блоке определяется также доля применения систем разработки с закладкой и с обрушением, и пути обеспечения замкнутости ГТС. Оптимальное решение тесно связано с решением блоков 5–7 и 8.

Видно, что все блоки взаимосвязаны друг с другом, при этом технологические блоки 4–9 служат технической основой (исходными данными) для принятия решений по концептуальным блокам 1–3.

Для разработки компьютерной программы выбора оптимального варианта ГС освоения подземных запасов при комбинированной разработке создан алгоритм, состоящий из 2 блоков данных (ввод-вывод информации), 6 логических и 15 вычислительных блоков (*рис. 8.23*).

8.3.3. Технико-экономическая оценка и выбор оптимального варианта геотехнологической стратегии

Моделирование и выбор оптимального варианта ГС освоения подземных запасов при комбинированной разработке месторождений в зависимости от множества

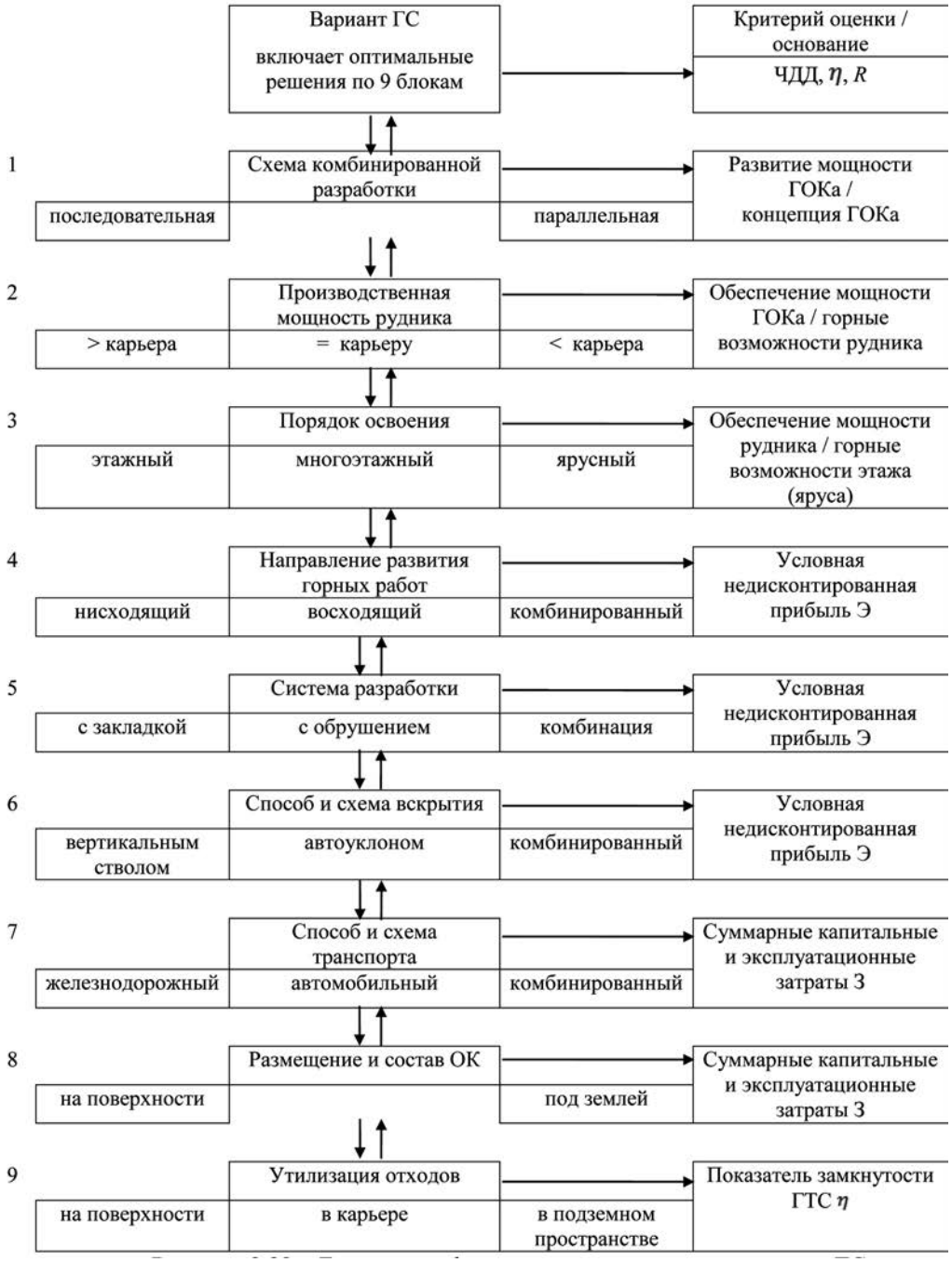


Рисунок 8.22. Блок-схема формирования и оценки вариантов ГС

изменяемых горно-геологических, горнотехнических и геоэкономических факторов выполнено на основе компьютерной программы в приложении Excel Microsoft Office.

Следует отметить, что затраты на социально-экономические последствия (СЭП) утилизации отходов на поверхности включают в себя капитальные (приобретение земли по нормативу в зависимости от кадастровой стоимости, плата за перевод в категорию промышленного назначения) и эксплуатационные (налог на землю, плата за размещение отходов на поверхности). При расчете ЧДД капитальные затраты на СЭП учитываются в общем потоке капитальных затрат равномерно по годам строительства рудника, эксплуатационные — по годам отработки месторождения. По вариантам ГС также определяется общая продолжительность строительства и продолжительность отработки в шаге освоения с учетом годовой производительности и количества извлекаемых запасов (табл. 8.14).

Для сравнения вариантов ГС по ЧДД составлены расчетные таблицы (*табл. 8.15*) и графики (*рис. 8.24*) потока капитальных вложений и эксплуатационных затрат, дохода от реализации продукции по годам при норме дисконта 12 %.

По каждому из двух критериев варианту ГС присвоены рейтинги $r_{ЧДД}$ и r_{η}. Более высокий рейтинг (минимальное количество баллов) получает вариант с лучшим значением критерия. Более высокое итоговое место в рейтинге получает вариант ГС с минимальным *R*. Видно (табл. 8.16), что наиболее эффективны варианты 2, 4 и 5 ГС.

Следующим этапом ЭММ является обеспечение максимальной степени замкнутости ГТС по критерию $\eta \to 1$. Анализ целевой функции (8.31) показывает, что добиться ее оптимума (равенства единице) можно, изменяя долю применения систем с закладкой, что приводит к изменению доли систем с обрушением

Таблица 8.14

Продолжительность строительства и отработки

Наименование выработки	Обозн.	Ед. изм.	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Строительство ствола	$T_{ств}$	мес.	16,7	13,3	16,7	16,7	16,7
Проведение квершлагов и штреков	$T_{кв\text{-}штр}$	мес.	51,5	51,5	39,2	51,5	39,2
Сооружение околоствольных дворов	$T_{ОД}$	мес.	27,6	27,6	34,5	27,6	34,5
Строительство ПОК	$T_{ПОК}$	мес.	0	0	79	0	79
Продолжительность строительства	**$T_с$**	**лет**	**8,0**	**7,7**	**14,1**	**8,0**	**14,1**
Округленные сроки строительства	**$T_{со}$**	**лет**	**8,0**	**8,0**	**14,0**	**8,0**	**14,0**
Извлекаемые запасы	$Q_{извл}$	тыс. т	103 434	106 238	106 238	104 890	104 890
Годовая производительность	$A_г$	тыс. т/ год	2 500	2 500	2 500	5 000	5 000
Продолжительность отработки	**$T_о$**	**лет**	**41,4**	**42,5**	**42,5**	**21,0**	**21,0**
Округленные сроки отработки	**$T_{оо}$**	**лет**	**41,0**	**42,0**	**42,0**	**21,0**	**21,0**

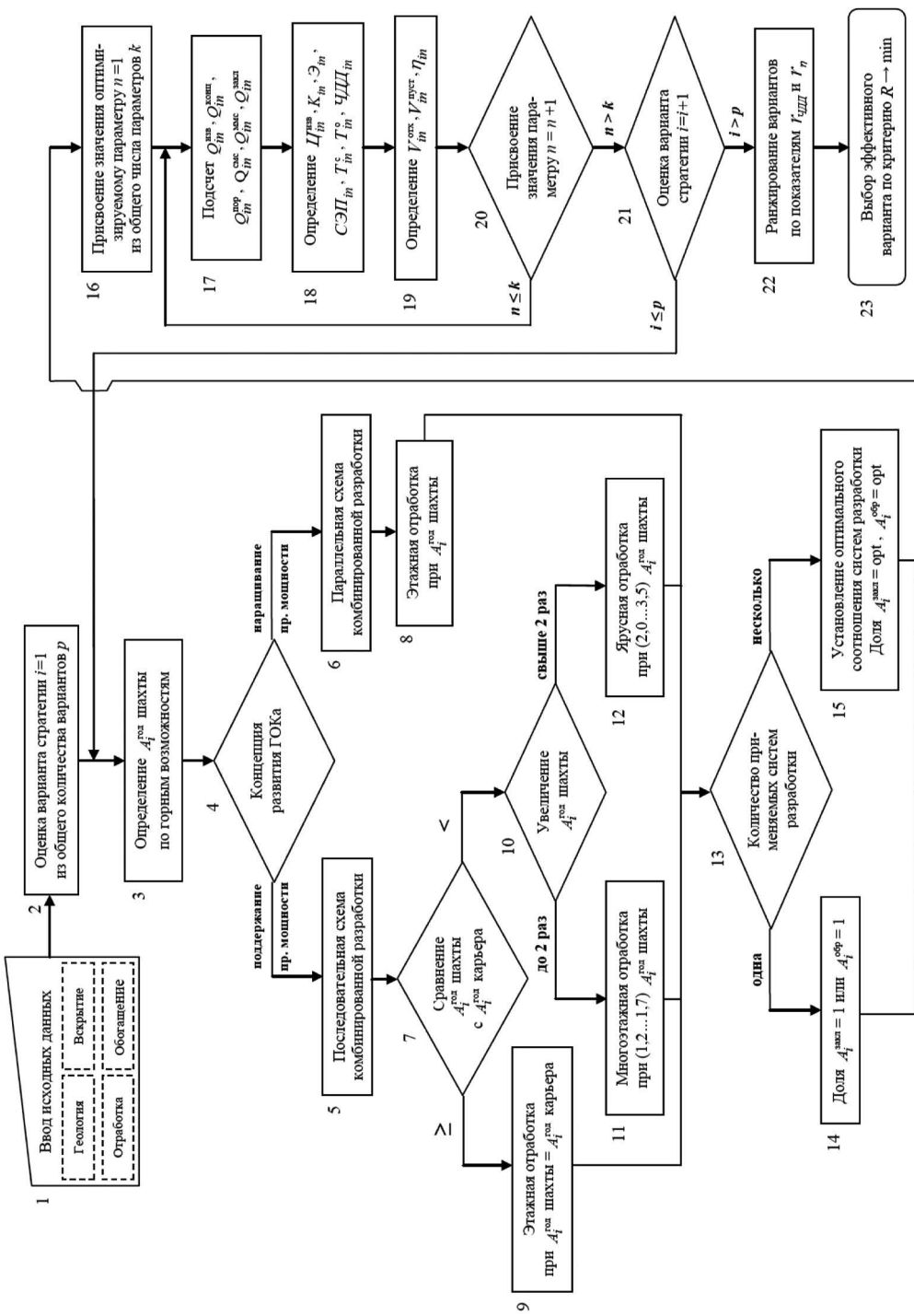


Рисунок 8.23. Алгоритм компьютерной программы выбора ГС

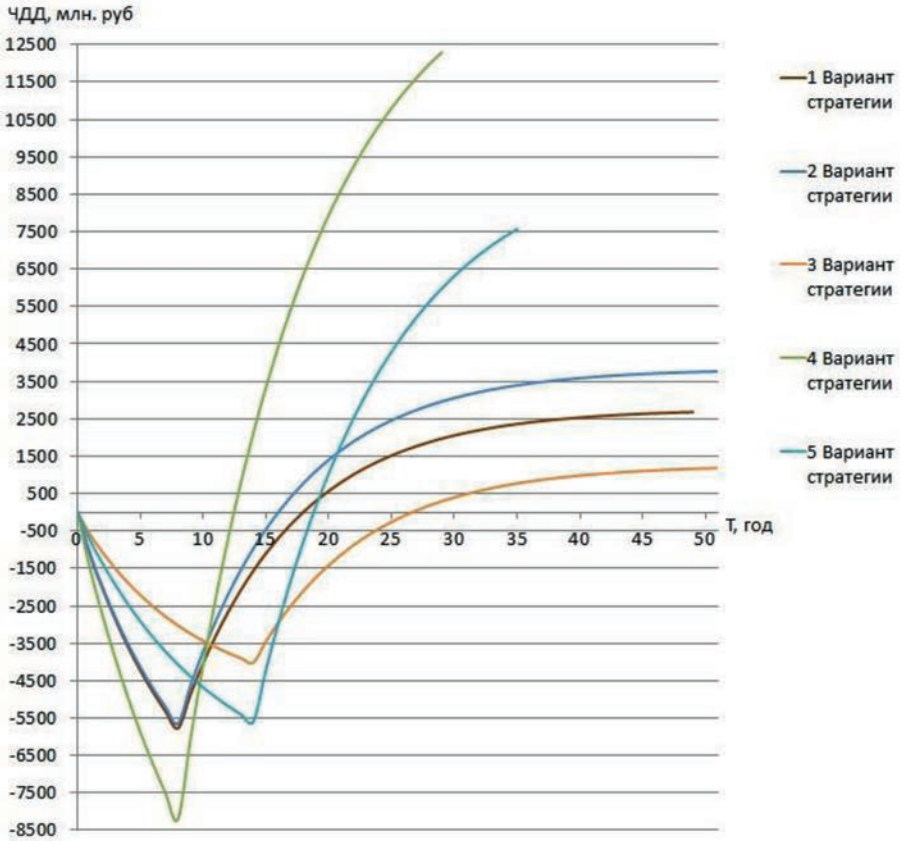


Рисунок 8.24. ЧДД по вариантам 1–5 ГС

в производственной мощности подземного рудника $A_{г}$. Процедура оптимизации заключается в постепенном увеличении $A^{заг}$ от 0,5 до 1 с шагом изменения, принятым 0,1 (*рис. 8.25*).

Анализ результатов ЭММ показал, что вариант 2 ГС оптимизировать по критерию $\eta \rightarrow 1$ не представляется возможным, поскольку доля применения систем с закладкой постоянна и равна 1. В свою очередь, разработанные технологические решения по вариантам 4 и 5 ГС более гибкие и позволяют адаптировать их к требованиям увеличения степени замкнутости ГТС за счет оптимизации баланса долей систем. Достижение оптимального баланса обеспечивается одновременной отработкой:

1) нижних этажей только системой с закладкой $A^{зак}$, верхних — только с обрушением $A^{обр}$. Такой баланс ограничен горными возможностями этажей и технически рационален в диапазоне $A^{зак} = (0{,}4 – 0{,}6)\, A^{год}$;

2) нижних этажей только системой с закладкой, верхних — системами с закладкой и с обрушением. Здесь баланс также ограничен горными возможностями этажей и технически рационален в диапазоне $A^{зак} = (0{,}4 – 1)\, A^{год}$. Технологически не представляется трудным применение в одном этаже разных систем, например,

Таблица 8.15

Показатели эффективности вариантов ГС

Показатель	Обозн.	Ед. изм.	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Fe = 29%							
Показатель замкнутости ГТС	**η**	**доли ед.**	**15**	**1,43**	**1,43**	**2,85**	**2,85**
Валовая прибыль	ВП	тыс. руб.	94 767 118	109 436 631	121 587 298	94 538 437	110 897 485
Прибыль на тонну добытой руды	Пр	руб./т	916,21	1 030,11	1 144,48	901,31	1 057,27
Извлекаемая ценность руды	$Ц_{изв}$	тыс. руб.	131 938 636	146 356 327	146 356 327	139 147 482	139 147 482
Удельная извлекаемая ценность	ц	руб./т	1 275,58	1 377,63	1 377, 63	1 326,60	1 326,60
Капитальные затраты	К	тыс. руб.	8 884 137	8 810 950	8 294 798	11 919 051	10 389 798
Эксплуатационные затраты	Э	тыс. руб.	27 855 776	27 896 807	16 339 205	32 428 362	17 707 067
Социально-экологические послед-ствия	СЭП	тыс. руб.	431 606,36	211 939,42	135 027,21	261 632,22	153 132,25
Суммарные затраты	Σз	тыс. руб.	37 171 519	36 919 696	24 769 030	44 609 044	28 249 997
Чистый дисконтированный доход	**ЧДД**	**тыс. руб.**	**2 678 157**	**3 766 288**	**1 180 724**	**12 289 475**	**7 569 821**

Таблица 8.16

Рейтинги вариантов ГС

При содержании Fe = 29 %							
Показатели	**Обозн.**	**Ед. изм.**	**Вариант 1**	**Вариант 2**	**Вариант 3**	**Вариант 4**	**Вариант 5**
Содержание металла в балансовых запасах	$С_1$	доли ед.	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Показатель отношения объема отходов к объему пустот	η	доли ед.	15,00	1,43	1,43	2,85	2,85
Место в рейтинге по возможности утилизации	$r_η$	бал.	5	1	1	3	3
Чистый дисконтированный доход	ЧДД	тыс. руб.	2 678 157	3 766 288	1 180 724	12 289 475	7 569 821
Место в рейтинге по ЧДД	$r_{ЧДД}$	бал	4	3	5	1	2
Комплексный эколого-экономический критерий	R	бал	9	4	6	4	5
Итоговое место в рейтинге			5	1	4	1	3

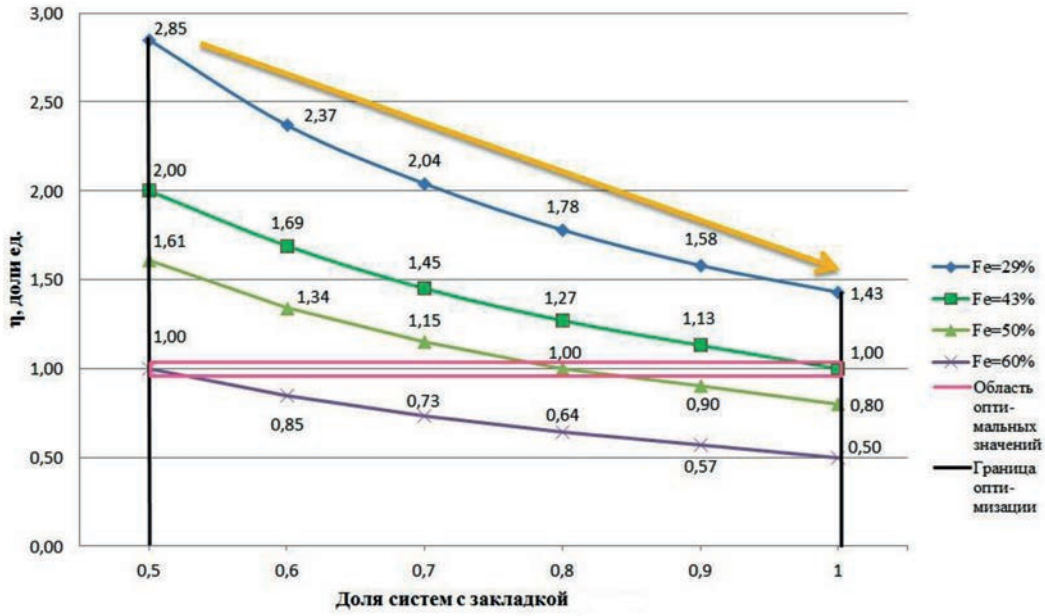


Рисунок 8.25. Зависимость η от доли систем с закладкой при различном содержании Fe в вариантах 4 и 5 ГС

путем выделения отдельных участков или отработки камер первой очереди системами с закладкой, а второй — с обрушением.

Результаты оптимизации вариантов 4 и 5 ГС по критерию η и их переоценка по *R* вследствие изменения ЧДД и η представлены в табл. 8.17.

Технико-экономическая оценка вариантов 2, 4 и 5 ГС, выполненная в результате оптимизации, показала, что полный переход на системы с закладкой ведет к увеличению извлекаемых запасов, показателей извлечения, количества хвостов СМС и ММС, породы и закладки, а также извлекаемой ценности, эксплуатационных затрат и продолжительности отработки месторождения; при этом снижаются объем хвостов, утилизируемых на поверхности, соответственно площадь хвостохранилища и затраты на СЭП.

При базовом содержании Fe = 29 % технически возможен и экономически целесообразен полный переход на системы с закладкой. После оптимизации показатель замкнутости ГТС улучшился в 2 раза — до η =1,43 (см. табл. 8.17). При этом излишки хвостов обогащения, складируемых на поверхности, минимальны. ЧДД вырос в варианте 4 ГС на 10,7 %, в варианте 5 ГС — на 10,2 %; при этом ЧДД по варианту 4 ГС по сравнению с вариантом 2 ГС больше в 3,6 раза, по сравнению с вариантом 5 ГС — в 1,6 раза.

Сравнение по комплексному эколого-экономическому критерию *R* позволяет сделать выбор оптимального варианта освоения подземных запасов при комбинированной разработке мощных глубокозалегающих рудных месторождений в пользу варианта 4 ГС. Видно, что вариант 5 ГС в результате оптимизации превзошел вариант 2 ГС за счет достижения равного η и более высокого ЧДД.

Рост ЧДД в оптимизированных вариантах ГС объясняется, в основном, сокращением выплат по статье СЭП вследствие сокращения объема хвостов, складируемых

Таблица 8.17.

Рейтинги вариантов ГС после оптимизации

При содержании Fe = 29 %							
Показатели	**Обозн.**	**Ед. изм.**	**Вариант 1**	**Вариант 2**	**Вариант 3**	**Вариант 4**	**Вариант 5**
Содержание металла в балансовых запасах	C_1	доли ед.	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Показатель отношения объема отходов к объему пустот	η	доли ед.	15,00	1,43	1,43	1,43	1,43
Место в рейтинге по возможности утилизации	$r_η$	бал.	5	1	1	1	1
Чистый дисконтированный доход	ЧДД	тыс. руб.	2 678 157	3 766 288	1 180 724	13 609 762	8 344 926
Место в рейтинге по ЧДД	$r_{ЧДД}$	бал	4	3	5	1	2
Комплексный эколого-экономический критерий	R	бал	9	4	6	2	3
Итоговое место в рейтинге			5	3	4	1	2

на поверхности. При базовом содержании Fe=29 % в варианте 4 ГС расходы по СЭП сократились на 31 %, а в варианте 5 ГС — на 53 %. Такая разница обусловлена тем, что в варианте 4 ГС для ОФ необходимы затраты на покупку земли, в то время как в варианте 5 ГС применяется подземный обогатительный комплекс и данные затраты отсутствуют. При содержании Fe ⩾ 43 % расходы по СЭП в варианте 5 ГС исключаются полностью.

Преимущество варианта 4 ГС перед вариантом 5 ГС по критерию ЧДД (во всем диапазоне содержания полезного компонента) может быть нивелировано за счет кардинального увеличения затрат на СЭП (приобретение земли по нормативу в зависимости от кадастровой стоимости, плата за перевод в категорию промышленного назначения, налог на землю, плата за размещение отходов на поверхности), что весьма вероятно в ближайшем будущем. Горнотехническим фактором, снижающим преимущество варианта 4 ГС, является, например длина транспортирования руды от рудника до ОФ. Следовательно, существуют и экономически оптимальные области применения ПОК. Благоприятными установленными факторами для его реализации являются увеличение затрат на СЭП и (или) затрат на транспортирование руды от рудника до ОФ. Так, при увеличении длины транспортирования с 5 до 19 км ЧДД по вариантам 4 и 5 ГС становится одинаковым. При увеличении норматива платы за отчуждение (покупка земель и перевод их в категорию промышленного использования) земель до 3000 руб/м^2 ЧДД по вариантам 4 и 5 ГС также становятся одинаковыми.

Оптимизация вариантов 4 и 5 ГС показала их преимущество по сравнению с традиционным вариантом 2, так, при базовом содержании Fe = 29 % и равной степени утилизации хвостов обогащения (η=1,43) величина ЧДД по варианту 2 ГС ниже в 3,6 и 2,2 раза по сравнению с вариантами 4 и 5 ГС. Срок освоения запасов месторождения в рассмотренном шаге составил 51, 29 и 35 лет, соответственно.

Заключение

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. Основные элементы существа современных воззрений на развитие горной науки, техники и технологии горного производства представлены ниже:

— методологический подход к решению проблем освоения недр, основанный на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности с учетом особенностей проектирования освоения новых месторождений, планирования и управления технологическими процессами на действующих горнодобывающих предприятиях;

— создание минерально-сырьевых центров — основы комплексного освоения недр и территорий в сложных природно-климатических условиях;

— инновационный технический, технологический и организационный потенциал основных процессов горного производства;

— ГИС-технологии — инструмент для принятия решений по комплексным проблемам освоения недр;

— оценка ресурсного потенциала и перспектив развития минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала;

— технологическая возможность и экологическая эффективность вовлечения в эксплуатацию отходов добычи руд черных и цветных металлов.

Сформулированы новые подходы к освоению недр Севера, связанные с реализацией стратегии ускоренного поэтапного освоения недр и принципа комплексного освоения территорий:

— ускоренное, комплексное изучение и разведка месторождений;

— экспрессная геолого-технолого-экономическая оценка горно-технических возможностей каждого рудного района;

— создание системы геоинформационного обеспечения с целью моделирования месторождений и программных комплексов для решения технологических, технических, экологических, экономических и других задач проектирования и планирования горных работ (пример: Тарыннахский ГОК в Якутии);

— приоритетность целей сокращения численности работающих за счет повышения производительности труда и отказа от непрофильных и вспомогательных производств;

— одна управляющая компания (холдинг) на территории административного образования с единой промышленной и социальной инфраструктурой (пример — Южная Якутия).

Предложены основные принципы проектирования технологий освоения северных месторождений:

— этапность ведения горных работ;

— высокопроизводительное мощное оборудование, техника в северном исполнении;

— поэтапный перевод горного оборудования с дизельным приводом на электрический;

— выделение технологических зон с учетом кластерного строения рудных залежей;

— организация системы эксплуатационного опробования с целью оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения;

— комплексное использование недр за счет извлечения максимума полезных компонентов и утилизации пород вскрыши и отходов обогащения;

— комплексный подход к развитию горного и машиностроительного комплексов;

— опережающие или параллельные оценки, позволяющие заблаговременно использовать результаты исследований основных факторов при выработке решений, рекомендаций или формулировании основных ограничивающих условий недропользования.

Основной формой реализации этих принципов является создание минерально-сырьевых центров.

Показано, что использование инновационного потенциала основных процессов горного производства на период до 2025 г. связано прежде всего с требованиями максимального снижения их энергоемкости и ресурсоемкости, для чего при модернизации и реконструкции производственных процессов следует исходить из тенденции целенаправленной типизации технологических схем и производственных процессов, ориентированных на наибольшее соответствие реальным горно-геологическим и горнотехническим условиям ведения работ, и использовать соответствующие им специализированные горные комплексы.

Сформулирован новый принцип размещения рудоподготовительных комплексов — максимальное приближение к местам выемки. Для карьеров это размещение установок сухой магнитной сепарации в прибортовой зоне или в непосредственной близости к отвалам пустых пород, для подземных рудников — организация подземных рудоподготовительных комплексов. Изменение порядка образования и мест складирования хвостов сухой магнитной сепарации приводит к сокращению общего объема перевозок и перегрузок руды, а также уменьшению нагрузки на ДОФ, что приведет к существенному снижению уровня загрязнения атмосферы и общему снижению транспортных расходов.

При прогнозировании технологических мер компенсации ухудшения качества минеральных ресурсов и повышения степени использования забалансовых ресурсов

недр показано, что организация рудоподготовки на местах ведения горных работ значительно уменьшает риски реализации инвестиционных проектов за счет общего снижения совокупных эксплуатационных затрат, обеспечивающегося улучшением логистической составляющей перемещаемых и перерабатываемых объемов горной массы, а также сокращением капиталоемкости горно-обогатительного производства.

Расширение рудной базы медной подотрасли может быть достигнуто за счет вовлечения в разработку забалансовых руд и организации рентгенорадиометрических рудоподготовительных комплексов. Развивающиеся технологии рудоподгототовки на базе рентгенорадиометрической сепарации повышают содержание меди в руде в 1,5–2,0 раза. Установлен эффект 3–3,5-кратного повышения содержания меди в подрешетном продукте класса -30 мм на стадии подготовки забалансовых руд к сепарации.

Расширение сырьевой базы титаномагнетитов, повышение выхода металла в концентрат и снижение расхода сырой руды достигается внедрением сквозной комплексной технологии ее глубокой переработки, основанной на выделении технологических типов руды, классифицированных по содержанию титана и ванадия, текстуре отрабатываемых руд и их магнитным свойствам.

Сформирована комплексная модель инновационной технологии добычи и переработки титаномагнетитовых руд, основными чертами которой являются: типизация руд по текстуре, содержанию и обогатимости; отказ от существующей валовой выемки руд с развитием селективной добычи; организация усреднения и рудоподготовки с переработкой руд по типам и получением обособленных (или коллективных) высококачественных концентратов; модернизация технологии плавки железорудного высокотитанистого сырья, а также сырья с повышенным содержанием ванадия.

Сформирована структура комплексных исследований при построении горных геоинформационных систем, определена последовательность создания геоинформационных моделей при решении комплексных задач горного производства. На конкретных примерах показаны схемы формирования 3D-моделей Эльгинского месторождения, погоризонтное выделение и моделирование рудных зон и данных опробования показателей качества карьеров Качканарского ГОКа, ряда россыпных месторождений.

Разработана обобщенная структура пилотной геоинформационной модели «Комплексное освоение природного и техногенного сырья Урала».

На основании выполненных комплексных исследований следует отметить тот факт, что целевое планирование развития горно-металлургического комплекса УрФО и системный прогноз технологических и экологических последствий развития железорудной базы уральских металлургических предприятий следует связывать с отработкой титано-магнетитовых руд.

Увеличение прогнозного потенциала геотехнологий подземной разработки прежде всего связано с повышением их эффективности на больших глубинах и, особенно, применительно к специфичным горно-геологическим условиям ведения работ. Эффективность технологии очистной выемки переходных зон малых и средних месторождений определяется применяемым способом изоляции подземных очистных выработок от карьерного пространства (рудным или искусственным массивом, специальными инженерными сооружениями, массивом разрыхленных пород) и оптимизацией показателей извлечения.

Обоснована необходимость дополнения предметных областей геологоразведочного и горно-металлургического комплекса гидрометаллургическими методами переработки минерального сырья:

— при отработке медноколчеданных месторождений Урала применение комбинации восходящей выемки и подземного выщелачивания сульфидсодержащих отходов обогащения явится основой для применения новой физико-химической геотехнологии;

— разработан инновационный автогенный способ выщелачивания ванадиевого шлака, применение которого повышает извлечение ванадия из шлака на 19,9 % (патент № 2453619, 2012 г.).

К основному направлению инновационного совершенствования технологических параметров процессов горного производства и обеспечения стабилизации его показателей с ростом глубины карьеров и ухудшением условий эксплуатации следует отнести техническое перевооружение и модернизацию геотехники, обеспечивающей энерго- и ресурсосбережение при ведении горных работ.

При создании минерально-сырьевой базы организация промышленной и социальной инфраструктуры в труднодоступных регионах является самым затратным элементом, поэтому основой стратегии создания и эксплуатации МСБ в этих случаях является комплексность освоения недр при одновременном налаживании открытой инфраструктуры эксплуатирующих предприятий, в наибольшей степени интегрированных в общую экономическую структуру региона и страны в целом. Освоение новых месторождений и расширение сырьевой базы, в особенности в северных районах Урала, в Якутии, на Дальнем Востоке с недостаточно развитой инфраструктурой, требует принципиально нового подхода к выработке стратегии формирования горнопромышленных комплексов с единой, открытой производственной инфраструктурой для разработки нескольких месторождений в каждом из районов их расположения, включающей источники энергии, водоснабжения, ремонтные базы, объекты социальной сферы, перерабатывающие предприятия и т.п. Таким образом принцип комплексного освоения недр дополняется принципом комплексного освоения территорий.

Перспективы промышленного внедрения инновационной экологоориентированной геотехнологии в рамках разработанных вариантов геотехнологической стратегии (ГС) связаны с освоением глубоких горизонтов Ново-Естюнинского и Северо-Гороблагодатского железорудных месторождений Урала.

Разработана новая технологическая схема экологоориентированной геотехнологии комплексной добычи и переработки железных руд, включающая вскрытие, подготовку, разработку с обрушением верхних этажей и камерную выемку нижних этажей, транспортирование руды до перегрузочно-обогатительного комплекса, подземное обогащение, транспортирование хвостов обогащения до погашаемых камер, закладку выработанного пространства, транспортирование и подъем концентрата на поверхность, позволяющая весь объем отходов горно-обогатительного производства, получаемых в рамках горно-технической системы (ГТС), утилизировать в подземном выработанном пространстве.

Создана экономико-математическая модель вариантов ГС, представляющая собой совокупность алгоритма их формирования, методик расчета технико-экономических показателей и разработанной компьютерной программы, позволяющая моделировать и выбирать оптимальный вариант.

Разработанный методологический подход возможно реализовать непрерывным мониторингом развития горнотехнической системы горнообогатительного предприятия, своевременной разработкой переходных процессов на всех стадиях освоения месторождения и реализацией рекомендаций по совершенствованию требующих изменения параметров и технологий в связи с изменяющимися внутренними и внешними условиями функционирования горного предприятия.

Главным показателем, характеризующим высокую степень новизны исследований, является дальнейшее развитие программно-целевого методологического подхода к исследованию проблем освоения недр путем введения принципиально нового понятия «переходные процессы» и учета закономерностей их развития при разработке инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья.

В монографии особое внимание уделено минерально-сырьевой базе уральских предприятий, которая сокращается, но не истощается. Она или недоразведана, или не обеспечена современной проектной документацией, или нуждается в совершенствовании технологии добычи и переработки. Современный этап развития горнодобывающего комплекса требует разработки стратегии развития его сырьевой базы, обеспечивающей реализацию приоритетных программ отечественного машиностроения, металлургии, промышленности строительных материалов и других (Легированные стали, Энергетическая безопасность, Машиностроение для арктических регионов), основанной на опережающем целевом поиске и ускоренной комплексной геологической разведке месторождений твердых полезных ископаемых, углей, редких земель, драгоценных и благородных металлов и пр. полезных ископаемых. Резервами, восполняющими погашаемые запасы горнорудного сырья, в первую очередь следует считать балансовые запасы глубоких горизонтов, забалансовые руды, ресурсы техногенных образований, в тои числе образующиеся в виде гидроминерального сырья при затоплении рудников и карьеров. Ресурсы арктической зоны Урала рекомендуется поэтапно осваивать в соответствии со сформулированным принципом комплексного освоения территорий. Возрастающая роль комплексного освоения недр, обусловленная снижением качества полезных ископаемых в недрах, требует отказа от производства моносырья, которое в ряде случаев становится нерентабельным. Организация комплексной переработки бедной сырой руды и промышленных отходов позволит более гибко увязывать объемы производства с колебанием цен на производимое сырье.

Одной из проблем уральского региона является финансовое, организационное и техническое обеспечение безопасной эксплуатации, сохранения и полезного использования ранее подработанных территорий Североуральска, Нижнего Тагила, Левихи, Верхней Пышмы, Березовска, Дегтярска (в Свердловской области), а также территорий бывшей подземной и открытой угледобычи Челябинской области, подземной добычи магнезита (Сатка) и железных руд (Бакал) и других полезных ископаемых.

Основным препятствием для широкого внедрения мероприятий по переработке отходов горного производства является несовершенство существующей нормативно-правовой базы, которое не различает отработку «новых» месторождений и техногенных образований: во всех случаях необходима доразведка и постановка на баланс ГКЗ запасов полезного ископаемого. Необходимо разграничение и обоснование вида техногенных образований, переработка которых будет осуществляться в соответствии с Законом «О недрах» или в соответствии с законодательством об обращении

с отходами производства, упрощающем и удешевляющем процесс их утилизации и захоронения.

Острой является проблема компенсации противоречий между Законом «О недрах» и содержанием водного и лесного кодексов, препятствующих развитию и поддержанию сырьевой базы не только золоторудных предприятий, но и Качканарского ГОКа (оформление земельного и горного отводов для ведения горных работ). В последние годы возникли проблемы «экологического экстремизма», связанные с общественным противодействием реализации уже согласованных и прошедших все стадии государственной экспертизы проектов разработки новых месторождений. Появляется целый блок нерешенных социально-правовых вопросов, регламентирующих взаимоотношения населения региона, администрации строящегося предприятия и собственников проекта.

Анализ подходов к обеспечению конкурентоспособности уральских горных предприятий свидетельствует о том, что основными направлениями их инновационного развития и модернизации производства являются мероприятия по:

— освоению новых и реконструкции действующих производств с изменением параметров систем разработки и вскрытия;

— комплексному использованию минерального сырья и освоению выпуска новых видов продукции;

— внедрению современного энергоэффективного оборудования, в том числе большой единичной мощности;

— обеспечению снижения энергоемкости и трудоемкости получения готовой продукции;

— инновационным решением в области управления качеством минерального сырья;

— энергоэффективной комплексной переработке техногенного сырья;

— автоматизированному управлению и контролю за технологическими процессами (цифровизация производства).

Список использованных источников

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

2. Asim. K. Mukherjee, Dilip. Makhija, AbhayPatra, TamalGhosh. Process to recover iron values from high alumina Indian iron ore slime: A bench scale study // XXVII International Mineral Processing Congress. Chapter 7. New applications of flotation of non-sulfide ores. 2014., Santiago (Chile). - P. 115–123.

3. Cleaner production in mining industry: a flowsheet for underground mining of iron ore deposit / A. Medvedev, I. Sokolov, N. Gobov, A. Smirnov // 14th SGEM GeoConference on Science and Technologies In Geology, Exploration and Mining, www.sgem.org, SGEM2014 GeoConference:Proceedings, ISBN 978–619–7105–09–4 / ISSN 1314–2704, June 19–25, 2014, Vol. 3. – P. 85–90.

4. Monestiez Pascal GeoENV III – Geostatistics for Environmental Applications / P. Monestiez, A. Denis, F. Roland. – New York: Springer, 2001. – 555 p.

5. Oy Leuangthong. Solved Problems in Geostatistics / Oy Leuangthong, K. Daniel Khan, Clayton V. Deutsch. – Wiley, 2008. –208p.

6. Rivoirard J. Introduction to disjunctive kriging and non-linear geostatistics / J. Rivoirard. – Oxford: Clarendon Press, 1994. – 181p.

7. Sokolov I. V. Systematization and economic-mathematical modeling the development of underground reserves by combined deposits mining / I. V. Sokolov, Yu. G. Antipin // Eurasian mining. – 2012. – №1. – P. 29 – 32.

8. The Characteristic of Ores and Concentrates of the Open Society «EVRAZ KGOK» / A. N. Dmitriev, G. Yu. Vitkina, R. V. Petukhov., S. V. Kornilkov., A. E. Pelevin, A. Y. Fishman, T. V. Sapozhnikova, K. Y. Shunyaev // Advanced Materials Research, 2014. – Vol. 834 – 836. – P. 364 – 369.

9. Titanium Ores and Concentrates and their Treatment /Andrey Dmitriev, Galina Vitkina, Roman Petukhov, Yury Chesnokov // Proceedings of 2014 Sustainable Industrial Processing Summit:Shechtman International Symposium. June 29 – July 04, 2014, Cancun, Mexico. Volume 3: Non-Ferrous, Iron and Steel. Edited by Florian Kongoli, Flogen, 2014. P. 359 – 368.

10. Агошков М. И. Научные основы оценки экономических последствий потерь полезных ископаемых при разработке месторождений / М. И. Агошков. – М.: ИФЗ АН СССР, 1972. – 150 с.

11. Агошков М. И. Разработка рудных месторождений / М. И. Агошков. –Свердловск – М.: Металлургиздат, 1945. – 462 с.

12. Аленичев В. М. Моделирование природно-сырьевых технологических комплексов (горное производство) / В. М. Аленичев, В. И. Суханов, В. С. Хохряков; под ред. В. Л. Яковлева – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1998. – 165 с.

13. Арсентьев А. И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей / А. И. Арсентьев. – М.: Недра, 1981. – 278 с.

14. Арсентьев А. И. Определение производительности и границ карьеров / А. И. Арсентьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1970. – 319 с.

15. Бастан П. П. Теория и практика усреднения руд / П. П. Бастан, Е. И. Азбель, Е. И. Ключкин. – М.: Недра, 1979. – 255 с.

16. Бастан П. П. Усреднение руд на горнообогатительных предприятиях / П. П. Бастан, Н. Н. Болошин. – М.: Недра, 1981. – 280 с.

17. Батугин С. А. Закономерности развития горного дела / С. А. Батугин, В. Л. Яковлев. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. – 116 с.

18. Белова А. Г. О технологической платформе «Твердые полезные ископаемые» / А. Г. Белова, С. В. Корнилков // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 7 – 9.

19. Борисков Ф. Ф. Автогенные методы получения температурных энергетических воздействий и использование их для повышения эффективности освоения недр / Ф. Ф. Борисков, Н. Ю. Антонинова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 9. – С. 115 – 120.

20. Валиев Н. Г. Геоэкологические аспекты применяемых геотехнологий на урбанизированных территориях Урала / Н. Г. Валиев, О. В. Славиковский, Ю. О. Славиковская // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 4. – С. 378– 382.

21. Ван-Ван-Е А. П. Методологические аспекты стратегии развития горнопромышленного комплекса Дальнего Востока / А. П. Ван-Ван-Е, Ю. А. Мамаев // Горный журнал. – 2009. – № 10. – С. 22 – 24.

22. Васильев М. В. Научные основы проектирования и эксплуатации автомобильного транспорта на открытых горных разработках / М. В. Васильев. – Свердловск, 1962 – 332с. – (Труды / ИГД УФАН СССР. – Вып.1).

23. Васильев М. В. Научные основы проектирования карьерного транспорта / М. В. Васильев, В. Л. Яковлев; отв. ред. Мельников Н. В. – М.: Наука, 1972. – 202 с.

24. Васильев М. В. Транспорт глубоких карьеров / М. В. Васильев. – М.: Недра, 1983. – 295 с.

25. Викторов С. Д. Крупномасштабное взрывное разрушение горных массивов сложной структуры с селективной выемкой полезного ископаемого / С. Д. Викторов, В. М. Закалинский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – ОВ №1 Труды научного симпозиума Неделя горняка 2013. – С. 70 – 79.

26. Виницкий К. Е. Применение математических методов при проектировании карьеров: обзор / К. Е. Виницкий, Э. И. Реентович. – М.: ЦНИЭИуголь, 1968. – 113 с.

27. Виницкий К. Е. Управление параметрами технологических процессов на открытых разработках / К. Е. Виницкий. – М.: Недра, 1984. – 237 с.

28. Волков Ю. В. Оптимизация подземной геотехнологии в стратегии освоения рудных месторождений комбинированным способом / Ю. В. Волков, И. В. Соколов // Горный журнал. – 2011. – № 11. – С. 41 – 44.

29. Волков Ю. В. Тенденции мирового развития горнорудной промышленности / Ю. В. Волков, Б. М. Завьялов, И. В. Соколов // Горная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 62–64.

30. Геоинформационная плотность математических моделей горного предприятия / В. С. Хохряков, С. В. Корнилков, М. Н. Сивков и др. // Известия вузов. Горный журнал.– 1990. –N 9. – С.14 – 20.

31. Геотехнологическая оценка минерально-сырьевой базы России / под ред. Трубецкого К. Н., Чантурия В. А., Каплунова Д. Р.– М.: ИПКОН РАН, 2008. – 464 с.

32. Геоэкологическая оценка земле- и водопользования в районах освоения природного и техногенного сырья Урала / Н. Ю. Антонинова, Л. С. Рыбникова, Ю. О. Славиковская, П. А. Рыбников, Л. А. Шубина // Физико–технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 2. – С. 194 – 200.

33. Глебов А. В. Выбор горнотранспортного оборудования в системах циклично-поточной технологии карьеров / А. В. Глебов, Г. Д. Кармаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – ОВ № 11 Проблемы недропользования. – С. 340– 358.

34. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / К. Н. Трубецкой, Ю. Н. Малышев, Л. А. Пучков, В. Л. Яковлев и др. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 478 с.

35. Дизель-троллейвозный транспорт на карьерах / В. Л. Яковлев, В. П. Смирнов, Ю. И. Лель, Э. В. Горшков. – Новосибирск: Наука , 1991. – 104 с.

36. Дюбченко В. А.Перспективы повышения качества железорудного концентрата / В. А. Дюбченко, Т. И. Тасина // Обогащение руд. – 2012. – № 6. – С. 7 – 12.

37. Ельников В. Н. Безотходное производство железорудного концентрата ближайшего будущего / В. Н. Ельников, С. Г. Лейзерович // Горный журнал. – 2003. – № 4. – С. 13– 15.

38. Зотеев В. Г. Перспектива извлечения цветных металлов, выносимых на поверхность рудничными водами на отработанных месторождениях / В. Г. Зотеев, О. В. Зотеев, С. В. Корнилков // Комбинированная геотехнология: Развитие физико-химических способов добычи: труды по материалам международной конференции 18 – 21 июня 2007 г. – Магнитогорск – Сибай: МГТУ, 2009. – С. 76– 81.

39. Зурков П. Э. Разработка рудных месторождений открытым способом / П. Э. Зурков. – Свердловск – М.: Металлургиздат, 1953. – 527 с.

40. Изучение металлургических свойств титаномагнетитового сырья / Г. Ю. Виткина, А. Н. Дмитриев, Р. В. Петухов, Ю. А. Чесноков // Черная металлургия: бюллетень.– 2015. – № 12. – С. 26 – 29.

41. Изыскание подземной геотехнологии восходящей выемки золоторудного месторождения с применением сухой закладки / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Ю. Г. Антипин, К. В. Барановский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015.– № 9. – С. 14 – 19.

42. 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.

43. Каплунов Д. Р. Комбинированная геотехнология / Д. Р. Каплунов, В. Н. Калмыков, М. В. Рыльникова. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. – 560 с.

44. Каплунов Д. Р. Особенности проектирования подземных рудников в системе комплексного освоения месторождений / Д. Р. Каплунов, Б. В. Болотов. – М.: ИПКОН, 1988. – 178 с.

45. Каплунов Д. Р. Развитие теории проектирования и реализация идей комплексного освоения недр / Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 4. – С. 20 – 41.

46. Каплунов Д. Р. Современное содержание методологии проектирования освоения недр / Д. Р. Каплунов // Недропользование – XXI век. – 2008. – № 1. – С. 32 – 34.

47. Кармаев Г. Д. Опыт проектирования, эксплуатации и перспективы развития цикличноточной технологии на рудных карьерах / Г. Д. Кармаев, А. В. Глебов, В. А. Берсенев // Горная техника. Добыча, транспортировка и переработка полезных ископаемых: каталог-справочник. – СПб.: ООО ”Славутич”, 2013. – № 1 (11). – С. 66 – 70.

48. Кианитовые руды России / В. Н.Огородников, В. А. Коротеев, Ю. Л.Войцеховский и др. / Институт геологии и геохимии УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 334 с.

49. Комплексная экологоориентированная подземная геотехнология добычи и обогащения железных руд / И. В. Соколов, Н. В. Гобов, А. А. Смирнов, А. Н. Медведев // Экология и промышленность России. – 2013.– № 6. – С.16 – 20.

50. Комплексное освоение месторождений / К. Н. Трубецкой, В. А. Чантурия, Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова. – М.: Наука, 2010. – 437 с.

51. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья / К. Н. Трубецкой, В. А. Чантурия, Д. Р. Каплунов и др. – М.: Наука, 2010. – 440 с.

52. Комплексное освоение рудных месторождений: проектирование и технология подземной разработки / Д. Р. Каплунов, И. И. Помельников, В. И. Левин и др. – М.: ИПКОН РАН, 1998. – 383 с.

53. Концепция комплексного промышленного освоения Приполярного Урала на основе опережающего развития транспортной и энергетической инфраструктуры. Раздел «Недропользование»: отчет о НИР / Департамент по нефти, газу и минеральным ресурсам Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / ОАО «НПЦ «Мониторинг»; рук. Золоев К. К., Федоров О. П. – Екатеринбург – Ханты-Мансийск, 2005. – 205 с.

54. Концепция сырьевого обеспечения металлургического производства. Технологии освоения месторождений при реализации программы Урал промышленный – Урал Полярный / С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев, А. Г. Талалай и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 10. – С. 373 – 381.

55. Корнилков С. В. Геометризация качественных показателей Эльгинского месторождения каменного угля / С. В. Корнилков, Ю. В. Лаптев, А. М. Яковлев // Уральская горная школа – регионам: междунар. науч.-пром. симпозиум 21–28 апреля 2009 / УГГУ. – Екатеринбург, 2009. – С. 92 – 94.

56. Корнилков С. В. Железорудные месторождения Приполярного Урала как перспективная сырьевая база уральской металлургии / С. В. Корнилков, В. Д. Кантемиров // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 2–5.

57. Корнилков С. В. Концептуальные вопросы изучения техногенных минеральных объектов и прогноз их формирования и комплексного освоения / С. В. Корнилков, В. А. Коротеев, В. Л. Яковлев // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований. Техноген– 2014: труды Конгресса с междунар. участием и элементами школы молодых ученых: сб. докл. / РАН, Правительство Свердловской обл., УГМК, ИМЕТ УрО РАН. – Екатеринбург: Уральский рабочий, 2014. – С. 27 – 35.

58. Корнилков С. В. О поддержке сырьевой базы и основных направлениях инновационного развития медной подотрасли Урала / С. В. Корнилков, С. А. Рыльков, В. С. Шемякин // Проблемы недропользования. – 2014. – № 3. – С. 46 – 55. – DOI: 10.18454/2313–1586.2014.03.045.

59. Корнилков С. В. Об основных положениях методики экспресс-оценки главных параметров и технологий горнодобывающего предприятия / С. В. Корнилков // Горный информационно-аналитический бюллетень. –2010. – ОВ № 4 Дальний Восток–1.– С. 34 – 44.

60. Корнилков С. В. Обоснование выбора вариантов формирования стратегии поддержания рудной базы крупного добывающего предприятия / С. В. Корнилков, В. П. Бобров // Известия вузов. Горный журнал. – 2008. –№ 3. – С. 64 – 73.

61. Корнилков С. В. Основные тенденции производства и потребления железорудного сырья в России / С. В. Корнилков, В. Д. Кантемиров // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 14 – 19.

62. Корнилков С. В. Особенности формирования горнопромышленных комплексов Дальневосточного и Уральского регионов / С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев, Ю. А. Мамаев и др. // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 6. – С. 4 – 11.

63. Корнилков С. В. Оценка перспектив развития открытой добычи хромитовых руд на Урале / С. В. Корнилков, А. Д. Стариков, С. В. Исаков, В. Л. Беляев и др. // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. – Екатеринбург, 2008. – С. 58 – 66. – (Сб. науч. тр. / ИГД УрО РАН. – Вып. 4(94)).

64. Корнилков С. В. Перспективы освоения угольного потенциала Приполярного Урала / С. В. Корнилков, Ю. В. Лаптев, В. Д. Кантемиров // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. –№ 2. – С. 30 – 37.

65. Корнилков С. В. Стратегия освоения месторождений твердых полезных ископаемых Приполярного Урала / С. В. Корнилков, Ю. В. Лаптев, В. Д. Кантемиров // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 11–17.

66. Коротеев В. А. Небокситовое алюминиевое сырье России / В. А. Коротеев, В. Н. Огородник. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 229 с.

67. Лаптев Ю. В. Предобогащение руд и техногенного сырья с оптимальными параметрами грохотильно-перегрузочных складов / Ю. В. Лаптев, Р. С. Титов // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: конференция с международным участием: докл. – Екатеринбург: УГГУ, 2010 – С. 107 – 111.

68. Лускатова О. В. Оценка экономической устойчивости горного предприятия при управлении комплексом рисков: автореф. дис. … д-ра экон. наук / О. В. Лускатова; Всероссийский научно-исследовательский институт экономики минерального сырья и недропользования. – М., 2004. – 48 с.

69. Мельников Н. В. Основы поточной технологии открытой разработки месторождений / Н. В. Мельников, К. Е. Виницкий, М. Г. Потапов. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – 175 с.

70. Мельников Н. В. Роль горной школы Урала в развитии открытого способа разработки / Н. В. Мельников // Горный журнал. – 1972. – № 3. – С. 23 – 26.

71. Мельников Н. Н. Новая концепция разработки месторождений глубокими карьерами / Н. Н. Мельников, А. А. Козырев, С. В. Лукичев // Горный журнал. – 2009. – №11. – С.7 – 11.

72. Мельников Н. Н. Открытые горные работы – глубокие карьеры / Н. Н. Мельников // Глубокие карьеры: сб. докладов Всероссийской научно-техн. конф. с междунар. участием 18–22 июня 2012г. / ГоИ КНЦ РАН. – Апатиты – СПб., 2012. – С. 13–18.

73. Методика обоснования стратегии поддержания минерально-сырьевой базы комбината «Магнезит» / С. В. Корнилков, М. Н. Ковалев, Ю. В. Лаптев, М. Г. Саканцев, А. А. Смирнов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014.– № 8. – С. 221 – 227.

74. Минаев Д. Ю. Концепция восходящей отработки крутопадающих рудных месторождений / Д. Ю. Минаев, Э. И. Богуславский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 11. – С. 241 – 245.

75. Минерально-сырьевая база и перспективы развития горнопромышленного комплекса Свердловской области / А. В. Мельников, Ю. В. Лаптев, В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов // Горный журнал. – 2012. – № 1. –С. 22 – 24.

76. Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации: в 2-х т.: Т.1: Прогнозно-металлогенический анализ; Т. 2: Минерально-сырьевой и стоимостной анализ / науч. ред. Петров О. В. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – т. 1 – 223 с.; т. 2 – 491 с.

77. Минерально-сырьевые ресурсы РФ на 01.01.2012 г.: госдоклад – М.: МПР РФ, 2012. – 276 с.

78. Морфогенические типы и технология обогащения кианитовых руд / В. Н. Огородников, В. А. Коротеев, Ю. Л. Войтеховский и др. / Институт геологии и геохимии УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2013. – 310 с.

79. Направления развития и опыт применения подземной геотехнологии с использованием самоходной техники на уральских рудниках / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Ю. Г. Антипин и др. // Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2013. – № 4. – С. 66 – 74.

80. Научное обоснование и разработка новых методов эффективного и экологически безопасного освоения природных и техногенных месторождений Урала: Гл. 2.2.3. / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков [и др.] // Проблемы минерагении России / Под ред. Рундквиста Д. В., Бортникова Н. С., Сафонова Ю. Г.; РАН Отд. наук о Земле. – М.: Изд-во ГЦ РАН, 2012. – С. 471 – 486.

81. Новая технология разработки рудных месторождений подземным способом [Электронный ресурс] / Н. С. Ефремцев, В. Ф. Абрамов, В. И. Лушников, Г. М. Бурмин, А. А. Сажнев. – Режим доступа: http://urls.by/ovn.

82. Новожилов М. Г. Глубокие карьеры / М. Г. Новожилов, В. Г. Селянин, А. Е. Троп. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 276 с.

83. Новожилов М. Г. Новая технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых / М. Г. Новожилов, В. Г. Селянин, Б. Н. Тартаковский. – Киев: Гостехиздат УССР, 1961. – 206 с.

84. Новые решения в развитии циклично-поточной технологии / В. Л. Яковлев, Г. Д. Кармаев, В. А. Берсенев, И. Г. Сумина // Горный журнал. – 2016. – № 10. – С. 54 – 64.

85. О концепции создания геоинформационной системы «Безопасность природо- и недропользования» / С. В. Корнилков, П. А. Рыбников, А. С. Ведерников, А. А. Панжин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – СВ № 23 Информационные технологии в реализации экологической стратегии развития горнодобывающей отрасли. – С. 32 – 43.

86. О моменте ввода циклично-поточной технологии на карьерах / В. Л. Яковлев, Г. Д. Кармаев, В. А. Берсенев, И. Г. Сумина // Известия вузов. Горный журнал.– 2015. – № 3. – С. 4 –11.

87. Об эффективности применения циклично-поточной технологии горных работ на карьерах / В. Л. Яковлев, Г. Д. Кармаев, В. А. Берсенев, А. В. Глебов, А. В. Семенкин, И. Г. Сумина // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых.– 2016. – № 1. – С.100 – 109.

88. Орлов В. П. Минерально-сырьевая база и минерально-сырьевой комплекс в экономике северных и восточных регионов / В. П. Орлов // Минеральные ресурсы. Экономика и управление. – 2013. – № 5. – С. 2 – 5.

89. Особенности формирования горнопромышленных комплексов Дальневосточного и Уральского регионов / С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев, Ю. А. Мамаев и др. // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 6. – С. 4 – 11.

90. Отработка подкарьерных запасов трубки «Удачная» в сложных климатических, горно- и гидрогеологических условиях / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Ю. Г. Антипин и др. // Горный журнал. – 2011. – № 1. – С. 63 – 66.

91. Патент № 2385956 Российская Федерация, МПК C 22 B 3/04, C 22 B 15/00. Способ подземного выщелачивания сульфидсодержащих материалов / Волков Ю. В., Борисков Ф.Ф., Соколов И. В. и др.; патентообладатель: Институт горного дела УрО РАН. – № 2009119083; заявл. 2009; опубл. 2010, БИПМ – № 6 (II ч.). – С. 478.

92. Патент на изобретение № 2353769 Российская Федерация, МПК E21C 4126. Борт карьера / В. Л Яковлев, В. А. Берсенёв, Ю. А. Бахтурин; патентообладатель ИГД УрО РАН; № 2007118629; заявл. 18.05.2007; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 12.

93. Патент на изобретение № 2398110 Российская Федерация, МПК E21C 41/26. Способ вскрытия карьеров / Яковлев В. Л., Берсенёв В. А., Бахтурин Ю. А.; патентообладатель ИГД УрО РАН. – № 2009106307; заявл. 24.02.2009; опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24.

94. Патент на изобретение № 2416026 Российская Федерация, МПК. E21C 41⁄26. Борт карьера / Яковлев В. Л., Берсенёв В. А., Глебов А. В., Бахтурин Ю. А.: патентообладатель ИГД УрО РАН. – № 200913789; заявл. 13.10.2009; опубл. 10.04.2010, Бюл. № 10.

95. Патент на изобретение № 2534301 Российская Федерация, МПК E21C 41/22. Способ отработки крутопадающих рудных месторождений / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Н. В. Гобов, Ю. Г. Антипин; заявитель и патентообладатель ИГД УрО РАН. – № 2013133066, заявл. 16.07.2013, опубл. 27.11.2014, Бюл. № 33.

96. Патент на изобретение № 2565300 Российская Федерация. Подземная обогатительная фабрика / Смирнов А. А., Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Соломеин Ю. М.; патентообладатель ИГД УрО РАН; опубл. 20.10.2015.

97. Патент на изобретение № 2578138 Российская Федерация Способ разработки железорудных месторождений / Смирнов А. А., Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Гобов Н. В; патентообладатель ИГД УрО РАН; опубл. 20.02.2016.

98. Патент на изобретение № 2652223 Российская Федерация. Способ разработки крутопадающих рудных месторождений с подземным обогащением / Соколов И. В., Смирнов А. А., Гобов Н. В., Соломеин Ю. М.; патентообладатель ИГД УрО РАН; опубл. 25.04.2018.

99. Пелевин А. Е. Технология обогащения магнетитовых руд и пути повышения качества железных концентратов / А. Е. Пелевин // Известия вузов. Горный журнал. – 2011. – № 4. – С. 20 – 28.

100. Подземная геотехнология при комбинированной разработке Сарбайского железорудного месторождения / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Ю. Г. Антипин и др. // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. – № 7. – С. 25 –32.

101. Потапов М. Г. Карьерный транспорт / М. Г. Потапов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 239 с.

102. Прогноз качественных показателей добываемого сырья на основе геоинформационных технологий / С. В. Корнилков, В. М. Аленичев, Ю. В. Лаптев, А. М. Яковлев // Горный журнал. – 2017. – № 12. – С. 10 – 15.

103. Прогноз технологического развития в горнодобывающих отраслях на основе модернизации техники и технологии горного производства / А. И. Татаркин, С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев, Е. А. Орлова // Экономика региона. – 2012. – № 4. – С. 80 – 92.

104. Прогнозная оценка перспектив изучения и освоения минерально-сырьевых ресурсов приуральского региона арктической зоны Российской Федерации / С. В. Корнилков, А. Д. Сашурин, В. Л. Яковлев, И. В. Соколов, В. Д. Кантемиров // Развитие Арктики и приполярных регионов: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (Екатеринбург, 15–16 мая 2014г. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – С. 144 –148.

105. Проектирование, планирование и управление производством на карьерах посредством ЭВМ / под общ. ред. Ржевского В. В. – М.: Недра, 1966. – 238 с.

106. Рассказов И. Ю. Разработка методологии и научно-технологических принципов освоения техногенных золотороссыпных месторождений юга Дальнего Востока России как основы составления инвестиционных программ эффективного развития отрасли / И. Ю. Рассказов, А. П. Ван-Ван-Е, В. С. Литвинцев / Всерос. науч.-исслед. геологический ин–т им. А. П. Карпинского. – Режим доступа: //WWW. vsegei.ru /conf / summary/round_table10/S1_03.ppt.

107. Реготунов А. С. Формирование энергозатрат при ударном разрушении штыревым инструментом при бурении взрывных скважин / А. С. Реготунов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – ОВ № 11. Проблемы недропользования. – С. 187 – 198.

108. Ржевский В. В. Проблемы горной промышленности и комплекса горных наук / В. В. Ржевский. – М.: МГИ, 1991. – 242 с.

109. Ржевский В. В. Проектирование контуров карьеров / В. В. Ржевский; под ред. Шешко Е. Ф. – М.: Металлургиздат, 1956. – 230 с.

110. Рыбникова Л. С. Влияние экологического ущерба, накопленного от горнодобывающей деятельности, на состояние гидросферы Среднего Урала / Л. С. Рыбникова, П. А. Рыбников // Водное хозяйство России. – 2013. – № 6. – С. 110 – 118.

111. Рыльков С. А. Сведения по забалансовым запасам месторождений меди по состоянию на 01.01.2013 г. и рекомендации по перечню ранее отработанных россыпей благородных металлов / С. А. Рыльков // Аналитическая записка / Уралнедра. – Екатеринбург, 2013. – 10 с.

112. Свод показателей развития горных предприятий Минчермета СССР до 2010 года (по проектным данным) / сост. А. И. Корецкий, М. И. Величко, А. П. Чупин. – Свердловск: ИГД МЧМ СССР,1987.– 243 с.

113. Симкин Б. А. Теория горно-геометрического проектирования карьеров / Б. А. Симкин, Ю. К. Шкута; под ред. Агошкова М. И.; ИПКОН АН СССР. – М.: Наука, 1986. – 90 с.

114. Систематизация условий размещения и освоения природных и техногенных объектов минерального сырья Уральского и Дальневосточного федеральных округов / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков, Ю. В. Лаптев, Ю. А. Мамаев, А. П. Ван-Ван-Е, Г. Ф. Склярова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – ОВ № 4. Дальний Восток. – С. 257 – 272.

115. Современные подходы к обоснованию стратегий освоения минерально-сырьевых ресурсов / А. А. Пешков, Н. А. Мацко, М. А. Кононыхин и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 12. – С. 275 – 297.

116. Современные системы управления горно-транспортными комплексами / К. Н. Трубецкой, А. А. Кулешов, А. Ф. Клебанов, Д. Я. Владимиров. – СПб.: Наука, 2007. – 306 с.

117. Соколов И. В. Влияние показателей извлечения на эффективность технологии подземной разработки рудных месторождений / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Ю. Г. Антипин // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 3. – С. 4 –11.

118. Соколов И. В. Систематизация и методика оценки вариантов стратегии освоения железорудных месторождений с применением подземных обогатительных комплексов / И. В. Соколов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015.– № 7. – С. 101 – 109.

119. Соколов И. В. Систематизация и экономико-математическое моделирование вариантов вскрытия подземных запасов при комбинированной разработке месторождений / И. В. Соколов, Ю. Г. Антипин // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 67 – 71.

120. Сооружение подземных дробильных комплексов на горнорудных предприятиях / В. С. Болкисев, В. Л. Колибаба, Н. Т. Шереметьев и др.– М.: Недра, 1985. – 243с.

121. Спиваковский А. О. Транспорт в горном деле / А. О. Спиваковский; АН СССР. – М.: Наука, 1985. – 127 с.

122. Сухорученков А. И. Железорудная база черной металлургии России / А. И. Сухорученков // Горный журнал. – 2003. – № 10. – С. 55 – 57.

123. Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990–2014 гг. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015. – 321 с.

124. Техногенное минеральное сырье Урала / В. А. Перепелицын, В. М. Рытвин, В. А. Коротеев и др. / Институт геологии и геохимии УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2013. – 332 с.

125. Технологии формирования и отработки техногенных месторождений. Проблемы и решения / С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев, М. Г. Саканцев, Е. Н. Селиванов // Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов: труды Междунар. конгресса «ТЕХНОГЕН – 2012», посвящ. 80-летию науки на Урале / РАН, Научный совет по металлургии и металловед. РАН, УрФУ и др.– Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. – С. 31 – 41.

126. Технологическая подготовка возобновления добычи и переработки кварцевого сырья в Уральском регионе / С. В. Корнилков, А. Д. Сашурин, И. В. Соколов, А. Е. Балек и др. // Известия вузов. Горный журнал. – 2011. – № 6. – С. 8 – 20.

127. Технологические проблемы и перспективы развития горнодобывающего комплекса Урала / С. В. Корнилков, Ю. В. Лаптев, Н. Ю. Антонинова, И. В. Соколов и др. // Уральский научный форум: Всерос. науч. конф. «Дни наук о Земле на Урале» / Институт геологии и геохимии УрО РАН, ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – С. 46 – 53.

128. Технология освоения месторождений Полярного и Приполярного Урала / В. А. Коротеев, С. В. Корнилков, В. Б. Писецкий, А. Г.Талалай и др. // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: труды X научно-практ. конф.: т. 1 / под ред. Карасева В. И. – Ханты-Мансийск: Изд-во Наука Сервис, 2007. – С. 45 – 50.

129. Трубецкой К. Н. Развитие науки, техники и технологии в области комплексного освоения месторождений при открытом способе разработки / К. Н. Трубецкой // Горный журнал. – 2009. – № 11. – С. 4 – 7.

130. 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 –19.

131. Хохряков В. С. Бурное развитие открытых разработок во второй половине XX века и их современные проблемы / В. С. Хохряков // Итоги и проблемы производства, науки: материалы к международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: УГГГА, 2002. – С.11 – 30.

132. Хохряков В. С. Геоинформационная характеристика горногеометрических данных для использования средств машинной графики / В. С. Хохряков, С. В. Корнилков, А. М. Вернер // Известия вузов. Горный журнал. – 1992. – № 9. – С.17 – 23.

133. Хохряков В. С. Геоинформационный метод математического моделирования / В. С. Хохряков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1986. –№ 5. – С. 89 – 94.

134. Целесообразность применения подземных обогатительных комплексов на железорудных шахтах / И. В. Соколов, А. А. Смирнов, Н. В. Гобов, Ю. Г. Антипин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 6. – С. 197 – 206.

135. Ченцов А. В. Балансовая логико-статистическая модель доменного процесса / А. В. Ченцов, Ю. А. Чесноков, С. В. Шаврин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 164 с.

136. Шадрунова И. В. Извлечение цветных металлов из гидроминеральных ресурсов: теория и практика / И. В. Шадрунова, Н. Н. Орехова. – М.: Изд-во ИПКОН РАН, 2009. – 215 с.

137. Шварц Ю. Д. Подземные комплексы по добыче и переработке минерального сырья – предприятия XXI века / Ю. Д. Шварц // Горная промышленность.– 2000.– № 1 – С. 34 – 36.

138. Шевяков Л. Д. Избранные труды: в 2-х т.: Т. 1. [Избранное]; Т. 2. Разработка месторождений полезных ископаемых. История горной науки / Л. Д. Шевяков. – М.: Наука, 1968. – Т.1. – 276с.; Т.2. – 203с.

139. Шешко Е. Ф. Основы теории вскрытия карьерных полей / Е. Ф. Шешко. – М. – Л.: Углетехиздат, 1953. – 216 с.

140. Энерго- и ресурсосберегающие технологии поддержания сырьевой базы Республики Казахстан / С. В. Корнилков, И. В. Соколов, В. С. Шемякин, С. Ж. Галиев // Проблемы и пути инновационного развития горнодобывающей промышленности: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Алматы: ИГД им. Д. А. Кунаева, 2013. – С. 172 – 181.

141. Яковлев В. Л. Современные тенденции и особенности освоения месторождений полезных ископаемых в сложных горно-геологических и природно-климатических условиях / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков // Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России: труды Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. памяти Новопаши-

на М. Д. (г. Якутск, 13–15 сент. 2011 г.). – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2011. – С. 16–22. – (Программа Президиума РАН № 14 и ОНЗ РАН № 3 2011 г.).

142. Яковлев В. Л. Геоинформационная оценка изменчивости качества титаномагнетитовых руд Гусевогорского месторождения ООО ЕВРАЗ КГОК. / В. Л. Яковлев, Ю.В. Лаптев, А. М. Яковлев // Литосфера. – 2014. – № 5. – С. 122 – 128.

143. Яковлев В. Л. Границы карьеров при проектировании сложноструктурных месторождений / В. Л. Яковлев, М. Г. Саканцев, Г. Г. Саканцев. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2009. – 302 с.

144. Яковлев В. Л. Исследование закономерностей поэтапного развития горных работ при разработке крутопадающих месторождений полезных ископаемых / В. Л. Яковлев, А. Ф. Калугин // Добыча и обогащение асбестовых руд. – Асбест, 1981. – С. 14 – 22. – (Научные труды / ВНИИпроектасбест. – Вып. 23).

145. 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. – DOI: 10.18454/2313–1586.2014.03.015.

146. Яковлев В. Л. Методические подходы к учету общих закономерностей и региональных особенностей при выборе стратегии освоения месторождений полезных ископаемых / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – ОВ № 15: Дальний Восток – 2. –С. 22 – 31.

147. Яковлев В. Л. Методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов / В. Л. Яковлев, А. В. Гальянов; ИГД УрО РАН. – 2-е изд. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 152 с.

148. Яковлев В. Л. Методологические особенности освоения недр на современном этапе / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков // Вестник УрО РАН. Наука. Общество. Человек. – 2013. – № 4. – С. 11 – 18. – (Программа № 27 Президиума РАН).

149. Яковлев В. Л. О новых подходах к освоению минерально-сырьевых ресурсов Уральского севера / В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков // Фундаментальная наука и образование. Культурное и природное наследие России: материалы V Северного соц.-экологического конгресса / Комитет Госдумы ФС РФ по науке и наукоемким технологиям; УрО РАН. – М.: «Галерия», 2010. – С. 22 – 27.

150. Яковлев В. Л. О роли прогноза геологических, технологических и социально-экономических условий освоения месторождений в обеспечении устойчивого инновационного развития горного производства / В. Л. Яковлев // Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений: сборник докладов Междунар. научно-практ. конф., Мирный, 2011 / ЯКУТНИПРОАЛМАЗ. – Новосибирск: Наука, 2011. – С. 73 – 79.

151. Яковлев В. Л. О стратегии освоения меднорудных месторождений Урала / В. Л. Яковлев, Ю. В. Волков, О. В. Славиковский // Горный журнал. – 2003. – № 9. – С. 3 – 7.

152. Яковлев В. Л. Основы стратегии освоения минеральных ресурсов Урала / В. Л. Яковлев, С. И. Бурыкин, Н. Л. Стахеев. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. – 278 с.

153. Яковлев В. Л. Развитие карьерного транспорта во второй половине XX века / В. Л. Яковлев // Проблемы карьерного транспорта: материалы к международной научно-технической конференции / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург, 2002. – С.7–15.

154. Яковлев В. Л. Современное состояние, проблемы и перспективы развития карьерного транспорта / В. Л. Яковлев, В. А. Яковлев // Проблемы карьерного транспорта: материалы XI международной научно-практической конференции, 12-14 октября 2011г., Екатеринбург. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2011. – С. 6 – 12.

155. Яковлев В. Л. Состояние, проблемы и пути совершенствования открытых горных разработок / В. Л. Яковлев // Горный журнал. – 2009. – № 11. – С. 11–14.

156. Яковлев В. Л. Становление и развитие уральской научной школы карьерного транспорта / В. Л. Яковлев // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. – Екатеринбург, 2004. – С. 334 – 347. – (Сб. науч. тр. / ИГД УрО РАН. – Вып. № 2 (92).

157. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В. Л. Яковлев; Институт горного дела Севера СО АН СССР. – Новосибирск: Наука СО, 1989. – 238 с.

158. Яковлев А. В. Оценка степени трещиноватости локальных скальных массивов, подлежащих взрывной отбойке / А. В. Яковлев, А. А. Панжин, В. Н. Рождественский, С. Р. Пьянзин, К. А. Кочнев // Маркшейдерия и недропользование. – 2012. – № 5. – С. 22 – 24, 29.

159. Яковлев В. Л. 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.

160. Яковлев В.Л. Геотехнологические основы энерго- и ресурсосбережения при открытых горных разработках / С. В. Корнилков, В. Л. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – ОВ № 11. Проблемы недропользования. – 2011. – С. 9 – 19.

Научное издание

В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков, И. В. Соколов

Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья

Рекомендовано к изданию решением
Объединенного ученого совета УрО РАН по наукам о Земле
и Уральским отделением РАН

Редактор Н. У. Макарова
Компьютерная верстка А. Якубовский

Подписано к печати 10.11.2018 Формат 70x100/16
Уч.-изд. л. 28,9 Тираж 300 экз. Заказ №

ИГД УрО РАН
620075 г. Екатеринбург, ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58

ISBN 978-5-7691-2514-0