

ФАНО РОССИИ

КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН
Горный институт КНЦ РАН

А. В. Архипов, С. П. Решетняк

ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РАЗРАБОТКА И ФОРМИРОВАНИЕ



ФАНО РОССИИ
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН
Горный институт КНЦ РАН

А. В. Архипов, С. П. Решетняк

ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
РАЗРАБОТКА И ФОРМИРОВАНИЕ

Апатиты
2017

УДК 622.271+622'17+622.271.45
ББК 33.3

А87 Архипов, А. В. Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография / А. В. Архипов, С. П. Решетняк; под науч. ред. акад. Н. Н. Мельникова. — Апатиты: КНЦ РАН, 2017. — 175 с.

ISBN 978-5-91137-355-9

В этой книге представлены результаты тридцатилетних исследований, проводимых в Горном институте Кольского научного центра АН СССР, в последующем Российской академии наук, по проблеме освоения имеющихся в стране техногенных месторождений минерального сырья, которое до сих пор некоторые специалисты считают отходом предприятий горно-перерабатывающей отрасли, а также по проблеме сохранения такого сырья для будущего в техногенных месторождениях, сформированных на принципах минимизации энергетических и экономических затрат и бережного отношения к окружающей нас природе.

Книга рассчитана на широкую аудиторию научных работников, преподавателей и практиков, интересующихся проблемами техногенных месторождений. Она также может быть использована в качестве учебного пособия для аспирантов и студентов самых различных специальностей, включая мировую и региональную геотехнологию.

Научное издание

Альфред Вячеславович Архипов, Сергей Прокофьевич Решетняк
Техногенные месторождения. Разработка и формирование

Редактор Е. Н. Еремеева
Технический редактор: В. Ю. Жиганов

Подписано в печать 13.03.2017. Формат 70х108 1/16.
Усл. печ. л. 15,83. Тираж 500 экз. Заказ № 7.

ФГБУН КНЦ РАН
184209, Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14

ISBN 978-5-91137-355-9

© Архипов А. В., Решетняк С. П., 2017
© ФГБУН Горный институт, 2017
© ФГБУН Кольский научный центр РАН, 2017

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации накоплены огромные объёмы отходов горного и обогатительного производства в виде минерального сырья. Часть таких отходов, заскладированных в разного рода отвалах, уже в настоящее время могут считаться полноценными техногенными месторождениями, и, конечно, объёмы таких отходов из года в год накапливаются значительными темпами. Освоение техногенных месторождений обеспечивает достижение сразу двух глобальных целей: во-первых, получение недорогого источника дополнительного минерального сырья, а во-вторых, использование накопленных промышленных отходов будет способствовать снижению отрицательного воздействия на окружающую среду. Актуальность научного обеспечения для решения таких задач очевидны.

Проблема освоения техногенных месторождений минерального сырья объёмна и многогранна. Данная монография посвящена двум первоочередным направлениям этой проблемы, одно из которых сфокусировано на адаптации традиционных технологий и горного оборудования к разработке имеющихся в настоящее время техногенных месторождений. На этом этапе исследований было проанализировано состояние уже существующих, т. е. уже сформированных техногенных месторождений, изучен небогатый практический опыт их реального освоения и проектирования и разработаны рекомендации по вовлечению их в эксплуатацию с максимальной эффективностью.

Главным же направлением данного труда является разработка научно обоснованных принципов и рекомендаций по размещению и технологическим приёмам формирования потенциальных техногенных месторождений с максимальным сохранением минерального сырья в настоящее время и в том недалёком будущем, когда вовлечение его в отработку станет актуальным, а также способствующим быстрому и эффективному извлечению минерального техногенного сырья в любое время.

Монография лишь отчасти касается способов и методов переработки сырья техногенных месторождений и дальнейшего его использования, поскольку эта масштабная и многоаспектная проблема перекрывает поле нашего рассмотрения и является предметом иных специальных публикаций. Авторы лишь в главе 4 в форме обзора публикаций на тему освоения техногенных месторождений предлагают некоторые из путей переработки и использования сырья, в них содержащегося. В книге не рассматриваются техногенные месторождения, которые подвергаются предварительным физическим и/или химическим воздействиям до начала освоения с целью улучшения качества или увеличения количества техногенного минерального сырья.

Авторы выражают свою благодарность коллегам и руководству Горного института Кольского научного центра РАН за помощь и поддержку в проведении исследований. Значительный вклад в начало и развитие научно-исследовательских работ по данной теме сделан к. г. н. Э. Б. Красносельским. Большая работа по проведению практических замеров, моделированию размещения месторождений при их формировании, обработке результатов исследований была выполнена Е. В. Земцовской. Квалифицированные консультации обогатителей института — к. т. н. В. И. Белобородова,

И. Б. Захаровой, Н. М. Филимоновой, Г. П. Андропова — способствовали разработке требований для подготовки добываемого техногенного сырья к обогащению.

Консультации экологов — зав. лабораторией С. П. Месяц и к. г. н. А. В. Зорина — существенно помогли при решении задач рекультивации техногенных месторождений и добычи сырья в северных условиях.

Особую признательность авторы выражают работникам АО «Ковдорский ГОК» — техническому директору А. А. Данилкину, бывшему генеральному директору Н. А. Ганзе, бывшему исполнительному директору к. т. н. И. В. Мелик-Гайказову, бывшему главному инженеру ГОКа Ф. Б. Кампелю за предоставление исходных материалов и участия в достижении результатов обоснования целесообразности и способов вовлечения в отработку обоих полей хвостохранилища комбината, в частности в плане практической реализации добычи и переработки минерального сырья первого поля.

Книга адресована научным работникам, проектировщикам горных предприятий, преподавателям и студентам вузов горного профиля и производственникам, перед которыми стоят задачи освоения имеющихся техногенных месторождений и формирования новых.

1. МОНИТОРИНГ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

1.1. Что такое «техногенное сырьё» и «техногенное месторождение»

Практически ни одно современное производство не обходится без разного рода отходов, которые не могут быть использованы в настоящий момент, и их приходится где-то размещать в надежде «может, потом пригодятся», а чаще всего — чтобы не мешали и по возможности не занимали много места. При этом естественным является желание получить доход от использования хотя бы части отходов сразу же при основном производстве или позднее, когда появится спрос на продукцию из этих отходов.

Аналогичный подход был характерен и для горнодобывающей отрасли. Подавляющее большинство полезных ископаемых, которые составляют минеральные ресурсы (МР) страны, являются по своему составу поликомпонентными, но за редкими исключениями они разрабатывались и продолжают разрабатываться по моносырью. При этом все остальные компоненты, содержащиеся в рудах и вмещающих породах, количество которых может достигать одного и даже двух десятков, попадают в отходы, которые складываются преимущественно на дневной поверхности. Весь материал таких отходов представляет собой *вторичные* минеральные ресурсы, в которых нередко содержится весьма ценное даже в настоящее время минеральное сырьё (МС) [1–3].

Уже не одно десятилетие горняки пытаются эффективно решить проблему комплексного освоения недр. Само понятие комплексного освоения недр впервые по-крупному было сформулировано академиком Н. В. Мельниковым [4, 5]. Развивая смысл этого понятия, он отмечал, что проблема повышения комплексности использования МС включает в себя также рациональное использование отходов горнопромышленного производства, в которых полезных компонентов часто бывает больше, чем в разрабатываемых полезных ископаемых. Отходы горнопромышленного производства (отвалы вскрышных пород, хвосты обогатительных фабрик, шлаки и шламы металлургических заводов, золы тепловых электростанций) часто имеют высокую промышленную ценность [2]. Продукция из отходов горнорудного производства в 2–4 раза дешевле, чем из естественного месторождения, а окупаемость капитальных вложений обычно не превышает 1–2 года. Растущие объёмы горной промышленности превращают отходы в важнейший источник различных видов вторичного МС, которые в своей совокупности составляют вторичные минеральные ресурсы (ВМР).

Анализируя понятие «ресурсы земных недр», академик М. И. Агошков разделял их на шесть основных групп [3]. К I группе он относил месторождения полезных ископаемых однородного и комплексного состава. Ко II группе он относил отвалы горных пород вскрыши; III группа — отходы обогатительного и металлургического производства: отвалы хвостов и рудосодержащих песков, отвалы металлургических шлаков; IV группа — глубинные источники пресных, минеральных и термальных вод; V группа — внутренне-глубинное тепло недр Земли; VI группа — природные и созданные человеком (техногенные) полости в земных

недрах. Две из них (II и III группы) представлены отвалами отходов горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности. Они составляют вторичные минеральные ресурсы, а ввиду того что их происхождение связано с технологической деятельностью человека, места скопления таких ВМР являются техногенными месторождениями (ТМ) [3], а само сырьё — техногенным (ТС).

От начала возникновения проблемы ТМ до настоящего времени так и не было дано чёткого и полного определения понятия «техногенное месторождение», так как понимание этого термина у специалистов в разные периоды менялось и дополнялось. Так, в материалах советского правительства по основным направлениям экономического и социального развития СССР на 1986–1990 гг. отходы горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности ещё назывались «вторичными минеральными ресурсами», а после 1986 г. в государственных и научных документах скопления таких отходов уже прямо назывались «техногенными месторождениями» [6].

Если сравнивать формулировки ТМ, предложенные разными авторами в разное время, то можно не только проследить развитие понимания проблемы, но и заметить принципиальные разногласия, некоторые из которых заужают понятие и тем самым предлагают не учитывать часть МС. Так, в период первоначального учёта к ТМ относили только скопления МС на дневной поверхности. Позднее было предложено учитывать и техногенное сырьё, которое находится в горных выработках [7]. Но вопросы остаются. Например, куда отнести неполностью отработанные и брошенные в недрах запасы месторождений нефти с техногенными примесями, закачанными в скважины для интенсификации добычи?

Для разъяснения термина «техногенные месторождения» нет необходимости вводить промежуточное — «техногенное образование» [7]. *Техногенные образования* или объекты (минеральные) — скопления минеральных веществ на поверхности земли или в горных выработках, образовавшиеся в результате отделения их от массива и складирования в виде отходов горного, обоганительного и металлургического производств. *Техногенные месторождения* (ТМ) — техногенные образования, по количеству и качеству содержащегося в них минерального вещества пригодные для эффективного использования в сфере материального производства в настоящее время или в будущем (по мере развития науки и техники) [7].

Есть и иные современные определения, сформулированные без авторства на просторах Интернета, например: техногенное месторождение — техногенное образование (отвалы горнодобывающих предприятий, хвостохранилища обоганительных фабрик, шлакозольные отвалы топливно-энергетического комплекса, шлаки и шламы металлургического производства, шламо-, шлако- и т. д. отвалы химической отрасли) на поверхности земли, по количеству и качеству содержащегося в них минерального сырья пригодные для промышленного использования в настоящее время или в будущем по мере развития науки и техники. Очень громоздкое определение, исключаящее подземные ТМ. А в предыдущем определении исключаются отвалы (склады) забалансовых на данный момент и попутных руд, склады почв, строительных горных пород, торфов и т. п. Конец фразы — «в настоящее время или в будущем по мере развития науки и техники», на наш взгляд, можно исключить, так как необходимость разработки будет определяться в первую очередь спросом экономики и другими нуждами государства, к примеру, обеспечением безопасности.

Представленный краткий анализ приведён не с целью критики авторов определений ТМ, а для того, чтобы не «потерять» тот или иной вид техногенного сырья и его местонахождение, чтобы, учитывая недостатки исторически сложившегося хаотичного складирования, управлять процессами размещения ТС для его сохранения, возможности отработки с минимальными сложностями в любое необходимое время с минимальным отрицательным воздействием на природу.

Без претензии на «истину в последней инстанции» можно предложить следующее определение: *техногенное месторождение — скопление техногенного минерального сырья, образованное в результате складирования или оставления под землёй, водой или на поверхности земли, пригодное для промышленного использования.*

Под «складированием» подразумевается не только простое размещение в имеющихся природных ёмкостях или специально построенных, скажем, хвостохранилищах, но и формирование ТМ с необходимыми свойствами и параметрами в целях его дальнейшей эффективной эксплуатации. Слово «оставление» подразумевает не только неконтролируемое размещение, но и скопление нарушенного сырья в различного рода целиках, приконтактных зонах, в так называемых «треугольниках», где часть полезного ископаемого может быть не отделена от массива, но пронизана техногенными трещинами и иметь изменённые технологиями условия разработки. Под «скоплением под водой» подразумевается размещение ТС в различного рода акваториях, преимущественно в заливах озёр, морей. К примеру, в АО «Апатит» в начале эксплуатации хвостохранилища обогатительной апатит-нефелиновой фабрики АНОФ-2 самая богатая по пятиокиси фосфора (P_2O_5) часть хвостов по проекту сливалась в залив оз. Имандра, отгороженный от него дамбой.

1.2. История возникновения проблемы освоения техногенных месторождений в России

Проблемой освоения ТМ в России наиболее широко начали заниматься в 1986 г., когда было выпущено Постановление Государственного комитета по науке и технике СССР (ГКНТ СССР) № 56 от 14.03.1986 г. «Создание научных основ и методов повышения эффективности рационального комплексного освоения месторождений твёрдых полезных ископаемых и охраны недр на 1986–1990 гг. и на период до 2000 года».

Этим постановлением был учтён широкий круг частных проблем, который был обозначен планом научно-исследовательских работ на 1986–1990 гг. в виде заданий этого плана, всего их было 20, а основными из них можно считать следующие:

- 1) разработать кадастр и провести регистрацию ТМ (задание 01.01.Н3);
- 2) дать геологическую оценку минеральному составу существующих ТМ (задание 01.01.Н4);
- 3) разработать технологию переработки руд перспективных к освоению существующих ТМ (задания 08.01.Н и 09.01.Н);
- 4) разработать эффективные способы освоения ТМ (задание 03.01.Н2);
- 5) дать экономическую оценку рентабельности и эффективности промышленного освоения ТМ (задание 04.01.Н1);
- 6) выработать типовые требования правила и нормы проектирования разработки ТМ (задание 02.01.Н4).

Постановление № 56 дало толчок к разработке определения, что считать ТМ, и на его основании была выполнена регистрация объектов, попадающих под понятие ТМ. В Кольском регионе составление кадастра проводили Мурманская геологоразведочная экспедиция (МГРЭ) и Горный институт Кольского филиала Академии наук СССР (далее — Горный институт, ГоИ). Горный институт принимал участие в выполнении 1, 2, 3, 6-го пунктов плана исследований, а по заданию 03.01.H2 был определён головным в стране постановлением Государственного комитета по науке и технике (ГКНТ) СССР, подтверждённым Распоряжением Академии наук СССР от 14.05.1986 г. № 10103-858.

Генеральная идея проблемы освоения ТМ на тот период заключалась в расширении минерально-сырьевой базы страны за счёт эффективного вовлечения в сферу экономики минеральных отходов промышленности и попутно добываемого МС. Эта идея актуальна и в настоящее время, но границы её значительно расширились в силу получения новых знаний о состоянии ТС и ТМ, новых требований общества к их освоению, и главное — к формированию новых ТМ и сохранению ТС.

Конечно, выполнить задания, которые были поставлены ГКНТ в 1986 г. в полном объёме не представлялось возможным, так как необходимо было иметь хоть какой-то практический опыт освоения ТМ, знание сложностей эксплуатаций таких месторождений, разработанных технологий переработки ТС и опыта их практического применения. На тот период можно было только произвести регистрацию наиболее перспективных ТМ и дать их приближённую геологическую оценку (для основательной оценки необходим и основательный объём выполненных буровых работ, которых никто не производил). Говорить о разработке эффективных способов освоения, тем более о разработке типовых правил и норм проектирования даже на примерах единичных случаев эксплуатации, вообще не приходилось.

По Мурманской области по просьбе Ковдорского ГОКа, разрабатывавшего комплексное месторождение бадделеит-апатит-магнетитовых руд, одним из заданий ГКНТ предусматривалось освоение одного ТМ. Это техногенное месторождение было представлено залежью хвостов на первом поле хвостохранилища обогатительного комплекса, в которых содержались ранее неизвлекавшиеся пятиокись фосфора и двуокись циркония, так как ГОК на первоначальном этапе выпускал только железорудный концентрат. Горный институт разработал предварительные рекомендации и исходные данные для составления ТЭО отработки запасов лежалых хвостов поля 1-го хвостохранилища. С момента выхода плана прошло девять лет, прежде чем началась промышленная добыча и переработка хвостов, а до 2016 г. этот уникальный опыт так и остался единичным крупномасштабным примером эксплуатации ТМ в Мурманской области. Справедливости ради надо сказать об огромном влиянии этого опыта на развитие теории и практики эксплуатации хвостовых ТМ и технологий переработки ТС такого типа.

Техногенные месторождения кроме экономического представляют и экологический интерес, так как их разработка способствует сохранению недр, восстановлению земельных угодий и снижает уровень загрязнения окружающей природной среды. Эти положительные эффекты являются причинами повышенного внимания к проблеме комплексного освоения недр и, в частности, к проблеме освоения ТМ.

1.3. Мониторинг техногенных месторождений Мурманской области, кадастровый учёт, банк данных

С 1986 по 1989 гг. Горный институт проводил исследования по проблеме кадастрового учёта и возможности освоения ТС и ТМ по Мурманской области. Мурманская область является одним из наиболее развитых горнодобывающих регионов России, на территории которого производят добычу и переработку МС семь крупных горно-обогатительных и горно-металлургических предприятий. Некоторые из них разрабатывают месторождения с 1930-х гг.

В результате деятельности этих предприятий образовались отходы МС, которые принято называть техногенным минеральным сырьём. Все виды ТС в области по генезису были подразделены: на добытые рудниками и заскладированные на поверхности забалансовые и попутные руды; вскрышные горные породы карьеров и породы проходческих работ подземных рудников; отходы (хвосты) обогащения добытых руд; шлаки и золы металлургических производств и электростанций, работающих на каменном угле.

Кадастром было учтено 40 техногенных месторождений, размещённых на территориях следующих производственных предприятий: горно-металлургического комбината (ГМК) «Печенганикель» (6 ТМ), ГМК «Североникель» (2 ТМ), Ловозёрского ГОКа (2 ТМ), Оленегорского ГОКа (5 ТМ), Ковдорского ГОКа (7 ТМ), ПО «Апатит» (9 ТМ), ГОКа «Ковдорслюда» (8 ТМ), Кировской ГРЭС (1 ТМ).

Как правило, техногенное месторождение включало в себя отходы МС от разработки одного геогенного месторождения одним рудником, либо отходы обогащения одной обогатительной фабрики. При этом ТС состоит из одних типов пород, имеет сходный фазово-минералогический состав, физико-механические свойства и генезис. Например, забалансовые и попутные руды, если они складированы отдельно, образуют и отдельные ТМ, отвалы однотипных пород вскрыши на руднике объединены в одно ТМ, несмотря на раздельное размещение отвалов на территории рудника. Хвостохранилища, расположенные отдельно, представлялись и отдельными ТМ. Породы вскрыши от открытых работ и проходческие породы подземных работ, складированные на руднике совместно, объединялись в одно ТМ.

В качестве основы кадастра использовались данные паспортов отходов горнодобывающих и перерабатывающих предприятий Мурманской области, разработанные Северо-западным производственным геологическим объединением «Севзапгеология» в 1984 г. В паспорте, кроме объёма отхода на 01.01.1984 г., приводились сжатые сведения по гранулометрическому, химическому и минеральному составам, физико-механическим свойствам, возможным направлениям использования отхода и продуктам, которые могут быть получены после переработки.

Дополненные и переработанные кадастровые сведения позволили на первых этапах изучения оценить масштабы и условия размещения накопленных отходов горного, обогатительного, металлургического производств в области, оценить потенциал неиспользованного, можно сказать резервного, МС, оценить темпы и причины накопления ТС, оценить уровень возможных технологий его переработки и условия горнотехнической эксплуатации ТМ. В какой-то степени кадастровые сведения позволили оценить влияние размещённых отходов на окружающую природу.

Основные выводы при анализе полученных сведений были следующими:

- 1) масштабы накопленного ТС огромны (на 1986 г. — свыше 3.8 млрд т);
- 2) темпы накопления доходили до 1 млрд т за 4–5 лет;
- 3) уровень использования ТС низкий (3–4 % от объёмов образованных отходов), причём использовались, как правило, текущие отходы МС и в основном без переработки;
- 4) принципиальные технологии переработки ТС для извлечения полезных компонентов имеются;
- 5) добыча лежалого ТС на существующем в то время уровне техники осуществима, хотя технология имеет свои специфические сложности.

В 1993 г. появляется новая государственная программа «Экологическая безопасность России» (ЭБР), разработанная Минприроды РФ. Одной из задач этой программы, № 8.5.1.28, являлось создание банков данных техногенных месторождений по регионам (БДТМ). Горный институт был привлечён к разработке и наполнению информацией такого банка данных (БД) по Мурманской области.

На основе данных кадастрового учёта была создана первоначальная версия банка, оформленного в редакторе «Лексикон» на ПК, где все данные о конкретном месторождении группировались в виде 11 таблиц — одной объединяющей общие и количественные сведения о ТМ и ТС и десяти таблиц, в которых содержались сведения о предприятии, выпускаемой им продукции, химическом, фазово-минералогическом, гранулометрическом составе ТС, его физико-механических свойствах, а также сведения о технологии предполагаемой добычи и переработки ТС и сведения об основных продуктах переработки. Таблицы были разработаны головной по данной проблеме организацией ИКИМСО Российской академии естественных наук (РАЕН) и разосланы по регионам-соисполнителям.

Первая версия БД позволила достаточно подробно охарактеризовать каждое ТМ, выполнить количественную оценку ТС и пополнять эти сведения в любые сроки, независимо от пополнения по остальным ТМ. В БД могли включаться любые комментарии как по ТС, так и по ТМ. Уже в процессе заполнения таблиц, разработанных заказчиком, возникли затруднения из-за наличия показателей, не использовавшихся на предприятиях, особенно это относилось к показателям по оценке ТМ и параметрам его освоения. Кроме того, редактор «Лексикон» не позволял выполнять автоматические выборки, запросы, объединения, поэтому БД в этом редакторе в настоящее время пополняется только частично и сохраняется в основном лишь для описания деталей и подробностей.

Для эффективного использования Горным институтом был разработан и создан БДТМ в программе Microsoft Access. В дальнейшем в процессе совершенствования БД постоянно расширялось его назначение, изменялась структура. В последней редакции БД содержит 22 исходные таблицы по основным разделам (приводятся по алфавиту):

1. Возможные направления использования сырья (отхода).
2. Выпускаемая продукция основного предприятия.
3. Гранулометрический состав отхода.
4. Запасы ТС.
5. Используемые источники информации (номера источников, использованные конкретно для данного ТМ).

6. Источники информации (список источников по порядку их использования в БД).
7. Метеоусловия района.
8. Минеральный состав отхода.
9. Образование отхода (годы и объёмы пополнения и нарастающий итог запасов ТМ).
10. Основное предприятие, его адрес (реквизиты).
11. Перспективное промышленное значение.
12. Подразделения основного предприятия.
13. Породный состав ТМ.
14. Природные условия поверхности.
15. Размеры ТМ.
16. Разработка техногенного месторождения.
17. Техногенное месторождение (генезис).
18. Техногенное сырьё.
19. Технология переработки лежалого отхода.
20. Физико-механические свойства ТС.
21. Химический состав ТС.
22. Экологические свойства ТМ.

Такая структура позволяет оперативно извлекать информацию по наиболее распространённым запросам из базовых таблиц, оформлять необходимые отчёты. Данные в основных таблицах и сама структура БД помогают решать не только задачи анализа накопления ТС, но и задачи оценки перспектив освоения и формирования ТМ.

БД в редакторе Access постоянно совершенствуется, так как появляется необходимость в более глубокой оценке ТМ и ТС. Так, оценка технической возможности и приоритетности перспективного освоения ТМ потребовали введения исходных таблиц, характеризующих природные условия поверхности, метеоусловия района размещения ТМ, введения некоторых дополнительных граф в существующие таблицы. Для сравнения темпов накопления ТС по предприятиям и экологической чистоты производства нами введён коэффициент накопления ТС ($K_{\text{НТС}}$), представляющий отношение объёмов накопленного сырья за временной период к выпущенному за этот же период объёму всех видов концентратов предприятием. Этот коэффициент за период 2006–2008 гг. составил для АО «Ковдорский ГОК» 8.97 т/т, для АО «Олкон» — 10.4 т/т, для АО «Апатит» — 9.35 т/т.

Одной из проблем БД является недостаточно полный объём данных по некоторым предприятиям за период после 2000 г. Это вызвано тем, что с переходом предприятий на рыночные отношения часть некоторых технических и особенно экономических показателей стали закрытыми сведениями, в то время как ранее не представляли коммерческой тайны и были включены в БД. Поэтому пополнение БД регулярно производится в основном по ТМ, размещённым на территориях АО «Апатит», АО «Олкон» и АО «Ковдорский ГОК». На этих предприятиях сосредоточено 70–75 % всех запасов техногенного МС в области. По остальным ГМК и ГОКам Мурманской области пополнение осуществляется с меньшей регулярностью, в результате оценка общего ресурса накопленного ТС по Мурманской области отстаёт на 4–5 лет от текущих показателей. Ориентировочно на 2015 г. этот ресурс мог составить 8.8 млрд т.

Анализ формирования ТМ показал, что до сих пор к ТС относятся как к отходам горного, обогатительного и металлургического производства, складирование которых производится без учёта дальнейшего их использования и выемки из отвалов и хранилищ. Опыт проектирования и освоения хвостов обогащения на АО «Ковдорский ГОК» выявил кажущуюся лёгкость решения проектных задач и отсутствие необходимого опыта проектирования отработки таких объектов, как ТМ.

Поэтому для достижения главной цели — освоения ТС и безопасной и экологической эксплуатации ТМ — необходимо разрабатывать и проводить мониторинг формирования, проектирования и эксплуатации ТМ различного генезиса уже на стадии проектирования и освоения коренных месторождений, а не только на стадии образовавшихся и заскладированных отходов. Причём многие задачи освоения ТМ гораздо легче выполняются при решении вопросов по перспективному использованию ТС и его грамотному размещению в отвалах и складах с учётом последующей выемки.

Именно с таким подходом в Горном институте начал разрабатываться и стал выполняться мониторинг освоения ТС и ТМ Мурманской области.

Первоначальными задачами этого мониторинга были следующие.

1. Накопление исходной информации по движению объёмов ТС во времени с анализом темпов и причин накопления ТС. Решается за счёт пополнения БДТМ и оценки накопления ТС.

2. Получение информации по изменению качественных характеристик ТС. Решается за счёт получения отчётных данных от добывающих и перерабатывающих предприятий, геологоразведочных организаций и определения гранулометрического, химического и минерального составов и физико-механических свойств силами Горного института.

3. Анализ данных по проектированию предприятий по добыче ТС и опыта проектирования. Выполняется по литературным источникам, проектам отработки месторождений и предпроектным проработкам на уровне ТЭО и ТЭР разработки исходных данных для проектирования силами Горного института.

Позднее список задач мониторинга был расширен за счёт следующих.

1. Анализ опыта эксплуатации ТМ. Выполняется за счёт анализа такого опыта по литературным источникам, наблюдений и анализа технологических процессов на техногенных объектах в Мурманской области (опыт разработки вторичной вскрыши на АО «Апатит», эксплуатации хвостохранилища на АО «Ковдорский ГОК», опыт формирования дамб хвостохранилищ обогатительных фабрик АО «Апатит», начальные опытные работы по выемке золошлаковых отвалов Апатитской (бывшей Кировской) ТЭЦ, исследования возможности и необходимости рекультивации высоких породных отвалов в северных и заполярных регионах и т. п.).

2. Выявление осложнений и возможных проблем при эксплуатации ТМ и техногенных объектов с анализом причин их появления. Выполняется при слежении за эксплуатацией техногенных объектов.

3. Разработка принципов проектирования и способов эффективного формирования ТМ с учётом их дальнейшей эксплуатации и экологических особенностей в районах размещения. Выполняется при разработке технологии отвалообразования на карьерах области, при разработке предпроектных рекомендаций по эксплуатации существующих ТМ и при теоретических исследованиях вопросов формирования техногенных месторождений.

В продолжение выполнения первой задачи мониторинга можно привести некоторые данные по ТМ на начало 2015 г.

В таблице 1.1 представлены округлённые объёмы накопленного ТС по Мурманской области почти за тридцать последних лет по этапам сбора информации. В таблице выделены отдельно данные по трём ГОКа, по которым эти данные собирались достаточно регулярно (АО «Апатит», АО «Олкон» и АО «Ковдорский ГОК»). Данные в процентах приведены относительно общих значений по области в целом.

Таблица 1.1

Объём ТС, накопленного в Мурманской области (на начало года), млн т, округлённо

Год	По области	По трём ГОКа, млн т	
		млн т	%
1987	3820	2500	65.4
1995	5640	3880	68.8
2000	6383	4484	70.2
2003	Н. д.	4840	Н. д.
2006	Н. д.	5194	Н. д.
2009	Н. д.	5770	Н. д.
2012	Расчётно ~ 8277	6266	75.7
2015	Расчётно ~ 8780	6764	77.0

Примечание. Н. д. здесь и далее в таблицах — нет данных.

За время проведения мониторинга на горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях области происходили различного рода события, связанные с организационными причинами, спадом и подъёмом производства, закрытием и появлением такого рода предприятий, что нашло отражение в динамике представленных данных табл. 1.1 и на рис. 1.1. Так, были закрыты некоторые рудники на АО «Ловозёрский ГОК», АО «Олкон», ГОКе «Ковдорслюда», но введены в эксплуатацию карьеры Комсомольский и Куркенпахк, Восточный участок Южно-Кахозёрского карьера АО «Олкон» и ГОК «Олений Ручей» АО «Северо-Западная фосфорная компания» (СЗФК). Снизились объёмы вскрышных работ при увеличении доли подземных горных работ на АО «Кольская горно-металлургическая компания» и АО «Оленегорский ГОК». В целом с 1986 г. объём заскладированного ТС увеличился более чем в два раза, а количество ТМ с 40 до 43.

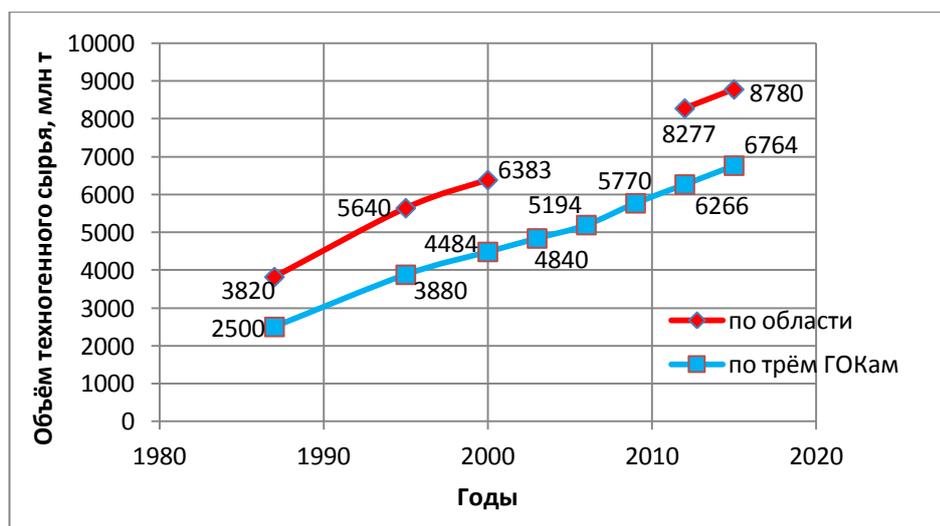


Рис. 1.1. Динамика объёмов ТС, накопленного в Мурманской области

1.4. О классификации техногенных месторождений

Основная задача книги — поделиться с читателем тридцатилетним опытом исследования проблемы освоения ТМ, и главное — теоретическими наработками по формированию новых ТМ с заданными конструктивными особенностями и параметрами для сохранения и добычи ТС в любое время с наименьшими экономическими затратами и экологическими нарушениями окружающей природной среды. В задачу входили технологические аспекты освоения и формирования ТМ, а не разработка их классификации.

Отходы горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности возникают на каждом этапе технологической цепочки, от выемки из недр полезного ископаемого до получения конечного продукта. В зависимости от того, на каком этапе выделены отходы, различают структуру ТС. Конечно, в первую очередь ТС различаются по минеральному составу, который зависит от качества и состава руд и вмещающих их пород на каждом месторождении. Но вторым фактором, наиболее важным для технологии разработки, являются структурные особенности каждого ТС, которые зависят от технологического этапа, создающего эти отходы, т. е. от *техногенеза*. Иными словами, если вид и качество ТС определяют *очерёдность* разработки ТМ, то структура и стратиграфия определяют *технологию* разработки ТМ. По этой причине возникает необходимость классификации ТМ по структурному признаку ТС.

Ранее предлагались различные классификации ТМ [7–9], в которых, однако, отсутствовал чёткий классификационный признак. Поэтому использовать эти классификации ТМ в качестве основы для создания типовых схем их разработки не представляется возможным. Тем более что ТМ могут образовываться в подземных выработках и под водой. Но если иметь в виду, что существующие ТМ в подавляющем большинстве расположены на дневной поверхности, то разрабатывать их следует открытым способом. В нашем случае это обстоятельство стало начальным условием.

Характеристика техногенеза является не только граничным условием, но и определяющим признаком при выделении классов ТМ. При этом следует отметить, что такая характеристика, как способ разработки (подземный, открытый) естественного (геогенного) месторождения (ГМ), на основе которого формируется ТМ, принципиальной роли для определения класса ТМ практически не играет. Материал ТМ во всех случаях представлен дезинтегрированной горной массой и различается такими физическими характеристиками, как диапазоны крупности гранулометрического состава горных пород и степень их связности. Исключения составляют только шлаковые отвалы, которые могут быть гранулированными и монолитно сплавленными.

Таким образом, техногенез определяет основную структурную характеристику ТМ — диапазон грансостава извлечённой из недр и переработанной горной массы, т. е. ТС. Если подходить к классификации ТМ с позиций дифференциации технологических способов и механизмов для их разработки, то структурно-техногенная характеристика ТС и будет являться определяющим признаком. По этому признаку все ТМ, расположенные на дневной поверхности, можно разделить на три основных класса, представленных отвалами горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Первый вариант классификации был предложен авторами в работе [10], а переработанный и дополненный представлен в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Структурная классификация ТМ на дневной поверхности

Класс ТМ	Подкласс	Техногенное сырьё (ТС)	Техногенез (технологический генезис)	Основной диапазон крупности ТС, мм
1. Рудно-породные	1.1. Склады	1.1.1. Забалансовые руды	Дробление по технологии открытой и подземной разработки полезных ископаемых	1–400
		1.1.2. Попутные руды		
		1.1.3. Разубоженные руды контактных зон		
	1.2. Отвалы	1.2.1. Скальные или полускальные породы вскрыши	Дробление по технологии открытой разработки	1–800
		1.2.2. Скальные или полускальные породы проходки	Дробление по технологии подземной разработки	1–400
		1.2.3. Моренные породы	Вскрышные работы с частичным дроблением валунов	0.01–200
1.2.4. Рыхлые породы		Вскрышные работы на рыхлых осадочных породах и грунтах	0.1–30	
1.2.5. Смешанные		Совместная отсыпка скальных, моренных или иных вскрышных пород	0.1–400	
2. Хвостовые	2.1. Хвостохранилища	2.1.1. Хвосты мокрого обогащения	Гравитация, флотация, магнитная сепарация и др.	0.01–5
		2.1.2. Хвосты сухого обогащения	Породовыборка, слодовыборка и др.	0.01–30
3. Шлакозольные	3.1. Шлако- и шламоотвалы	3.1.1. Шлаки гранулированные	Отходы технологического процесса пирометаллургии	1–30
		3.1.2. Шлаки сплавленные		–
		3.1.3. Шламы металлургические		0.001–2.0
	3.2. Золошлакоотвалы	3.2.1. Золошлаковые смеси	Отходы теплоэлектростанций, работающих на твёрдом топливе	0.001–10

Приведённая классификация не претендует на универсальность в общем плане. В частности, для составления кадастра ТМ она явно не имеет достаточной полноты, так как не включает в себя характеристику запасов ни по минералогическому составу, ни по их количеству, ни по наиболее перспективным полезным компонентам. Однако для выбора технологии разработки, выбора горнотранспортного и выемочного оборудования при открытой разработке приведённая классификация является и необходимой, и достаточной.

То, что структурная характеристика ТС неразрывно связана с техногенезом его образования, позволяет использовать данную классификацию и для разработки способов оптимального формирования ТМ. При разработке способов освоения существующих и формирования будущих ТМ обращение к структурно-техногенным характеристикам отходов в горной промышленности в любом случае неизбежно.

Выбор технологических схем в первую очередь зависит от класса ТМ, который в первом приближении определяет его структурно-текстурные характеристики. Например, хвостовые отвалы флотации содержат материал, прошедший при обогащении руды все стадии дробления и измельчения. Поэтому размер частиц такого материала не превышает 5 мм. По этому же признаку к таким ТМ относятся и зольные отвалы. Сходство хвостовых и зольных отвалов по структурному признаку ТС делает возможным применение для них сходных технологических схем разработки. Породные отвалы и склады забалансовых руд имеют другие структурно-текстурные характеристики, обусловленные сходным техногенезом. Они представлены, как правило, скально-обломочным материалом, размер которого в результате буровзрывных работ, экскавации и транспортировки на 95–98 % не превышает 400–500 мм, что в основных чертах позволит применить похожие технологии разработки.

2. ХВОСТОВЫЕ И ШЛАКОЗОЛЬНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

2.1. Мониторинг техногенных месторождений мелкоструктурного техногенного сырья

2.1.1. Хвостовые и шлакозольные техногенные месторождения Мурманской области

В Мурманской области можно выделить 17 крупных ТМ класса хвостовых отвалов, начало образования которых относится к 1940–1950-м гг. Особенности формирования, размещения, структурные признаки этих ТМ представлены в широком диапазоне, поэтому результаты анализа условий освоения этого класса ТМ будут представительными и для других регионов России.

В таблице 2.1 представлены основные данные по хвостовым отвалам Мурманской области, взятые из ранее составленного Горным институтом Банка данных техногенных месторождений Мурманской области [11]. Основные особенности сформированных хвостохранилищ охарактеризованы ниже.

1. В подавляющем большинстве отвалы хвостов обогащения, зольные и шлаковые отвалы расположены на дневной поверхности, что предопределяет открытый способ их разработки. Однако имеются случаи складирования хвостов обогащения и шлаков в подземных горных выработках как в качестве закладочного материала, так и складирования их в случае наличия токсичных компонентов, а также в редких случаях складирования материала с целью сохранения его природных свойств, которые могут измениться при хранении на поверхности.

2. Большим преимуществом ТМ является расположение их в уже освоенных районах, что не требует создания новой инфраструктуры, а размещение вблизи обогатительных производств позволяет использовать задействованные промышленные площадки и оборудование для переработки ТС. Эти факторы в значительной степени снижают капитальные и эксплуатационные затраты на освоение ТМ, а также отрицательное воздействие на окружающую природную среду.

3. Материал рассматриваемого класса ТМ чаще всего представляет собой пески различных подклассов крупности от тонких до крупных (до 2 мм). Гранулированные шлаки и хвосты слюдяного производства даже можно отнести к подклассу мелкого гравия. Это свойство в значительной мере определяет технологию добычи, начиная со вскрытия и заканчивая выбором транспорта, типами усреднительных складов и технологией повторной переработки. Эти же свойства будут определять меры по охране окружающей природы и безопасности ведения горных работ.

4. Химический состав хвостов показывает наличие полезных компонентов, присущих первоначальному перерабатываемым рудам. Причём остаточное содержание основных компонентов в хвостах достаточно высоко, что делает их пригодными для повторного извлечения. Эти хвосты содержат комплекс полезных компонентов, не извлеченных при первичном обогащении, которые могут быть выделены при повторной переработке. Химический состав в значительной степени определяет экономику повторной переработки хвостов и их использования. Хвосты обогащения в Мурманской области по химическому составу и концентрациям отнесены к веществам 4-го класса опасности, что не потребует дополнительных мер безопасности при их добыче.

Основные характеристики хвостохранилищ Мурманской области

№ п/п	Предприятие	Хвостохранилище обогатительной фабрики	Время заполнения		Тип по размещению	Наличие отстойника	Название и крупность хвостов, мм	Занимаемая площадь, га	Ресурс ТС, тыс. т (год учёта)	Полезные компоненты
			с	до						
1	АО «Кольская горно-металлургическая компания»	Комбинат «Печенганикель», ОФ-1, поле 1	1965	1974	Равнинно-котловинное	Нет	Песок, до 0.1	1050	250000 (2000)	Ni, Cu, Co, на цемент
2		То же, поле 2	1974	Действует	Равнинное	Есть				
3		ОФ-2	1945	1994	То же	Нет		Н. д.		
4		Плавильный цех комбината «Печенганикель»	1945	Действует	»	Нет	Гранулированный шлак, до 2.5	86	> 57000 (2000)	Ni, Cu, Co, для дорожного строительства
5		Мончегорская ОФ	1935	1978	Н. д.	Нет	Песок, до 1.0	Н. д.	5300	Ni, Cu, Co
6	ООО «Ловозёрский ГОК»	ОФ «Карнасурт», поле 1	1951	1987	Косогорное	Нет	То же	60	6700	Nb ₂ O ₅ , Na ₂ O, K ₂ O
7		То же, поле 2	1987	Действует	Косогорно-долинное	Есть		380	> 9000 (2000)	
8		ОФ «Умбозеро»	1984	Законсервировано	Косогорное	Н. д.		13.5	> 16000 (2000)	
9	АО «Олкон»	ДОФ, основное	1954	Действует	Равнинное	Есть	Песок, до 1.6	1068	> 422810 (2012)	Fe ₂ O ₃ , на силикатный кирпич
10		То же, аварийное		То же	Котловинно-озёрное	Есть		320.4	> 9800 (2012)	
11	АО «Ковдорский ГОК»	МОФ, поле 1	1962	1981	Овражно-балочное	Есть	Песок, до 2.5	293.7	Отработано, > 60 000	P ₂ O ₅ , ZrO ₂ , MgO, CaO
12		МОФ, поле 2	1981	Действует		Есть		Песок, до 1.25		
13	АО «Апатит»	АНОФ-1 (16 км)	1957	1963	Пойменное	Нет	Песок, до 0.02	120	24000	P ₂ O ₅ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃
14		АНОФ-2	1968	Действует	Равнинное	Есть		1027	> 630000 (2012)	
15		АНОФ-3	1963	То же	То же	Есть		1249	> 268000 (2012)	
16	АО «Ковдорслюда»	Вермикулитовая ОФ	1955	»	»	Есть	Песок, гравий, до 5.0	35	5920 (1995)	Оливин, вермикулит, диопсид
17	АО «Апатитская ТЭЦ»	Золошлаковый отвал	1959	»	Пойменно-косогорное	Есть	Гранулы, до 2.5	34	9500 (на 2008)	На шлакобетон

6. Подавляющее большинство хвостовых и золошлаковых отвалов крупных ТЭЦ представляют собой гидроотвалы, которые сформированы за счёт подачи и распределения материала хвостов и золы с помощью гидротранспорта. По существующей классификации [12–14] гидроотвалы подразделяют в зависимости от рельефа основания: а) на овражно-балочные, создаваемые путём возведения насыпной или намывной дамбы, перегораживающей балку или долину; б) равнинные, расположенные на ровной или слабонаклонной местности, обвалование которых производится с четырёх сторон; в) овражно-равнинные, устраиваются на равнинах, пересеченных оврагами, которые перекрываются плотинами, а равнинная часть обваловывается; г) пойменные, располагаются в поймах рек с обвалованием с двух-трёх сторон; д) косогорные, намываются на склонах (косогорах), ограждаемые с трёх сторон; е) котлованные и котловинные, расположенные соответственно в выработанных пространствах карьеров и естественных понижениях (рис. 2.1).

Конструкция гидроотвала в зависимости от рельефа будет определять: границы карьера, вскрытие ТМ, приконтурные потери ТС, размещение горного оборудования, направление добычных работ и производительность карьера. Отвалы хвостов Мурманской области относятся в своем большинстве к овражно-балочному, равнинному и косогорному типам гидроотвалов.

По конструкции и порядку возведения дамбы обвалования гидроотвалы подразделяются на три категории: а) дамба сооружается из привозного грунта сразу на всю проектную высоту; б) дамба намывается из материала хвостов поярусно; в) дамба сооружается из привозного грунта поярусно. От конструкции и материала дамбы будут зависеть: распределение полезного компонента по площади и с глубиной, засорение материала хвостов, необходимость удаления дамбы в период отработки или сохранения дамб для последующего использования, но тогда будут возрастать потери ТС у дамб и на контактах.

По приёмной способности гидроотвалы подразделяются на четыре класса: I — свыше 500 млн м³, II — от 100 до 500 млн м³, III — от 10 до 100 млн м³, IV — до 10 млн м³. Этот признак определяет объём промышленных запасов для отработки, производительность карьера и срок отработки залежи. Хвостохранилища крупных ГОКов Мурманской области можно отнести к классу II, небольших ГОКов и недействующих хвостохранилищ — к III и IV классам.

Однако по действующему СНиП 35-01-2003 класс гидроотвала в большей степени определяется безопасностью основных сооружений — ограждающих дамб и дамб обвалования. За критерий классности принята максимальная высота дамбы и типы грунтов в её основании с учётом оценки последствий аварий сооружения, а не только вместимости хвостохранилища. По этому критерию к классу I относятся гидроотвалы с дамбами высотой свыше 50 м, к классу II — от 20 до 50 м, к классу III — от 10 до 20 м, к классу IV — 10 и менее метров.

По высоте гидроотвалы подразделяют: а) на низкие — до 10 м; б) средние — 10–30 м; в) высокие — более 30 м. Высота отвалов будет оказывать влияние на величину потерь ТС на контактах с дневной поверхностью и дамбами, на производительность карьера, содержание полезного компонента в добываемой горной массе, размещение вскрывающих выработок и автодорог, величину загрязнения атмосферы пылью, размещение вторичных отходов. Хвостовые отвалы Мурманской области по высоте можно отнести к категории средних и высоких.

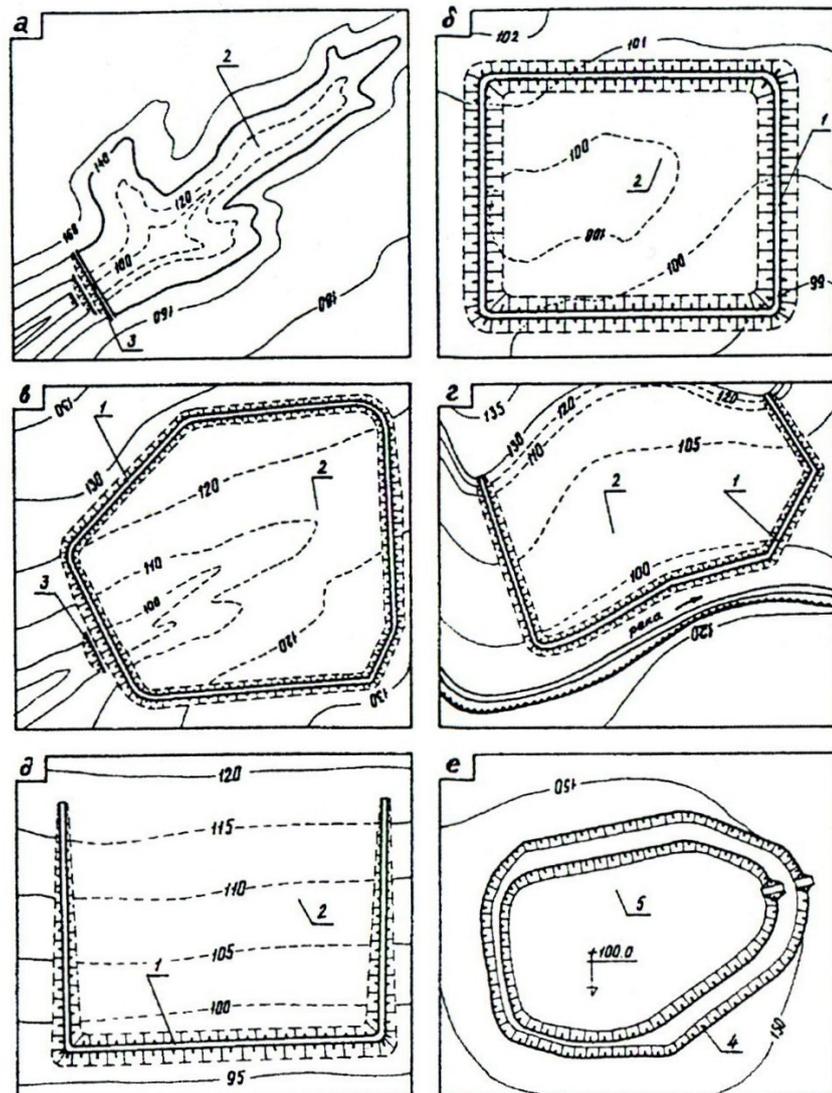


Рис. 2.1. Типы намывных массивов (гидроотвалов, хвостохранилищ):
 1 — дамба обвалования; 2 — зона размещения хвостов; 3 — упорная плотина;
 4 — уступы карьера; 5 — выработанное пространство

В зависимости от способа намыва хвостов различают: а) от дамбы к прудку; б) от берега к откосу, т. е. к дамбе, когда она построена на всю высоту. От способа намыва хвостов зависит распределение материала хвостов по крупности и по величине содержания полезного компонента в намываемых слоях, что в свою очередь будет оказывать влияние на размещение вскрывающих выработок, направление развития горных работ с целью поддержания заданного качества добываемой массы на длительный период добычи, а также на необходимость сооружения усреднительных складов. Чаще всего используется способ намыва от дамбы к прудку.

6. Техногенные месторождения на поверхности, как правило, не имеют вскрышных пород, что является одним из главных преимуществ при добыче. Это условие оказывает влияние на всю технологию добычи, элементы системы разработки, экономику и загрязнение окружающей среды.

Рекультивируемые ТМ иногда прикрываются слоем почвы для посадки трав, кустарников и леса. При разработке таких месторождений понадобятся вскрышные работы в небольших объёмах. Если же продуктивная толща хвостов перекрыта весьма бедными слоями (вторичными хвостами), то эти слои по экономическим критериям могут быть отнесены к удаляемой вскрыше.

7. На действующих хвостовых отвалах, намыв которых производится с помощью гидротранспорта, характерно наличие прудов-отстойников, занимающих часть верхней площадки таких отвалов. Согласно пункту 577 правил безопасности 2014 г. при ведении открытых горных работ: «В процессе эксплуатации гидроотвала и при наращивании ограждающих дамб запрещается срезка грунта, устройство карьеров и котлованов в нижнем бьефе и на низовом откосе дамбы, а также в ложе хвостохранилища» [15]. Поэтому необходимо переводить действующее хвостохранилище либо во временно недействующее, либо полностью прекращать работы по намыву и производить осушение пруда-отстойника и массива хвостохранилища.

8. Одна из характерных ошибок раннего проектирования хвостохранилищ состояла в отсутствии обязательных мер по подготовке подотвальных площадей, в результате чего под хвостами оставались деревья, кустарники, слой почвы. Кроме того, при переносе трубопроводов не предусматривалась уборка старых опор. В результате хвостохранилища часто засорены деревом, металлом, бетоном, что потребует определённых мер очистки при добыче, особенно на контактах с первоначальной поверхностью и дамбами.

2.1.2. Особенности и условия освоения хвостовых отвалов

Так как практика освоения ТМ ещё не очень распространена, то исходным материалом для данного раздела послужили обзор и анализ литературных источников по освоению ТМ, представленных как крупно-, так и мелкодисперсным ТС.

На ранних стадиях изучения проблемы освоения ТМ работы были посвящены систематизации и классификациям как самих ТМ, так и технологий их разработки, исходя из аналогий, имеющихся в геологии и горном производстве [16–21]. В подавляющих случаях эти систематизации не были подкреплены ни практикой освоения ТМ, ни глубокими теоретическими предпосылками. Так, например, в работах [17, 18] по систематизации технологических схем содержатся характеристики способов вскрытия, способов разработки по степени влажности и другие теоретические признаки, но совершенно не учитываются вид переработки и использования ТС, от которых будут зависеть масштаб производства, направления формирования рабочей зоны, вид горнотранспортной техники и условия подготовки ТС к обогащению. Так, если добываемое сырьё предназначено для выработки концентратов, то потребуются уже при добыче соблюдать и условия подготовки этого ТС, и, следовательно, способ добычи (сухой или гидравлический), и методы усреднения качественных характеристик, и соответствующие комплексы техники для процессов усреднения. Если ТС в дальнейшем будет использоваться

в качестве строительного материала, то масштабы его добычи будут намного меньше, чем в случае с обогащением, а условия использования с переработкой, скажем, в штучный материал не потребуют организации процесса усреднения и т. п.

В работе [16] не учитывается технология освоения, а рассматривается только генезис ТС и условия залегания самой залежи, что ближе к геологическим классификациям месторождений. Многие классификации ТМ носят специфические направления освоения [19, 21] по типу исходного полезного ископаемого: уголь, полиметаллы, железо или систематизация по способам сохранения сырья и снижения отрицательного воздействия на окружающую среду.

Немногочисленные работы посвящены определению физико-механических свойств ТМ [22–24]. Не все эти работы связаны с будущими технологиями добычи хвостов, а в основном посвящены вопросам устойчивости гидроотвалов и дамб.

Имеется ряд публикаций, где укрупнённо оценивается экономическая эффективность освоения ТС, но без каких-либо технологических аспектов освоения [19, 25, 26].

Среди литературных источников по технологии добычи ТС, кроме работ, связанных с крупномасштабным освоением техногенного месторождения на хвостохранилище АО «Ковдорский ГОК» на поле 1, можно упомянуть две работы, посвящённые гидродобыче хвостов из аварийного хвостохранилища обогатительной фабрики АО «Олкон» (г. Оленегорск Мурманской области) [27, 28]. В этих работах даётся информация об имеющемся опыте гидродобычи на АО «Олкон» и без должного обоснования рекомендуется производить разработку хвостохранилищ преимущественно гидроспособом. При этом подчёркивается, что производительность производства на аварийном хвостохранилище, где применяли гидродобычу, планируется довести до 500 тыс. т песков в год, в зимний период здесь отмечались значительные промерзания пляжа намыва и резкое сокращение площади прудка, что приводило к серьёзным технологическим затруднениям.

Подводя некоторые итоги литературного обзора, с учётом опыта разработки хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК», о котором будет сказано ниже, можно отметить как положительные выводы, так и отрицательные факторы, которые пока не учитываются или учитываются в малой степени и неполно при разработке технологий освоения ТМ.

Положительные выводы из литературы:

- 1) освоение ТМ необходимо для расширения сырьевых баз горнодобывающих предприятий;
- 2) отмечается экологическая, социальная и экономическая эффективность реализации освоения ТМ;
- 3) признание того факта, что случаи освоения ТМ единичны, малый опыт их освоения позволяет давать рекомендации чаще всего теоретического характера;
- 4) для освоения ТМ в некоторых случаях возможно применять гидравлические способы добычи ТС;
- 5) для освоения ТМ применима используемая на современных карьерах горнотранспортная техника, но требуется разработка специальных видов техники, а главное — специальных технологий.

Факторы, которые либо мало, либо вообще не учитываются при разработке технологий:

- 1) вид использования сырья;
- 2) не в полной мере учитываются рыночные критерии: спрос на ТС, его качественные характеристики;
- 3) технология обогащения вторичного сырья должна определять исходные условия технологии добычи;
- 4) возможность образования вскрышной горной массы вследствие заполнения хвостохранилищ вторичными бедными хвостами, обеднёнными видами хвостов, разработкой рекультивируемых участков с преобладанием органики от различного рода посадок;
- 5) не всегда учитывается необходимость усреднения качественных характеристик ТС в карьере и способы и методы усреднения;
- 6) не всегда оправдан перенос опыта добычи геогенного сырья для создания технологии добычи техногенного;
- 7) практически не учитываются засорения ТС лесом, металлом, бетоном и отсутствие подготовки дна хвостохранилищ (террасированием, гидроизоляцией и т. п.);
- 8) не учитываются в должной мере обводнённость массивов и методы дренажа, осушения и водоотведения;
- 9) конструктивные особенности хвостохранилищ, порядок их формирования и размещения;
- 10) для северных и заполярных регионов — климатические особенности (смерзаемость массива, акваторий и водных сооружений и магистралей).

2.1.3. Климатические особенности районов размещения хвостохранилищ Мурманской области

Исследуемый регион (хвостохранилища Мурманской области) полностью относится к Атлантико-Арктической зоне умеренного климата с преобладанием тёплых воздушных потоков с Северной Атлантики и холодных из Атлантического сектора Арктики, для которого характерно увеличение повторяемости циклонов в холодное время года и антициклонов в тёплое [29]. Близость тёплого течения Гольфстрим обуславливает здесь аномально высокие зимние температуры воздуха, а большие температурные различия Баренцева моря и материка в летние и зимние месяцы — большую изменчивость температур воздуха при смене направления ветра. Ветровой режим носит муссонный характер, который выражается в преобладании зимой ветров южного и юго-западного направлений, а летом — северного и северо-западного направлений. Ветровой режим в рассматриваемых районах Кольского полуострова в летние месяцы, с мая по октябрь включительно, представлен ниже при общей характеристике хвостохранилищ. Регион находится в зоне отрицательных среднегодовых температур и избыточного увлажнения воздуха. Основные климатические характеристики представлены в таблицах 2.2–2.4.

Из климатических факторов, которые могут влиять на технологию разработки ТМ и которые следует учитывать в проектах, можно выделить следующие.

Величина отрицательных температур, продолжительность устойчивых морозов — факторы, влияющие на способ выемки и транспортирования ТС (сухой, гидродобыча и гидротранспорт). Возможность (глубина) промерзания грунта от поверхности будет оказывать влияние на рыхление горной массы и на процессы усреднения сырья на усреднительных складах. Скорость и направление ветра скажутся на пылеобразовании при добыче и могут быть учтены при расчёте параметров системы разработки и направлении фронта выемки. Количество осадков и площадь водосбора могут отразиться на водоприитоках в карьер.

Таблица 2.2

Климатические характеристики районов расположения хвостохранилищ на Кольском полуострове

Хвостохранилище	$t_{\text{ср. года}}$, °С	$t_{\text{ср. января}}$, °С	$t_{\text{ср. июля}}$, °С	$V_{\text{ср. года}}$, м/с	$V_{\text{ср. января}}$, м/с	$V_{\text{ср. июля}}$, м/с	Среднегодовое количество осадков, мм	$h_{\text{снега}}$, см
Ковдор	-1.7	-14.0	12.8	2.9	2.8	2.9	466	55
Оленегорск	-1.6	-13.4	12.8	2.9	2.4	2.7	409	40
Заполярный	-0.4	-10.7	12.8	4.2	4.2	3.9	418	37
Ревда	-1.7	-13.6	12.6	3.4	3.2	3.4	386	50
АНОФ-2	-0.7	-12.6	13.5	4.0	3.7	4.0	481	22
АНОФ-3	-0.2	-14.9	12.9	3.5	3.0	3.5	668	85
Золошлакоотвалы	-1.0	-13.3	13.8	3.8	3.5	3.7	449	71

Таблицы 2.3

Глубина промерзания почвы, см

Хвостохранилище	Участок	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	Ср.
Оленегорск	Болото	7	20	29	41	50	56	49	—	57
АНОФ-2	То же	6	23	28	36	40	43	44	34	44
АНОФ-2	Поле	16	47	70	105	124	140	131	115	143
Ковдор	То же	12	39	56	85	109	116	98	—	120
Ревда	»	19	40	76	110	139	153	154	124	102
Золошлакоотвалы	»	Н. д.	145							

Таблицы 2.4

Средние даты наступления, прекращения и продолжительность устойчивых морозов

Хвостохранилище	Наступление	Окончание	Продолжительность, дни
Ковдор	28.X	8.IV	163
Оленегорск	1.XI	9.IV	160
Заполярный	8.XI	7.IV	151
Ревда	3.XI	10.IV	159
АНОФ-2	7.XI	3.IV	148
АНОФ-3	2.XI	8.IV	158
Золошлакоотвалы	5.XI	5.IV	152

2.1.4. Физико-механические свойства и особенности техногенного сырья

В процессе разведочных работ на хвостохранилищах Мурманской области и изучения технологий обогащения лежалых хвостов в АО «Апатит» и АО «Ковдорский ГОК» неоднократно отбирались пробы песков и определялись необходимые свойства, но эти свойства не были связаны с процессами добычи. В 2007 г. при реализации проекта разведки на поле 2 хвостохранилища Ковдорского ГОКа и постановки запасов на баланс впервые были исследованы свойства, необходимые горнякам.

АО «Мурманская геологоразведочная экспедиция» (МГРЭ) отобрало характерные глубинные пробы песков из разведочных скважин, АО «Ковдорский ГОК» организовало экспериментальный карьер для отбора ненарушенных проб с площадок карьера, ГоИ отобрал необходимые пробы из этого карьера, и в натуральных и камеральных условиях были определены и исследованы необходимые свойства.

В последнем случае на специально выбранном участке 2-го поля в районе пикета пульповода ПК-51 (рис. 2.2) между пульпопроводом и урезом отстойника (рис. 2.3, точки *A* и *C*), расстояние между которыми составляет примерно 180 м, был организован экспериментальный карьер (*AB*), протяжённостью от пульповода около 20 м. Ширина площадок уступов: $a_1 \approx 4$ м, $a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = 3$ м. Высота уступов: $h_1 = h_2 = h_3 = 1$ м, $h_4 = 1.5$ м (рис. 2.3, *a*, *б*; 2.4). Карьер располагался на расстоянии примерно в 160 м от уреза отстойника (точка *C*).

Параметры экспериментального карьера были выбраны такими, чтобы обеспечивались условия, достаточные для проведения всего комплекса полевых исследований, дающих возможность оценки физико-механических свойств материала хвостов в реальных ненарушенных условиях.



Рис. 2.2. Пляж хвостохранилища поля 2 АО «Ковдорский ГОК» в районе испытаний

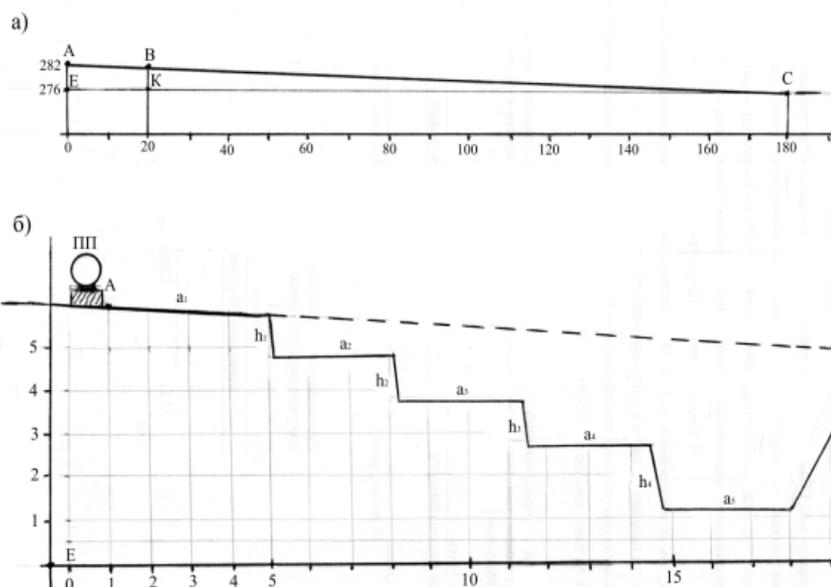


Рис. 2.3. Схематический разрез экспериментального карьера на 2-м поле хвостохранилища:

a — общий профиль участка ($M = 1 : 1000$); A — пульпопровод (ПП); AB — экспериментальный карьер; C — урез зеркала отстойника; 282 — отметка основания ПП; 276 — отметка уреза; b — профиль экспериментального карьера ($M = 1 : 100$); a_i — площадки уступов; h_i — высоты уступов

Для отбора проб и проведения необходимых испытаний использовались следующие приборы (рис. 2.5):

- полевая лаборатория Литвинова ПЛЛ-9У1;
- сдвиговой прибор ВСВ-25;
- прибор для определения угла естественного откоса в сухом состоянии, изготовленный в ГоИ;
- прибор для определения угла естественного откоса под водой;
- прибор для зондирования поверхности площадок хвостохранилища, изготовленный ГоИ (У-1 — ударник 1).

По фракционному составу хвосты представляли собой мелко-тонкозернистые пески в основном с содержанием класса до -0.63 мм.

Хвосты 2-го поля похожи на хвосты поля 1 этого же хвостохранилища, но отличаются меньшим содержанием полезных компонентов вследствие постоянного совершенствования технологии обогащения и более полного извлечения компонентов.

Средний минеральный состав хвостов поля 1 (по данным анализа малых технологических проб) характеризовался следующими содержаниями (%): магнетит — 1.5; апатит — 29.9; форстерит — 36.3; карбонаты — 25.; слюды — 6.4; пироксениты — 2.2; прочие — 3.4.

По химическому составу хвосты поля 2 содержали: $Fe_{вал.}$, P_2O_5 , CaO , CO_2 , SiO_2 , MgO , ZrO_2 , Al_2O_3 , S , TiO_2 . Основные полезные компоненты по данным АО «МГРЭ» представлены в табл. 2.5.

В таблице 2.5 наглядно представлено распределение полезных компонентов по горизонтам по мере заполнения поля 2 хвостохранилища.



Рис. 2.4. Натурное моделирование площадок и откосов уступов для взятия проб и испытаний материала хвостов



Рис. 2.5. Приборы для натуральных испытаний
(слева — У-1, в центре — ПЛЛ, справа — ВСВ-25)

Таблица 2.5

Среднее содержание основных компонентов в хвостах поля 2 по горизонтам
разведанных запасов

Горизонт	Среднее содержание, %			
	P ₂ O ₅	Fe _{вал.}	ZrO ₂	Фракция -0.071 мм
+285	3.44	5.39	0.25	7.0
285–279	3.98	5.12	0.25	9.71
279–273	3.76	4.53	0.21	17.68
273–267	4.08	4.34	0.21	25.56
267–261	4.32	4.19	0.20	30.48
261–255	4.70	4.08	0.21	37.37
255–249	5.14	4.00	0.21	48.72
249–243	5.56	3.94	0.21	62.51
243–237	5.97	3.90	0.21	68.41
237–231	6.20	4.00	0.21	69.30
-231	6.23	4.16	0.19	59.30

По представленным пробам АО «МГРЭ» и на опытном карьере были проведены следующие испытания: 1) определение гранулометрического состава материала хвостов; 2) определение объёмного веса (плотности) в сухом состоянии; 3) определение пористости; 4) расчёт коэффициента фильтрации; 5) определение полной влагоёмкости; 6) определение угла естественного откоса в сухом состоянии и под водой; 7) определение сцепления; 8) определение угла внутреннего трения.

Определение гранулометрического состава выполнялось по нормативам обогащенного производства в следующих диапазонах: > 5 мм; 5–3 мм; 3–2 мм; 2–1.6 мм; 1.6–1 мм; 1–0.63 мм; 0.63–0.4 мм; 0.4–0.2 мм; 0.2–0.16 мм; 0.16–0.1 мм; 0.1–0.071 мм; 0.071–0.045 мм; < 0.045 мм. За исключением одной пробы 277–4 девять проб относились к классу -0.63 мм. В среднем содержание класса < 0.4 мм составляет 99 %; < 0.071 мм — 45.8 % (табл. 2.6).

Для сравнения представлен грансостав хвостов поля 1 в табл. 2.7.

Средние значения грансостава проб хвостов из экспериментального карьера представлены в табл. 2.8.

Определение объёмного веса хвостов в сухом состоянии по 10 пробам производилось путём взвешивания бюкс из полевой лаборатории Литвинова ПЛЛ-9У1. Так как представленные пробы были в нарушенном состоянии, то бюксы наполняли материалом проб тремя разными способами: насыпным, насыпным при уплотнении лёгким постукиванием по стенке бюксы и уплотнённым с помощью ручного уплотнителя из полевой лаборатории. Средние значения объёмных весов колебались в насыпном состоянии от 1.11 до 1.74 г/см³, в слегка уплотнённом состоянии — от 1.41 до 1.98 г/см³, в уплотнённом (утрамбованном) состоянии — от 1.8 до 2.26 г/см³ (табл. 2.9).

Таблица 2.6

Гранулометрический состав по результатам ситового анализа по данным Горного института КНЦ РАН по десяти пробам МГРЭ из хвостохранилища (2-е поле) АО «Ковдорский ГОК»

№ № проб	Ед. измерения	Класс крупности, мм								Сумма по весу, г
		< 0.045	0.045–0.071	0.071–0.1	0.1–0.16	0.16–0.2	0.2–0.4	0.4–0.63	0.63–8	
271–2	Вес, г	28.30	19.60	27.60	34.70	5.60	3.80	0.10	0.00	119.7
	%	23.64	16.37	23.06	28.99	4.68	3.18	0.08		
277–4	Вес, г	29.10	27.60	30.80	38.70	7.40	7.50	0.20	0.00	141.3
	%	20.59	19.53	21.80	27.39	5.24	5.31	0.14		
299–2	Вес, г	40.10	32.70	44.70	68.20	14.00	13.30	0.80	0.00	213.8
	%	18.76	15.29	20.91	31.90	6.55	6.22	0.37		
301–2	Вес, г	126.30	29.40	14.20	12.10	1.80	1.40	0.20	0.20	185.6
	%	68.05	15.84	7.65	6.52	0.97	0.75	0.11	0.11	
312–4	Вес, г	68.40	21.30	9.70	4.70	0.50	0.40	0.00	0.00	105.00
	%	65.14	20.28	9.24	4.48	0.48	0.38			
313–8	Вес, г	76.80	30.80	30.30	36.40	7.20	13.20	3.40	10.50	208.60
	%	36.82	14.77	14.53	17.45	3.45	6.33	1.63	5.03	
314–3	Вес, г	64.40	24.00	13.00	12.60	2.00	1.20	0.00	0.00	117.20
	%	54.95	20.48	11.09	10.75	1.71	1.02			
316–3	Вес, г	45.50	29.40	35.80	66.70	16.90	15.20	0.70	0.00	210.20
	%	21.65	13.99	17.03	31.73	8.04	7.23	0.33		
317–4	Вес, г	11.50	33.10	32.90	47.10	11.10	10.10	0.00	0.00	145.80
	%	7.89	22.70	22.57	32.30	7.61	6.93			
324–4	Вес, г	6.90	16.50	30.00	95.60	36.50	30.60	0.70	0.20	217.0
	%	3.18	7.60	13.83	44.06	16.82	14.10	0.32	0.09	
Общий результат	Вес, г	497.3	264.4	269.0	416.8	103.0	96.7	6.1	10.9	1664.2
	%	29.9	15.9	16.2	25.0	6.2	5.8	0.4	0.6	
Нарастающая сумма, %		29.9	45.8	62.0	87.0	93.2	99.0	99.4	100.0	

Таблица 2.7

Грансостав лежалых хвостов поля 1

Класс крупности, мм	0–0.063	0.063–0.1	0.1–0.2	0.2–0.4	0.4–0.63	0.63–1.0	> 1
Содержание, %	15.1	21.2	48.3	13.3	1.8	0.2	0.1
Выход по минусу, %	15.1	36.3	84.6	97.9	99.7	99.9	100.0

Таблица 2.8

Средние значения грансостава проб хвостов из площадок экспериментального карьера поля 2

Класс крупности, мм	Единицы измерения		
	вес, г	γ , %	нарастающая сумма, %
+1.0	3.5	0.38	100.00
-1.0 + 0.63	16.3	1.77	99.62
-0.63 + 0.4	64.1	6.97	97.85
-0.4 + 0.2	387.5	42.11	90.88
-0.2 + 0.16	139.0	15.11	48.77
-0.16 + 0.1	209.3	22.75	33.66
-0.1 + 0.071	54.9	5.97	10.91
-0.071 + 0.045	28.9	3.14	4.94
-0.045	16.6	1.80	1.8
Итого	920.1	100.00	–

Таблица 2.9

Плотность по пробам МГРЭ

№ пробы	Влажные пробы			Высушенные пробы		
	насыпная, г/см ³	при постукивании	утрамбованная, г/см ³	насыпная, г/см ³	при постукивании	утрамбованная, г/см ³
301–2	1.16	1.37	1.85	1.11	1.41	1.80
324–4	1.76	1.96	1.99	1.74	1.98	1.95
313–8	1.41	1.82	1.89	1.44	1.80	1.88
316–3	1.44	1.85	1.93	1.46	1.90	1.96
317–4	1.32	1.73	1.94	1.40	1.85	1.96
299–2	1.55	1.91	1.91	1.55	1.93	2.00
277–4	1.43	1.86	1.88	1.46	1.86	2.26
271–2	1.40	1.84	1.95	1.41	1.88	2.00
312–4	1.15	1.51	1.78	1.21	1.53	1.82
314–3	1.22	1.62	1.86	1.28	1.64	1.90
Сред.	1.38	1.75	1.90	1.41	1.78	1.95

Для характеристики хвостов поля 2 в ненарушенном состоянии были дополнительно отобраны пробы методом режущих колец на горизонтах экспериментального карьера и определены плотности и влажности по горизонтам и средние значения по карьере (табл. 2.10). В табл. 2.10 для горизонта -2 (+280 м) значение влажности определено по пробам в бюксах, отобранных на карьере, но с нарушением естественной плотности. Среднее значение влажности, определённое по пробам в бюксах из горизонтов карьера (нарушенная плотность), составила 5.65 %, что практически совпадает со средним значением влажности хвостов по карьере по пробам в режущих кольцах (5.7 %).

Таблица 2.10

Определение плотности хвостов в естественном состоянии
по пробам в кольцах на горизонтах экспериментального карьера поля 2

Горизонт	№ кольца	Масса кольца с грунтом, г	Масса кольца, г	Масса грунта, г	Естественная влажность, %	Естественная плотность, г/см ³
0 (+282)	1	161.62	66.42	95.20	Не определялась	1.90
	2	150.79	65.67	85.12	5.2	1.70
	3	161.54	67.07	94.47	4.9	1.89
Среднее по горизонту					5.0	1.83
-1 (+281)	4	151.27	64.37	86.90	3.6	1.74
	5	154.78	65.90	88.88	4.0	1.78
	6	149.60	66.09	83.50	3.4	1.67
Среднее по горизонту					3.7	1.73
-2 (+280)					9.5	
					8.0	
					11.5	
Среднее по горизонту					9.7	
-3 (+279)	7	147.40	67.77	79.63	4.3	1.59
	8	153.24	67.5	85.74	3.6	1.71
Среднее по горизонту					4.0	1.65
-4.5 (+277.5)	9	157.92	68.00	89.92	4.5	1.8
	10	148.55	65.78	82.77	6.4	1.66
	11	157.41	66.54	90.87	5.2	1.82
Среднее по горизонту					5.4	1.76
Среднее по карьере					5.71	1.74

Значение полной влагоёмкости для проб МГРЭ изменялось от 17.4 до 30 %, среднее значение по пробам составило 22.2 % (табл. 2.11).

Таблица 2.11

Полная влагоёмкость, пористость и угол естественного откоса
по пробам МГРЭ

Свойства	Номер пробы										Ср. знач.
	301-2	317-4	299-2	277-4	271-2	312-4	314-3	313-8	316-3	324-4	
Полная влагоёмкость, %	30.0	17.4	20.9	19.9	20.1	24.9	24.8	23.2	19.1	21.6	22.2
Пористость, %	54	36	43	41	42	47	47	46	40	44	44
Угол естественного откоса сухого материала, град.	41	41	38	38	38	37	39	36	37	33.4	37.8
Угол естественного откоса под водой, град.	21.7	17.9	23.3	23.5	22.1	23	24	30.9	23	23	23.2

Определение пористости производилось методом насыщения [30] и также представлено по пробам МГРЭ в табл. 2.11. Среднее значение пористости составляет 44 % при диапазоне 36–54 %.

Измерение полной влагоёмкости и пористости по пробам из экспериментального карьера представлено в табл. 2.12.

Среднее значение полной влагоёмкости составило 27.1 %, пористости — 45.1 %, что незначительно отличается от данных по табл. 2.11, при этом следует отметить, что материал в опытном карьере в среднем крупнее, чем в пробам МГРЭ.

Таблица 2.12

Полная влагоёмкость и пористость по пробам из карьера

№ бюксы	Полная влагоёмкость, %	Пористость, %
2	29.5	47.8
3	23.9	43.0
4	25.9	43.5
5	25.8	44.1
7	29.8	45.6
8	27.2	45.0
10	26.5	45.7
11	29.3	45.7
12	26.2	45.4
Средние значения	27.1	45.1

Коэффициент фильтрации определялся расчётным методом В. А. Крюгера [30] с температурной поправкой для 10 °. Так как пробы МГРЭ были в нарушенном состоянии, то для определения коэффициента фильтрации для каждой пробы определялась плотность в утрамбованном состоянии γ_n . Знание фильтрационных свойств позволяет рассчитать время осушения забоев и уступов при эксплуатации рабочей зоны карьера. Расчётные значения коэффициентов фильтрации представлены в табл. 2.13. Среднее значение по пробам составило 2.37 м/сут.

Таблица 2.13

Коэффициент фильтрации рассчитан по формуле Крюгера при температуре воды 0 и 10 °С

№ пробы	Плотность γ_n , г/см ³	K_f (при температуре $t = 0$ °С), м/сут	K_f (при температуре $t = 10$ °С), м/сут
301–2	1.79	1.36	1.85
314–3	1.92	0.77	1.05
316–3	2.09	1.6	2.17
324–4	2.05	4.63	6.29
312–4	1.89	0.89	1.21
277–4	2.05	1.52	2.07
271–2	2.08	1.52	2.07
313–8	1.99	1.63	2.22
299–2	2.04	1.94	2.64
317–4	2.05	1.55	2.11
Средние значения	2.00	1.72	2.37

Определение угла естественного откоса хвостов в сухом состоянии производилось по прибору, изготовленному в ГоИ. Результаты определения даны в табл. 2.11. Средний угол естественного откоса по пробам МГРЭ для сухих хвостов составил 38.7 °.

Значения угла естественного откоса сухих хвостов по пробам из экспериментального карьера представлены в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Угол естественного откоса сухой массы хвостов, определённый по пробам из экспериментального карьера, град.

Горизонт	0 (+282) м	-1 (+281) м	-2 (+280) м	-3 (+279) м	-4.5 (+277.5) м	Средний по карьере
Средний угол естественного откоса по горизонту	35	35	33	35	34	34

Для замеров брались пробы, отобранные в нарушенном и ненарушенном состояниях. Замеры производились по 12 пробам. Среднее значение угла естественного откоса сухих хвостов в карьере составило 34 ° при диапазоне 33–35 °.

Определение угла естественного откоса материала хвостов под водой производилось в пластмассовом боксе из полевой лаборатории ПЛЛ-9У1. Диапазон этого угла по пробам МГРЭ составил 17.9–30.9 ° при среднем значении 23.2 ° (табл. 2.11).

Сдвиговые испытания проводились на сдвиговом приборе ВСВ-25 (см. рис. 2.5). По пробам МГРЭ испытания проводились в лабораторных условиях, а по пробам из экспериментального карьера — непосредственно в натуральных условиях на площадках карьера. Определялось сопротивление сдвигу τ в зависимости от вертикальной нагрузки при значениях 160, 320 и 480 кг. Строились графики зависимости сопротивления сдвигу τ , кг/см², от нормальных усилий σ , кг/см², и по стандартной методике определялись величины сцепления, кг/см², и углы внутреннего трения. Полученные значения сцепления и углов внутреннего трения для проб МГРЭ представлены в табл. 2.15, по испытаниям в экспериментальном карьере — в табл. 2.16.

Хвосты флотации апатит-нефелиновых руд обогатительных фабрик АНОФ-1, АНОФ-2, АНОФ-3 АО «Апатит» по литологическому типу представляют собой мелкий несвязный песок серого цвета с модулем крупности 1.1 и значительным содержанием пылеватых фракций. Объёмная плотность материала в хвостохранилище составляет соответственно 1.7 (хвостохранилище АНОФ-1) и 1.65 г/см³ (хвостохранилище АНОФ-3). Физико-механические свойства хвостов АНОФ-2 определялись более детально. Средневзвешенный диаметр частиц хвостов АНОФ-2 по пробоотборнику фабрики составляет 0.128 мм. На пляже, где сосредоточены более крупные фракции, средний диаметр частиц составляет 0.202 мм.

Гранулометрический состав в разные периоды заполнения хвостохранилища менялся, поэтому для сравнения приведены данные 1984 г. из Банка данных техногенных месторождений Мурманской области и данные 2005 г. из отчётных материалов АНОФ-2 (табл. 2.17).

Таблица 2.15

Значения сцепления и угла внутреннего трения по пробам МГРЭ

№ пробы	№ опыта	Нормальное усилие			Сдвигающее усилие			Сцепление		Угол внутреннего трения, град.
		инд, мм	кг	кг/см ²	инд, мм	кг	кг/см ²	кг/см ²	МПа	
301-2	1	2	160	4	1.4	64	1.6	0.60	0.06	14.00
	2	3	320	8	1.65	104	2.6			
	3	4	480	12	1.9	144	3.6			
324-4	4	2	160	4	1.33	52,8	1.32	0.03	0.003	19.8
	5	3	320	8	1.8	128	3.2			
	6	4	480	12	2.05	168	4.2			
313-8	7	2	160	4	1.35	56	1.4	0.11	0.011	16.7
	8	3	320	8	1.58	92,8	2.32			
	9	4	480	12	1.95	152	3.8			
316-3	10	2	160	4	1.22	35,2	0.88	0.09	0.009	11.3
	11	3	320	8	1.43	68,8	1.72			
	12	4	480	12	1.62	99,2	2.48			
317-4	13	2	160	4	1.35	56	1.4	0.03	0.003	20.8
	14	3	320	8	1.82	131	3.28			
	15	4	480	12	2.1	176	4.4			
299-2	16	2	160	4	1.45	72	1.8	0.17	0.017	21.3
	17	3	320	8	1.77	123	3.08			
	18	4	480	12	2.22	195	4.88			
277-4	19	2	160	4	1.38	60,8	1.52	0.13	0.013	18.8
	20	3	320	8	1.68	109	2.72			
	21	4	480	12	2.05	168	4.2			
271-2	22	2	160	4	1.35	56	1.4	0.2	0.02	18.3
	23	3	320	8	1.75	120	3			
	24	4	480	12	2	160	4			
312-4	25	2	160	4	1.45	72	1.8	0.29	0.029	20.8
	26	3	320	8	1.82	131	3.28			
	27	4	480	12	2.2	192	4.8			
314-3	28	2	160	4	1.35	56	1.4	0.11	0.011	18.3
	29	3	320	8	1.68	109	2.72			
	30	4	480	12	2	160	4			
Средние значения								0.18	0.018	18

Таблица 2.16

Средние значения сцепления и угла внутреннего трения по сдвиговым испытаниям в экспериментальном карьере 2

Горизонт, м	0	-1	-2	-3	-4.5	По карьере
Средние значения сцепления по горизонтам, кг/см ²	0.20	0.27	0.035	0.11	0.027	0.13
Средние значения угла внутреннего трения по горизонтам, град.	11.3	18.0	18.1	13.5	14.6	15.1

Таблица 2.17

Гранулометрический состав материала хвостов АНОФ-2 АО «Апатит»

Размер фракции, мм	0.224	0.16	0.09	0.071	-0.071
Содержание фракций по данным 1984 г., %	24.4	12.55	20.8	14	28.25
Содержание фракций по пробоотборнику в 2005 г., %	20.15	12.9	18.6	14.9	33.45

Объёмная плотность хвостов в хвостохранилище составляет: сухих 1.54 г/см³, при влажности 12 % — 1.6 г/см³, водонасыщенных при влажности 18.13 % — 1.86 г/см³, плотность минеральной части — 2.7–3.0 г/см³.

Золошлаковые смеси (ЗШС) АО «Апатитская ТЭЦ» представлены преимущественно мелкофракционной зольной частью. Зёрна шлака крупнее 5 мм присутствуют в незначительном количестве (менее 1 %). Физико-механические показатели соответствуют следующим значениям: содержание шлакового продукта — 24 %, количество материала крупностью до 0.1 мм — 91 % (табл. 2.18); среднее значение плотности сухой золошлаковой смеси в рыхлом состоянии — 1.35 г/см³; в плотном — 1.45 г/см³; плотность минеральной части равна 2.3 г/см³.

Таблица 2.18

Гранулометрический состав материала золоотвалов Апатитской ТЭЦ

Размер фракции, мм	0.315	0.2	0.16	0.1	0.063	0.05	-0.05
Содержание фракции, %	0.2	1.0	1.1	6.7	31.0	8.5	51.5

2.1.5. Определение устойчивой высоты и углов откосов уступов и бортов карьера на хвостохранилище АО «Ковдорский ГОК» в рабочем и предельных положениях

Имеющийся набор данных о физико-механических свойствах материала лежалых хвостов Ковдорского ГОКа позволил провести оценку критериев устойчивости откосов уступов бортов карьера в рабочем и конечном положениях. К ним относятся предельная высота уступа (H), угол естественного откоса ($\alpha_{e.o}$) и ширина призмы возможного обрушения (a).

Предельная высота устойчивой насыпи определяется величиной сопротивления сдвигу или сцепления в материале, слагающем данную насыпь, и углом внутреннего трения, которые зависят от гранулометрического состава этого сыпучего материала и его влажности.

Данные характеристики материала хвостов имеют определённый диапазон значений, и, следовательно, упомянутые выше критерии также имеют некоторый диапазон значений.

Правилами безопасности для открытых горных работ [15] в пункте 530 предусмотрено, что высота уступа должна определяться проектом с учётом результатов исследований физико-механических свойств горных пород и горно-геологических условий их залегания, а также параметров применяемого оборудования. При применении тросовых или гидравлических экскаваторов высота уступа не должна превышать 6 м.

При подготовке Горным институтом ТЭО разработки лежалых хвостов 1-го поля хвостохранилища Ковдорского ГОКа была доказана целесообразность применения высоты рабочего уступа, равной 5 м (в обоснование кроме расчётов устойчивости входили и ограничение высоты в связи с рекомендацией использовать фронтальные погрузчики, и необходимость постепенного опережающего водопонижения на действующем пруде-отстойнике 1-го поля). А в рабочем проекте института Гипроруда по отработке поля 1 была принята высота рабочего уступа 6 м.

Горным институтом в 1999 г. была выполнена работа для АО «Ковдорский ГОК» по обоснованию устойчивой высоты усреднительных и обезвоживающих складов хвостов, расположенных как в карьере на поле 1, так и у обогатительной фабрики [31]. Расчётами показано (и практикой потом подтверждено), что надёжно устойчивой высотой этих складов при долгом их стоянии может быть величина, равная 10 м. Такая высота может быть применена и при сдваивании рабочих уступов на конечном контуре карьера. По этим причинам расчёты высоты рабочего уступа были выполнены для трёх значений высоты: 5, 6 и 10 м.

При определении предельной высоты устойчивой насыпи обычно закладывается 20-процентный запас надёжности (коэффициент запаса — $k_3 = 1.2$). Однако он не учитывает возможные дополнительные нагрузки, которые могут возникать при некоторых особенностях технологии открытой разработки.

Рабочие уступы лежалых хвостов могут разрабатываться экскаваторами, как с прямой лопатой, так и с обратной. При работе экскаватора с прямой лопатой призма возможного обрушения практически не представляет серьёзной опасности, даже если и произойдёт её обрушение, так как экскаватор разрабатывает уступ снизу, находясь на нижней площадке уступа. При работе экскаватора с обратной лопатой он должен находиться на верхней площадке разрабатываемого уступа, где возможен его выезд на площадку призмы возможного обрушения. При этом дополнительная нагрузка, создаваемая экскаватором, может перевести возможность в реальность и вызвать обрушение призмы вместе с экскаватором.

По методике ВНИМИ [32] ширина призмы возможного обрушения a (рис. 2.6) в зависимости от высоты уступа и физико-механических свойств пород (в нашем случае — материал лежалых хвостов) описывается формулой (м):

$$a = \frac{2H \left[1 - \operatorname{ctg} \alpha \times \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha + \phi}{2} \right) \right] - 2H_{90}}{\operatorname{ctg} \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) + \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha + \phi}{2} \right)}, \quad (2.1)$$

где H — высота уступа, м; α — угол откоса уступа, град.; ϕ — угол внутреннего трения, град.; H_{90} — высота (глубина) вертикальной трещины отрыва (закола) по формуле (м):

$$H_{90} = \frac{2K}{\gamma} \times \operatorname{ctg} \left(45 - \frac{\phi}{2} \right), \quad (2.2)$$

где $K (= \tau)$ — сцепление, т/м²; γ — плотность хвостов, т/м³.

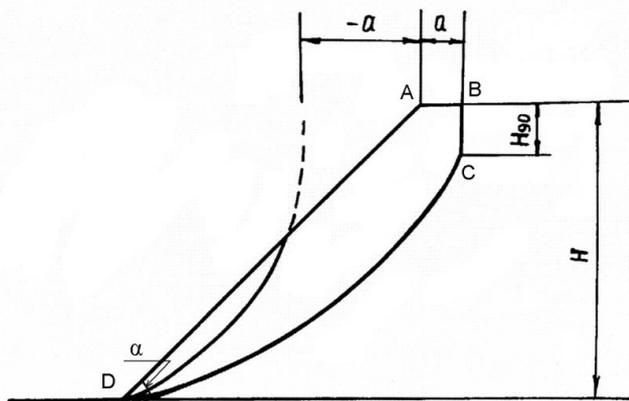


Рис. 2.6. Определение призмы возможного обрушения рабочего уступа

Призма обрушения ($ABCD$) может возникнуть (а может и не возникнуть) в зависимости от физико-механических свойств грунта, слагающего уступы (γ , K , φ) и параметров последнего (H , α). Величина призмы характеризуется её параметрами. При ведении горных работ наиболее значимым является ширина призмы возможного обрушения (a), которая отмеряется от фронта работ по нормали (AB). Формулы (2.1) и (2.2) позволяют рассчитать эту величину. Процесс сдвижения призмы от поверхности уступа начинается с вертикального закола ($BC = H_{90}$), величина которого определяется по формуле (2.2). Происходит это за счёт осадки грунта под воздействием собственного веса, и только от точки C сдвижение призмы происходит по круглоцилиндрической поверхности (CD).

В результате расчётов численная величина a может оказаться либо положительной, либо отрицательной. При её положительном значении ширина призмы означает ширину бермы (от бровки откоса), на которую нельзя заезжать горнотранспортному оборудованию и механизмам, которые могут создать дополнительную нагрузку на призму возможного обрушения и приведут к реальному обрушению. Чем больше ширина призмы, тем больше вероятность обрушения и тем дальше от бровки откоса (A) должен находиться рабочий механизм, т. е. за точкой B .

В случае отрицательного значения a призма возможного обрушения как таковая не образуется и подъезд рабочих механизмов ограничивается правилами безопасности и техническими характеристиками данного механизма.

Для расчёта ширины призмы возможного обрушения были использованы данные результатов исследований физико-механических свойств материала лежалых хвостов 2-го поля хвостохранилища Ковдорского ГОКа, (табл. 2.15, 2.16).

По результатам натурных измерений установлено, что величина угла откоса (α) колеблется в диапазоне от 36 до 41° при среднем значении $\alpha = 38^\circ$. Средняя плотность хвостов принята 1.74 г/см^3 , сцепление (K) в материале хвостов и угол внутреннего трения (φ) принимались из табл. 2.15, 2.16. Расчёты проводились отдельно по экспериментальному карьере и по 10 пробам МГРЭ. Результаты расчётов приведены в табл. 2.19 и 2.20.

Таблица 2.19

Исходные и расчётные данные определения ширины (a) призмы возможного обрушения на уступах различной высоты (H) при отработке хвостов по результатам замеров материала 10 проб МГРЭ при минимальном ($\alpha = 36^\circ$) и максимальном ($\alpha = 41^\circ$) углах откоса уступа

№ пробы	Исходные данные			Глубина закола H_{90} , м	Ширина призмы a , м					
	угол естественного откоса сухого материала, град.	φ , град.	K_2 , т/м ²		$H = 5$ м		$H = 6$ м		$H = 10$ м	
					36°	41°	36°	41°	36°	41°
271-2	38	18.3	2.0	3.20	-1.82	-1.51	-1.57	-1.16	-0.27	0.25
277-4	38	18.8	1.3	2.10	-0.69	-0.42	-0.39	-0.07	0.81	1.30
299-2	38	21.3	1.7	2.92	-1.68	-1.36	-1.43	-1.06	-0.44	0.12
301-2	41	14.0	6.0	8.83	-7.74	-7.56	-7.64	-7.15	-6.00	-5.33
312-4	37	20.8	2.9	4.78	-3.52	-3.14	-3.26	-2.84	-2.24	-1.62
313-8	36	16.7	1.1	1.76	-0.16	0.10	0.20	0.49	1.61	2.06
314-3	39	18.3	1.1	1.81	-0.36	-0.08	-0.05	0.27	1.19	1.68
316-3	37	11.3	0.9	1.22	0.92	1.13	1.40	1.64	3.32	3.67
317-4	41	20.8	0.3	0.44	0.84	1.09	1.10	1.39	2.13	2.61
324-4	33.4	19.8	0.3	0.43	0.96	1.20	1.24	1.52	2.36	2.81
Средние	38	18.0	1.8	2.75	-1.34	-1.04	-1.02	-0.68	0.24	0.76

Таблица 2.20

Исходные и расчётные данные определения ширины (a) призмы возможного обрушения на уступах различной высоты (H) при отработке хвостов по результатам замеров в экспериментальном карьере

Горизонт от поверхности, м	Исходные данные				Глубина закола H_{90} , м	Ширина призмы a , м	
	влажность, %	угол естественного откоса сухого материала, град.	сцепление K_2 , т/м ²	угол внутреннего трения φ , град.		высота уступа	
						5 м	10 м
0.0	5.3	35	2.0	11	1.9	0.13	2.56
-1.0	3.4	35	2.6	18	2.2	-0.75	0.83
-2.0	9.7	33	0.4	18	0.4	1.16	2.74
-3.0	4.0	35	1.1	14	1.0	0.91	2.97
-4.5	5.4	34	0.3	15	0.3	1.62	3.58
Среднее	5.6	34	1.3	15	1.2	1.61	2.54

На основе результатов расчёта ширины призмы возможного обрушения рабочего уступа лежалых хвостов были сделаны следующие выводы.

1. Безопасность работ (по устойчивости уступа) обеспечивается только при высоте уступа $H = 5-6$ м независимо от угла откоса (α), наибольшее значение которого было принято равным 41° .

2. При высоте уступа $H = 10$ м и более ширина призмы может достигать (даже при угле откоса $\alpha = 34^\circ$) величины $a = 3.6$ м, что исключает возможность работы на верхней площадке уступа гидравлического экскаватора с обратной лопатой. Однако с учетом опыта эксплуатации усреднительных складов на борту карьера поля 1 и их устойчивости при высоте 10 м эту высоту можно рекомендовать в случае необходимости как высоту сдвоенного уступа на конечном контуре карьера. При этом угол откоса такого уступа следует принять равным углу естественного откоса сухих хвостов 34° .

Следует обратить внимание на то, что понятие «откос борта карьера в конечном положении» при разработке ТМ вообще и лежалых хвостов в нашем случае имеет условное значение, смысл которого редко соответствует смыслу этого термина, принятого в технологической практике открытых горных работ. Целью разработки ТМ является полная выемка ТС, которое было заскладировано в качестве отходов производства на местности определённого рельефа. Поэтому бортом карьера в конечном положении будет являться первоначальный склон местности, освобождённый от хвостов. Угол наклона местности второго поля хвостов составляет от 4 до 7 °. Следовательно, в этом случае угол откоса борта карьера в конечном положении составит от 4 до 7 °, что значительно ниже пределов устойчивости.

2.1.6. Несущая способность хвостов для выбора горнотранспортного оборудования

Опыт формирования и обслуживания хвостохранилищ, имеющих отстойники оборотного водоснабжения, большие пылящие поверхности пляжей, дамбы обвалования, показывает, что поверхности пляжей из тонкодисперсных влажных хвостов зачастую не выдерживают перемещения большегрузной техники, которая часто проваливается и буксует. Поэтому на обводнённых пляжах обычно используют гусеничную технику высокой проходимости типа болотоходов.

На основании такого опыта геологоразведочные и проектные организации, готовящие проекты разведки и разработки хвостохранилищ, непременно задаются вопросом о несущей способности грунтов (хвостов) или прочности поверхности.

Горный институт Кольского научного центра РАН имеет многолетний опыт исследований несущей способности грунтов хвостохранилищ Мурманской области. Институтом были проведены измерения несущей способности грунтов на хвостохранилище апатит-нефелиновой фабрики № 2 (АНОФ-2) АО «Апатит», хвостохранилище АО «Ковдорский ГОК» (поля 1 и 2) и золошлакоохранилище ТЭЦ г. Апатиты.

Для решения вопроса о выборе горнотранспортного оборудования при разработке карьером хвостохранилища следует оценить допустимые нагрузки на грунт в различных условиях и сравнить их с показателями удельного давления на грунт выбираемого оборудования. Допустимые нагрузки зависят от прочности материала, и в инженерной геологии и практике дорожного строительства разработаны методы и приборы для определения показателей прочности сыпучих грунтов [33].

Одним из методов определения прочности сыпучих грунтов является метод зондирования с помощью погружаемых в грунт приборов (зондов) различной конструкции. Нами выбран метод погружения ударника У-1, разработанного институтом ДорНИИ [34] (изготовлен в ГоИ).

Ударник У-1 (рис. 2.7) состоит из трёх частей: наконечника длиной 30 см с нанесёнными на него делениями через 1 см, гири массой 2.5 кг для забивки наконечника в грунт и направляющего штока для движения по нему гири, который является продолжением наконечника.

Для измерения показателя прочности грунта ударник У-1 устанавливают вертикально наконечником на грунт, поднимают гирю по направляющему штоку на высоту 50 см и отпускают её. Падая, гиря загоняет стержень наконечника в грунт.

Сбрасывание гири повторяется до тех пор, пока наконечник не погрузится в грунт сперва на 10 см, а затем на 30 см. В процессе работы подсчитывается число ударов гирей при погружении на 10 см и далее с нарастающим итогом на 30 см.

По тарировочному графику из работы [34] (рис. 2.8) определяют прочность грунта в месте замера на глубину до 10 и 30 см. Показатель прочности грунта в данной точке определяется как среднеарифметическое значение этих двух замеров.

Методика полевых замеров с помощью ударника включала в себя не только обследование намывтой уже поверхности хвостов, но и замеры на глубине в опытном карьере (рис. 2.9). Замеры несущей способности поверхностей вышеназванных хвостохранилищ производились в разные годы, начиная с 1987 по 2007 гг. по мере поступления заказов. За это время изменялись характеристики объектов и сырья, цели и методики исследований. Поэтому для сравнения результатов необходимо кратко охарактеризовать свойства грунтов на объектах исследований.

Хвосты как 1-го, так и 2-го поля представляют собой мелко- и тонкозернистые пески в основном класса менее 0.63 мм (более 99 %), но хвосты 2-го поля несколько мельче. Так, содержание класса -0.071 мм на 1-м поле составляло 20 %, а на 2-м поле в среднем около 46 %.

Что касается хвостов АНОФ-2, то по литологическому типу из паспортов фабрики они отнесены к мелким пескам, хотя по грансоставу выход класса менее 0.071 мм составляет 33.5 %, что говорит о тонкозернистости.

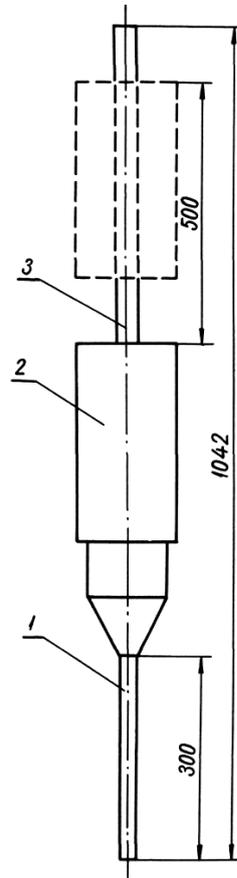


Рис. 2.7. Схема устройства ударника У-1:
1 — наконечник; 2 — груз (гиря); 3 — направляющий шток

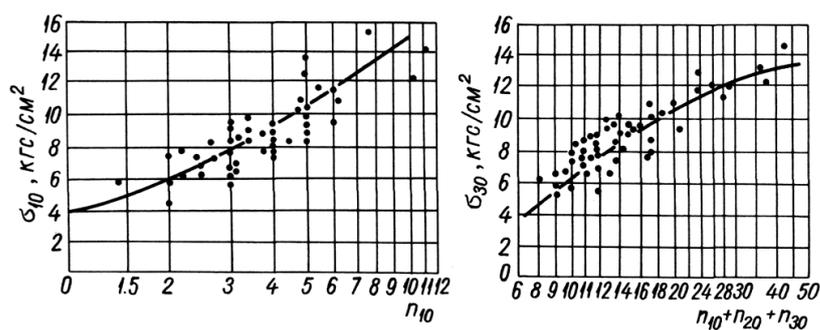


Рис. 2.8. Зависимость показателя прочности сыпучего грунта от числа ударов груза ударника У-1: σ_{10} — прочность и n_{10} — число ударов при погружении на 10 см; σ_{30} — прочность и n_{30} — число ударов при погружении на 30 см



Рис. 2.9. Процесс испытания несущей способности поверхности хвостов прибором У-1 на площадке уступа (-4.5 м от поверхности)

Материал отходов от сжигания углей на тепловых электростанциях (зол и шлаков) резко отличается по своим характеристикам от материалов хвостов обогащения руд. Основной областью применения зол и шлаков является изготовление золошлакоблоков для нужд строительства. В Мурманской области техногенными объектами с промышленными запасами золы могут считаться золошлакоотвалы ТЭЦ г. Апатиты.

Основные характеристики хвостов рассматриваемых хвостохранилищ и золошлакоотвала, влияющие на несущую способность поверхностей, представлены в табл. 2.21.

Таблица 2.21

Основные физические и инженерно-геологические характеристики хвостов и золошлаков

Хвостохранилище (гидроотвал), место взятия проб	Средневзвешенный диаметр частиц, мм	Содержание частиц класса 0–0.071 мм, %	Плотность в массиве, г/см ³		Естественная влажность, %	Полная влажеёмкость, %	Пористость, %
			сухих	влажных			
АНОФ-2, АО «Апатит», пробоотборник фабрики	0.128	33.5	1.54	1.60	12.0	18.1	43–57
ОФ, АО «Ковдорский ГОК», 1-е поле (опытный карьер)	0.146	20.0	1.74	1.80	5–7	Не определялось	Не определялось
То же, 2-е поле (опытный карьер)	0.245	5.0	Не определялось	1.74	5.7	27.1	45.1
То же, 2-е поле (разведочные скважины)	0.100	45.8	1.78	1.75	Не определялось	22.2	44.0
Золошлакоотвал Апатитской ТЭЦ	0.080	До 91.0 (класс 0–0.063 мм)	1.50	Не определялось	16.2–22.6	Не определялось	55.0

Представленные характеристики позволяют говорить об общности свойств хвостов флотационного обогащения руд за исключением золошлаковых материалов. В основном в хвостохранилищах размещены мелко- и тонкозернистые материалы. Налицо влияние сегрегации на процесс размещения. Так, с глубиной и ближе к отстойникам размещается более мелкий материал (пробы из разведочных скважин), ближе к дамбам, на которых расположены пульповоды, материал более крупных классов (пробы из опытных карьеров).

Плотности материала хвостов и даже золошлаков мало отличаются друг от друга.

Естественная влажность хвостов в воздушно-сухом состоянии находится в пределах до 7 %. Показатель средней влажности хвостов хвостохранилища АНОФ-2 определён замерами по пробам, отобранным близко к акватории отстойников и имеющим влажность около 20 %.

Высокий показатель влажности золошлаков объясняется высокой пористостью материала, причём эта пористость, измеренная методом полной влагоёмкости, включает не только поры между частицами, но и поры внутри самих частиц.

Показатели пористости материала хвостов достаточно близки между собой. Известно, что от этого показателя в очень высокой степени зависит несущая способность сыпучего материала, так как пористость характеризует плотность упаковки материала: чем плотнее состояние поверхности, тем большую нагрузку она может выдержать без деформации. Кстати, пористость песков пустыни Каракумы в естественном состоянии составляет 50 %, что ненамного превышает показатели табл. 2.21 [35]. По классификации, приведённой в работе [36], хвосты рассматриваемых хвостохранилищ можно отнести к мелким и пылеватым пескам, имеющим плотность сложения на границе между рыхлым состоянием и средней плотности.

Результаты натурных замеров несущей способности (прочности) грунтов ударником У-1 на площадках опытных карьеров на хвостохранилищах представлены в табл. 2.22.

Зависимости прочностных характеристик от глубины представлены на рис. 2.10.

Анализ проведённых экспериментов показал, что прочность поверхности площадок хвостов не зависит от глубины нахождения площадок в пределах 2 м и влажности хвостов в пределах от 4 до 8–9 %, а в большей степени зависит от грансостава и степени уплотнения грунта.

Средние значения прочности для хвостов 1-го поля находятся в пределах 0.4–0.5 МПа, прочность хвостов АНОФ-2 оказалась выше прочности хвостов 1-го поля и составила 0.5–0.7 МПа. Средние значения прочности хвостов 2-го поля сравнимы с аналогичными показателями для АНОФ-2, особенно для глубины 3–4.5 м, что объясняется в большей степени плотностью массива на этой глубине. Малые значения прочности хвостов поля 2 на площадках до 2 м объясняются большой разрыхлённостью этого слоя из-за постоянного переноса хвостов за счёт дующих ветров.

Одновременно с замерами в опытных карьерах были выполнены замеры на существующих дорогах хвостохранилищ. Хорошо накатанные дороги с постоянным движением транспорта имели прочность 1.0–1.2 МПа, а на вспомогательных дорогах прочность грунта составляла не ниже 0.6 МПа. Эти данные подтверждают известный в теории дорожного строительства факт, по которому прочность земляных дорожных покрытий в процессе укатывания из-за понижения пористости массива возрастает в несколько раз.

Таблица 2.22

Результаты замеров прочности поверхности площадок опытных карьеров на хвостохранилищах (поля 1 и 2 и АНОФ-2)

Глубина от поверхности, м	Средняя прочность грунта, МПа			
	поле 1; 120 м от уреза воды отстойника	поле 1; 400 м от уреза воды отстойника	поле 2; 195 м от уреза воды отстойника	АНОФ-2
0			0.32	0.48
-0.5	0.40	0.40	-	0.55
-1.0	0.45	0.49	0.17	0.67
-1.5	0.45	0.50	-	0.65
-2.0	0.47	0.45	0.28	0.65
-3.0			0.65	
-4.5			0.58	

Для исследования влияния акватории отстойника на прочностные характеристики пляжей действующих хвостохранилищ были проведены испытания несущей способности поверхности хвостохранилища поля 2 ударником У-1. Измерения проводились через каждые 10 м по направлению от пульповода до уреза воды отстойника на расстоянии 200 м, последний пункт замера размещался на расстоянии 1 м от уреза. От пульповода до расстояния 130 м прочность материала хвостов в основном колебалась от 0.26 до 0.32 МПа, ближе к урезу воды прочность поверхности постепенно снижалась до расстояния 180 м от пульповода до величины немногим более 0.1 МПа. На последних 20 м из-за большой насыщенности водой прибор уходил в грунт под собственным весом до необходимых по методике отметок.

Низкие показатели прочности поверхности пляжа до расстояния 130 м объясняются ветропереносом хвостов и значительным их разрыхлением, а далее к отстойнику на прочность поверхности оказывал влияние уровень воды самого отстойника. Однако на расстоянии 50 м от уреза отстойника при необходимости передвигалась бульдозерная и погрузочная техника на гусеничном и колёсном ходу с деформацией колеи не глубже чем на сухих участках пляжей, что говорит о несущей способности обводнённых участков пляжей, достаточной для безопасного передвижения транспорта (рис. 2.11).

В 2006 г. Горным институтом по заказу была выполнена разработка горнотехнического регламента на отработку золошлаковых отходов Апатитской ТЭЦ. К этому моменту заказчик произвёл выемку промышленной пробы небольшим опытным карьером. Для выбора горнотранспортного оборудования проведены замеры несущей способности некоторых площадок карьера ударником У-1.

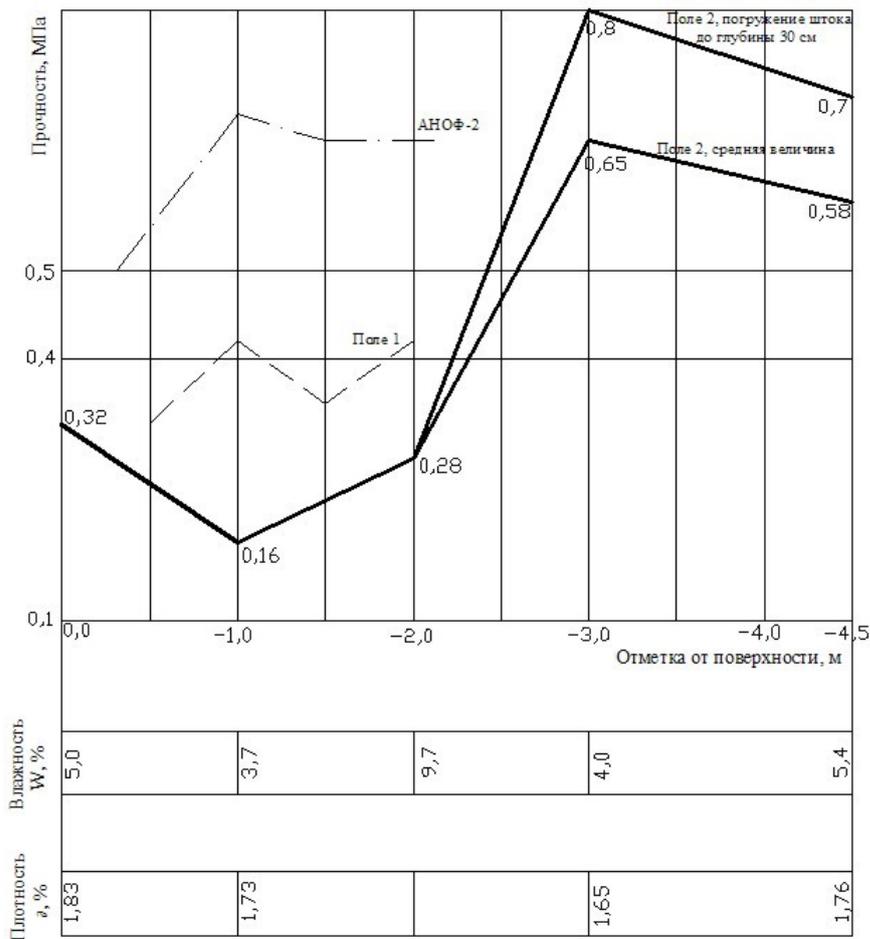


Рис. 2.10. Прочность поверхности хвостов по хвостохранилищам:

— АО «Ковдорский ГОК», экспериментальный карьер на поле 2;
 - - - - - на поле 1; - · - · - · - пляжи АНОФ-2 АО «Апатит»

Средние величины прочности и влажности были следующие:

Место замера	Средняя прочность грунта, МПа	Влажность в пробе, %
Естественная поверхность осушенного золошлакоотвала	0.35	24.4
Площадка забоя в опытном карьере	0.66	16.2
Поверхность дороги к забою	0.64	22.6
Обводнённая площадка у акватории отстойника	0.25	Почти полное насыщение

Из работы [33] известно, что средние контактные удельные давления колеса на грунт в зависимости от давления воздуха в шинах имеют следующие значения:

Давление в шинах, МПа	0.3–0.45	0.5	0.8
Контактные давления, МПа	0.3–0.45	0.45	0.6

Современные карьерные автосамосвалы типа «БелАЗ» имеют давление в шинах и оказывают давление на грунт в следующих параметрах:

Грузоподъёмность автосамосвала, т	Давление в шинах, МПа	Давление на грунт, МПа
75	0.57	0.51
110	0.55	0.50
180	0.58	0.513

Что касается удельного давления на грунт гусеничных экскаваторов, то оно редко превышает значения 0.25 МПа.

Сравнение приведённых замеров и данных об удельных давлениях на хвосты позволили сделать следующие выводы.

1. Прочность поверхности лежалых хвостов в свежевскрытом забое при естественной влажности до 5–7 % составляет не менее 0.4–0.46 МПа, на слабоукатанной поверхности и на глубине свыше 2.5 м — не менее 0.6 МПа, на сильноукатанной поверхности — более 1 МПа.

2. Данная прочность обеспечивает двукратный запас для прохождения гусеничной техники в рабочем забое, надёжную работу большегрузного автотранспорта (грузоподъёмностью не менее 110 т) как в забое, так и на карьерных дорогах.

3. Снижение прочностных характеристик поверхности хвостов происходит при значительном и резком увеличении их влажности, что возможно при интенсивном таянии снега весной, сохранении акватории отстойника с уровнем воды в нём выше, чем на 5–6 м вниз от подошвы рабочего уступа. Затяжное таяние снега и слабые, даже длительные, дожди не вызовут резкого ослабления прочности площадок уступов.



Рис. 2.11. Работа бульдозера на поверхности пляжа поля 2 вблизи акватории отстойника



Рис. 2.12. Площадка забоя в карьере на поле 1 хвостохранилища при отработке с помощью большегрузного автотранспорта (90–110 т)

4. Повышение несущей способности хвостов и золошлакоотвалов возможно при предварительном укатывании поверхностей забойной техникой.

Многолетний опыт эксплуатации карьера на поле 1 доказал правомерность этих выводов.

2.2. Выбор способа и принципиальной технологии добычи техногенного сырья, представленного хвостами обогащения

2.2.1. Производительность горных работ в зависимости от направления использования материала хвостов

Технология разработки ТМ, представленных отвалами хвостов обогащения, отнесённых к классу песков, имеет, казалось бы, много общего с технологиями добычи строительных песков или золотоносных россыпей. Но специфические условия освоения и масштабы ТМ вносят существенные коррективы в процесс их эксплуатации.

Прежде всего, ТМ нельзя рассматривать как объект, изолированный от основного производства. И тем более не следует этого допускать, когда ТС будет перерабатываться в этих же основных производственных цехах. В подобных условиях технико-экономические показатели освоения ТМ будут производными от показателей основного производства.

Проектированию технологии разработки ТМ должны предшествовать решения таких вопросов, как: направление использования ТС (непосредственное или после переработки), объём годового спроса и технология переработки. Практически все основные данные о ТМ и ТС России уже внесены в соответствующие кадастры или банки данных по регионам. Поэтому

предварительных данных о качестве сырья и запасах достаточно для решения таких вопросов, как время отработки ТМ и стабильность будущего производства. К настоящему времени на многих хвостохранилищах заскладированы десятки и сотни миллионов тонн ТС, что позволяет проектировать производство по основным компонентам как минимум на 10–15 лет.

В целом методика проектирования технологии разработки ТМ будет соответствовать принятым в настоящее время нормам технологического проектирования. Однако специфические условия ТМ внесут коррективы в расчёты по некоторым процессам.

Направление использования материала хвостов и производительность горных работ — характеристики, достаточно тесно связанные между собой. Как известно, производительность горного предприятия (производственная мощность) определяется по горным возможностям и экономическим условиям (факторам), причём верхний предел производительности определяется по горным возможностям. Технически возможная производительность карьера зависит от горизонтальной площади задействованного рудного поля и производительности основного горнотранспортного оборудования. Отсутствие вскрышной горной массы на хвостохранилищах и, как правило, площадное размещение хвостов позволяют разместить такое количество выемочного оборудования, которое по суммарной производительности будет намного превосходить потребности по использованию хвостов. Поэтому технически возможная производительность карьера на хвостах не будет являться сдерживающим фактором.

Экономически целесообразная производительность карьера во многом будет определяться направлением использования хвостов. Все виды использования хвостов можно объединить в три группы: 1) непосредственное использование без переработки; 2) использование с переработкой, но без вторичных отходов (изготовление кирпича, блоков, твердеющей закладки и т. п.); 3) использование с переработкой для извлечения компонентов основного производства или попутных компонентов. В настоящее время самым распространенным является непосредственное использование хвостов в качестве материала для строительства дорог, компонента шихты для керамических строительных изделий, наполнителей бетонов, компонента для закладочных материалов и т. д. Но годовые потребности всех этих производств невелики, измеряются десятками, реже — сотнями, тысяч тонн, поэтому такие объёмы не вызывают сложностей в технологии добычи.

Более перспективным направлением использования хвостов обогащения является их переработка для извлечения компонентов основного производства или попутных компонентов. Причин перспективности несколько.

Во-первых, за десятилетия развития горно-перерабатывающих производств снизились кондиции на добычу и обогащение многих видов руд. Пример тому — деятельность предприятий Мурманской области, которые в первые годы эксплуатации месторождений добывали и перерабатывали руды с более высоким средним и бортовым содержаниями основных компонентов, в результате чего содержание этих компонентов в хвостах обогащения было более высоким, чем в настоящий период.

Во-вторых, смена кондиций происходит через периоды более чем в 10 лет, и при больших объёмах добычи в хвостохранилищах накапливаются сотни миллионов тонн повышенного по основному компоненту сырья.

В-третьих, в период спада основного производства, особенно в период его очень медленного подъёма в условиях амортизированного и устаревшего оборудования, предприятиям легче и экономичнее поддержать основное производство за счёт вовлечения в добычу и переработку хвостов, чем за счёт увеличения объёмов добычи руды, особенно если перестройка технологии обогащения не потребует значительных средств.

В-четвёртых, в период спада производств многие обогатительные мощности бывают законсервированы и реальна возможность их использования в период подъёма.

В-пятых, как показывают расчёты и практика пока ещё единичных случаев эксплуатации хвостов обогащения, добыча и производство концентрата из них оказываются намного экономичнее, чем при добыче и переработке бедных руд.

Таким образом, третья группа направлений использования хвостов даст самое быстрое и высокообъёмное развитие горных работ на хвостохранилищах. Производительность карьеров при этом будет ограничена возможностями имеющихся мощностей по переработке и технологии обогащения. Однако использование хвостов обогащения с целью извлечения попутных компонентов имеет более отдалённую перспективу, особенно при спаде промышленного производства. Это направление потребует строительства новых обогатительных и перерабатывающих мощностей, а объёмы добычи будут зависеть в основном от потребностей в новом виде сырья и мощностей перерабатывающего комплекса.

Во всех трёх случаях годовой объём производства по добыче на хвостохранилищах будет зависеть от возможностей по переработке сырья и, как правило, не будет превышать горнотехнические возможности карьеров на хвостохранилищах. Производительность таких карьеров будет задаваться, и её расчёт будет сведён к расчёту типов и количества потребного выемочного оборудования по известным нормативам и методикам с учётом особенностей и условий освоения хвостовых отвалов.

2.2.2. Технологические схемы и параметры системы разработки

2.2.2.1. Анализ возможностей гидромеханизированных технологий разработки

Выбор технологии и технологического оборудования для разработки техногенных месторождений существенно отличается от выбора технологий разработки геогенных месторождений, которые достаточно хорошо изучены.

Ввиду малого опыта освоения ТМ к настоящему времени и отсутствия специальных видов оборудования целесообразно рассмотреть степень адаптации технологий разработки рудных и строительных карьеров к разработке хвостохранилищ.

Так как необходимо подобрать технологию разработки мелкофракционного ТС, то целесообразно кратко проанализировать те условия, к которым необходимо адаптировать возможности технологии:

- 1) условия образования ТМ и строение залежи, вид сырья, его свойства;
- 2) климатические условия района нахождения ТМ;
- 3) вид использования сырья, элементов и параметров конструкции техногенного объекта;

- 4) условия применения, основные требуемые технические характеристики и параметры технологического оборудования;
- 5) производственная мощность горнодобывающего предприятия, время добычи и непрерывность работы;
- 6) условия транспортирования и хранения ТС перед переработкой;
- 7) экологичность и безопасность используемого оборудования.

В работах [17, 18] рассмотрены систематизации технологических схем открытой разработки ТМ. В качестве основных классов представленных схем приводятся сухие и гидравлические способы разработки. Сухие способы принципиально не вызывают особых сомнений в их применимости, а вот гидравлические требуют более глубокого анализа по представленным условиям.

1. ТМ, представленные гидроотвалами (хвостохранилищами) обогатительных производств, обычно имеют слоистое строение, так как формирование ТМ происходит за счёт слива и растекания пульпы послойно, причем в нижних слоях зачастую располагается материал, содержащий в процентном отношении больше полезных компонентов. Такое строение характерно для большинства хвостохранилищ, так как вначале разрабатываются более богатые руды. Кроме того, размещение пульпы по площади происходит по законам сегрегации, когда более крупные фракции хвостов размещаются ближе к пульповыпускам. Например, в крупном материале хвостов при обогащении апатитовых руд выше содержание P_2O_5 .

Такое строение залежей при гидродобыче резко усложнит управление качественными характеристиками. Если «богатые» хвосты к моменту разработки были покрыты более бедными хвостами вторичной переработки, которые будут представлять собой прототип вскрышных сыпучих пород, то их придётся удалять и размещать в новом или другом поле хвостохранилища.

2. Для северных, приполярных регионов, где температура зимой достигает 30–40 °С ниже нуля, как, скажем, на Ковдорском ГОКе, даже при слабых ветрах жёсткость погоды будет определять интенсивность теплоотдачи с поверхности тел. Пульповоды и акватории являются именно такими телами.

По данным службы хвостохранилища АНОФ-2 АО «Апатит», снижение температуры пульпы на пути от обогатительной фабрики до сброса в зимний период составляет в среднем 10 °С. При остановке и последующем пуске пульповода были случаи замерзания пульпы в трубопроводе диаметром 1000 мм.

На хвостохранилище аварийного сброса АНОФ-2 работает земснаряд с диаметром труб 500 мм. Воздействие низких температур зимой на пульповод диаметром 500 мм значительно больше, чем на таковой диаметром 1000 мм. Замерзание акватории, на которой будет находиться земснаряд, потребует дополнительных затрат по борьбе со льдом. Это отмечается в работе [27], где описывается практика работы земснаряда на аварийном хвостохранилище дробильно-сортировочной фабрики АО «Олкон». Другими литературными источниками подчеркивается наличие сезонности работы при гидродобыче, 7 месяцев в году работает и земснаряд на АО «Апатит». Этот главный недостаток гидродобычи на севере (сезонность) отсутствует при сухих способах добычи.

3. Как уже упоминалось, добытое ТС может быть использовано в трех вариантах: а) непосредственное использование без переработки; б) использование с переработкой для изготовления строительных материалов; в) использование с переработкой (обогащением) для извлечения содержащихся в нём полезных компонентов.

В случае «а» ТС используется как строительный материал (песок), для которого содержание полезных компонентов, грансостав, химсостав не являются определяющими свойствами. Добыча такого ТС может производиться гидравлическим способом, если наличие избыточной воды несущественно или управляемо. Один из примеров — строительство намывных плотин.

В случае «б» ТС идет на изготовление строительных штучных материалов, панелей и т. п. Такое ТС также может добываться гидроспособом с последующим обезвоживанием.

В случае «в» ТС подвержено обогатительным процессам. Если обогащение производится с использованием гравитации, сепарации и магнитных свойств при любом содержании полезного компонента и воды, то гидродобыча возможна.

В качестве примера можно привести повторную переработку золотосодержащих и оловосодержащих отвалов песков. Еще пример — гидродобыча (сезонная) хвостов, богатых железосодержащими минералами, из аварийного хвостохранилища АО «Олкон» [27].

Если же обогащение ТС будет производиться флотационными способами с использованием химических реагентов, то при гидродобыче невозможно управление качественными характеристиками ТС, кроме того, потребуется обезвоживание пульпы до значений влажности, приемлемых для процессов переработки.

4. Условия применения, основные требуемые технические характеристики и параметры технологического оборудования.

Гидравлический способ широко используется при разработке торфов, россыпных месторождений золота, алмазов, олова, песчано-гравийных месторождений, при разработке вскрышных мягких пород на угольных, железорудных месторождениях, обводнённых песчаных месторождениях, при строительстве гидротехнических сооружений, дорожном строительстве, дноуглубительных работах [37].

В настоящее время преобладающими видами гидромеханизации являются гидромониторно-землесосные комплексы, земснаряды и драги. Кроме того существуют комбинированные комплексы: экскаваторные, бульдозерные с гидромеханизацией.

Гидромониторно-землесосный способ широко используется при разработке вскрышных мягких пород, россыпных месторождений. Разрушение пород производится высоконапорной струей воды, подаваемой гидромониторами. Напоры в гидромониторах применяются от 500 до 2000 м/водного столба. При этом расход воды на выемку только песчаных грунтов (применительно к хвостам обогатительных процессов) составляют 6.3–9.0 м³ на 1 м³ грунта [37].

Подаваемая вода должна быть достаточно чистой, желательно из подземных источников, с содержанием механических частиц не более 15–20 г/л во избежание повышенного износа оборудования и снижения КПД. Источник для удовлетворения потребности гидроустановки должен иметь годовой дебит не менее годовой её производительности в м³ горной массы [37]. К примеру, для добычи 5 млн т песка в год потребуется источник с минимальным дебитом 2.86 млн м³ чистой воды. А годовой расход воды составит 26 млн м³/год.

К существенным недостаткам гидромониторного способа следует отнести значительную энергоёмкость ($7\text{--}12 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$), сезонность работ, зависимость от характера разрабатываемых горных пород [12] и невозможность селективной выемки. Размытый грунт от гидромонитора самотёком поступает в предварительно сооруженный зумпф, откуда пульпонасосами перекачивается к месту намыва отвала, гидросооружения или в нашем случае к ёмкости для последующей переработки.

Землесосные снаряды (земснаряды) предназначены для выемки породы, находящейся под слоем воды, работают в котлованах, карьерах, реках, озёрах и морях. Земснаряды представляют собой суда, оборудованные для разработки грунта землесосами (погружными грунтовыми насосами и механическими (фрезы) или гидравлическими рыхлителями). Расход воды составляет для песков $8.5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ грунта, производительность по пульпе — $1200\text{--}4000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Соотношение в пульпе твёрдого к жидкому не менее $1 : 10$. Расход энергии на выемку 1 м^3 грунта составляет более $7.5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ [37].

Водоснабжение — прямое в большом водоёме (река, озеро) с практически неограниченным дебитом и постоянным горизонтом воды. При ограниченном дебите используют дополнительную подачу воды из других источников. Водоснабжение может быть и водооборотное, но требуется устройство отстойников для осветления воды.

К недостаткам земснарядов следует отнести высокие расходы воды, электроэнергии, зависимость от сезона работы. Земснаряды требовательны к засорённости грунта лесом, металлом и т. п.

Драга — плавучий горно-обогажительный комплекс для разработки обводнённых месторождений полезных ископаемых (преимущественно россыпных) [12]. В общих чертах драга представляет собой земснаряд, оснащённый для выемки песков жёсткой рамой, на которой размещена бесконечная цепь с черпаками. Кроме того, драга предназначена для обогащения методом промывки песков и укладки песков в сухие отвалы. Так как драга не предназначена для флотационного обогащения, то для освоения хвостов её рассматривать нецелесообразно.

5. Гидромониторная разработка рассчитана на высокую производительность карьера. Так, годовая производительность карьера на угольных месторождениях доходит до 30 млн м^3 , на рудных карьерах КМА — $15\text{--}18 \text{ млн м}^3$, на приисках — $12\text{--}15 \text{ млн м}^3$ [12]. Годовая производительность земснаряда по пескам при коэффициенте использования по времени 0.65 [37] и расходе воды $8\text{--}9 \text{ м}^3/\text{м}^3$ песка составит $1500\text{--}1600 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$, что сравнимо с производительностью обычных карьерных экскаваторов.

И гидромониторный, и земснарядный способы могут применяться только в тёплое время года. Так, для северных регионов страны коэффициент сезонности составляет $0.37\text{--}0.41$ [37]. В этих районах производительность земснаряда уже будет составлять $640\text{--}650 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$, что меньше, чем у обычного карьерного экскаватора с ковшем вместимостью $5\text{--}8 \text{ м}^3$.

Режим сезонной работы в принципе не подходит для флотационного обогащения, который требует равномерной и постоянной работы оборудования.

6. Транспортирование грунта при гидродобыче производится по трубопроводу диаметром до 600 мм . При этом соотношение твёрдого к воде составляет от $1 : 10$ до $1 : 20$.

Выше уже отмечалось, что в северных районах даже пульповоды диаметром до 1000 мм зимой замерзают (опыт АНОФ-2 АО «Апатит» и опыт АО «Олкон»), поэтому пульповод диаметром 500 мм будет останавливаться зимой ещё чаще.

Кроме того, создавать необходимые условия для буферного и усреднительного складирования перед обогащением при гидромеханизации весьма сложно и нецелесообразно.

7. Ввиду повышенных расходов воды при гидродобыче повышается отрицательное воздействие таких способов на окружающую среду за счёт загрязнения водной среды, необходимости сооружения дополнительных отстойников при водообороте, что увеличивает капиталовложения в производство и площади нарушаемых и изымаемых земель.

Подводя итоги проведённого анализа, можно сделать выводы о нецелесообразности использования гидродобычи в северных регионах РФ при разработке хвостохранилищ и последующем флотационном обогащении хвостов как техногенного сырья. Однако принципиально поточные технологии могут быть перспективными для разработки хвостохранилищ при создании новой выемочной техники, приспособленной к условиям таких ТМ.

2.2.2.2. Выбор технологических схем «сухих» способов добычи и выемочно-погрузочного оборудования

«Сухие» технологии по добыче полезных ископаемых могут быть циклическими, циклично-поточными и поточными. Если первые две имеют достаточно широкое распространение и подходят для большинства месторождений, то поточные технологии в силу своих особенностей имеют ограниченное применение.

Из поточных технологий наиболее известными являются технологии с использованием роторных и многочерпаковых экскаваторов и конвейерного транспорта. Эти технологии рассчитаны на производство с весьма большими годовыми объёмами горных работ (до нескольких десятков млн т/год), чего не предусматривается при разработке хвостов обогащения ни для использования ТС в качестве строительного материала, ни для переработки на концентраты. Минимальная часовая производительность роторного экскаватора с конвейерным транспортом составляет 3500–4000 м³/ч, а для мехлопат с вместимостью ковша 5–6 м³ — 400–500 м³/ч [38]. Эта технология создавалась в расчёте на большие расстояния внешнего транспорта, что не всегда имеет место на хвостохранилищах. Роторную технику очень сложно приспособить к выемке ТС, засорённого остатками древесины, бетона, металла. Усложнится управление усреднением ТС с помощью складов.

Рабочая зона роторных и многоковшовых экскаваторов требует очень широких рабочих площадок, большой протяжённости фронта выемочных работ и прочных оснований для работы тяжёлой техники, что трудно осуществить на хвостохранилищах, особенно овражно-балочного типа. Однако принципиально поточные технологии могут быть перспективными для разработки хвостохранилищ при создании новой выемочной техники, приспособленной к условиям таких ТМ и работе в северных регионах.

Если ориентироваться на производительность карьера по разработке хвостов (песков) в 10 млн т/год, то такая мощность вполне будет обеспечена цикличной технологией добычи. Теоретически на выемочно-погрузочных работах по этой технологии могут использоваться экскаваторы цикличного действия, фронтальные погрузчики и самоходные скреперы.

Опыт работы в забоях на 1-м поле показал, что, несмотря на различные меры по осушению забоев, периодически попадались зоны повышенной влажности, где лучше всего себя зарекомендовали гидравлические экскаваторы, оборудованные ковшом «обратная лопата» и работающие с нижним черпанием горной массы. В таких не единичных случаях ни самоходные скреперы, ни фронтальные колёсные погрузчики не обеспечат стабильную работу в забоях, а в зимних условиях добавятся дополнительные сложности. Как показывает опыт Ковдорского ГОКа, рыхление хвостов в забое в большинстве случаев возможно производить без БВР за счёт напорного усилия экскаваторной техники. В климатических условиях Севера и Заполярья, где глубина промерзания грунта доходит до 1.5–1.6 м, усилие черпания погрузчика (240–450 кН) может оказаться недостаточным по сравнению с таковым у гидравлических экскаваторов (590–780 кН) [38]. Поэтому в качестве основного надёжного выемочно-погрузочного оборудования следует рекомендовать карьерные экскаваторы цикличного действия. В качестве вспомогательного оборудования можно использовать фронтальные погрузчики и бульдозеры.

О высоте рабочих уступов было сказано ранее в разделе о физико-механических свойствах хвостов, а по углу откоса рабочего уступа можно добавить следующее. В песчаном грунте типа хвостов обогащения этот угол может составлять 40–45 °. Если сопоставить параметры рабочего забоя в таком грунте и параметры кинематики экскаватора «прямая лопата», то получается, что активная выемочная высота (h_a) экскаватора на сыпучем грунте будет равна разности величин максимального радиуса черпания ($R_{ч}^{max}$) и радиуса черпания на уровне стояния ($R_{ч.у.}$). Только в этом случае угол откоса забоя не превышает 45 ° и забой отрабатывается полностью. Величина h_a для ЭКГ-5А составляет 5.5 м, для ЭКГ-20 — 9.2 м, для промежуточных типов ЭКГ h_a будет находиться между этими крайними значениями. Причём для ЭКГ-8И она составляет 6 м, а для ЭКГ-15 — только 7 м. Для гидравлических экскаваторов с обратной лопатой типа ЭГО-4, ЭГО-6, ЭГО-8 глубина копания при угле отработки 40 ° составляет соответственно 7, 7.5 и 9 м [38, 39].

Таким образом, с точки зрения полноты использования экскаваторного оборудования, увеличивать высоту уступа в рыхлых грунтах более 6, а на сдвоенных уступах более 10–12 м нецелесообразно.

При выборе конкретного типа экскаваторов для работы в забоях помимо высоты уступа и производительности целесообразно руководствоваться ещё и следующим.

Карьерные тросовые экскаваторы, оборудованные ковшом типа «прямая» или «обратная лопата», имеют высокое напорное усилие ковша, что предпочтительно на слежавшихся грунтах и на смерзшихся прослойках. Обладают невысоким давлением на грунт (0.2–0.25 МПа), но на обводнённых грунтах (при вибрациях двигателей) могут утапливаться. Высокопроизводительные машины имеют экипажи до двух человек. Имеют

высокое удельное энергопотребление. Металлоёмки. Современное преимущество этих экскаваторов состоит в надёжности, большом накопленном опыте эксплуатации и ремонта, наличии на крупных предприятиях временно неработающих машин, что даёт возможность быстрого развития производства с минимальными капиталовложениями.

Карьерные гидравлические экскаваторы обладают пониженными металлоёмкостью, энергопотреблением, давлением на грунт (0.15–0.19 МПа). Благодаря отличной от канатных экскаваторов кинематике лучше отрабатывают забои с пологим откосом, лучше работают в обводнённых или малоустойчивых забоях, особенно при режиме «обратная лопата». Высокопроизводительны и высокоманёвренны. Один из лучших типов экскаваторов для разработки хвостовых отвалов.

С учетом опыта работы в забоях на хвостохранилище Ковдорского ГОКа при наличии сухих и обводнённых условий следует иметь в работе гидравлические экскаваторы как с ковшом прямая, так и с ковшом обратная лопата. Для обеспечения производительности карьера до 10 млн т ТС в год, необходимой технологии усреднения сырья перед обогащением и при выбранной высоте уступа в 6 м достаточно иметь экскаваторы с вместимостью ковша 5–6 м³. В последние годы на хвостохранилище хорошо себя зарекомендовали гидравлические экскаваторы марок CAT-385BL (обратная лопата) и CAT-385CFS (прямая лопата). Технические характеристики:

Характеристика	CAT-385BL	CAT-385CFS
Вместимость ковша, м ³	4.8	5.2
Максимальная высота черпания, м	12.6	10.3
Максимальная глубина черпания, м	7.0	2.8
Рабочая скорость передвижения, км/ч	4.5	4.5

Добычные работы целесообразно осуществлять послойной (уступной) выемкой ТС по возможности в один уступ на всю горизонтальную площадь ТМ в контурах карьера. После полной отработки верхнего уступа добычные работы следует переносить на нижележащий уступ. Такая технология позволяет:

- а) иметь независимые друг от друга параллельно работающие забои;
- б) размещать максимальное количество забоев на уступе;
- в) сокращать длины выемочных блоков, так как отсутствуют БВР;
- г) поддерживать производительность карьера на максимально возможном уровне;
- д) обеспечивать наибольшую безопасность работ;
- е) поддерживать минимум транспортных коммуникаций;
- ж) не строить временные съезды, сдерживающие и ухудшающие работу транспорта;
- з) осуществлять (при наличии прудов-отстойников) постепенное понижение уровня воды и продление основных функций отстойников с одновременным упрощением работы по осушению рабочих зон;
- и) осуществлять необходимое направление развития работ по площади;
- к) иметь более благоприятные условия для размещения в выработанном пространстве усреднительных и буферных складов;
- л) повышать уровень технической и экологической безопасности работ;
- м) упрощать снабжение забоев электроэнергией;
- н) снизить в конечном итоге стоимость производства работ.

Выемку ТС на уступе целесообразно осуществлять поперечными (радиальными) заходками по направлению от мест слива пульпы к ядру хвостохранилища или отстойнику (рис. 2.13). Целесообразность такого направления диктуется распределением материала по законам сегрегации при формировании хвостохранилища [37].

На рисунке 2.14 показано распределение зон намыва гидроотвала в зависимости от грансостава хвостов (зона 8 — с крупной фракцией, зона 9 — с промежуточной фракцией, зона 10 — под прудом-отстойником с наиболее мелкой фракцией). Характерно, что по горизонтали ширина этих зон приблизительно равна 1/3 ширины общей зоны распределения [37].

Поперечные заходки позволяют усреднять качественные характеристики ТС уже в карьере. Если в зоне бывшего отстойника распределяются труднообогатимые сорта, то они могут быть отделены и вывезены в отвалы некондиционного сырья без особых сложностей. С учетом распределения грансостава выемку заходки на уступе целесообразно начинать с выемки дамб последующего обвалования (см. рис. 2.13). Эти дамбы, как правило, формируются за счёт фракции крупных хвостов, которые бывают наиболее богатыми. Предлагаемая схема выемки позволит увеличить обрабатываемые запасы карьера за счёт более богатой зоны хвостов.

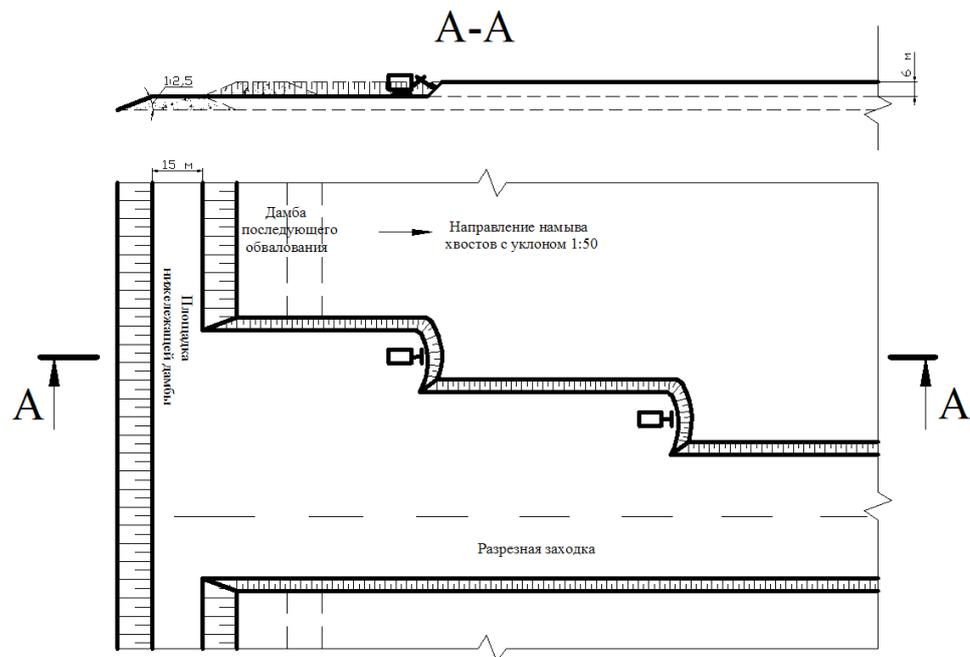


Рис. 2.13. Система разработки с поперечными (радиальными) заходками

Если по какой либо причине необходимо сохранять дамбы (например в случае, когда дамба является пограничной между двумя полями одного и того же хвостохранилища, или по иной причине), то внутренний борт карьера (II на рис. 2.14) по условию устойчивости будет иметь угол наклона,

в зависимости от высоты гидроотвала, равный $20\text{--}25^\circ$, и, следовательно, в потери промышленного сырья отойдет значительная часть наиболее богатой зоны. Поперечные заходки на уступе, конечно, не являются единственным направлением выемки. Если требуется селективная выемка зон, то можно использовать и продольное, и иное направление подготовки горизонта.

При технологии отработки месторождения последовательно и поуступно на всю площадь промышленных запасов количество забоев рекомендуется рассчитывать по известным методикам и нормам технологического проектирования для сыпучих грунтов. Оно будет зависеть: от принятой годовой производительности карьера; типа применяемого экскаваторного оборудования и транспорта, а также от необходимости усреднения добываемого ТС.

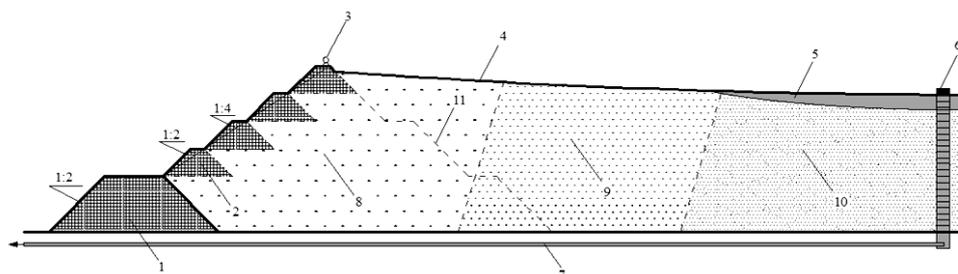


Рис. 2.14. Принципиальная схема хвостохранилища:

1 — первичная дамба обвалования (дамба начального обвалования); 2 — дамбы последующего обвалования, возводимые поярусно; 3 — намывной пульповод; 4 — пляж (поверхность между дамбой обвалования и прудком); 5 — прудок (прудок-отстойник), обеспечивающий водоосветление и водоснабжение; 6 — водосборный (водозаборный) колодец; 7 — водосбросный коллектор; 8 — зона, состоящая из наиболее крупнозернистых фракций намываемого грунта; 9 — средняя фракция; 10 — мелкая фракция; 11 — контур возможной выемки при сохранении дамбы обвалования (масштаб по горизонтали — $1 : 1$, по вертикали — $2 : 1$)

Минимальная необходимая длина экскаваторного блока на песках (при использовании автотранспорта) составляет $150\text{--}200$ м, что позволяет размещать в рабочем слое достаточное количество забоев.

Ширина заходки экскаватора зависит от радиуса черпания экскаватора на уровне стояния, а её минимальная величина составляет $1.5 R_{ч.у.}$ Кроме того, ширина заходки должна быть согласована с параметрами применяемого транспорта, в частности, при автотранспорте необходимо обеспечить беспрепятственный разворот автосамосвала у экскаватора.

Вскрытие запасов ТС, ввиду практического отсутствия вскрышных пород на хвостохранилищах, сводится в основном к проведению съездов или полутраншей на подошву верхнего уступа и проведению разрезных траншей или котлованов для расстановки выемочного оборудования согласно принятой схеме отработки слоя.

При необходимости сохранения дамб обвалования для последующего использования, в особенности на гидроотвалах, которые переводятся в категорию временно недействующих для отработки части ТС, вскрытие массива следует

производить без задействования дамб и других объектов гидроотвала, предусмотренных проектом, чтобы не нарушать прочность и устойчивость этих объектов. В этом случае транспортные коммуникации (автодороги) размещаются в выработках, проводимых по массиву отвала с оставлением предохранительных целиков для устойчивости первоначальных объектов. Зачастую размеры площадок дамб обвалования, разделительных и смотровых дамб недостаточны для работы карьерного оборудования.

При наличии обводнённых зон вскрывающие выработки следует размещать на участках выше уровня существующей депрессионной воронки. Одновременно с этим или до производства горных работ необходимо предусматривать проведение осушающих выработок.

Как показала практика отработки первого поля хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК», наличие и сохранение пруда-отстойника на площади гидроотвала в значительной мере осложняет горные работы в карьере. Поэтому, согласно данным пьезометрического контроля за несколько лет, до отработки необходимо полностью осушать площадь и массив гидроотвала. Возможно при особой необходимости постепенное понижение уровня акватории отстойника при налаженной системе водопонижения и обезвоживания обрабатываемых запасов до влажности не более 7 %.

2.2.2.3. Выбор типа и обоснование параметров транспортного оборудования

Наиболее распространённым видом транспорта на песчаных грунтах является автомобильный. Этот вид транспорта зарекомендовал себя достаточно хорошо в любых карьерах. В качестве внешнего транспорта он имеет ограничение по экономичности: эффективен при дальности транспортирования до 7 км. В песчаных забоях автотранспорт надёжен и высокоманёврен. Несущая способность хвостов, как правило, обеспечивает эксплуатацию карьерных дорог без покрытия и повышается при укатывании влажных грунтов.

Опыт добычи хвостов на АО «Ковдорский ГОК» показал, что для подготовки ТС к обогащению необходимо производить усреднение сырья из забоев на промежуточных складах, которые целесообразно сооружать на борту карьера в районах основных вскрывающих выработок. В этом случае движение ТС будет выглядеть следующим образом. Из забоев сырьё перевозится на усреднительный склад, где оно шихтуется, а затем перевозится до обогатительного комплекса и поступает в цех повторного измельчения и далее на флотацию. Таким образом, ТС транспортируется в две стадии по участкам разной длины.

В таблице 2.23 приведены предположительные длины транспортирования по таким участкам для ряда ГОКов области.

Таблица 2.23

Ориентировочные расстояния транспортирования на хвостохранилищах

ГОК, хвостохранилище фабрики (ОФ)	Расстояние от ОФ до склада, км	Размеры хвостохранилища, длина — ширина, км	Расстояние от забоя до склада, км	
			среднее	наибольшее
АО «Ковдорский ГОК»				
поле 1	1–1.5	1.9 – 0.9	1–2	3
поле 2	3	4.3 – 2.3	3–4	6–7
АО «Апатит», АНОФ-2	6.5	5.2 – 2.9	4	6–7
АО «Олкон», ДОФ	3–4	5 – 3.2	4	7–7.5

Приведённые параметры транспортирования вписываются в диапазон экономических расстояний для автотранспорта. И если в забоях по условиям усреднения ТС однозначно можно использовать карьерный автотранспорт, то на участке склад — фабрика наряду с автотранспортом можно рассматривать и конвейерный транспорт, так как этот участок будет стабильным по длине и пунктам перегрузки. А опыт применения конвейерного транспорта в условиях северных регионов на примере Ковдорского ГОКа положительный.

Как известно, на карьерах грузоподъёмность автосамосвала выбирается из условия рационального соотношения вместимостей ковша экскаватора E и кузова автосамосвала V . Это соотношение зависит от расстояния транспортирования груза: чем длиннее плечо откатки, тем вместимость кузова должна быть больше по сравнению с E [40].

Для средних значений расстояния транспортирования (2–4 км) рациональное соотношение находится в диапазоне:

$$E : V = 1 : 4 \div 1 : 6. \quad (2.3)$$

Оптимальное соотношение приводится по П. И. Томакову в работе [40], где при расстоянии транспортирования 3–4 км оно составляет 1 : 6.2. Это соотношение выведено для скальных горных пород, а для песков потребуются иное соотношение. Вес породы в ковше экскаватора g (т) определяют по формуле:

$$g = E \cdot \delta \cdot Kэ, \quad (2.4)$$

где δ — плотность горной массы в целике; $Kэ$ — коэффициент экскавации, принят по [38].

В таблице 2.24 даны результаты расчёта грузоподъёмности автосамосвала для стандартного диапазона E от 5 до 10 м³ как для скальных пород с плотностью 3 м³/м³, так и для песка (хвостов поля 2).

Таблица 2.24

Данные расчёта грузоподъёмности автосамосвала (G) в зависимости от вместимости ковша экскаватора E для перевозки скальных пород и песка на расстояние 3–4 км

Вместимость ковша E , м ³	Вес в ковше g , т		Грузоподъёмность самосвала G , т		
	скалы	песка	$V : E$	для скалы	для песка
5	8.70	7.35	6.2	53.9	45.6
6	10.44	8.82	6.2	64.7	54.7
8	13.92	11.76	6.2	86.3	72.9
10	17.4	14.7	6.2	107.9	91.1

Данные расчёта показывают, что при подборе грузоподъёмности автосамосвала по вместимости ковша экскаватора для песчаной горной массы необходимо применять соотношение $V : E$ более высокое, чем для скальной породы. Так, если использовать соотношение для песка, равное 7, то расчётная грузоподъёмность автосамосвала будет сопоставима с грузоподъёмностью для скальных пород.

Если по технологическим условиям необходимо иметь усреднительный склад для шихтовки ТС, то, как правило, на таких складах работает выемочно-погрузочная техника с большей вместимостью ковша, для которой необходимо иметь и транспортную технику большей грузоподъемности. В этих условиях для оперативной взаимозаменяемости в забоях экономичнее иметь автосамосвалы одинаковой грузоподъемности со складскими.

При выборе грузоподъемности автосамосвала не лишне иметь в виду как экономичность, так и экологичность такого вида транспорта. Чем выше грузоподъемность и современнее самосвал, тем меньше стоимость одной тонны перевозки горной массы и меньше расход топлива на эту же тонну при прочих равных условиях эксплуатации.

2.2.3. Принципы проектирования границ карьеров на хвостохранилищах

При проектировании карьера на ТМ, представленном хвостохранилищем, традиционные экономические показатели для расчёта границ либо отсутствуют, либо их влияние не имеет решающего значения для расчёта границ по экономическим факторам по следующим причинам:

1) если отсутствуют вскрышные работы, то нет их влияния на себестоимость добычи и нет коэффициента вскрыши;

2) отсутствуют большие глубины (для ТМ — высоты) у залежи и параметр глубины не лимитирует границы карьера;

3) допустимая себестоимость добычи будет рассчитываться от рыночной цены на металл (полезный компонент) за вычетом затрат на переработку, транспортные и прочие расходы (налоги и т. п.) — в этом случае главными будут затраты на переработку сырья и внешние транспортные работы;

4) отсутствие вскрышных и буровзрывных работ, песчаная структура материала ТС не потребуют значительных капиталовложений на приобретение оборудования и строительство объектов, следовательно, приведённые затраты на добычу будут значительно ниже допустимых.

Перечисленные аргументы говорят о том, что экономические расчёты могут дать ответ на вопросы о целесообразности эксплуатации ТМ и использования ТС, а не ответ о границах отработки ТМ.

Решающее значение для оконтуривания карьера будут иметь направление и длительность использования ТС, а также характерные для ТМ природные и технические факторы и ограничения.

При ограниченных сроках и объёмах использования ТС, в частности для нужд строительства, для карьера достаточно выделить территорию верхнего слоя хвостохранилища высотой 6–10 м, позволяющую добывать сырьё заданного качества с наименьшими транспортными, экологическими и другими затратами и с меньшими нарушениями хвостохранилища.

Примером может служить предполагаемая разработка золошлаковой смеси из золошлакоотвала Апатитской ТЭЦ. Регламент на проектирование был выполнен Горным институтом в 2006 г. Основные технические решения регламента представлены ниже в соответствующем разделе.

При длительном использовании сырья и больших объёмах добычи (1 млн т в год и более) с перспективой более полной отработки ТМ приоритетными для установления границ карьера будут природные и технические факторы и ограничения.

С учетом многолетнего опыта составления регламентов на отработку ТМ и имеющегося опыта АО «Ковдорский ГОК» по практической отработке 1-го поля хвостохранилища можно сформулировать основные принципы проектирования границ карьера при отработке хвостохранилищ.

1. Используются следующие исходные данные:

- первоначальный рельеф поверхности для ложа хвостохранилища с данными по зачистке от растительности, почвы, промышленных отходов;
- рельеф поверхности хвостохранилища на начало проектирования карьера, включая планы дамб обвалования, рельеф дна отстойника;
- данные скважинной разведки и границы утвержденных запасов по сортам ТС;
- физико-механические и инженерно-геологические свойства хвостов и массива хвостохранилища, включая гидрогеологические данные;
- характеристики горных пород, использованных для формирования дамб обвалования и конструкции этих дамб.

2. Решается задача сохранения и использования дамб обвалования и существующей ёмкости хвостохранилища в будущем (по потребностям, запасам и кондициям ТС, по возможным потерям в зоне размещения крупной фракции, по классу гидроотвала). Если нет необходимости сохранять дамбы обвалования в прежнем виде, то следует предусмотреть их отработку, сократив тем самым потери ТС при добыче.

3. Решается принципиальная и основная задача о размещении вторичных отходов при обогащении хвостов. Если для этих целей будут использоваться ёмкости существующего хвостохранилища, то решается вопрос об оставлении необходимых предохранительных целиков для образования новых ёмкостей, акваторий и других необходимых сооружений.

Эта задача имеет большое значение и должна решаться на первоначальной стадии проектирования любого хвостохранилища как с учётом отдельного размещения хвостов при переработке разных типов руд и на разных стадиях, так и с учётом дальнейшего использования хвостов.

В настоящее время отдельное размещение хвостов по качественным критериям вообще не предусматривается, поэтому назрела необходимость проведения специальных исследований по разработке основных методических принципов решения этой проблемы.

4. Необходимость поддержания какого-либо участка хвостохранилища для продолжения приёма хвостов от основного обогатительного производства будет ограничением границ карьера (временных или постоянных) со стороны этого участка, так как извлекаемые площади должны быть переведены во временно недействующие.

5. Территория и обрабатываемый массив хвостохранилища должны быть осушены перед горными работами до установленных норм влажности по процессам стадий переработки (обычно влажность ТС не должна превышать 6–7 %). Но при необходимости временного сохранения отстойника обратного водоснабжения следует оставлять предохранительный целик между отстойником и бортом карьера при обязательном опережении понижения уреза воды ниже подошвы обрабатываемого уступа.

6. Учитывается степень чистоты первоначальной поверхности при подготовке дна хвостохранилища, и задаётся минимальная мощность слоя хвостов, оставляемых на первоначальном рельефе.

7. Решается вопрос о конструкции дна карьера в конечном положении и о его минимальных параметрах. При этом уступы в конечном положении могут иметь горизонтальные или наклонные площадки в зависимости от наклона первоначального рельефа и полноты извлечения ТС.

8. Отметка дна карьера определяется размещением площадки дна с минимальными параметрами по нормам технологического проектирования (обычно 100 × 30 м), а в случае разработки хвостохранилища, сооружённого на части акватории естественных водоёмов (озёр, заливов и т. п.), отметка дна будет определяться наибольшей отметкой уровня воды в этих водоёмах.

9. При построении границ карьера следует придерживаться принципа минимизации потерь ТС при установленных качественных кондициях по технологии обогащения ТС.

10. При построении бортов карьера в конечном положении, особенно со стороны существующих дамб обвалования при их сохранении и при оставлении охранных целиков, необходимо определять устойчивость элементов таких бортов. Для этого определяются или задаются:

- высота рабочего уступа и уступа в конечном положении;
- угол естественного откоса ТС и откоса при длительном стоянии уступа в конечном положении, так как этот угол со временем выполаживается;
- ширина бермы на уступах в конечном положении, исходя из углов откосов ТС и необходимости проезда транспорта и техники.

Перечисленные принципы были использованы неоднократно, показали действенность и надёжность применения, что можно проиллюстрировать на примере определения границ будущего карьера на 2-м поле хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК».

Второе поле расположено ниже первого и отделено от него дамбой № 1 высотой 38 м. Второе поле является действующим участком, куда размещаются текущие хвосты обогащения комплексных железных руд и отходы обогащения хвостов 1-го поля.

С помощью горной автоматизированной системы MineFrame, разработанной в Горном институте, были построены объёмная модель залежи хвостов на поле 2 и границы будущего карьера. На основании запасов руд в основном карьере ГОКа, технологии обогащения и объёмов образования вторичных хвостов было принято определяющее условие о сохранении вместимости поля 2 и имеющихся дамб хвостохранилища. Высота рабочих уступов в карьере принята равной 6 м для сыпучих грунтов при использовании карьерных экскаваторов. Этот параметр был использован в качестве основы построения модели с разбивкой на слои, начиная с нижнего горизонта залежи +232 м. Были подсчитаны площади подошвы каждого слоя (уступа) и подсчитаны объёмы этих слоев, которые были условно названы геологическими запасами хвостов. По критериям устойчивости были определены углы откосов уступов в рабочем и конечном положении и минимальная ширина предохранительных берм. Минимальные параметры дна карьера приняты равными 30 × 100 м. Минимальная ширина неправильных участков уступов из-за расчленённости рельефа принята равной 30 м. При проектировании конечных границ карьера руководствовались принципом минимизации потерь сырья и наличием сортности сырья по промышленному содержанию полезных компонентов (рис. 2.15 и 2.16).

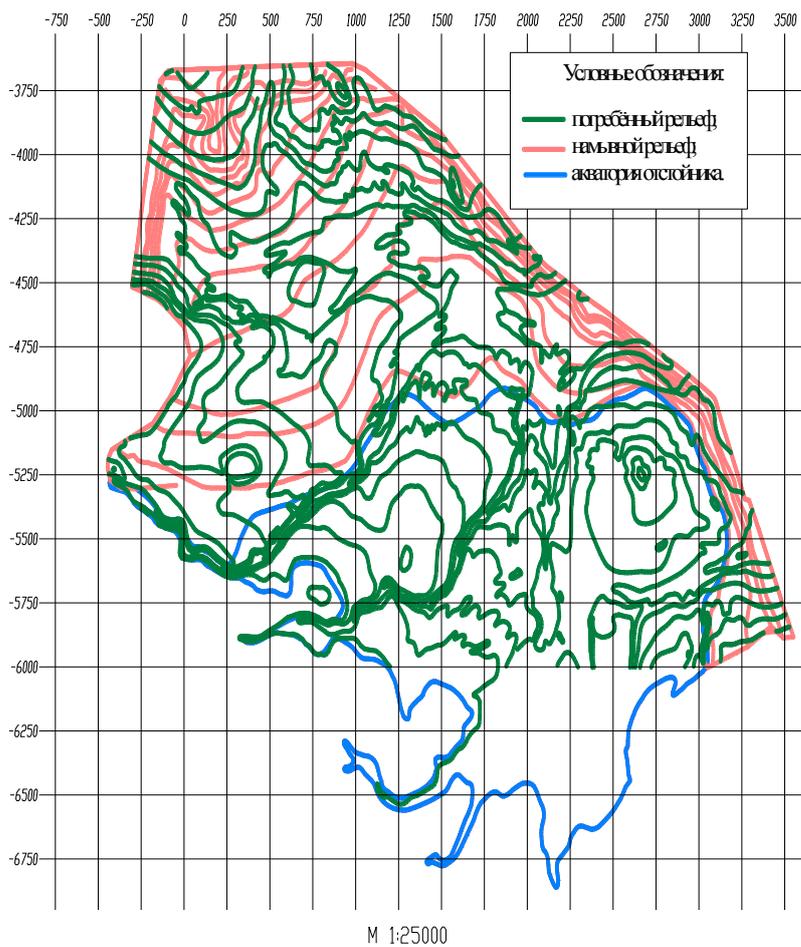


Рис. 2.15. Контуры хвостохранилища поля 2

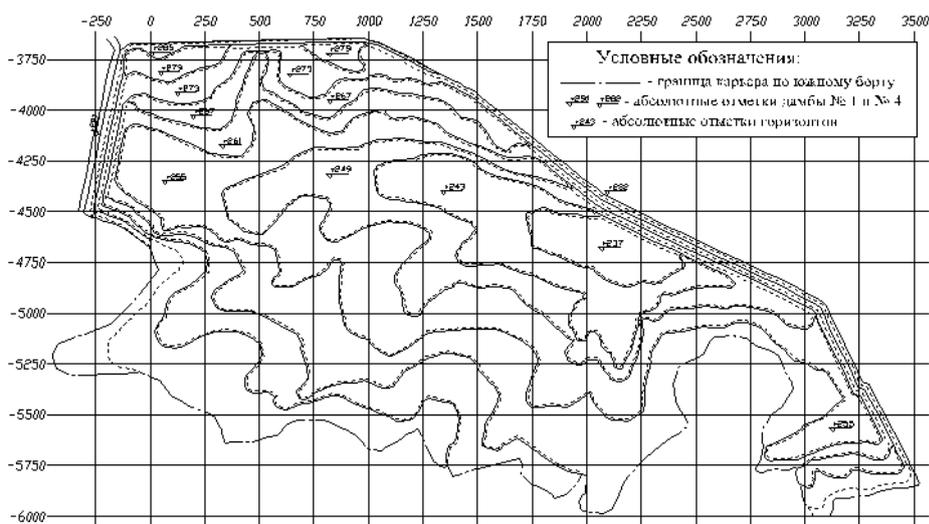


Рис. 2.16. Карьер на конец отработки запасов поля 2

С использованием перечисленных принципов были смоделированы границы карьера на поле 2 в конечном положении. «Геологические» запасы техногенного сырья составили 104.8 млн м³, промышленные — 88.8 млн м³, потери техногенного сырья в недрах — 15.3 %.

2.3. Опыт проектирования и отработки гидроотвалов предприятий Мурманской области

2.3.1. Опыт проектирования и отработки первого поля хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК»

В 1986 г., согласно заданию 03.01.Н2 Постановления ГКНТ СССР № 56 и заданию РАН СССР № 10103-858, Горный институт приступил к выполнению исследований по разделу 7 «Изучение технологии разработки и транспортирования лежалых хвостов на обогащение с выдачей исходных данных для разработки ТЭО» темы «Разработка и опытная проверка технологии получения фосфорно-магниевого концентрата и их переработки на удобрения из продуктов обогащения комплексных руд Ковдорского месторождения с целью выдачи исходных данных для составления ТЭО строительства предприятия».

Объектом исследования в основном являлись лежалые хвосты обогащения комплексных бадделеит-апатит-магнетитовых руд Ковдорского месторождения на поле 1. Согласно программе работ требовалось выполнить две основные задачи: определить сопротивление сдвигу материала хвостов и разработать технологию выемки и транспортирования этого материала на обогатительную фабрику.

Указанные задачи были успешно решены, и их результаты легли в основу «Исходных данных по технологии разработки лежалых хвостов Ковдорского ГОКа (к ТЭО строительства предприятий по производству плавящихся фосфорно-магниевого удобрений)», выполненных совместно с институтом ГИГХС в 1987 г. и переданных институту Гипроруда для составления ТЭО.

Не вдаваясь глубоко в исторический обзор опыта проектирования и отработки поля 1, остановимся на вопросах, опыт решения которых может быть использован при проектировании карьера и технологии горных работ для освоения запасов хвостов на других хвостохранилищах.

С 1987 г. начинается детальная разведка с целью постановки запасов ТС на государственный баланс. В ноябре 1987 г. от института Гипроруда получен акт внедрения рекомендаций Горного института по отработке поля 1 хвостохранилища. Однако предпроектные проработки института Гипроруда не дали оснований для вовлечения запасов хвостохранилища в отработку с целью выпуска плавящихся фосфорно-магниевого удобрений из-за больших капитальных вложений на строительство новых производственных перерабатывающих мощностей. Но предпроектные материалы способствовали принятию оптимальных решений по организации добычи и обогащения хвостов для извлечения апатита и бадделеита в условиях падения объёмов добычи руды в основном карьере.

Постановка запасов хвостов на баланс была осуществлена только в 1992 г., на оперативный учёт поставлено 68.2 млн т хвостов мокрой магнитной сепарации (ММС) 1-го поля с содержанием P₂O₅ 10.8 % (табл. 2.25).

Таблица 2.25

Балансовые запасы техногенного месторождения песков на 01.01.1991 г.

Участок	Запасы, тыс. т			Массовая доля, %		
	пески	P ₂ O ₅	ZrO ₂	P ₂ O ₅	ZrO ₂	класс -0.071 мм
Юго-восточный (основной), площадь 1500 тыс. м ² , максимальная мощность — 30 м	58457	6327	152	10.82	0.26	27
Северо-западный (перспективный), площадь 340 тыс. м ² , максимальная мощность — 15 м	9743	1032	23	10.6	0.24	2.29
Всего	68200	7359	175	10.79	0.26	27.4

В 1995 г., в период резкого уменьшения спроса на железорудный концентрат, АО «Ковдорский ГОК» получает лицензию Мурманского геологического комитета на право разработки ТС из 1-го поля хвостохранилища и выдаёт задание АО «Институт Гипроруда» на создание проекта добычи и обогащения сырья [41, 42].

С начала эксплуатации прошло больше 20 лет. В этой связи целесообразно проанализировать и сравнить предпроектные проработки Горного института, проектные решения АО «Институт Гипроруда» и опыт эксплуатации первого в Мурманской области крупномасштабного карьера по отработке ТМ, представленного хвостовыми отвалами обогатительного производства АО «Ковдорский ГОК».

Первое поле размещено в долине ручья Можель между ограждающей дамбой № 1 высотой 38 м и верхней частью долины р. Можель. Поле представлено двумя участками, разделёнными бывшим бассейном оборотной воды (прудом-отстойником), который требовалось использовать (на момент проектирования) для работы обогатительного комплекса. Максимальная площадь акватории составляла более 1 км² (рис. 2.17).

Питание подземных вод поля 1 происходило за счёт фильтрации воды отстойника, атмосферных осадков и ручья Можель. Разгрузка осуществлялась путём фильтрации через залежь хвостов и дамбу № 1 в нижний бьеф.

Лежалые хвосты представляли тонкоизмельчённый материал, размер зёрен которого не превышал 0.6 мм (96–98 % объёма). Распределение по фракциям на поле 1 неравномерное — ближе к пульповоду располагались более крупные фракции, а в юго-западной и восточной частях преобладал материал крупностью -0.071 мм в объёмах до 70 % от всех запасов.

Горным институтом перед рассмотрением вопроса о возможности разработки поля 1 были проведены испытания по определению физико-механических свойств материала лежалых хвостов, прочностных характеристик поверхности в забоях и на дорогах будущего карьера и рассмотрен вопрос применения гидродобычи в карьере. Следует отметить, что выполненный анализ показал невозможность использования гидродобычи в климатических условиях Мурманской области и получения концентратов на АО «Ковдорский ГОК» по существующей технологии.

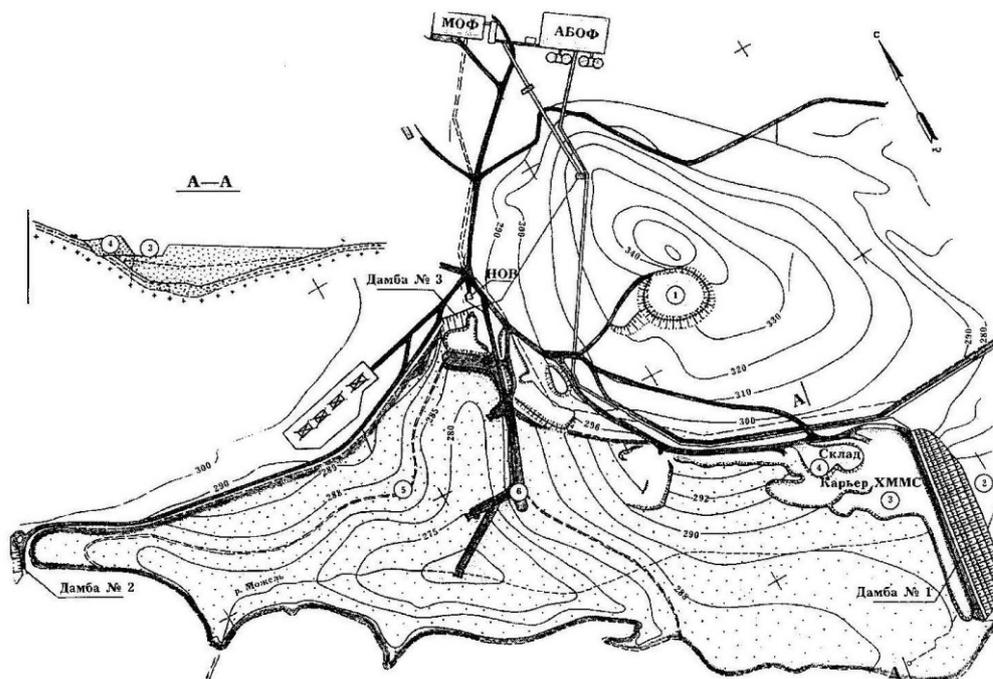


Рис. 2.17. Схема размещения лежалых хвостов и положение карьера на 1997 г.:
 1 — отработанные запасы хвостов сухой магнитной сепарации; 2 — 2-е (действующее) поле хвостохранилища; 3 — положение работ на первый год эксплуатации; 4 — буферно-усреднительный склад сырья; 5 — урез воды на момент начала работ по 1-му этапу; 6 — первый этап осушения и водоотлива

Техническим заданием АО «Ковдорский ГОК» была предусмотрена мощность карьера, равная 1 млн т руды в год, с перспективой развития её до 2 млн т/год. Горным институтом предложено границами карьера считать ограждающую дамбу № 1 и урез пруда-отстойника (рис. 2.18). Впоследствии институт Гипроруда включил в карьер и запасы хвостов за прудом-отстойником.

Учитывая исходные параметры карьера по заданию и условия залежи хвостов, Горный институт предложил осуществить вскрытие залежи внутренними съездами и разрезными траншеями со стороны дамбы № 1, при этом принималось во внимание, что в этом районе забои будут наиболее сухими при естественной влажности хвостов 5–7 %.

Была принята поуступная система разработки на всю площадь карьера с поперечными заходками для выемочной техники. В процессе отработки верхнего уступа предусматривалось понижение уровня воды в отстойнике с опережением по высоте в 5 м.

Поскольку в 1986 г. карьер предназначался для дополнительного производства к основному рудному карьере, было предложено вместо карьерных экскаваторов использовать фронтальные погрузчики с вместимостью ковшей 3,5 и 5 м³ и автосамосвалы грузоподъемностью 40 т. Для такого класса техники высота уступа была выбрана равной 5 м. Эта высота уступа и система отработки последовательно уступ за уступом

на всю площадь позволяла не только сохранять в работе на длительное время прудок-отстойник для водооборота фабричных вод, но и понижать его уровень постепенно. Кроме того, принятая система разработки позволяла карьере достичь производительности в 1, 2 и даже несколько миллионов тонн в год, оперируя только числом забоев. Для борьбы со смерзаемостью верхней корки забоев предусматривалось использование бульдозеров с рыхлителями.

В 1997 г. АО «Институт Гипроруда» выполнило проект добычи лежалых хвостов 1-го поля. К этому времени снизился спрос на железорудный концентрат, была снижена производительность основного карьера и добыча хвостов с переработкой на апатитовый и бадделеитовый концентраты стала не вспомогательным производством, а одним из основных. В этих условиях АО «Институт Гипроруда» запроектировало карьер на производительность 2.5 млн т/год с использованием освободившейся выемочно-транспортной техники основного рудного карьера — экскаваторов ЭКГ-8И (рис. 2.19), ЭКГ-4.6 и автосамосвалов грузоподъемностью 110–136 т. Высота уступов была принята равной 6 м.

Вскрытие залежи хвостов было рекомендовано производить от дамбы № 1 (как и предлагалось Горным институтом), а вот система разработки была принята не поуступная (с поочередной отработкой каждого уступа на всю горизонтальную площадь), а с одновременной работой двух, иногда трёх, уступов по высоте, что вызвало ряд осложнений с осушением карьера.

Следует отметить, что проблемы с осушением карьера были вызваны несколькими неучтёнными при проектировании обстоятельствами.

Во-первых, водоприток в карьер превысили ожидаемые по разведке (до 8 раз). Расход фильтрационной воды на момент составления Горным институтом исходных данных для проектирования (1986 г.) составлял в среднем 300 м³/ч, в период эксплуатации доходил до 2300 м³/ч [42, 43].

Во-вторых, водоприток ручья Можель также превысил расчётный, поэтому он вначале не был перехвачен выше границ карьера (в последующем ручей был направлен в пруд-отстойник системы оборотной воды обогатительного комплекса).

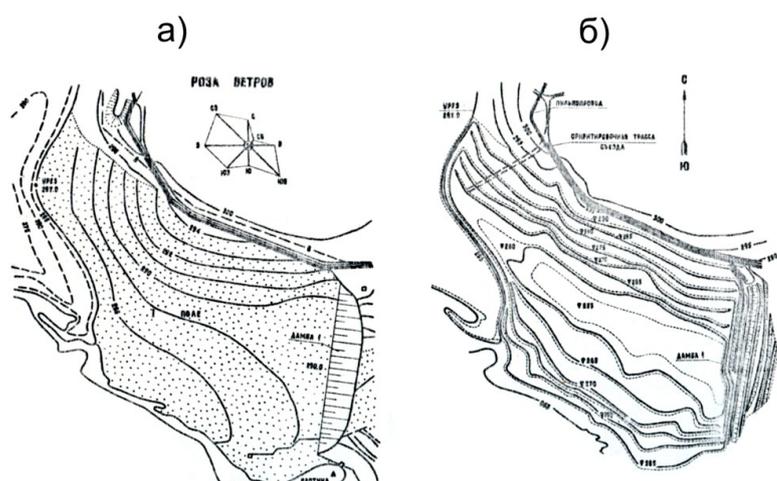


Рис. 2.18. План 1-го поля хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК» до отработки (а) и карьер в конце отработки по предложению ГИ (б)



Рис. 2.19. Экскаватор ЭКГ-8И в забое хвостохранилища

В-третьих, в забоях достаточно часто попадались водные линзы, «запечатанные» при формировании хвостохранилища между слоями тонкоизмельчённых глиноподобных песков в основном класса -0.071 мм, которые не были выявлены разведкой. Вскрытие таких линз на подошве уступа экскаватором приводило к внезапной просадке его ходовой тележки (рис. 2.20, б). В процессе эксплуатации работниками комбината был предложен и испытан на практике способ, по которому водную линзу при обнаружении «вырезали» бульдозером, а образовавшуюся выемку засыпали сухими крупнозернистыми хвостами. В дальнейшем экскаватор поочерёдно вынимал насыщенную влагой и сухую горную массу.

Для обогатительного производства требовались хвосты со средним содержанием влаги не более 7 %, в то время, как очень часто из забоев поступали хвосты с влажностью до 9–16 %. Поэтому АО «Институт Гипроруда» в проекте предусмотрело два промежуточных склада-отвала, которые одновременно предназначались как для обезвоживания поступающих из карьера хвостов, так и для усреднения их качественных характеристик. Склады размещались: один — в карьере, второй — на обогатительном комплексе. Технология отсыпки и параметры складов были определены Горным институтом. Отсыпка отвала-склада производится автосамосвалами под откос через предохранительный вал, при высокой влажности хвостов разгрузка самосвалов производится на площадку отвала. Выемка горной массы со склада по проекту АО «Институт Гипроруда» осуществляется карьерными экскаваторами.

К проекту Гипроруды 1997 г. институтом НИПЭЦ «Промгидротехника» выполнен технологический регламент на осушение хвостов.



a



б

Рис. 2.20. Гидравлический экскаватор – обратная лопата:
a — в обычном (сухом) забое; *б* — при попадании
на погребённую водную линзу

Осушение карьерного поля предусматривалось производить понижением уровня воды в отстойнике на 12–15 м, проведением осушительных канав вдоль северо-восточного и юго-западного бортов карьера и откачкой воды насосной станцией, размещённой у дамбы № 1 в зумпфе, местоположение которого и отметка дна могли меняться по мере понижения горных работ. Слив воды из зумпфа производился по трубам на поле 2 хвостохранилища у разделительной дамбы № 1. Следует сказать об ошибочности такого решения. Дело в том, что водоупорные свойства верхних слоёв дамбы № 1 оказались весьма слабыми и вода, слитая у дамбы, через тело дамбы просачивалась в выработанное пространство поля 1 и поступала в больших объёмах как снова в зумпф, так и в забой нижних горизонтов. Добываемые хвосты вновь переувлажнялись до пастообразного состояния, плохо обезвоживались на складах, что отрицательно сказывалось на усреднении их состава и на подготовке к обогащению. На наш взгляд, слив карьерной воды следовало бы производить на поле 2 на большем расстоянии, а не непосредственно у дамбы № 1.

В последние годы эксплуатации карьера экскаваторы ЭКГ-4.6 и ЭКГ-8И в забоях были заменены на гидравлические экскаваторы с обратной лопатой и вместимостью ковша около 5 м³. Такая замена позволила практически снять вопрос осушения забоев — при работе на верхней площадке уступа экскаватор не попадал на обводнённые участки. Кроме того, существенно повысилась несущая способность площадок сухого забоя для всей горнотранспортной техники (рис. 2.21). В комплексе с гидравлическим экскаватором стали использовать автосамосвалы САТ-777 грузоподъёмностью 91 т (см. рис. 2.12 и 2.20, а).

Результаты эксплуатации первого в Мурманской области вовлечённого в отработку ТМ в основном подтвердили предпроектные и проектные технические решения по отработке ТМ, представленных хвостовыми отвалами обогатительного производства. Схема вскрытия и система разработки вполне обеспечивали заданную производительность карьера и позволяли оперативно её увеличивать. Так, проектная производительность на поле 1 была увеличена в период спада производительности основного рудного карьера и доведена до 4 млн т/год, а позднее даже до 6.0–6.7 млн т/год, что полностью подтвердило рекомендации Горного института о перспективной производительности в несколько млн т/год.

Позже в связи с увеличением спроса на железный концентрат выросли объёмы добычи на основном карьере и производительность хвостового карьера снизилась до 1 млн т/год, причём этот процесс не был болезненным для предприятия, так как часть используемого оборудования (экскаваторы и автосамосвалы) была просто возвращена в основной карьер.

По мере понижения горных работ на поле 1 в эксплуатацию вовлекались горизонты с преобладанием хвостов более мелких фракций (-0.071 мм), которые не только трудно осушаются, но и вызывают дополнительные сложности при флотационных процессах, снижая извлечение апатитового и бадделеитового концентратов. Так, с 1995 по 2003 гг. содержание песков класса -0.071 мм повысилось в среднем с 13.5 до 31.2 %, извлечение апатитового концентрата снизилось с 62.5 до 56.6 %, а бадделеитового — с 25.5 до 24.8 %. В настоящее время технология обогащения тонкозернистых материалов усовершенствована за счёт их дополнительной подготовки перед флотацией.



Рис. 2.21. Автосамосвал грузоподъемностью 120 т на хвостохранилище

Как и предполагалось, верхний небольшой слой материала в забоях в зимнее время подвергался смерзанию. На предварительных стадиях для борьбы с этим явлением предлагалось использовать бульдозеры-рыхлители. Такое же явление наблюдалось при эксплуатации усреднительных складов хвостов. При применении мощной выемочной техники во многих случаях смерзшиеся куски разбивались ковшами экскаваторов, а неразбиваемые куски откладывались в сторону от забоя, которые затем оттаивали с наступлением тёплых периодов года. В последние годы для дробления смерзшихся кусков в приёмном комплексе на АБОФ использовались гидромолоты и шнекозубчатая двухвалковая дробилка, причём последняя не оправдала возлагавшиеся на неё надежды.

При разработке поля 1 попадались участки, засорённые невырубленным лесом, остатками бетонных эстакад и частями пульпопроводов. На первичной стадии в забоях остатки леса, металла и бетона отбирались экскаваторами и бульдозерами, а более мелкие куски отделялись на грохотах и скруббер-бутарах в корпусе промывки АБОФ.

С 1995 по 2012 гг. было добыто свыше 60 млн т лежалых хвостов поля 1 (табл. 2.26) [42].

Таблица 2.26

Добыча песков ТМ первого поля хвостохранилища Ковдорского ГОКа, тыс. т

1995 г.	1996 г.	2000 г.	2005 г. *	2010 г.	2011 г.	Всего 1995–2011 гг.	2012 г.
321	3943	4197	–	5234	4412	55350	5000

* В 2004–2005 гг. добыча и переработка песков была приостановлена в связи с полной загрузкой мощностей обогатительного комплекса возросшими объёмами переработки руды основного карьера и возобновлена в 2006 г. с вводом в эксплуатацию автономного комплекса по приёмке и подготовке к обогащению техногенных песков.

Из переработанного объёма хвостов произведено свыше 7.4 млн т апатитового концентрата с содержанием P_2O_5 — 38.2 % и свыше 28.5 тыс. т бадделеитового концентрата с содержанием ZrO_2 — 98.3 %. На выпуск такого объёма концентратов из руды основного месторождения потребовалось бы добыть свыше 67 млн т руды.

Себестоимость апатитового и бадделеитового концентратов, полученных из ТМ, оказалась на 30 % дешевле, чем из коренного месторождения за счёт отсутствия вскрышных и буровзрывных работ, меньшего расстояния транспортирования сырья, отсутствия дробильного передела и использования лишь одной стадии измельчения в шаровых мельницах. Последнее потребовалось для создания свежих неокисленных поверхностей породных зёрен, что позволило значительно улучшить показатели обогащения ТС.

Сравнение предпроектных и фактических показателей освоения ТМ приведено в табл. 2.27.

Следует отметить, что впервые в Российской Федерации научно обосновано и реализовано в крупных промышленных масштабах освоение техногенного месторождения с высокими экономическими показателями.

Таблица 2.27

Основные предпроектные, проектные и эксплуатационные показатели освоения Ковдорского ТМ (хвостохранилище, поле 1)

Показатель	По Горному институту 1986 г.	По Гипроруде 1997 г.	Фактически при эксплуатации с 1995 г.
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Площадь поверхности, тыс. м ²			
поля			1846
горного отвода	3000	3000	2936
Длина залежи, м	3850	Около 4000	Около 4000
Ширина залежи, м	150–1100	150–1000	150–1000
Площадь акватории, тыс. м ²	До 1000	До 1000	Н. д.
Абсолютная отметка, м			
поверхности	294–280	291–280	291–280
уреза воды	+287	+287	+275 — +260
Вертикальная мощность залежи, м	До 35	До 30	До 30
Балансовые запасы, млн т	68.2	68.2	68.2
Среднее содержание, %			
P_2O_5	10.8	10.79	10.85
Fe	3.96	Н. д.	Н. д.
CaO	27.83	Н. д.	Н. д.
MgO	20.08	Н. д.	Н. д.
ZrO_2	0.257	0.257	0.331
класс -0.071 мм	Н. д.	27.4	22.7
влажность	До 16.6	7	8.6 (до 20.0)

Окончание табл. 2.27

1	2	3	4
Плотность хвостов, т/м ³			
сухих	1.74	1.74	1.74
влажных	1.87	1.87	Н. д.
Коэффициент разрыхления, ед.	Н. д.	Н. д.	1.08
Средний расход откачанной воды из карьера, м ³ /ч	250	Н. д.	До 950–2300
Коэффициент фильтрации, м/сут	0.1–1.4	Н. д.	1.45
Угол внутреннего трения хвостов, град.	24–31	28	Н. д.
Угол естественного откоса хвостов, град.			
в сухом состоянии	45	45	45
в водонасыщенном	29	Н. д.	Н. д.
Несущая способность хвостов, МПа			
забой	0.4	0.45 – сред.	Н. д.
слабая дорога	0.6–0.8	Н. д.	Н. д.
накатанная дорога	1.0–1.2	До 0.6	Н. д.
Запасы в контуре карьера			
млн т	53.8	46.8	68.2
млн м ³	29.9	26.9	36.0
Размеры карьера по верху, м			
длина	1900	1700 и 130	1700
ширина	960	1150 и 350	1150
глубина	35	До 30	До 30
Производительность карьера, млн т/год			
заданная	1 и 2	2,5	–
перспективная	4–5	Н. д.	–
достигнутая	–	–	Более 6
Высота уступа, м	5	6	3–8
Угол откоса рабочего уступа, град.	40–45	50	45
Основное горнотранспортное оборудование, ед.			
колёсные погрузчики (ковш — 3.5 и 5 м ³)	3 и 3	Н. д.	–
тип экскаваторов	–	Н. д.	ЭКГ-8И, САТ-385ВL
грузоподъёмность автосамосвалов, т	27 и 40	Н. д.	110–136, 91
Дальность транспортирования, км			
до фабрики	1–1.5	3.5	4.1
в карьере	1–2	1.1	4.1
Добыто и переработано хвостов с начала эксплуатации до 2012 г., млн т	–	–	Более 60
Среднее содержание в добытых хвостах, %			
P ₂ O ₅	–	–	10.78
ZrO ₂	–	–	0.34
класс -0.071 мм			22.7–57.6
влага			До 17–20
Производство концентратов			
апатитового, млн т	–	–	7.4
бадделейтового, тыс. т	–	–	28.5

Представленный анализ вовлечения лежалых хвостов обогащения АО «Ковдорский ГОК» позволяет сделать выводы не только по эксплуатации поля 1, но и обобщающие выводы по эксплуатации аналогичных ТМ, представленных хвостовыми отвалами обогащения.

1. В период тяжёлого финансово-экономического положения Ковдорского ГОКа осуществлено крупномасштабное производство востребованных рынком апатитового и бадделеитового концентратов из лежалых отходов обогащения (1-го поля хвостохранилища) руд основного месторождения на промышленной площадке действующего предприятия при наличии развитой инфраструктуры и с использованием на первом этапе свободных мощностей горно-обогатительного производства и трудовых ресурсов, без существенных инвестиций в строительство и с минимальными эксплуатационными затратами, что стало эффективным антикризисным инструментом не только в производственной, но и в социальной деятельности предприятия в 1997–1999 гг.

2. На основании геолого-технологических исследований, опытных и предпроектных работ была предложена и реализована флотационно-гравитационная технология обогащения лежалых песков. Был предложен сухой способ их добычи, обеспечивший достаточно высокие технико-экономические показатели освоения ТМ.

3. Основные технические решения по отработке таких техногенных месторождений, предложенные на предпроектной стадии Горным институтом, были учтены АО «Институт Гипроруда», целесообразность их применения подтверждена эксплуатацией месторождения поля 1 хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК».

4. С 1995 по 2012 гг. на поле 1 хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК» добыто свыше 60 млн т лежалых хвостов и произведено более 7.4 млн т апатитового и 28.5 тыс. т бадделеитового концентратов. Для выпуска такого объёма концентратов потребовалось бы добыть более 67 млн т руды из основного месторождения с применением буровзрывных работ соответствующим ведением вскрышных работ, дроблением и измельчением руды.

5. Реализованный проект носит акцентированно-экологический характер: утилизировано более 60 млн т отходов горно-обогатительного производства, высвобождена ёмкость бывшего 1-го поля хвостохранилища, которая будет использована вторично в проектируемом апатит-штаффелитовом горно-обогатительном комплексе; около 200 га нарушенных земель возвращено в хозяйственную деятельность предприятия [44].

6. Вместе с тем, 20-летний опыт показал необходимость более глубокой предпроектной проработки сложных проблем добычи и обогащения изменённых во времени тонкозернистых и сильнообводнённых лежалых песков, существенно отличающихся от традиционного природного рудного сырья и требующих в каждом конкретном случае индивидуального решения технико-технологических проблем.

7. Наличие внешних водотоков и отстойников на обрабатываемой площади хвостохранилища в значительной степени усложняют эксплуатацию ТМ и требуют при сухой способе либо полного отвода и осушения этих источников, либо разработки специальных проектов осушения, включая решения по отработке возможных линз плывунов и организацию осушительно-усреднительных складов.

8. Технология выемки и система разработки лежалых песков должны учитывать особенности конструкции, направления формирования хвостохранилища, вид использования ТС и вместимости хвостохранилища.

9. Проект отработки 1-го поля стал прецедентом для включения в стратегию долгосрочного развития АО «Ковдорский ГОК» в качестве перспективного минерально-сырьевого ресурса хвостов действующего 2-го поля хвостохранилища [44–46].

2.3.2. Оценка горнотехнических условий разработки залежи хвостов второго поля хвостохранилища Ковдорского ГОКа

Второе поле хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК» является объектом производства и одновременно техногенным месторождением по размещению хвостов обогащения магнетитовых и апатитовых руд Ковдорского комплексного месторождения на территории Ковдорского района Мурманской области.

Второе поле расположено в долине ручья Можель ниже первого поля в четырёх километрах южнее г. Ковдор. Во 2-е поле начиная с 1982 г. и по настоящее время размещаются отходы обогащения комплексных магнетитовых руд, а с 1995 г. — отходы обогащения лежалых хвостов с поля 1, из которых извлекали P_2O_5 и ZrO_2 . Распределение этих компонентов по горизонтам на 2007 г. представлено в табл. 2.5.

Границами поля 2 являются: дамба № 1 с полем 1; на севере — дамба № 4, перегораживающая долину ручья Можель; на юге — гористый рельеф местности. В целом площадь, занимаемая 2-м полем, составляет 1031.3 га [45]. Общий объём уложенных хвостов на начало 2012 г. составлял свыше 161.9 млн m^3 (свыше 273 млн т).

Ложем хвостохранилища служит неровная поверхность погребённого рельефа долины ручья Можель (с притоками) с углами склонов 5–7 и 10–12 ° [45].

Форма залежи хвостов — линзо-пластообразная. Мощность её определяется по разнице абсолютных отметок погребённого рельефа (235–280 м) и поверхности толщи (280–290 м), варьируется от долей метра и первых метров у юго-западного края до 38–49 м у северо-восточного. Поверхность залежи ровная, полого наклонена на юго-восток (см. рис. 2.2 и 2.22).

В середине акватории бассейна оборотного водоснабжения или отстойника на поле 2 располагается водоприёмный колодец ВК-3, по которому осветлённая вода поступает в гидросистему вторичного отстойника.

В пределах хвостохранилища развиты три водоносных комплекса [45]:

- верхний — поровые воды залежей хвостов;
- средний — поровые воды четвертичных отложений;
- нижний — трещинные воды коренных пород архея и протерозоя.

Водоносные комплексы гидравлически связаны между собой. Основное питание подземных вод как четвертичных отложений, так и коренных пород осуществляется за счёт атмосферных осадков. Техногенный водоносный горизонт представляет собой отходы обогатительных фабрик, водовмещающими породами которого являются преимущественно тонкие и пылеватые пески. Мощность техногенных отложений достигает 49 м.

В 2007 г. по договору с ОАО «МГРЭ» Горный институт выполнял исследования по оценке горнотехнических условий разработки залежи отходов (хвостов) 2-го поля хвостохранилища. По техническому заданию проводился анализ исходной информации об объекте исследований, определение физико-механических свойств хвостов и несущей способности поверхности хвостохранилища, выбор горного и транспортного оборудования и расчёты устойчивости откосов уступов и бортов карьера, выбор и обоснование границ карьера.

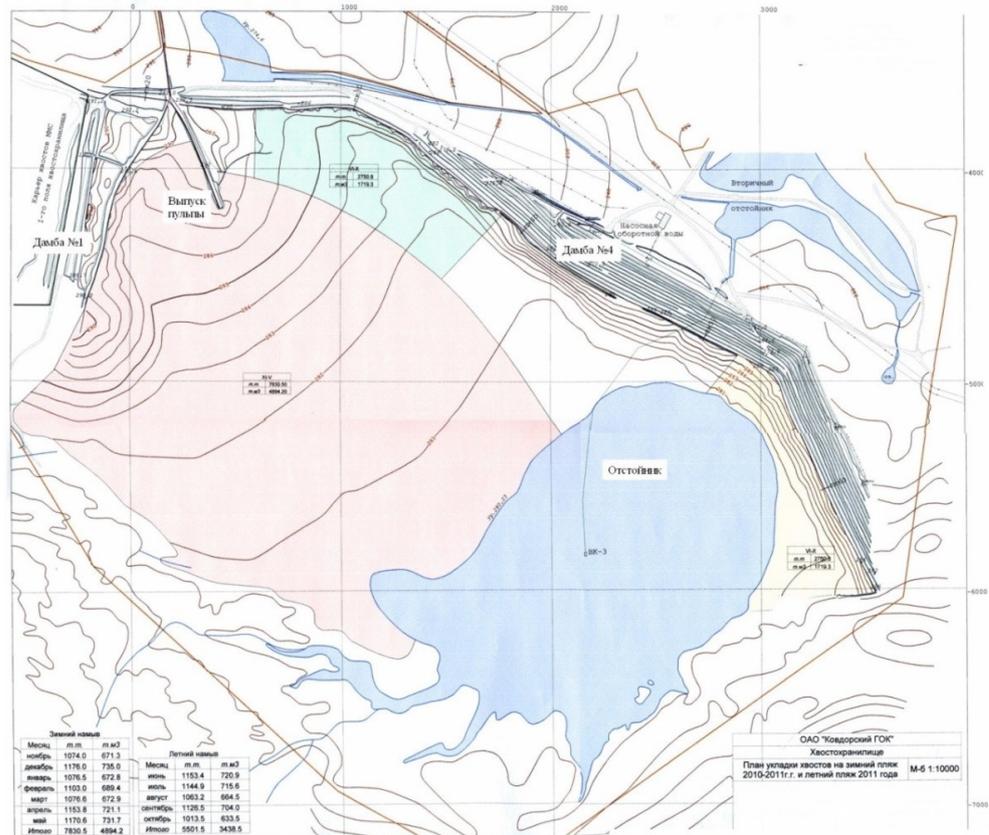


Рис. 2.22. Поверхность укладки хвостов на 2-м поле на 2011 г.

Все указанные задачи были выполнены, и часть результатов уже была представлена выше, но, поскольку поле 2 находится в эксплуатации по размещению хвостов действующего обогатительного производства, говорить об окончательных границах карьера, схеме вскрытия и тонкостях горной технологии пока рано.

С учётом результатов разведки запасов ТС, опыта разработки поля 1 и обогащения сырья можно констатировать следующее. С начала эксплуатации поля 1 (1995 г.) и извлечения из ТС P_2O_5 и ZrO_2 на поле 2 поступали до 2015 г. вторичные хвосты, практически не содержащие этих компонентов. При подсчёте геологических запасов геологи ОАО «МГРЭ» разделяют лежалые хвосты поля 2 по качественным характеристикам на три технологические сорта [45]: I сорт — хвосты с содержанием P_2O_5 более 3 % и с содержанием фракции -0.071 мм менее 56 %; II сорт — хвосты с содержанием P_2O_5 более 3 % и фракции -0.071 мм более 56 %; III сорт — хвосты с содержанием P_2O_5 менее 3 % и фракции -0.071 мм без ограничений. При этом сорт III не будет представлять собой технологический сорт, идущий на обогащение. Предположительно этот вид хвостов будет вывозиться из карьера на поле 2 и размещаться в отработанном пространстве карьера на поле 1, т. е. эта часть хвостов будет представлять собой внутреннюю вскрышу.

В результате появления внутренней вскрыши годовая производительность карьера по перерабатываемым сортам будет меньше, чем по горной массе (более точные данные можно будет получить после окончания эксплуатации всего поля 2 или его части, проведения разведочных работ и оконтуривания запасов по сортам).

Поскольку наибольшее содержание P_2O_5 приурочено к более крупным фракциям хвостов, а те в свою очередь размещаются ближе к дамбам обвалования, то для полноты извлечения сортов I и II необходимо отработку каждого слоя (уступа) начинать с отработки дамбы обвалования № 4 на высоту этого слоя.

По опыту работы на карьере поля 1 целесообразно выемку хвостов в забоях осуществлять гидравлическими экскаваторами типов ЭГО-6, ЭГО-8 или аналогичными экскаваторами иностранных марок, имеющими глубину копания более 7 м при угле откоса уступа 40° . Парк экскаваторов рассчитывается принятыми в проектировании способами с учётом необходимой шихтовки хвостов перед обогащением и возможных объёмов внутренней вскрыши. Подбор автосамосвалов к экскаваторам можно производить по приведённой методике.

Перечисленные факторы могли бы быть использованы, если бы оставался в силе действующий проект намыва хвостов поля 2. В 2012 г. ведущей организацией по проектированию хвостового хозяйства ООО НИПЭЦ «Промгидротехника» был выпущен «Проект эксплуатации II поля хвостохранилища ОАО «Ковдорский ГОК», в котором была полностью изменена технология намыва хвостов.

Необходимость изменения предыдущего проекта была вызвана опытом эксплуатации 2-го поля в период с 2007 по 2011 гг., по которому происходит изменение положения и площади отстойника на хвостохранилище, что в свою очередь увеличивает фильтрацию воды через основную дамбу № 4, приводит к ухудшению устойчивости этой дамбы, что грозит её прорывом, и ухудшаются условия осветления воды в отстойнике.

При складировании хвостов выше отметки 290 м предусматривается перейти к картовой схеме заполнения, что потребует изменения технологии как в строительстве дамб, так и в системе гидротранспорта.

Особенности новой технологии состоят в следующем:

– существующее второе поле разбивается на 4 карты за счёт строительства разделительных дамб внутри поля 2: три — под складирование хвостов, одна — под отстойный пруд (рис. 2.23);

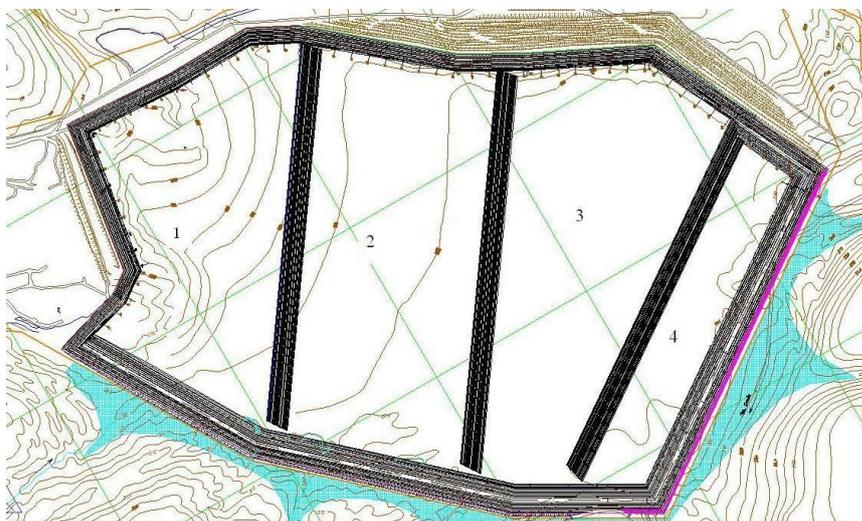


Рис. 2.23. Схема 2-го поля хвостохранилища при 4-картовой схеме заполнения:
1–3 — карты для складирования хвостов; 4 — карта под отстойный пруд

- разделительные дамбы будут иметь наклон от основной дамбы № 4 (от отметки 318 м) до отметок у южной дамбы 315–312 м;
- одновременно могут находиться в эксплуатации только две карты — одна для складирования хвостов, другая — отстойного пруда;
- каждая из карт, за исключением карты с отстойным прудом, заполняется на предельную проектную отметку (предварительно — 318.00 м);
- сток воды в карту 4 к пруду-отстойнику осуществляется через прораны между южными оконечностями разделительных дамб и южной дамбой, которая будет возводиться постепенно;
- незадействованные участки 2-го поля хвостохранилища могут временно рекультивироваться.

Для отладки технологии укладки хвостов в производственных условиях в контуре 1-й проектной карты организована экспериментальная карта (ЭК), на которой за 2012–2015 гг. отработывались элементы новой схемы эксплуатации хвостохранилища выше отметки 290.00 м. Схематический план экспериментальной карты представлен на рис. 2.24.

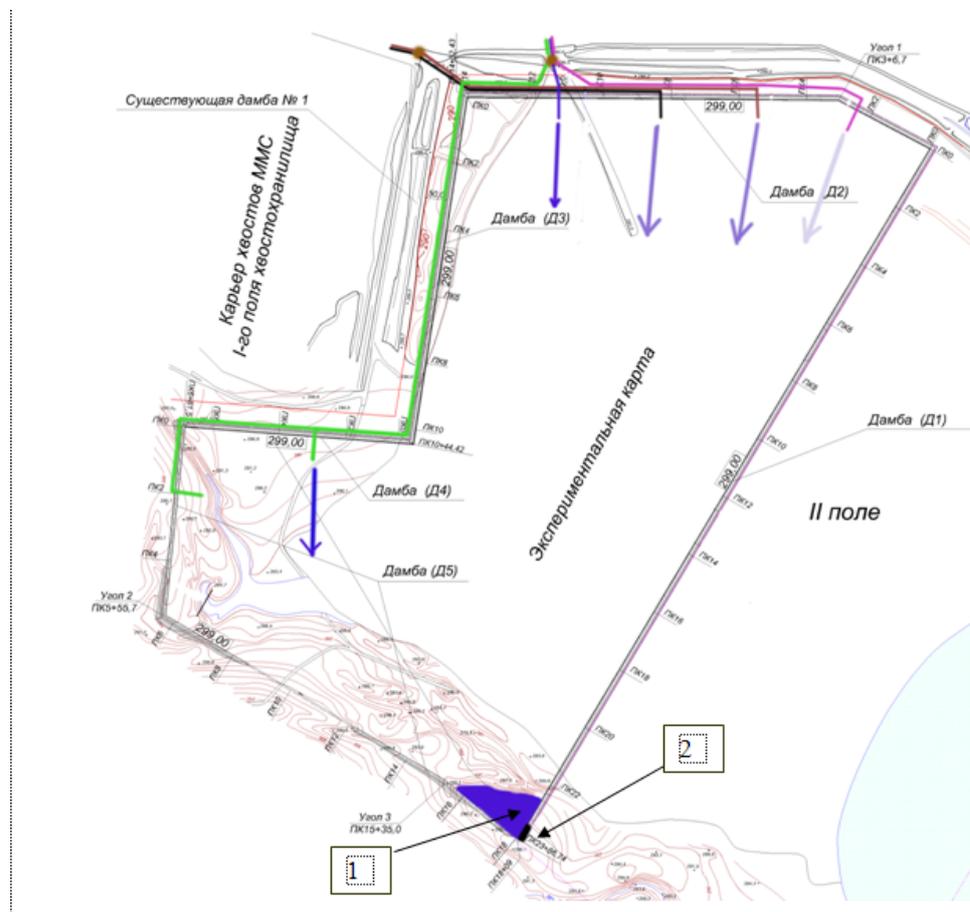


Рис. 2.24. Схематический план экспериментальной карты:
 1 — прудок; 2 — проран с переливной насыпью, стрелками показано направление слива пульпы

Все дамбы ЭК отсыпаются из породы вскрыши и, кроме Д-5, отстоят от дамб № 1 и № 4 вглубь поля на 50 м для сохранения устойчивости основных дамб. Дамбы ЭК возводятся вначале на высоту 9 м, потом ещё на 19 м до отметки гребня 318 м.

Так как уложенные после 2011 г. хвосты имеют очень низкое содержание ZrO_2 и P_2O_5 (менее 3.9 %) и повысить извлечение апатитового концентрата при приемлемых экономических затратах сложно, тем более что содержащиеся в хвостах карбонаты препятствуют этому технологически, то всю массу хвостов, которую необходимо разместить в картах, временно можно считать вскрышным материалом для того ТС, которое было уложено до 2012 г. Возможно, к этому объёму временной вскрыши следует отнести хвосты, уложение в 2009–2011 гг.

В настоящее время наибольшая высота основной ограждающей дамбы № 4 составляет 62.5 м. С подъёмом дамбы ещё на 28–29 м увеличится класс опасности дамб и одновременно будет снижаться приёмная способность хвостохранилища.

На основании этих факторов для подобных условий Горным институтом был предложен двухкартовый порядок заполнения и отработки карт на примере поля 2 (рис. 2.25).

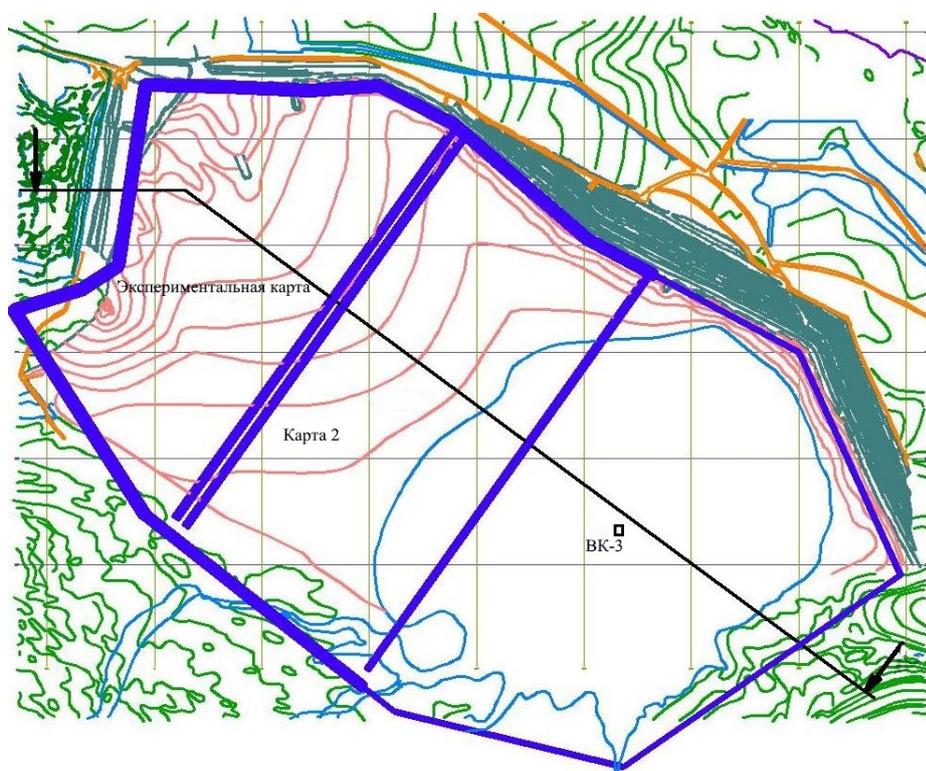


Рис. 2.25. Схематический план 2-го поля хвостохранилища при двухкартовой схеме заполнения

1. Первоначальные наибольшие высоты дамб ЭК целесообразно поднимать не до отметок +299 м, а до +302 м, т. е. предусмотреть ещё один ярус высотой 3 м, и заполнять карту до отметки +301.5 м.

2. С учётом графика заполнения ЭК начать строительство второй карты тоже с высотой дамб до отметки +302 м. Причём необходимо построить две разделительные дамбы типа Д1, одну параллельно Д1 ЭК на минимальном расстоянии от основания Д1, а вторую на таком расстоянии от Д1, чтобы ёмкость второй карты была равна ёмкости первой ЭК (см. рис. 2.24 и 2.25).

3. По заполнении ЭК следует начинать заполнение карты 2, а пески на ЭК должны осушаться либо естественным образом, либо с помощью продольных или поперечных канав глубиной 6 м, пройденных параллельно дамбам.

4. После осушения верхнего слоя высотой 6 м, а он будет наклонный, как и разделительные дамбы, хвосты этого слоя добываются сухим способом экскаваторно-автомобильным комплексом и перевозятся как временная вскрыша или некондиционное ТС в ёмкость 1-го поля и размещаются отдельно, где это целесообразно, даже на месте бывших усреднительных складов. Точно также удаляется и второй слой ЭК с высотой, равной 6 м.

5. По мере заполнения карты 2 работы по сливу пульпы переносятся опять на отработанную площадь ЭК. Траншея, образованная двумя параллельными дамбами типа Д1, будет служить для отвода воды, просачивающейся из каждой карты (ЭК или карты 2) при их попеременном заполнении. Возможна и иная схема удаления воды из карт.

Предлагаемый порядок заполнения и отработки карт позволяет:

- не строить весь комплекс разделительных и ограждающих дамб на площадях проектных карт 3 и 4;

- не строить комплекс дамб в картах 1 и 2 на полную высоту до отметки +318 м;

- не заполнять карты 3 и 4 бедными по фосфору хвостами, которые при разработке поля 2 необходимо было бы удалять;

- начинать добычу ТС из поля 2, не дожидаясь выполнения вскрышных работ, которые могли бы возникнуть при заполнении всех карт бедной горной массой;

- размещать часть сухих бедных хвостов на поле 1 или в ином целесообразном месте.

Возможен не только валовый, но и селективный порядок отработки сырья из карт. Выше уже говорилось о распределении песков при сливе по закону сегрегации по крупности зёрен, когда ближе к распределительному пульповоду размещаются более крупные пески. Опыт работы Ковдорского ГОКа по обогащению хвостов и проводимые анализы показывают, что содержание P_2O_5 в крупнозернистых хвостах выше, чем в среднезернистых, и тем более в мелкозернистых, хвостах.

При современной технологии обогащения всех видов сырья на ГОКе среднее содержание P_2O_5 в хвостах составляет 3.6–3.9 %. Справедливо полагать, что в крупнозернистых хвостах оно будет выше 4–4.5 %, а это уже сырьё, пригодное для получения апатитового концентрата, а значит, его можно извлекать отдельно и либо сохранять, либо шихтовать с материалом, идущим на извлечение апатитового концентрата.

2.3.3. Возможность разработки золошлаковых отвалов на примере Апатитской ТЭЦ

Исследования по возможности отработки золошлаковых отвалов (ЗШО) проводились по договору с ООО «АпатитТехноПласт» в 2006–2007 гг. Золошлаковая смесь предназначалась для изготовления блоков лёгкого золобетона. Годовой объём добычи определён заказчиком в 10 тыс. т.

Эти исследования — пример разработки технологии добычи ТС, которое будет использоваться в небольших количествах с переработкой, но без вторичных отходов. Причём ТМ — действующий в настоящее время производственный объект.

Техническим заданием к договору предусматривалось разработать границы возможного и первоначального карьера, схему вскрытия и обосновать технологию выемки и транспортирования зольной массы от карьера до склада потребителя по транспортным коммуникациям в черте г. Апатиты.

Золошлакоотвалы являются объектами складирования золошлаковой смеси (ЗШС), получаемой при сжигании твёрдого топлива (каменных углей) в энергетических котлах Апатитской ТЭЦ. ЗШО входят в систему гидрозолоудаления ТЭЦ и являются сложными специальными гидротехническими сооружениями повышенной опасности.

Золошлаковый отвал пойменного типа (см. рис. 2.1) расположен на правом берегу реки Белой на пойменной террасе склона Хибинского хребта. Общий уклон местности — в западном направлении со стоком подземных вод в р. Белую. Рельеф местности — холмисто моренный, заболоченный и заторфованный.

2.3.3.1. Конструкция и технология эксплуатации отвала

С западной и южной границы ЗШО возведена ограждающая дамба. С севера отвал примыкает к естественному склону (рис. 2.26).



Рис. 2.26. Размещение пульповыпусков на ограждающей дамбе в сторону секции II

Ограждающая дамба возводится ярусами высотой 3 м из гравийно-песчаного грунта. Ярусы в сечении имеют вид трапеции. Верхняя сторона трапеции (гребень) имеет ширину 8 м, откосы трапеции выполнены в соотношении 1 : 3 — 1 : 2.5.

Площадь ЗШО разбита на две секции разделительной дамбой, имеющей те же отметки, что и ограждающая дамба. К ограждающей дамбе ЗШО построена внешняя подъездная грунтовая автодорога длиной 2.5 км от ТЭЦ. По гребням дамб выполнена инспекторская автодорога.

Пульпа на ЗШО подавалась через пульповыпуски из золошлакопровода, расположенного по периметру ограждающей дамбы. Заполнение ЗШО производилось с обязательным устройством пляжей вдоль ограждающей дамбы. Ширина пляжа составляла 100–120 м по всей длине дамбы. Минимальная проектная ширина пляжа — 100 м.

В центральной части каждой секции размещены водосбросные колодцы шандорного типа (по 2 колодца на секцию), вокруг которых по проекту должен располагаться пруд-отстойник для осветления поступающей на пляжи воды (рис. 2.27). Осветлённая вода из отстойника поступает через шандорные колодцы в систему водооборота ТЭЦ.



Рис. 2.27. Водосборные шандорные колодцы № 3 и № 4 на секции II

В 2006–2007 гг. сброс пульпы производился только в секцию I, секция II не имела отстойника и практически была обезвожена как минимум на глубину более 3 м.

2.3.3.2. Характеристики золошлаковой смеси

Золошлаковая смесь представляет собой смесь пористых стекловидных частиц различной крупности преимущественно шарообразной формы, 70 % которых имеют размеры 0.005–0.05 мм.

Физико-механические свойства смеси, использованные в проектных расчётах [47]:

удельный вес — 2.3 г/см³;

плотность скелета сухой смеси — 1.04 г/см³;

плотность сухой смеси в предельно-плотном состоянии — 1.2 г/см³;

плотность сухой смеси в предельно-рыхлом состоянии — 0.9 г/см³;

плотность в естественном залегании — 1.35 г/см³;

пористость — 55 %, коэффициент пористости — 1.21;

угол внутреннего трения — 26 °;

коэффициент фильтрации — 0.1 м/сут.

Кроме того, нами дополнительно были определены свойства смеси в естественном залегании в ЗШО. Испытания проводились в лабораторных и натуральных условиях по методикам, принятым в инженерной геологии. Полученные результаты использовались при транспортных расчётах.

Естественная влажность смеси в забое секции II — 30 % (из-за высокой пористости частиц).

Плотность смеси с естественной влажностью в массиве золошлакоотвала — 1.45 г/см³.

Плотность смеси с естественной влажностью в насыпном состоянии при частичном уплотнении (насыпной вес) — 1 г/см³.

Угол естественного откоса смеси при естественной влажности в забое — 35 °.

Прочность поверхностного слоя естественной влажности на подошве забоя — 1–1.1 МПа. Поверхность золоотвала секции II имела трещины усыхания и была покрыта редкой травяной растительностью.

В летний сезон 2006 г. ООО «АпатитТехноПласт» организовал выемку опытной партии золошлаковой смеси с территории секции II. Цель этого мероприятия состояла не только в практической полупромышленной проверке технологических свойств золошлаковой смеси при изготовлении лёгких бетонов, но и в испытании работы погрузочной и транспортной техники в карьерных условиях секции II.

Опытный карьер был размещён в районе водопускных колодцев № 3 и № 4 (рис. 2.28). На конец октября 2006 г. опытный карьер имел визуальные параметры в плане 30–35 × 20 м, глубина выемки достигла 2–2.5 м. Вынутый объём горной массы оценивался в 700 м³.

Эксплуатационные работы осуществлялись гусеничным фронтальным погрузчиком ТО-7 с вместимостью ковша 1 м³. Выемка золы осуществлялась без особых затруднений, наполнение ковша осуществлялось с «шапкой». Боковые стенки забоя не обрушались, и угол откоса достигал 80 °, откос рудного забоя размещался под углом естественного откоса зольной массы с естественной влажностью (35 °).

Транспортирование золы осуществлялось автосамосвалами КамАЗ-5511 с технической грузоподъёмностью 10 т. Следует отметить, что на поверхности ЗШО при первоначальном проезде от колёс остаётся колея глубиной до 6–7 см,

но после повторного, и тем более многократного, проезда автосамосвала грунт уплотняется и поверхность дороги вполне выдерживает работу колесной техники. Определённая в последующем прочность поверхностного слоя естественной влажности на подошве забоя составила 1–1.1 МПа. Такая прочность обеспечивает безопасную работу автомобильной техники, особенно после уплотнения грунта колесами.



Рис. 2.28. Опытный карьер в районе водопускных колодцев № 3 и № 4.
Слева вверху — разделительная дамба с площадкой для строительства
вскрывающего съезда (стрелка)

2.3.3.3. Границы карьеров и порядок отработки карьерного поля

Согласно пункту 106 действовавших до 2014 г. «Единых правил безопасности при ведении открытых горных работ» в процессе эксплуатации гидроотвала и при наращивании ограждающих дамб не допускаются срезка грунта, устройство карьеров и котлованов в нижнем бьефе и на низовом откосе дамбы, а также в ложе хвостохранилища. Этот пункт сохранён в правилах 2014 г. под № 577 [15]. Поскольку действующий ЗШО разбит на две самостоятельные секции, отделённые друг от друга разделительной дамбой, препятствующей проникновению поверхностных вод отстойников из секции в секцию, и на секции II в рассматриваемый период отсутствовали пруд-отстойник и слив пульпы в чашу секции, то секцию II можно было считать неэксплуатируемой. В этом случае организация и эксплуатация карьера на площадке этой секции была возможна.

Но так как остановка секции отвала носит временный характер и её работа может быть возобновлена через какой-то период работы Апатитской ТЭЦ, то границы намечаемого карьера и его эксплуатация не должны нарушать конструкцию и параметры ограждающей и разделительной дамб и режим заполнения пляжей секции в случае её дальнейшей эксплуатации. Поэтому при выборе границ карьера были учтены следующие ограничения.

1. Не снижать устойчивость дамб.

2. Не производить никаких работ по изменению конструкций и параметров дамб — ограждающей, разделительной и смотровой.

3. Со стороны ограждающей дамбы сохранять проектные параметры пляжей: ширина пляжа должна быть не менее 100 м от внутренней бровки гребня ограждающей дамбы; уклон пляжа должен быть направлен во внутреннюю сторону хранилища; понижение пляжа должно быть постепенным и на границе стометровой зоны составлять по высоте 1 м по сравнению с отметкой пляжа у дамбы.

4. Для снижения просачивания воды из отстойника секции I оставлять предохранительный целик из уложенной золошлаковой смеси вдоль всей разделительной дамбы со стороны секции II шириной 15–16 м по поверхности отвала. Целик может выполнять функцию транспортной и предохранительной бермы.

5. Карьерное поле отрабатывать одним уступом высотой 3 м, не более высоты секции дамб.

6. Дно карьера должно иметь уклон в сторону водосборных колодцев. Дно колодцев должно быть на один метр ниже дна карьера (по рекомендации эксплуатационников ТЭЦ).

С учетом этих ограничений границы возможного карьера по поверхности отвала определились по внутренней границе пляжа со стороны ограждающей дамбы (100 м), по предохранительному целику вдоль разделительной дамбы (на расстоянии 16 м от откоса дамбы внутрь секции II) и выше уровня первоначальной поверхности с отметкой +166.6 м (рис. 2.29). Глубина вынимаемого слоя на внешних границах карьера принята равной 2 м от поверхности, имеющей среднюю отметку +168.6 м.

Дно карьера должно иметь постепенный уклон от границ в сторону водосборных колодцев, где отметка дна составит +165.6 м, т. е. относительное понижение дна будет равняться 1 м.

В рекомендуемых границах площадь перспективного карьера составит 44.7 тыс. м², а запасы ЗШС — около 98.7 тыс. м³, или 143 тыс. т при естественной влажности. При заданной годовой производительности карьера, равной 10 тыс. т/год, запасов слоя достаточно для работы в течение 14 лет.

Отработку карьерного поля целесообразно начать от внутренних границ пляжей со стороны ограждающей дамбы, где глубина поверхности депрессионной воронки будет иметь наибольшее значение и вероятность просачивания воды из секции I наименьшая.

Выемку уложенной золошлаковой смеси предложено производить панелями на полную глубину отрабатываемого слоя. Панели располагать длинной стороной вдоль границ ограждающей дамбы, а короткой — вдоль оставляемого целика у разделительной дамбы.

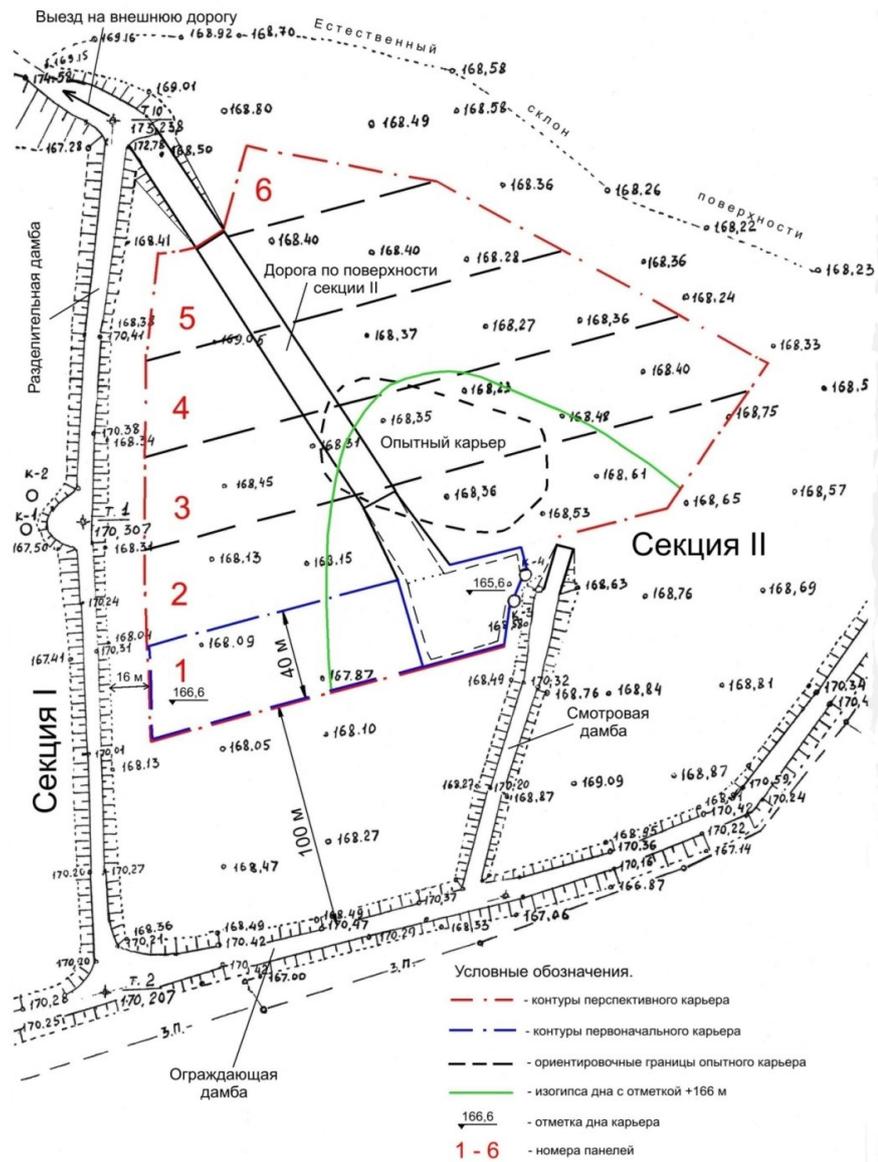


Рис. 2.29. Границы перспективного и первоначального карьеров на секции II ЗШО, схема вскрытия

Такое размещение панелей выбрано по следующим причинам:

- предположительно через 3–5 лет возможно возобновление слива пульпы в секцию II (более точное время возобновления слива указать в настоящее время затруднительно);
- размещение выработанной ёмкости секции вдоль пляжа позволит производить слив пульпы на ближайшем расстоянии от дамбы и колодцев в ограниченном объёме секции II, а не по всей площади. В этом случае вероятна обработка дальних панелей с оставлением целика параллельно обработанной панели.

Первую панель со стороны пляжа можно считать первоначальным карьером. Параметры первой панели по поверхности: средняя длина — 160 м, ширина — 40 м, глубина — от 2 м у разделительной дамбы до 3 м у водосборных колодцев. Угол нерабочих откосов панели принят равным углу естественного откоса золошлаковой смеси (30–35 °).

Чтобы не нарушать конструкцию дамб и расположенных на них технологических дорог, предложено вскрытие запасов осуществить внутренней автодорогой, проложенной по поверхности ЗШО. Для этого необходимо сформировать наклонную насыпь из песчано-гравийного материала для размещения съезда от площадки въезда на разделительную дамбу с отметкой +173.2 м до поверхности хранилища с отметкой +168.5 м и далее проложить и укатать автодорогу по поверхности хранилища (по кратчайшему расстоянию) до имеющегося опытного карьера и выполнить съезд в опытный карьер к первой панели (см. рис. 2.28 и 2.29).

Запасы первой панели в целике при углах откосов 35 ° (для влажной смеси) составляют 14.9 тыс. м³, или 21.6 тыс. т. Этих запасов достаточно для работы перерабатывающего завода в течение двух лет.

Такая схема вскрытия позволит сохранить проектные параметры дамб и сократить длину транспортирования до границ первоначального карьера с 680 до 230 м. Причём по мере отработки панелей длина транспортирования внутри карьера до панелей будет сокращаться. Ширину съездов в карьер и дороги по поверхности отвала целесообразно рассчитать исходя из двухстороннего движения автосамосвалов грузоподъёмностью 10–15 т.

Разбивка карьерного поля на панели и параметры панелей в плане определялись исходя из габаритов и технических характеристик оборудования, в основном транспортного, из возможностей возобновления слива пульпы в секцию II, времени отработки панели и направления отработки внутри панели и всего карьерного поля в намеченных границах.

Ширина панелей, равная 40 м, позволяет разместить на карьерном поле целое число панелей. Принятая ширина обеспечивает свободное размещение горнотранспортного оборудования и кольцевой разворот транспорта.

Запасы каждой из панелей, кроме шестой, позволяют обрабатывать их за 2–3 года, что даёт возможность возобновлять слив через 4–5 лет при полной отработке одной или двух панелей.

Отработку первой панели целесообразно начинать от водоспускных колодцев в сторону разделительной дамбы, что обеспечит сток дождевых и талых вод без скопления в забое.

По климатическим условиям в зимний период возможно промерзание зольной массы на глубину до 2 м, чему способствует и высокая влажность золы. Опыт выемки замёрзшего слоя толщиной 15–20 см в опытном карьере показал, что добыча в карьере в зимний период малоэффективна.

Кроме того, горные работы в зимний период потребуют постоянного поддержания подъездных дорог, борьбы со снеготаносимостью забоев и подъездных путей, необходимости обогрева персонала. Работа транспорта в зимний период потребует повышенных расходов ГСМ и увеличит число поломок и ремонтов.

С учетом отмеченного рекомендовано производить добычу золы только в тёплый сезон (с мая по октябрь). Для бесперебойного круглосуточного обеспечения сырьём перерабатывающего предприятия рекомендовано увеличить сменную производительность карьера в два раза для создания на зимний период полугодового запаса сырья на складах в месте переработки.

Опытная выемка золы в карьере с помощью фронтального погрузчика ТО-7 показала возможность работы такого типа выемочных машин, но с более высокой мощностью и вместимостью ковша. Учитывая возможность использования автосамосвалов грузоподъемностью 10–15 т, высоту забоя до 3 м, необходимость проведения планировочных работ по дну карьера и в дальнейшем на пляжах, целесообразно использовать на добычных и других выемочно-бульдозерных работах фронтальный погрузчик с вместимостью ковша 2 м³.

Одним из сложных и затратных процессов в эксплуатации зольного карьера является процесс транспортирования зольной массы от карьера до места складирования. Место складирования было определено заданием в черте г. Апатиты. За исходный вид транспорта выбран автомобильный с самосвалами марки КамАЗ-5511 грузоподъемностью 10 т, для сравнения дополнительно выбраны автосамосвалы КамАЗ-55111 грузоподъемностью 13 т и КамАЗ-65115 грузоподъемностью 15 т.

От карьера до складов были выбраны два маршрута для движения транспорта: короткий, длиной 8 км, и длинный — 10 км. На коротком маршруте имелись два участка по ограничению веса проходящего транспорта, поэтому движение выбранных автосамосвалов с грузом по короткому маршруту оказалось невозможным. Поэтому для сравнения были выбраны два варианта схем транспортирования ЗШС. Первый вариант («длинный маршрут») предусматривает движение автотранспорта с грузом от карьера до склада и порожняком до карьера по длинному маршруту. Второй вариант («короткий маршрут») предусматривает движение автотранспорта с грузом от карьера до склада по длинному маршруту, а порожняком — по короткому маршруту, так как массы снаряжённых автосамосвалов всех трёх выбранных марок не превышает ограничение веса (до 13 т).

Анализ результатов расчёта показал, что перевозки для каждого из видов автосамосвалов целесообразно осуществлять по короткому маршруту (с грузом — по длинной трассе, без груза — по короткой трассе). По годовому расходу топлива и рабочему парку предпочтение следует отдать автосамосвалу КамАЗ-5511 грузоподъемностью 10 т. Подробнее с результатами исследований можно ознакомиться в [48].

По разработанным ГоИ рекомендациям силами проектировщиков АО «Апатит» был выполнен рабочий проект разработки ЗШО АО «Апатитская ТЭЦ», но по экономическим причинам заказчика проект, к сожалению, не был реализован.

2.4. Формирование хвостовых техногенных месторождений с учётом их последующей отработки

2.4.1. Анализ конструктивных особенностей существующих хвостохранилищ и технологий их формирования, снижающих эффективность сохранения сырья и последующей разработки

Основные конструктивные особенности хвостохранилищ и технологий их формирования приводились в предыдущих разделах, и их необходимо учитывать при сохранении ТС, но так как теперь функция сохранения становится одной из основных, то её необходимо учитывать уже при первоначальном проектировании хвостохранилищ.

Месторождения полезных ископаемых в Мурманской области по содержанию в них полезных компонентов являются комплексными. Размещение полезных компонентов в рудных телах чаще всего смешанное. Однако следует отметить наличие в некоторых залежах локальных зон с разными типами руд и различными сортами по содержанию полезных компонентов (Ковдорское железорудное месторождение, апатитовые месторождения Хибин и т. п.).

В то же время наблюдается постепенное вовлечение в эксплуатацию руд с низким содержанием полезных компонентов. Примером могут служить апатит-нефелиновые руды Хибинских месторождений. До 1960-х гг. бортовое содержание P_2O_5 составляло 12 %, и в хвостах обогащения содержание P_2O_5 было в 2 и более раз выше, чем современное. Ковдорское железорудное месторождение вначале эксплуатировалось исключительно для получения железорудного концентрата, а такие минералы, как апатит и бадделейт, отправлялись в хвосты. Не во всех случаях производится разделение руд перед обогащением по типам, сортам и т. п.

Складирование отходов переработки (хвостов) в подавляющем числе случаев производится в единых хвостохранилищах и совместно, так как преобладает до сих пор отношение к хвостам обогащения не как к ТС с перспективой его использования, а как к ненужному отходу, занимающему большие территории и загрязняющему окружающую среду. При этом отсутствует раздельная транспортировка хвостов, раздельное размещение по объёмам, типам и сортам.

Размещение хвостов до сих пор производится по принципу сосредоточения их в местах, пригодных для размещения таких объёмов. Зачастую пригодные для этого площади находятся на достаточно большом расстоянии от обогатительной фабрики, за счет чего возрастают капитальные затраты на промежуточные насосные мощности и трубопроводы и возрастают эксплуатационные расходы на транспортирование хвостов.

Крупные хвостохранилища имеют высокую категорию (класс) по опасности и ответственности самого сооружения, несмотря на соблюдение при проектировании всех норм безопасности. На таких хвостохранилищах не исключены весенние размывы дамб с аварийными сбросами хвостов, что приводит к потере сырья и загрязнению окружающей среды. При увеличении высоты дамб и пляжей увеличивается вероятность и случаи пыления хвостов. При скоростях ветра более 3–6 м/сек, помимо загрязнения атмосферы, происходит потеря ТС и загрязнение водной среды и почв. Кроме того, высокие и обширные хвостохранилища изменяют в худшую сторону микроклимат прилегающих площадей, имеющих лесопосадки и сельскохозяйственные угодья. Эксплуатация таких хозяйств усложняется за счёт увеличения длины дорог, дамб, трубопроводов, коллекторов и отстойников водооборотной системы. Усложняется гидрозащита и впоследствии обезвоживание и осушение массива при разработке.

Хранение хвостов обогащения в Мурманской области производится в хвостохранилищах различной конструкции, зависящей от рельефа местности и планируемого объёма переработки руды. Крупные хвостохранилища чаще бывают равнинного типа, а малые в гористой местности — косогорные и овражно-балочные по руслам ручьев. При одной и той же занимаемой площади косогорные хвостохранилища обладают меньшей ёмкостью, и для её увеличения требуется увеличение высоты дамб обвалования.

Как правило, именно в нижних горизонтах больших хвостохранилищ размещаются хвосты с высоким содержанием полезных компонентов, что усложняет их выемку как по объёмам, так и по времени. Хвостохранилище, действующее десятки лет, нельзя будет разрабатывать до полного прекращения его эксплуатации. С точки зрения полноты извлечения ТС крупные хвостохранилища также не очень рациональны.

Так как хвосты не предполагалось использовать в будущем, то и подготовка днищ хвостохранилищ перед размещением хвостов не производилась. Не удалялись почвы, моренные отложения, растительность, зачастую в теле хранилища оставались трубы, бетонные опоры и т. п.

Разработка действующего хвостохранилища запрещена правилами безопасности, поэтому до начала производства горных работ необходимо прекращать слив пульпы в хвостохранилище. Наличие отстойника оборотного водоснабжения и вод в теле хвостохранилища требуют обезвоживания и осушения массива в течение нескольких лет, особенно на крупных хвостохранилищах. При этом могут оставаться водонасыщенные участки тонкодисперсных хвостов, которые невозможно извлечь и которые потребуют оставления охранных целиков из ТС. Эти целики будут составлять потери сырья при добыче.

На стадии оконтуривания границ карьера могут происходить общекарьерные потери ТС при проектировании ступенчатого дна и бортов карьера на конец отработки. При оконтуривании запасов на уступах, имеющих зауженные площадки из-за углублений первоначального рельефа, также будут возникать потери сырья.

Крупное и, особенно высокое, хвостохранилище требует сооружения большого количества дамб увеличенной длины и массы. Поэтому при разработке с сохранением дамб требуется оставлять большое количество охранных целиков, что также приводит к увеличению потерь сырья. Кроме того, при построении границ карьера с учётом качественного распределения хвостов за счёт сегрегации при намыве большая часть богатого сырья останется за контуром карьера и будет представлять собой потери (см. рис. 2.14).

В случае, когда разрабатывается хвостохранилище, которое ранее было рекультивировано с помощью посадок трав и кустарников, потребуется удаление верхнего слоя почвы и растительности. При этом будет удаляться и самый верхний слой хвостов, объёмы которого также будут представлять собой потери ТС.

Если после переработки первичного ТС возникают вторичные минеральные отходы, требующие своего размещения, то в этом случае проблема сохранения первичного сырья может усложниться. Так как в первичном ТС содержание полезных компонентов обычно не превышает 10–15 %, а чаще всего доходит до показателей бортового содержания необходимых минералов в руде, то более 90 % объёмов первичного ТС в виде отходов вторичной переработки снова придётся где-то размещать.

Практика разработки и формирования хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК» показывает, что если переработка первичного ТС осуществляется на основных мощностях предприятия, создавшего первичное ТС, то вторичные минеральные отходы размещаются в действующие хвостохранилища первичного ТС. В этом случае в значительной степени разубоживается первичное ТС. Но чаще всего вторичные отходы, размещаемые поверх первичных, будут создавать слой вскрыши у имеющегося ТМ, который в значительной степени снизит эффективность освоения ТМ и увеличит потери первоначального ТС.

2.4.2. Основные принципы и способы сохранения отходов обогащения при формировании техногенных месторождений

Сохранение отходов обогащения в качестве ТС предусматривает возможность его использования в будущем. Эффективность сохранения складывается из эффективностей обращения с этим сырьем на отдельных стадиях прохождения его от отхода перерабатывающего производства до места складирования и возврата на перерабатывающее производство или на место непосредственного использования.

Предлагается схема прохождения МС от стадии поступления руды на переработку, появления отходов и удаления их после переработки полезных ископаемых до стадий размещения и возвращения на повторную переработку. Эта схема и анализ существующей практики размещения хвостов обогащения в Мурманской области позволяют предложить основные принципы и способы сохранения их в качестве МС для дальнейшего использования.

Основопологающим принципом является необходимость считать отходы обогащения техногенным сырьем.

1. Первую стадию можно назвать стадией отделения продуктивной части ТС. Не всё сырье в силу своих качественных характеристик может быть эффективно использовано в обозримом будущем, либо имеются виды (типы, сорта), которые могут быть использованы с разной эффективностью. Разделение потенциального сырья можно осуществлять следующими способами.

А. Транспортировать руды разных типов, сортов и качественных характеристик на разные обогатительные фабрики, линии или склады. Примером может служить строительство и эксплуатация двух апатит-нефелиновых обогатительных фабрик АО «Апатит»: АНОФ-2 для переработки богатых руд и АНОФ-3 для переработки бедных руд.

Б. Разделять хвосты по этапам эксплуатации месторождений, когда происходит существенное или временное изменение содержания полезных компонентов в рудах и изменение качественных характеристик в хвостах. Например, изменение бортового содержания полезного компонента в отработываемых запасах.

В. Разделять хвосты от переработки руд, поступающих последовательно от открытых горных работ, а потом от подземных горных работ после отработки карьерных запасов. В силу разных величин потерь и разубоживания при добыче тем или иным способом возможны и разные качественные характеристики руд. При этом возможны и геологические причины разного качества руд.

Г. Выделение и сохранение на горнодобывающих предприятиях попутных руд при разработке комплексного месторождения с четко выделяемыми участками попутных руд. При этом переработку попутных руд целесообразно осуществлять по своим технологическим схемам с отдельным размещением хвостов обогащения.

2. Вторая стадия прохождения ТС предусматривает обязательное раздельное размещение его в разных ёмкостях.

А. Хранение хвостов с разными качественными характеристиками в отдельных хвостохранилищах.

Б. Разделение одного крупного хвостохранилища на секции, поля, карты, которые могут заполняться отдельно, одновременно или попеременно отличающимися хвостами.

В. Разделение хвостохранилища овражно-балочного типа на последовательно размещаемые поля, отделяемые друг от друга дамбами (пример — хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК»).

Г. Ярусное разделение хвостов в хвостохранилище, когда вниз укладываются непродуктивные виды хвостов, непредназначенные к дальнейшему использованию, а поверх этого яруса могут быть размещены виды хвостов, которые предполагают использовать в будущем.

3. Третья стадия — стадия хранения ТС. Конструкция ёмкостей и их количество должны отвечать требованиям наиболее полного сохранения качественных характеристик хвостов и одновременно требованиям последующего извлечения ТС с меньшими потерями и в любое необходимое время.

А. Ёмкостей для хранения хвостов одного качества может быть несколько, что даст возможность не только оперативно поддерживать процесс хранения, но и вовлекать в разработку ТС частями, не мешая эксплуатации других действующих ёмкостей.

Б. Конструкция и материал сооружения дамб должны по возможности предусматривать их отработку на стадии извлечения для снижения потерь ТС, которые возникают при оставлении охранного целика у дамбы.

В. Днище и борты хвостохранилищ, размещаемых в естественных ёмкостях, должны тщательно подготавливаться перед заполнением для снижения потерь при оконтуривании карьера, возможно, с предварительным сглаживанием и террасированием рельефа (поверхности) дна или бортов и, если это необходимо, с укреплением площадок дна.

Г. Конструкция и параметры водооборотного хозяйства, включая размеры отстойника, типы и количество шандорных колодцев, коллекторов и других сооружений, по возможности должны позволять осушить наибольший объём хвостохранилища перед отработкой как можно полнее и в наиболее краткие сроки.

Д. Следует категорически запретить непосредственное сбрасывание паводковых вод и вод поверхностной гидросети в тело хвостохранилища или в отстойники.

Е. В процессе эксплуатации хвостохранилища и после его остановки возможно пыление откосов дамб, пляжей и дорог в сухие дни летнего периода при скоростях ветра от 3 м/с и выше. При скорости ветра более 6 м/с возможен вынос мелкой фракции хвостов за территорию хвостохранилища, что можно отнести к потерям ТС.

Снижению пыления способствуют:

- низкая высота размещения пылящих поверхностей;
- малая площадь поверхностей;
- размещение ёмкостей в зоне слабых ветров;
- большая продолжительность зимнего холодного периода;
- частые осадки в зимний и особенно в летний периоды;
- использование искусственных мер пылеподавления (поливы чистой водой или различного рода смесями для закрепления поверхностного слоя);
- последовательная биологическая рекультивация с помощью посадок многолетних трав и кустарников;
- закрытие пылящих поверхностей различного рода пленками;
- управление ветровыми потоками и снижение скорости ветра.

4. Четвёртая стадия предусматривает извлечение ТС из хвостохранилищ. На этой стадии эффективность сохранения сырья состоит в наиболее полном извлечении продуктивных объёмов с минимальными потерями качественных характеристик:

А. Для техногенных месторождений Мурманской области предпочтителен сухой способ ведения открытых горных работ и транспортирования сырья. Климатические особенности области и применяемые в настоящее время технологии переработки не позволяют рекомендовать гидравлическую добычу сырья и его гидравлический транспорт на переработку. Сырье на обогатительную фабрику должно поступать непрерывно без сезонных остановок, усреднённое по содержанию полезного компонента, иметь естественную влажность, по возможности до 5–7 %.

Б. Снижение потерь добываемого сырья следует предусматривать как на стадии проектирования контуров карьеров на ТМ, так и на стадии ведения горных работ.

В. По возможности не предусматривать отработку участков хвостохранилищ, имеющих непромышленные сорта ТС на период проектирования разработки. Эти сорта можно считать внутренней вскрышей, которую целесообразнее вынимать и транспортировать в отработанные участки хвостохранилища или в специально подготовленные отвалы.

Г. Для полноты извлечения предусматривать отработку дамб обвалования, в особенности если дамбы строятся из тех же хвостов.

Д. Извлечение ТС производить по технологиям, предусматривающим усреднение добываемого сырья (использовать рациональное направление развития добычных работ, усреднительные склады и другие приёмы усреднения).

Е. Рекомендуются использовать разработанную в Горном институте систему отработки хвостохранилищ, предусматривающую ведение горных работ горизонтальными уступами высотой до 6 м последовательно на всю площадь уступа и поперечными (радиальными) заходками на уступе по направлению слива пульпы в период формирования.

5. Пятая стадия предусматривает транспортирование добытого ТС на переработку. На этой стадии больших потерь сырья ожидать не следует, но повышение эффективности при транспортировании возможно за счёт предварительного размещения хвостохранилищ на близком расстоянии от перерабатывающих цехов и за счёт применения эффективных видов транспорта (большегрузные автосамосвалы, конвейерные линии).

6. На шестой стадии предусматривается повторная переработка ТС. Повышение эффективности на этой стадии возможно за счёт извлечения попутных компонентов, представляющих интерес на момент переработки. Кроме того, необходимо расширять сферу использования ТС в качестве строительных материалов (песок для растворов и бетонов, изготовление штучных материалов в виде кирпича, строительных блоков и т. п.).

7. На седьмой стадии, если появляются вторичные отходы переработки, то их размещение следует производить в отдельных ёмкостях или отдельных секциях отработываемых хвостохранилищ, для чего необходимо, по возможности, предусматривать места размещения этих ёмкостей уже на стадиях размещения первичного ТС. Очень важно не допускать размещения вторичных отходов в местах, где уже размещены первичные отходы переработки исходных добытых ископаемых и которые могут представлять собой ТС. Если вторичные отходы — хвосты — не предполагается в будущем использовать, то они могут размещаться в местах постоянного нахождения. Для таких ситуаций очень удобны отработанные карьерные пространства.

2.4.3. Укрупнённая горнотехническая оценка предлагаемых способов формирования хвостохранилищ

Для оптимизации предлагаемых технологических решений всегда заманчиво дать укрупнённую сравнительную оценку предлагаемых конструкций хвостохранилищ, способов формирования их для эффективного сохранения и извлечения ТС.

Поскольку типы хвостохранилищ в первую очередь зависят от рельефа местности, на котором сооружаются, то целесообразно оценку начать со сравнения типов хвостохранилищ.

Как указывалось выше, в настоящее время выделено шесть типов гидроотвалов (хвостохранилищ) (см. рис. 2.1). Некоторые из этих типов могут быть объединены в группы, имеющие сходные свойства. Например, могут быть объединены для сравнения равнинные и овражно-равнинные, а также косогорные и пойменные типы.

При сравнении оценивались только основные свойства, которые связаны с сохранением сырья и последующей разработкой.

2.4.3.1. Свойства овражно-балочных хвостохранилищ

Положительные:

- преимущественное размещение — в долинных частях русел ручьев, реже мелких рек;
- малая протяжённость дамб для создания необходимой ёмкости;
- ёмкость хранилища измеряется от миллионов до сотен миллионов тонн;
- занимают небольшие площади земель сельскохозяйственного назначения;
- размещение ёмкостей может быть каскадное либо с разбивкой на поля, отделённые дамбами поперечного направления;
- лучше всего приспособлены для размещения резервных хранилищ для вторичных отходов.

Отрицательные:

- наклонное дно снижает ёмкость хранилища;
- основания дамб сложены рыхлыми отложениями, способствующими большой обводнённости днищ;
- гидрогеологические условия для хранения неблагоприятные, требуется водоотведение поверхностных стоков, особенно функционирующих ручьев;
- из-за расчленённости рельефа требуется более тщательная подготовка днищ для снижения пограничных потерь ТС;
- хранилища чаще всего имеют односторонний слив от одного откоса долины к другому, что ограничивает направление разработки в дальнейшем и усреднение ТС;
- требуется сохранение дамб обвалования после отработки ТС, что увеличивает объёмы потерь ТС.

2.4.3.2. Свойства равнинных и овражно-равнинных хвостохранилищ

Положительные:

- размещение на местности с горизонтальным или слабонаклонным рельефом. Возможно размещение в различного рода акваториях;
- наибольшая ёмкость из всех типов хранилищ;
- организация слива пульпы — многосторонняя с размещением водоспускных колодцев, а значит и размещения мелкодисперсной фракции хвостов ближе к центру площади;
- отсутствуют либо незначительны стоки поверхностных вод;
- благоприятные условия для разделения хвостохранилища на секции необходимых параметров;
- высокая способность массива к обезвоживанию перед отработкой;
- наиболее подходящий тип для разработки, дамбы могут отрабатываться совместно с массивом для снижения потерь ТС.

Отрицательные:

- наибольшая из всех типов протяжённость дамб обвалования;
- повышенный класс опасности по эксплуатации;
- повышенная способность к пылепереносу из-за больших площадей пляжей и дамб;
- оказывают большое влияние на изменение климатических условий микрорайона.

2.4.3.3 Свойства пойменных и косогорных хвостохранилищ

Положительные:

- могут быть организованы на нагорно-долинном рельефе;
- земельные площади, как правило, не имеют сельскохозяйственного назначения, только лесохозяйственного;
- имеют дамбы обвалования, расположенные с трёх сторон, и могут быть отработаны одновременно с телом хранилища;
- может быть использован каскадный и секционный способы формирования;
- благоприятные условия для отработки ТС;
- высота дамб обвалования переменная и изменяется от ограждающей дамбы до нуля у противоположных границ.
- протяжённость дамб обвалования меньше, чем у равнинных хранилищ.

Отрицательные:

- вместимость из-за наклона поверхности составляет менее 50 % от вместимости равнинных хвостохранилищ при равной площади;
- максимальный угол откоса поверхности не должен превышать 4–5 °;
- требуют водоотводных сооружений для поверхностных вод;
- основания дамб у пойменных хвостохранилищ менее устойчивы, чем у косогорных, что требует дополнительных мер безопасности при сооружении;
- направление слива пульпы — от ограждающих дамб к противоположной стороне, что увеличивает потери ТС при сохранении дамб;
- крупные хвостохранилища подобных типов требуют сооружения ограждающих дамб повышенной высоты, что ужесточает требования к их устойчивости.

2.4.3.4. Свойства котловинных и котлованных хвостохранилищ

Положительные:

- размещаются в естественных понижениях рельефа либо в отработанных карьерах;
- не требуют высоких дамб обвалования;
- котлованные используют повторно изъятые пространство с подготовленным дном для лучшего сохранения ТС и последующей отработки;
- достаточно вместительные типы хранилищ;
- высокий класс безопасной и устойчивой эксплуатации, выше, чем у остальных типов;
- размещение пульповодов возможно по всему периметру с распределением материала от пульповодов к центру;
- благоприятные условия для отработки, включая направление развития горных работ, минимальные потери сырья.
- дамбы обвалования могут отрабатываться.

Отрицательные:

- в нагорных условиях требуется отвод поверхностных водотоков;
- возможна подпитка подземными водами, что затруднит осушение перед добычей, эксплуатация потребует интенсивного принудительного водопонижения;
- при больших пространствах карьерного поля возможен пылеперенос, что потребует принятия мер пылеподавления;
- не всегда возможны благоприятные условия по транспортированию из-за фиксированного местонахождения;
- затруднена организация раздельного хранения ТС.

2.4.3.5. Формирование хвостохранилищ с позиций их последующей отработки

Сравнение условий и свойства представленных хвостохранилищ показывает, что наиболее универсальным по хранению ТС и условиям отработки являются хвостохранилища равнинного типа.

Одним из основных принципов по сохранению ТС и разработке ТМ является принцип раздельного хранения.

Раздельность хранения ТС может быть обеспечена размещением либо в отдельных хвостохранилищах, либо в хвостохранилище, разделённом на секции, поля или карты. В любом случае размещение отдельных или секционных конструкций должно быть компактным по площади, обслуживаться объединёнными транспортными коммуникациями, включая пульповоды.

Отдельно расположенные небольшие хвостохранилища предпочтительнее с позиций сохранности сырья и его отработки. Но по изъятым земельным площадям, количеству и объёму дамб и плотин и по длине коммуникаций предпочтительнее секционные сооружения.

Разделение хвостохранилищ на секции по расположению их относительно одна от другой могут иметь следующие варианты:

- каскадное (для овражно-блочных хранилищ);
- секторное (для круглых в плане хранилищ);
- секционное вытянутое или компактное;
- картовые (когда число секций больше четырёх, расположенных компактно).

Каскадное, секторное и картовое размещения имеют определенный порядок размещения, зависящий от числа предусмотренных секций, последовательности их заполнения и формы хвостохранилища в плане. Чисто секционные хвостохранилища целесообразны для равнинных, пойменных и косогорных типов. Причем вариантов размещения может быть несколько. На рис. 2.30 даны такие варианты (*a*, *б*, *в*, *г*). Если сравнить эти варианты между собой по величине изымаемой земельной площади и периметру дамб обвалования, то предпочтительным оказывается размещение по варианту *a*, а затем — *в*, причём вариант *в* целесообразен для косогорных и пойменных типов хвостохранилищ.

Как уже отмечалось выше, в проектировании хвостохранилищ обогатительных производств существует классификация хранилищ в зависимости от высоты дамб и типов грунтов в её основании и возможной аварийной ситуации (СНиП 33-01-2003). Определяющим фактором опасности является высота дамбы при широком диапазоне вместимости. Анализ параметров хвостохранилищ Мурманской области показал, что преобладающей высотой дамб в области являются дамбы до 40 м, при этом хвостохранилища равнинного типа составляют около 60 % от всего количества (10 из 17).

С позиций сохранения ТС, его качественных характеристик, возможности отработки в необходимое время предпочтительнее хвостохранилища не выше II класса высотой 34–35 м. Ёмкость таких хранилищ вполне подходит для организации каждой из секций, а в сумме такие ёмкости обеспечат любую обогатительную фабрику. Известно [13, 14], что с высотой ёмкость верхних уровней хранилища уменьшается, а сложности в управлении и обслуживании возрастают.

Несложные расчёты вместимости равнинного хранилища на 1 км фронта показывают, что если принять ёмкость хранилища высотой 50 м за 100 %, то хранилище высотой 34 м будет обеспечивать ёмкость на 68 %. То есть двух секций высотой по 34 м с запасом достаточно, чтобы не строить хранилище высотой 50 м и более. При этом, конечно, возрастает занимаемая площадь под хранилище, но этот недостаток с лихвой покрывается преимуществами низких секций.

Недостатки высоких хранилищ на наклонном рельефе резко возрастают, начиная с устойчивости и безопасности обслуживания. Нами выполнены исследования по выявлению предельного угла наклона рельефа местности, до которого ещё целесообразно использовать наклонное основание хвостохранилища.

На рисунке 2.31 дано сечение стандартного хвостохранилища со стандартными элементами дамб последующего обвалования и вариантами положения дна под углами наклона 0, 3, 5 и 7 °.

Более крутой угол наклона рельефа требует увеличения высоты ограждающей дамбы для обеспечения требуемой ёмкости, что сказывается на увеличении мер по обеспечению безопасной эксплуатации.

Расчёты показывают, что увеличение угла наклона днища хранилища с 5 до 7 ° с одновременным увеличением высоты дамбы с 34 до 50–52 м не даёт увеличения удельной ёмкости отвала. Поэтому можно рекомендовать предельный угол наклона рельефа, на котором можно строить секции хвостохранилища косогорного и пойменного типов, равным 4–5 °.

Формирование секций хвостохранилищ, предназначенных затем к отработке, целесообразно организовывать в определенном порядке, обеспечивающем, если необходимо, одновременное заполнение и отработку этих секций.

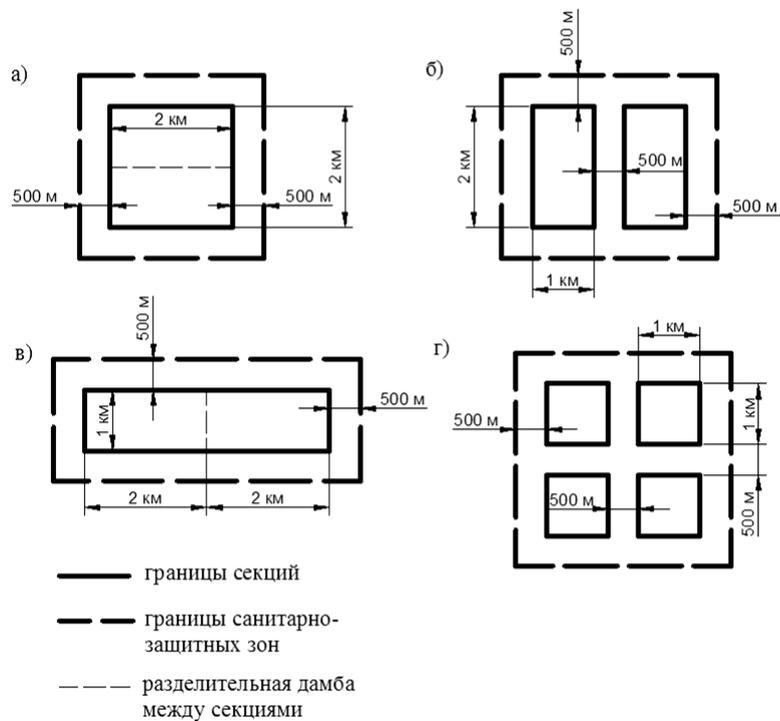


Рис. 2.30. Сравнение периметров и площадей хвостохранилищ

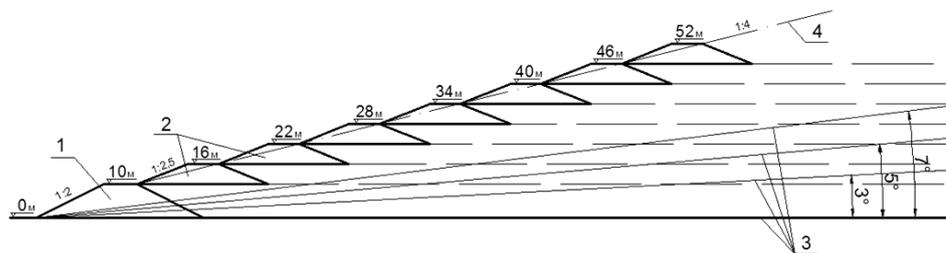


Рис. 2.31. Схема формирования дамб равнинных и косогорных хвостохранилищ:
 1 — пионерная дамба; 2 — дамбы последующего обвалования;
 3 — склон дневной поверхности соответственно 0, 3, 5 и 7 °; 4 — предельный откос общей дамбы (1 : 4, 14 °)

На рисунке 2.32 представлены возможные варианты заполнения хвостохранилищ, состоящих из трёх секций для равнинных, косогорных, пойменных и овражно-балочных типов. Вначале заполняется секция I в течение времени, на которое рассчитан объём секции и стабильность (относительная) качественных характеристик хвостов, потом заполняется секция II по тому же принципу, что и секция I, и в это время производится обезвоживание и осушение ТС в секции I. После осушения секции I можно приступить к её отработке. Для размещения вторичных отходов строится секция III, основные необходимые сооружения которой должны быть построены

к началу отработки первой секции. После заполнения и осушения секции II можно отрабатывать эту секцию. При этом вторичные хвосты переработки ТС II секции также размещаются в секции III. Ёмкость секции III должна вмещать вторичные отходы от переработки хвостов I и II секций. Далее площади секций I и II могут быть рекультивированы или использованы для других целей.

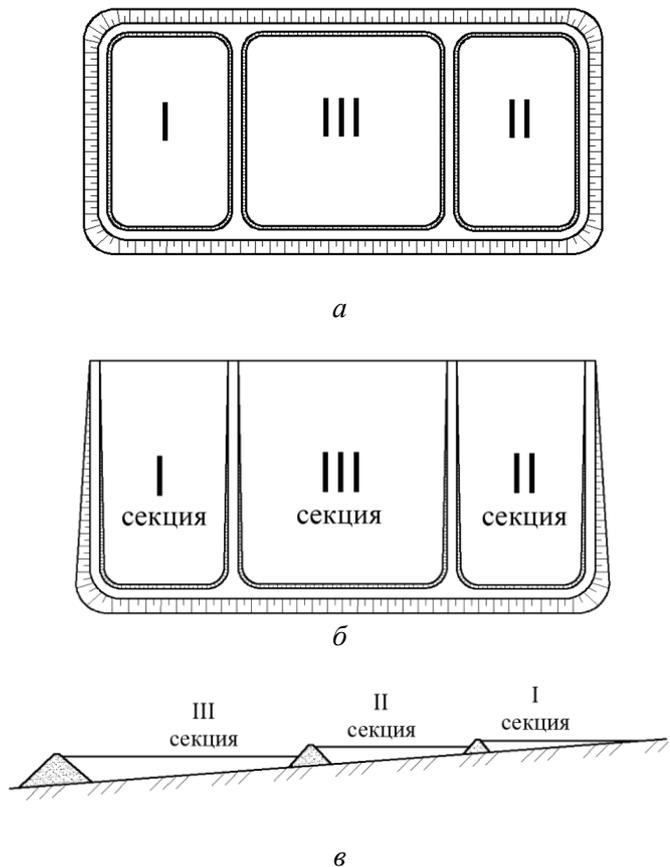


Рис. 2.32. Трёхсекционные хвостохранилища, порядок заполнения:
а — равнинные; *б* — косогорные и пойменные; *в* — овражного типа

При рассмотрении вопроса сохранения сырья техногенных месторождений на перспективу есть смысл проведения соответствующих исследований в следующем направлении. Хвосты обогащения, представляющие определённый интерес с точки зрения перспективности их в качестве потенциального сырья в обозримом будущем, можно перед складированием обрабатывать по дешёвым обогатительным технологическим схемам, и часть с повышенным содержанием одного или нескольких полезных компонентов складировать с учётом вовлечения в переработку в ближайшей перспективе, а остальной объём хвостов складировать с полноценной рекультивацией по окончании эксплуатации месторождения.

Целесообразно на основе анализа способов и технологий обогащения сформировать банк дешёвых обогатительных технологий на предмет создания приемлемых схем предотвального обогащения.

2.4.4. О перспективном способе «сухого» складирования отвальных хвостов обогатительных фабрик

Технология сгущения хвостов до пастообразного и даже твёрдого состояния для компактного размещения в хвостохранилищах уже более 15 лет назад освоена различными обогатительными производствами за рубежом и в течение нескольких лет в России [49]. ЗАО «Механобринжиниринг» еще 7 лет назад выполняло для России и стран СНГ проекты со сгущением отвальных хвостов.

Сгущение хвостов производится на промплощадке обогатительной фабрики с помощью применения специальных реактивов (флокулянтов) на высокопроизводительных сгустителях. Первоначальными технологиями были технологии сгущения до пастообразного состояния. Паста хвостов плотностью 65 % твёрдого закачивалась на высоту 25 м и, падая вниз, образовывала конус диаметром до одного километра и более. Для такого хвостохранилища сооружения дамб не требовалось. Для технологии сохранения хвостов в качестве ТС такой способ размещения не подходит ни по занимаемой площади, ни по последующей выемке для вторичного использования, хотя имеет ряд преимуществ для обогатительного производства.

В последние годы появился более радикальный способ обезвоживания хвостов. По этой технологии отвальные хвосты подвергаются значительному обезвоживанию до 8–20 % влаги на пресс-фильтрах или фильтрации на конвейерах и затем транспортируются конвейерным или автомобильным транспортом на площадки складирования. В мировой практике существует уже не одна фабрика, внедрившая систему складирования сухих хвостов.

Среди преимуществ системы складирования сухих хвостов можно выделить следующие:

- 1) надёжное решение проблемы водоснабжения фабрик, особенно в зимний период;
- 2) склад хвостов занимает меньшую площадь по сравнению с обычным хвостохранилищем;
- 3) не требуется сооружения различных дамб;
- 4) высота штабелей сухих хвостов больше, чем традиционных дамб;
- 5) возможно уплотнение штабелей бульдозерами, что повышает их устойчивость;
- 6) отмечается, что штабели проще для рекультивации и повторного использования хвостов.

К этому списку достоинств следует добавить наиболее благоприятную управляемость размещением и сохранением хвостов в качестве ТС, благоприятную возможность раздельного хранения хвостов, возможность их добычи в необходимое время и возможность наиболее рационального размещения вторичных хвостов.

Так как опыта формирования складов сухих хвостов с целью их последующего извлечения пока нет, кроме опыта создания усреднительных складов хвостов на АО «Ковдорский ГОК», то говорить о каких-либо трудностях и проблемах технологического плана пока рано, но перспективы формирования таких ТМ многообещающи.

3. РУДНО-ПОРОДНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

3.1. Мониторинг рудно-породных техногенных месторождений Мурманской области

По разработанной авторами структурной классификации ТМ на дневной поверхности (см. табл. 1.2), к рудно-породному классу ТМ относятся склады забалансовых, попутных и разубоженных руд контактных зон, извлечённых из недр и размещённых на промплощадках рудников, и отвалы скальных, моренных пород и почвенных грунтов. Этот класс объединяет ТМ с практически сходным техногенезом, имеющие штабелевидные формы укладки дезинтегрированного ТС, диапазон крупности которого весьма широк и составляет от 1 до 400–800 мм.

В настоящее время в Мурманской области накоплено на поверхности свыше 6.5 млрд т таких крупнокусковых видов минеральных отходов, которые могут стать ТС. Что касается складов, то в них целенаправленно укладывается МС, предназначенное для сохранения и последующего использования. Отвалы же формировались как вместилища породных отходов, которые вряд ли когда-нибудь будут использоваться. Такой непродуманный подход вызывал и будет вызывать проблемы, особенно при ужесточении требований по охране окружающей среды и периодически возникающей необходимости переноса отвалов из-за ошибок при проектировании карьеров и рудников или из-за проектного использования этапного размещения отвалов в пределах перспективного карьерного поля.

Что же касается ТМ с крупнокусковым ТС в Мурманской области, то отвалы вскрышных и проходческих пород и склады временно некондиционных или попутных полезных ископаемых имеются на каждом горнодобывающем предприятии. Доля вскрышных и проходческих пород от заскладированных объёмов всего ТС в области составляет более 73 %, доля в рудных складах — 2.5 %.

На примере четырёх наиболее крупных горно-обогачительных комбинатов, (АО «Апатит», АО «Олкон», АО «Ковдорский ГОК», ГК «Печенганикель») можно охарактеризовать размещение и основные параметры ТМ с крупнокусковым ТС.

1. Предприятия обрабатывают основные месторождения очень давно (по нескольку десятков лет), поэтому накопленный ресурс пород в отвалах измеряется десятками и даже сотнями миллионов тонн.

2. Каждый карьер имеет не по одному отвалу, но если породы в разных отвалах имеют сходный состав, то они в совокупности отнесены к одному ТМ.

3. Породы в отвалах, как и руды разрабатываемых месторождений, имеют комплексный состав и могут использоваться в различных направлениях, однако до сих пор складываются совместно, из-за чего спрос на такое сырьё ограничен. Очень часто скальные породы перемешаны с моренными, что объясняют повышением устойчивости отвала, особенно того, в котором преобладают моренные породы.

4. Породы вскрыши в основном размещаются во внешних отвалах, очень редко встречаются внутренние отвалы (АО «Олкон», АО «Апатит»). Имеются отвалы долинного типа, нагорные и нагорно-долинные.

5. Как правило, отвалы устойчивы и подвержены только деформациям уплотнения со временем, для чего они формируются ярусами, высота которых очень часто рассчитывается по критериям устойчивости насыпи из дроблёных пород данного типа.

6. По виду транспорта, задействованного для перевозки пород и в технологии формирования, преобладают автомобильные отвалы, хотя на ранних стадиях развития Оленегорского карьера и карьеров ГМК «Печенганикель» имели место железнодорожные отвалы, на которых позднее ярусы формировались автотранспортом.

7. По размещению преобладают отвалы, отдельностоящие на местах естественных углублений рельефа и в местах примыкания нагорного рельефа к доливному.

8. По данным Банка данных техногенных месторождений Мурманской области, склады забалансовых руд каждого из карьеров объединены условно в одно ТМ, а склады попутных полезных ископаемых считаются отдельными ТМ. Как правило, склады забалансовых руд размещаются на специально подготовленных площадках либо на породных недействующих отвалах в виде штабеля горной массы, которая периодически используется для шихтовки основной руды из забоев с относительно богатой рудой.

9. На АО «Апатит» отвальная порода размещена в 43 отвалах, которые образуют 4 условных ТМ (по числу рудников), забалансовая руда размещена на 6 складах, которые образуют 2 условных ТМ.

На АО «Олкон» отвальная порода размещена на промплощадках 8 карьеров в 18 отвалах, которые объединены в 7 условных ТМ. Складов забалансовых и попутных руд на АО «Олкон» не имеется.

На АО «Ковдорский ГОК» имеется 3 породных отвала, образующих одно ТМ и 7 складов попутных руд, которые объединены в 3 условных ТМ.

На АО «Кольская ГМК», а точнее на её северном подразделении ГМК «Печенганикель», уже к 2009 г. было накоплено и размещено в районах пос. Никель и г. Заполярный более 1.3 млрд т вскрышных и проходческих пород, а также забалансовых руд из подземных и открытых рудников компании. Количество отвалов — свыше 20, породы представлены скальными и моренными разновидностями.

Горный институт КНЦ РАН уже более 45 лет занимается проблемами отвалообразования вскрышных пород на карьерах Кольского региона. Вначале решались задачи по размещению и безопасной технологии отвалообразования в сложных орографических и гляциоклиматических условиях Севера и Заполярья, а затем — задачи, связанные с разработкой и формированием отвалов уже как техногенных месторождений в тех же условиях.

Здесь уместно отметить, что группой по изучению и решению названных задач руководил кандидат географических наук Э. Б. Красносельский, который отдал решению этой проблемы свыше 40 лет своей исследовательской работы. Группа не только проводила исследования, но и совершенствовала теорию отвалообразования, разрабатывала и внедряла в практику методики и регламенты на проектирование отвалов в регионе, участвовала в составлении инструкций для производства и осуществляла постоянный авторский контроль динамики поведения отвалов на карьерах. Авторы настоящей книги являлись участниками названных исследований и стали продолжателями исследований

проблем формирования отвалов как техногенных месторождений. Поэтому считаем себя вправе анализировать, исследовать и приводить в данной публикации результаты научно обоснованного опыта отвалообразования вскрышных пород на карьерах Кольского региона.

Наибольшие проблемы по отвалообразованию возникали на карьерах комбината, а позднее — производственного объединения «Апатит», в частности на нагорном руднике Центральном и нагорно-долинном Восточном руднике. На первом характерными особенностями являлись: расположение рудника на нагорном плато Расвумчорр (абсолютная отметка +1050 м), обильные снежные осадки и интенсивный снегоперенос, суровые климатические условия (по формуле Бодмана — 4 балла), высокий годовой объём вынимаемой горной массы (объёмы вскрышных пород доходили до 11–12 млн м³ в год). На втором — наличие двух карьеров: нагорного Ньоркпахкского и нагорно-долинного Коашвинского. Последний имел: мощность первоначальной моренной вскрыши до 80 м, протекавший через площадь карьера ручей с притоками и обильным расходом воды и немалый годовой объём вскрышных пород. Опыт отвалообразования на этих рудниках в последующем был использован при проектировании ряда карьеров в регионе и для проектных проработок по Удоканскому месторождению меди.

Поскольку карьер Центрального рудника располагался на нагорном плато, где вертикальная высота склонов доходила до 600 м, а крутизна до 40–50 °, проектировщики заложили в начальном проекте обычный сброс вскрыши под откос, благо ёмкость позволяла и имелся опыт кавказских высокогорных рудников (рис. 3.1). Но на карьере Центрального рудника климат и большие годовые объёмы вскрыши привнесли свои коррективы. Пока имелся многокилометровый периметр плато, обеспечивавший, казалось бы, неограниченный фронт отсыпки и сравнительно небольшие годовые объёмы вскрыши в начальный период работы карьера, отвалы «вели себя послушно». Но как только отвалы достигали высоты более 150 м, они внезапно оседали и на них опасно стало заезжать самосвалам.

Причём если интенсивность заполнения отвала по склону была высокой, то деформации становились неожиданной, высота проседания — больше и отвал приходилось закрывать до его стабилизации. По данным маркшейдерской службы рудника было более 20 случаев схода отвалов (рис. 3.2, 3.3). Горная масса одного из северных отвалов объёмом до 5 млн м³ внезапно обрушилась и распространилась вдоль долины в виде селя на длину до четырёх километров. Начальная высота схода при этом составляла 600 м.

Изучение причин неуправляемости отвалов показало, что их предельная высота, обеспечивающая устойчивость при формировании породами месторождения «Плато Расвумчорр» (нефелиновые сиениты), составляет 130–150 м, а управлять стабильностью отвалов можно с помощью контроля интенсивности и технологии их отсыпки. Такая технология была разработана, и контроль за её соблюдением был поручен специально организованной маркшейдерской группе по отвалам.

Одним из основных критериев управления деформацией стала суточная скорость оседания верхней площадки отвала, которая зависит от крутизны склона, его высоты, отсыпаемых объёмов вскрыши на единицу длины фронта отвальных работ. Было установлено, что при скорости оседания до 50 см/сут отвал эксплуатировался нормально, а при превышении этого критерия отвал закрывался до его стабилизации, которая могла наступить в период от нескольких дней до 4–5 месяцев.

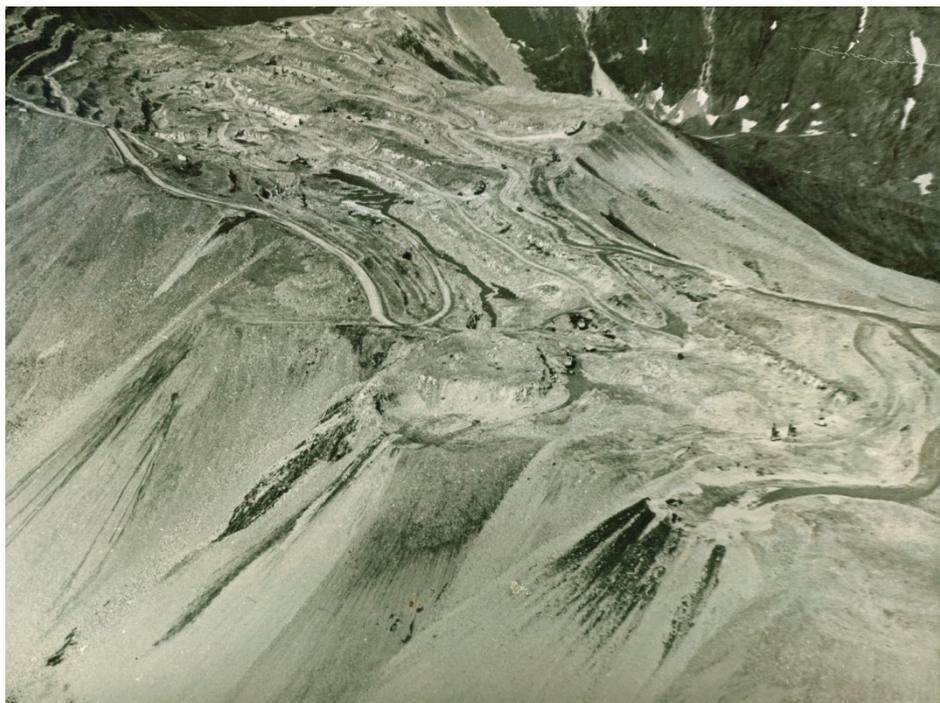


Рис. 3.1. Размещение отвалов на Центральном руднике



Рис. 3.2. Проседание нагорных отвалов



Рис. 3.3. Неконтролируемое обрушение отвала с откосов на Центральном руднике и движение горной массы между склонами вниз по долине на дальность до 4 км

Кстати, явление самообрушения отвалов было использовано производителями на начальном этапе работы карьера в так называемых транзитных, или «скользящих», отвалах. Эти отвалы размещались на склонах плато, которые входили в контур карьера. Отвалы специально, под контролем, доводили до высоты, превышающей пределы устойчивости, они через определённое время самостоятельно обрушались, вынося часть отсыпанной в них вскрыши за пределы карьера. Таким способом снижалась автотранспортная работа и, естественно, эксплуатационные затраты на транспорт вскрышных пород.

Другой причиной неуправляемости отвалов Центрального рудника явилась высокая заснеженность забоев в карьере и склонов отвалов. Зимой снег превращался в лёд и повышал прочность отвала за счёт сил сцепления на 45–50 %. Весной и летом прочность снижалась за счёт прогрева склонов, появления грунтовых и талых вод, и деформации отвалов происходили чаще. Изучение возможности управления деформацией отвалов при большом объёме снежных осадков показало, что если объём снега в плотном состоянии не превышает объёма пустот между кусками породы в отвале, то сил сцепления между кусками оказывалось достаточным, чтобы не возникла деформация скольжения, и отвал оставался устойчивым до высоты, предельной по критериям геомеханической устойчивости. С учетом этой особенности в инструкцию по отвалообразованию [50] были внесены указания, как необходимо отсыпать отвальную массу и снег в отвалы на склонах. В принципе, до сих пор размещение снега в отвалы недопустимо по правилам

безопасности. Однако, учитывая изобилие снега на карьерах объединения «Апатит» и отсутствие альтернативных мест его складирования, Госгортехнадзор СССР дал в виде исключения разрешение вывозить снег из забоев и размещать его в породных отвалах в соотношении: один самосвал снега на шесть самосвалов породной массы.

По мере заполнения отвалов, деформацией которых стало возможным управлять, длина фронта отвалообразования стала уменьшаться. Встал вопрос об обосновании длины фронта, который обладал бы требуемой ёмкостью и не был бы подвержен деформациям обрушения. В качестве решения проблемы был предложен переход на устойчивые отвалы с высотой, не превышающей 120 м. Для увеличения ёмкости, возможности снижения подотвальных площадей и сохранения устойчивости было предложено отсыпать отвалы ярусами с высотой по 100–120 м с предохранительной бермой между ярусами по ширине, равной высоте вышележащего яруса. При этом нагорные отвалы отсыпались блоками сверху вниз. Так появились устойчивые блочно-ярусные отвалы, первые из которых были отсыпаны на Восточном руднике, на Ньоркпахкском карьере. На карьере Центрального рудника появились два устойчивых ярусных отвала: № 11 за северным бортом карьера и № 25 — за западным. Эти отвалы действуют и в настоящее время, правда, отвал № 25 стал сооружением, точнее основанием, для размещения внешней дороги на карьер со стороны Расвумчоррского рудника, что способствовало закрытию прежней внешней дороги на плато и сокращению длины доставки грузов и части персонала на рудник.

Хочется упомянуть и ещё об одном положительном опыте использования вскрышных пород. Рядом с Центральным рудником находится подземный рудник Расвумчоррский, который отрабатывал часть западных запасов Центрального рудника. На подземных горных работах используется система разработки с обрушением потолочины очистного пространства. При этом возникают случаи самопроизвольного обрушения блоков массива за контурами очистной зоны. Горным институтом было предложено заполнять очистное пространство подземного рудника вскрышными породами Центрального рудника для поддержания устойчивости массива этого пространства от самообрушения. Предложение было успешно внедрено. Такой отвал стал называться подпорным отвалом.

Как уже говорилось, основные сложности в отвалообразовании на Коашвинском карьере Восточного рудника возникали из-за больших объёмов вскрыши из моренных пород (более 25 % всей вскрыши) и больших водопритоков, которые пропитывали эту морену. Были испытаны различные методы укладки влажной морены. Устойчивая высота отвала из обводнённых моренных пород составляла 25 м, а высота отвала из необводнённой морены — 45 м. И в том, и в другом случае производственников такие параметры не устраивали ни по безопасности отсыпки на откос, ни по скорости продвижения фронта отсыпки, ни по необходимости изъятия земельных площадей. В конечном итоге наиболее устойчивыми оказались отвалы из смеси морены и скальных пород в пропорции 1 : 4 и при влажности морены до 15 %. При этом инструкцией по отвалообразованию предусматривалось снижать скорость продвижения фронта отсыпки по сравнению с отсыпкой только скальных пород [51].

Как уже упоминалось выше, породы отвалов в большинстве имеют комплексные составы и могли бы использоваться для извлечения полезных компонентов. Так, карбонатные породы на Ковдорском ГОКе могут обеспечить производственным сырьём все потребности Кольского региона в известии. Очень крепкие безрудные кварциты карьеров Оленегорского ГОКа обеспечат все потребности региона не только в высококачественном щебне и т. п. Однако лежалое ТС не используется, а потребности региона, особенно в строительном щебне, покрываются за счёт текущих объёмов вскрышных пород (около 4.5 % объёма вскрыши).

Среди направлений использования отвальных пород Кольского региона можно назвать следующие: доизвлечение попутного сырья, переработка на материалы стройиндустрии (щебень, гипс, вяжущие, бетон, кирпич, изоляционные плиты, стекло, асфальт), горная масса для закладочных работ в подземных выработках, для возведения дамб хвостохранилищ, рекультивационных работ и строительства линий ЦПТ на карьерах и оснований для дорожного строительства и различного рода иных сооружений.

Анализ результатов мониторинга ТМ и деятельности горных предприятий в Мурманской области показал следующее:

- в обозримом будущем (15–20 лет) извлечение полезных компонентов из вскрышных и проходческих горных пород, размещённых в отвалах, вряд ли будет экономически целесообразно;

- для строительных нужд и подсыпки карьерных дорог изготовление щебня будет осуществляться, как и в настоящее время, из текущих объёмов вскрышных пород;

- моренные породы вскрыши могут использоваться в качестве грунтообразующих пород на техническом этапе рекультивационных работ на карьерах, отвалах и других объектах горно-обогатительного производства, поэтому они должны размещаться в отдельных отвалах;

- технология извлечения скальной горной массы со складов забалансовых руд и при повторном перемещении вскрыши из отвалов в основном отработана и при небольших объёмах выемки не требует особого совершенствования;

- совершенствование технологии формирования и размещения отвалов вскрышных пород с учётом возможной отработки в будущем является актуальной проблемой, в особенности с позиции охраны окружающей среды.

3.2. Существующие принципы формирования и размещения внешних породных отвалов и рудных складов и технология их разработки

Исторически принципы образования, а позднее и проектирования породных отвалов менялись в зависимости от используемой техники, функций и требований, которым должен отвечать отвал как ёмкостное сооружение.

В период до применения производительной техники отвалы являлись только местом размещения «пустых» пород (отходов). Главное свойство отвалов — вместимость. Размещались отвалы как можно ближе к производству (карьеру), по конструкции были площадного типа, одноярусные с малой высотой. Чаще всего на карьере был один отвал. Применялась упрощённая технология отвалообразования путём разгрузки ручных ёмкостей, тачек, гужевого транспорта.

С начала использования на карьерах высокопроизводительной по тем временам техники, которая также использовалась для отвалообразования (экскаваторов и железнодорожного транспорта), отвалы становятся объектами повышенной опасности для работающей техники и людей. Использование железнодорожного транспорта требовало сооружения площадных отвалов и больших земельных отводов, которые могли располагаться необязательно близко к карьере, а в местах, имеющих достаточную вместимость. Применяется более чёткая технология отвалообразования с повышенными требованиями к безопасности работ. Но по-прежнему отвал — это только ёмкость для размещения «пустых» пород.

Появление автомобильного транспорта на карьерах и высокопроизводительных экскаваторов на вскрышных работах позволило строить отвалы повышенной высоты, размещаемые на малых площадях и в нагорных условиях. Но при этом отвалы стали менее устойчивыми. Одновременно с этим увеличиваются требования к безопасности при разгрузке автотранспорта на отвалах, особенно в нагорных и северных условиях. Мобильность транспорта позволяет иметь несколько отвалов, размещаемых там, где имеется достаточная ёмкость. Но по-прежнему отвал — только ёмкость, вскрышная порода — «пустая», технология отвалообразования определяется возможностями разгрузки транспортных средств. Появляются первые требования по рекультивации отвалов. На неглубоко залегающих горизонтальных и пологих месторождениях породы размещаются во внутренних отвалах, располагаемых на месте вынутаго полезного ископаемого. Применяется как транспортное, так и бестранспортное отвалообразование с помощью драглайнов и транспортно-отвальных мостов.

Отвал начинают считать объектом повышенной экологической опасности. Комплексное использование сырья, снижение кондиций на горнорудное сырьё (закон РФ «О недрах») заставляют производителей и проектировщиков организовывать отдельные склады забалансовых и попутных руд. Проектировщики, помимо вопросов вместимости, устойчивости и безопасности ведения отвальных работ, стали руководствоваться требованиями по охране окружающей среды. В число обязательных включено требование по рекультивации нарушенных земель. Но по-прежнему вскрышная порода — «пустая», использование — ограниченное, в основном для производства щебня из текущих объёмов пород вскрыши, который предназначается для дорожного строительства и как наполнитель бетонов. Использование лежалых вскрышных пород для переработки — ограниченное из-за смешанного их складирования и сложностей последующей выемки.

В 1980-х гг. под влиянием развития промышленной экологии и законодательных актов об охране окружающей среды было предложено считать вскрышные и проходческие породы, размещённые на дневной поверхности, потенциальным вторичным МС техногенного происхождения. Однако существенного влияния на технологию отвалообразования и размещение внешних отвалов это обстоятельство не оказало и до сих пор не оказывает.

Из справочника [38], теоретических исследований Горного института и практики отвалообразования на рудниках Кольского региона можно сформулировать основные действующие в настоящее время принципы проектирования и сооружения внешних породных отвалов при безусловном соблюдении правил техники безопасности [15].

1. Породы, не содержащие полезных компонентов, которые в настоящее время могут иметь промышленные кондиции и количество, считаются отходами и допускаются к совместному складированию, если они не оказывают существенного влияния на устойчивость отвала. Допускается совместное складирование скальных и моренных пород при обеспечении устойчивости такого отвала.

2. Вскрышные породы, содержащие полезные компоненты, такие как забалансовые, бедные или попутные полезные ископаемые, должны размещаться в отдельных отвалах (складах) для последующего использования. Ввиду малых объёмов горной массы на таких складах, к размещению их не предъявляются такие высокие требования, как к породным отвалам. Основные требования: размещение ближе к объектам переработки или отгрузки, более тщательная подготовка основания для уменьшения потерь при сохранении и погрузке, формирование штабеля с параметрами, пригодным для выемки современным оборудованием.

3. Отвалы должны занимать минимальные земельные площади и по возможности естественные ёмкости на местности и так называемые неудобья. При этом не оговаривается, для чего или для кого они неудобны (для деятельности человека, существования флоры, фауны или для чего-либо ещё).

4. Породные отвалы должны иметь достаточную вместимость. Для её обеспечения они по конструкции могут быть ярусными по высоте.

5. Отвалы для предотвращения внезапного обрушения и скольжения должны быть устойчивыми. Поэтому рациональная по критериям безопасности высота яруса из данного типа разрыхленных пород принимается с коэффициентом запаса устойчивости, равным 1.2 от расчётных значений предельной высоты. Так, для скальных пород месторождений Кольского региона безопасная высота яруса составляет 100–120 м, а предельная — 130–150 м. При числе ярусов более двух с такой высотой проверяют устойчивость всего отвала, особенно если он нагорного типа, т. е. размещён и эксплуатируется на склоне. Ширина предохранительной бермы между соседними ярусами на конечных контурах отвала для гарантированной устойчивости должна быть равна высоте вышележащего яруса. Для повышения устойчивости отвалы рекомендуются отсыпать из однотипных пород [52], т. е. раздельность складирования реализуется только в целях безопасности. Для этих же целей рекомендовалось пригружать снизу откосы высоких отвалов устройством контрфорсов.

6. Любой породный отвал подвержен деформациям уплотнения и усадки, скорость которых в зависимости от скорости перемещения фронта отсыпки может затухать или возрастать. За поведением отвала необходимо проводить систематические визуальные и инструментальные наблюдения маркшейдерской службой рудника. Для скальных пород региона при определённой скорости деформации оседания (50 см/сут и более для нефелиновых сиенитов) отвал (ярус) или его участок закрывается до стабилизации и затухания деформации.

7. Отвалы должны размещаться на минимальном расстоянии от мест погрузки и располагаться на безрудных площадях. Последнее правило часто не соблюдается из-за недостатка информации при разведке и недостаточного учёта всех обстоятельств при проектировании отвалов.

8. Этот пункт характерен для районов, где зимой выпадают большие снежные осадки. Правила безопасности запрещают вывозку снега в породные отвалы, но для упомянутых районов сделано исключение и разрешается размещать снег вместе с породой в соотношении: до 1 объёма снега на 6 объёмов породы [50, 51].

9. Основными видами транспортирования породы в отвалы на рудных карьерах являются автомобильный, железнодорожный и их комбинации. В очень редких случаях на сегодняшний день за контуром карьера по дневной поверхности и навёрх по отвалу используется конвейерный транспорт для доставки скальной вскрыши. Малая распространённость этого вида транспорта объясняется необходимостью дробления пород перед конвейерной доставкой. В то же время на высоких отвалах при использовании автотранспорта львиная доля затрат на отвалообразование приходится на перевозку горной массы, автопарк, его обслуживание, ремонт, охрану природы и т. п. Как показал опыт АО «Ковдорский ГОК», у комбинации «мелкая горная масса — автотранспорт — конвейер» имеются конкурентные преимущества, о которых будет сказано ниже.

Анализ приведённых действующих принципов формирования внешних породных отвалов показывает их ограниченность обеспечением технической и в меньшей мере экологической безопасности без учёта перспектив вторичного использования складированного МС.

Что касается технологии разработки ранее сформированных рудно-породных ТМ (объектов), то особых проблем в этом вопросе пока не просматривается. Дело в том, что выемка лежалой горной массы практикуется часто и достаточно давно. В первую очередь сюда следует отнести горные работы на различного рода складах (усреднительных, буферных, складах временно удалённых грунтов, попутных и бедных руд). В практике эксплуатации карьеров нередки случаи переноса породных отвалов или их части по разным причинам. В основном технология отработки отвала сводится к подбору транспортно-экскаваторного комплекса по требуемой производительности и напорному усилию выемочного оборудования, способного вынимать горную массу без дополнительного предварительного рыхления.

В случаях, когда требуется предварительное рыхление горной массы, в забоях отвалов используют бульдозеры-рыхлители и даже буровзрывные работы (БВР). Например, в практике отработки одного из старых отвалов на Центральном руднике АО «Апатит» использовали БВР. Об орографических и климатических особенностях Центрального рудника уже говорилось, о влиянии снега на отвал тоже. При вынужденной отработке части отвалов, находившихся первоначально в контуре карьера, напорного усилия экскаваторов ЭКГ-8И оказывалось недостаточно для производительной работы. Применение бульдозеров с навесным рыхлителем не обеспечивало нужной производительности и глубины рыхления. Поэтому на рыхлении лежалой горной массы отвалов на этом руднике стали применять БВР. Бурение скважин производилось станком СБШ-250МН.

В технологическом плане отработка отвалов производится поуступно и последовательно. Высота уступов может быть равной принятой на карьере либо уменьшенной. Технологический транспорт обычно принимается такой же, как и во вскрышных забоях (чаще всего автомобильный). Ввиду малых объёмов

вторично удаляемой вскрыши применение какой-либо определённой стратегии или системы разработки в таких случаях не рассматривалось.

В процессе формирования первичных отвалов они очень часто захламляются промышленными отходами различного рода (отработанные автошины, катушки кабельной продукции и т. п.), что вынуждает при выемке ТС применять меры по очистке. С такой проблемой столкнулись на разработке хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК», когда приходилось убирать большое количество древесных отходов.

3.3. Формирование рудно-породных техногенных месторождений

3.3.1. Требования к отвалообразованию с современных позиций

Возможность использования пород вскрыши в перспективе, в особенности если они содержат полезные компоненты, которые могут представлять собой техногенное МС, экологические требования к горнодобывающему производству, положения «Закона о недрах» требуют подхода к формированию отвалов любых минеральных отходов как к формированию техногенных месторождений, которые могут быть вовлечены в эксплуатацию.

С этих позиций при проектировании отвалов, определении места их размещения и технологии формирования должны решаться в комплексе следующие задачи, помимо традиционных:

- необходимость и возможность использования пород вскрыши как ТС;
- необходимость и возможность (технологическая) переработки ТС;
- сохранность сырья и его качественных характеристик;
- оптимизация размещения, конструкции и параметров отвалов;
- техническая возможность и безопасная технология формирования отвалов;
- возможность и технология выемки ТС в любое необходимое время;
- экологическая безопасность и рекультивация образующихся отвалов.

Одной из основных задач является первая — *возможность использования ТС*. От вида использования будет зависеть вся технология формирования ТМ. Так же как и для мелкодисперсного ТС, можно выделить следующие типы использования крупнокускового: 1) извлечение полезных компонентов путём переработки ТС; 2) использование в качестве строительного материала с дополнительной переработкой ТС; 3) использование в качестве строительного материала без переработки.

По первому типу необходимо по возможности полнее решать перечисленные выше задачи и укрупнённо задачи по размещению отходов переработки. По второму типу дополнительная переработка может состоять из дробления материала и/или измельчения, прессования с добавлением вяжущих и т. п. В этом случае возможно предусмотреть первичное дробление вскрышных пород, что позволит шире внедрить циклично-поточную технологию при формировании отвалов вскрышных пород. По третьему типу отвал формируется в виде сооружения большой вместимости и по форме, необходимой для данного сооружения. Это различного рода дамбы, плотины, дорожные насыпи, спортивные комплексы, рекреационные рельефы. На площадках горных предприятий это может быть отсыпка подпорных отвалов для пригрузки неустойчивых бортов карьера; засыпка подземных выработок,

сооружаемых на дневной поверхности; использование насыпей пород при горнотехнической рекультивации и в различных насыпях, формирующих схемы вскрытия. Сооружения по третьему типу, конечно же, целесообразно выполнять из ТС, которое не может использоваться по первым двум направлениям.

Возможность переработки ТС тоже одна из основных задач в процессе формирования ТМ из крупнокускового ТС. От возможностей переработки зависят перспективы и сроки эксплуатации ТМ. Уже на предварительных стадиях изучения необходимо иметь сведения о технологии переработки хотя бы в масштабе лабораторных испытаний, дающих принципиальную оценку возможности переработки.

На стадии проектирования карьера достаточно сложно решить вопрос об использовании пород вскрыши через несколько десятков лет, но вопросы сохранения сырья, разработки и переработки могут решаться уже на современном уровне знаний.

Задачи сохранения ТС и его качественных характеристик тесно связаны с возможностями и технологией переработки. Прежде всего, чтобы обеспечить качественные характеристики ТС и стабильность процессов переработки, необходимо предусмотреть раздельное хранение сырья по типам пород.

Раздельное хранение осуществлялось и ранее, но чаще всего сохранялись забалансовые и попутные руды, строительные породы типа глин, качественных песков, торфяные и почвенные грунты. Однако снижение содержания полезных компонентов в рудной массе заставляет некоторые предприятия вовлекать в разработку старые отвалы, содержащие ранее потерянные руды с высоким содержанием по настоящим меркам полезного компонента, чаще всего цветных и благородных металлов. Такие отвалы мало приспособлены для сохранения и полного извлечения сырья, поэтому любую породную массу, особенно содержащую полезный компонент, необходимо при выемке сохранять в отвалах, приспособленных к повторной разработке. Так, породы из контактных с залежью полезного ископаемого зон обязательно нужно размещать отдельно, при этом возможно преднамеренное повышение «первичных потерь». Не лишним будет организация отдельного отвала для ТС в случае отработки зон карьера с повышенным содержанием того или иного полезного компонента.

Раздельное хранение пород стабилизирует качественные характеристики для возможной последующей переработки, повышает устойчивость отвалов и улучшает почвообразование в случае их рекультивации [53]. Раздельное хранение можно рассматривать и как первичную стадию обогащения. Раздельного хранения в особенности требуют почвообразующие грунты: торф, моренные отложения, глины, пески и т. п.

Осуществлять раздельное хранение можно в отдельных отвалах, на разных ярусах отвалов, горизонтальными или наклонными слоями, но при этом необходимо предвидеть очерёдность и возможность освоения ТС в любое необходимое время.

Некоторые типы пород меняют свои качества под воздействием внешних факторов, чаще всего под воздействием атмосферных осадков, подотвальных водотоков, воздуха и т. д. Для снижения процессов выветривания и окисления неустойчивые породы можно размещать в горных выработках, рельефных углублениях, отработанных карьерах. Существующие технологии формирования ТМ и отвалов позволяют управлять качественными характеристиками складированной горной массы. Для снижения потерь ТС подотвальная поверхность должна быть

предварительно очищена от почв, торфов, растительности, если необходимо, то создаётся водонепроницаемое либо, наоборот, дренируемое основание.

Многие задачи, связанные с формированием и управлением ТМ, могут быть разрешены за счёт грамотного *размещения отвалов*. Оптимальное размещение должно обеспечивать:

- достаточную вместимость;
- устойчивость отвала и безопасность его формирования;
- минимальные энергетические затраты и минимальную транспортную работу при формировании;
- минимум транспортных коммуникаций;
- простоту технологии формирования;
- наибольшее сохранение качественных характеристик ТС;
- снижение подотвальных земельных площадей;
- минимальное загрязнение окружающей среды;
- условия для технологичности выемки ТС;
- минимальные затраты на рекультивацию.

В свою очередь вместимость и вышеперечисленные характеристики взаимосвязаны и в той или иной степени зависят от *конструкции и параметров отвалов*, а теперь ещё и от возможностей использования горной массы отвала в качестве ТС.

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения отвалов в высоту, за счёт этого решаются вопросы охраны окружающей среды, устойчивости и в какой-то мере — минимизации транспортной работы. Но совершенно не обеспечивается раздельность складирования ТС и возможность разработки отвала как ТМ, а также затруднены работы по технической рекультивации высоких отвалов.

Для обеспечения достаточной вместимости, раздельного размещения ТС, устойчивости насыпей, снижения техногенной нагрузки на природную среду и обеспечения технологичности разработки отвалы целесообразно делать ярусными. Ярусная конструкция даёт возможность складировать породы раздельно, но при этом несколько усложнится технология и последовательность формирования ярусов. В следующем разделе будут представлены возможные пути решения формирования отвалов как ТМ.

3.3.2. Техническая возможность и безопасная технология формирования отвалов вскрышных пород как техногенных месторождений

Существующая техника вполне обеспечивает формирование ТМ целесообразной конструкции и с рациональными параметрами.

Железнодорожный транспорт обеспечивает площадные отвалы с большими расстояниями перевозки, автомобильный транспорт обеспечивает компактные сложной формы и нагорные отвалы с малыми расстояниями перевозки. Поточный транспорт обеспечивает внутренние отвалы или отдельные внешние площадные отвалы. Любая из известных технологий отвалообразования обеспечивает возможность размещения пород в смеси как однородной горной массы.

Для сохранения ТС, его отдельного размещения и обеспечения последующей отработки наиболее предпочтителен автомобильный транспорт. Использование для этих целей других видов транспорта потребует разработки своих технологий, которые в настоящее время даже и не разрабатываются, так как до сих пор нет отношения к отвальной массе как к ТС.

Железнодорожный и поточный транспорт не всегда обеспечивает требования по охране окружающей среды, предъявляемые к внешним отвалам. Эти виды транспорта требуют больших подотвальных площадей, нескольких перегрузочных пунктов, работ по переукладке железнодорожных путей и конвейерных линий, дополнительной переэкскавации горной массы и её додрабливания при поточной технологии и т. п. Железнодорожный транспорт не рационален на высоких отвалах и в условиях повышенных снежных осадков.

Практически любая существующая технология отвалообразования требует адаптационного совершенствования для использования при формировании отвала как объекта ТМ с последующей его отработкой.

Что касается обеспечения безопасности при формировании отвалов, особенно высоких и в нагорных условиях, то на эту тему имеется достаточно много литературы, существует богатейший опыт карьеров Кольского региона, основные положения которого были описаны выше. Главное при формировании отвала как ТМ состоит в обеспечении его устойчивости по геомеханическим параметрам при любой конструкции.

Вопрос обеспечения устойчивости отвалов достаточно сложен для нагорных отвалов, особенно в непростых гляциоклиматических условиях Севера. Выше уже было сказано о действующих критериях обеспечения устойчивости отвалов, они справедливы и для нагорных отвалов. К этому можно добавить следующее.

Наиболее рациональна блочно-ярусная конструкция нагорных отвалов. Наибольшая вместимость и устойчивость таких отвалов достигается, когда высота яруса не превышает критических пределов 100–130 м. При этом ранее для надёжности рекомендовалось оставлять между ярусами горизонтальную берму шириной, равной высоте вышележащего яруса. Отсыпку ярусов и блоков в них целесообразно производить сверху вниз.

В варианте нагорных отвалов с автомобильным транспортом наилучшей оказалась разгрузка автосамосвалов непосредственно на откос отвала через породный предохранительный вал, который формируется бульдозерами вблизи верхней бровки по специальным инструкциям.

Вопросы экологической безопасности и рекультивации отвалов тесно связаны между собой и не однозначны, поэтому рассмотрим их ниже и более расширенно.

3.3.3. Возможные технологии формирования отвалов вскрышных пород как техногенных месторождений

При больших объёмах вскрышных пород наблюдается тенденция увеличения отвалов в высоту, за счёт этого решаются вопросы охраны окружающей среды, устойчивости и в какой-то мере минимизации транспортной работы. Но совершенно не обеспечиваются отдельность складирования ТС и возможность последующей разработки отвала как ТМ, а также затруднены работы по технической рекультивации высоких отвалов. По этим же причинам нецелесообразно, на наш взгляд, размещать отвалы в различного рода природных ёмкостях и на неудобьях, расположенных вне карьеров, но неоптимальных по транспорту.

Для обеспечения достаточной вместимости, отдельного размещения ТС, снижения техногенной нагрузки на природу и обеспечения технологичности последующей разработки целесообразно размещать отвалы по периметру карьера [54]. Причём различные породы можно складировать либо в отдельные отвалы, либо в разные блоки одного отвала, если он имеет большую протяжённость.

Покажем это на примере условного карьера глубиной 400 м, разрабатывающего пластовое наклонное месторождение с горизонтальной мощностью рудного тела 150 м.

На рисунке 3.4 приведён план поверхности отвала с верхним контуром карьера, поперечный разрез и принципиальная продольная схема размещения блоков на отвале.

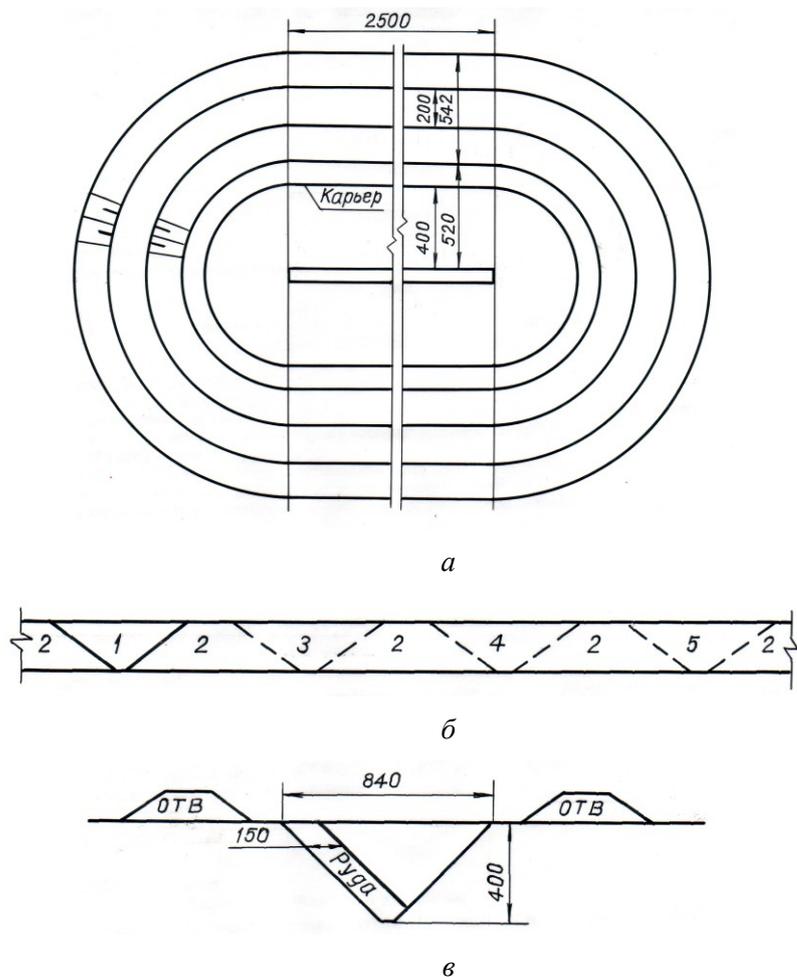


Рис. 3.4. Размещение вскрышных пород вокруг периметра контура карьера на поверхности:

а — план отвала по периметру контура карьера; *б* — распределение блоков отвала по типам пород, продольный разрез (*1* — сквозной проезд, *2* — блоки из пород, не содержащих кондиционных ископаемых; *3* — забалансовые (попутные) руды; *4* — потери ископаемых из контактных зон; *5* — морены, почвы и т. п.); *в* — поперечное сечение карьера и отвала

Отвал размещён вдоль всего периметра границ карьера на безопасном для скальных массивов пород расстоянии, равном высоте нижнего яруса (в данном случае 120 м). Отвал выполнен в один ярус с высотой, равной 120 м (предельная высота для скальных пород принята равной 140 м для апатитовых месторождений). Углы откосов отвалов из скальных пород приняты равными 35 °. В поперечном сечении отвал имеет вид равнобокой трапеции с шириной верхней площадки, равной 200 м. Прямой участок карьера имеет длину 2500 м, на этом участке в отвале предусмотрены четыре сквозных проезда, по два с каждой стороны, с шириной проезжей части по низу, равной 40 м.

При углах откоса конечных бортов карьера, равных 45 °, объём вскрыши составит 380 млн м³, а при коэффициенте остаточного разрыхления 1.1 — 418 млн м³. Объём отвала за вычетом объёмов четырёх сквозных проездов составит 413 млн м³. Кроме достаточной вместимости такой отвал имеет резерв по высоте и возможность увеличения ёмкости за счёт расширения в сторону по нормали от карьера.

При таком построении и конструкции отвала в один ярус обеспечиваются достаточно малая внешняя транспортная работа, минимальные транспортные коммуникации, снижение энергетических затрат и загрязнений от автомобильного транспорта.

Предлагаемое размещение вскрыши позволяет снизить площадь земельного отвода за счёт частичного объединения радиусов санитарно-защитных зон карьера и отвала между ними. Для представленного карьера площадь земельного отвода под карьер с площадью под отвал и санитарно-защитную зону за отвалом в радиусе 500 м составляет 1570 га, а при варианте отдельно размещённого отвала — 1630 га.

Блоки по размещению забалансовых, попутных руд, потерь при отработке контактных зон и других «металлизированных» пород, морены, почв заполняются отдельно и размещаются между блоками со скальной вскрышей, не содержащей полезных компонентов в перспективных промышленных кондициях. Такое размещение позволит не только сохранить раздельно любой тип пород, но и начать обрабатывать блок в любое время. Заполнение блоков в высоту может производиться слоями, но заполнение блоков с неперспективным ТС должно вестись с небольшим опережением по высоте.

На практике сплошное размещение вскрыши по периметру осуществить затруднительно, но такое размещение можно было бы считать идеальным. Поэтому отвалы должны располагаться по возможности по периметру контура карьера на поверхности, а число их и форма в плане будут зависеть от количества выездов из карьера, количества типов пород, которые необходимо сохранить на длительный период, предельной высоты отвала по условиям устойчивости и минимума работы и т. д. Примерами размещения вскрышных пород по периметру карьера может служить размещение отвалов на Центральном руднике АО «Апатит», особенно в начальный период работы карьера (см. рис. 3.1) и размещение отвалов Оленегорского карьера АО «Олкон» (рис. 3.5), где вскрышные породы располагались в отвалах вдоль длинных бортов карьера на поверхности.

Анализ применяемых конструкций и высотных параметров породных отвалов в современном проектировании и практике открытых горных работ показал, что чаще всего используются высокие отвалы, которые формируются с предельными высотами ярусов по критериям устойчивости складываемых пород вскрыши на проектируемом карьере.

Одними из основных причин такой практики выдвигаются необходимость минимизации подотвальных площадей и высокая вместимость таких отвалов. Однако только одно перечисление недостатков таких отвалов и сложностей их формирования говорит о значительном снижении преимуществ высоких ярусов и отвалов. При использовании высоких ярусов и отвалов:

- 1) требуется постоянное поддержание их устойчивости;
- 2) при больших объёмах вынимаемой вскрыши необходима ярусная конструкция;
- 3) увеличивается опасность для работающей на отвалах техники и людей;
- 4) требуются частые переносы площадок разгрузки из-за малых величин разовых уходов из свежееотсыпанных пород;
- 5) для подъёма транспорта необходимы длинные сложные трассы и повышенные расходы на их обслуживание;
- 6) транспортирование вскрыши на подъём требует повышенного расхода горючего, времени на рейсы, увеличения автопарка, повышенного напряжения водителей, ухудшения безопасности на дорогах, повышенного износа техники;
- 7) усложняются технологии селективного размещения вскрыши;
- 8) нарушается устойчивость отвалов при весенних водных потоках и размещении снега во вскрышные породы;
- 9) в многоснежных районах могут возникнуть лавиноопасные очаги;
- 10) в зимний период дороги требуют повышенных расходов на очистку от снега и на борьбу с гололедицей;
- 11) при переносе отвалов на другое место и в случае использования вскрыши в качестве ТС усложняется технология выемки горной массы;
- 12) рекультивация откосов высоких ярусов сложна и требует повышенных затрат.

С учетом перечисленных отрицательных сторон отвалообразования с использованием высоких отвалов и ярусов были проведены исследования снижения по возможности действия отрицательных факторов. Исследования проводились с помощью сравнительного моделирования конструкций отвалов при изменении их параметров.

В качестве основной принята принципиальная модель условного карьера, приведённого на рис. 3.4, у которого отвал выполнен в один ярус с высотой, равной 120 м, и который размещён вдоль всего периметра верхних границ карьера на безопасном для скальных пород расстоянии, равном высоте нижнего яруса.

На основе исследуемой схемы размещения вскрыши на первом этапе были рассчитаны площади занимаемых под отвалами земель и проанализирована динамика их изменения при условиях:

- 1) отвалы одноярусные;
- 2) объём вскрыши для всех отвалов одинаков и составляет 418 млн м³;
- 3) высоты отвалов изменяются с шагом в 30 м до наибольшей в 120 м, т. е. рассмотрены одноярусные отвалы высотой 30, 60, 90 и 120 м;
- 4) горизонтальное расстояние от карьера до нижней части откоса отвала равно высоте отвала.

Два последних условия согласуются с практикой отвалообразования породами Кольского региона, по которой наибольшая используемая высота устойчивых скальных отвалов или ярусов в многоярусных отвалах составляет 120 м. При высоте 60–90 м устойчивы отвалы из смешанных моренно-скальных пород, а отвал из дезинтегрированных пород с вертикальной высотой 30 м доступен и безопасен для рекультивационных работ и добычи ТС. В работах

[55, 56] оптимальная высота яруса по энергетическим затратам также приводится равной 20–30 м. Последнее из перечисленных выше условий используется проектировщиками для определения безопасного расстояния при размещении отвалов вблизи борта карьера на поверхности и между ярусами отвалов при одновременной отсыпке соседних по высоте ярусов.

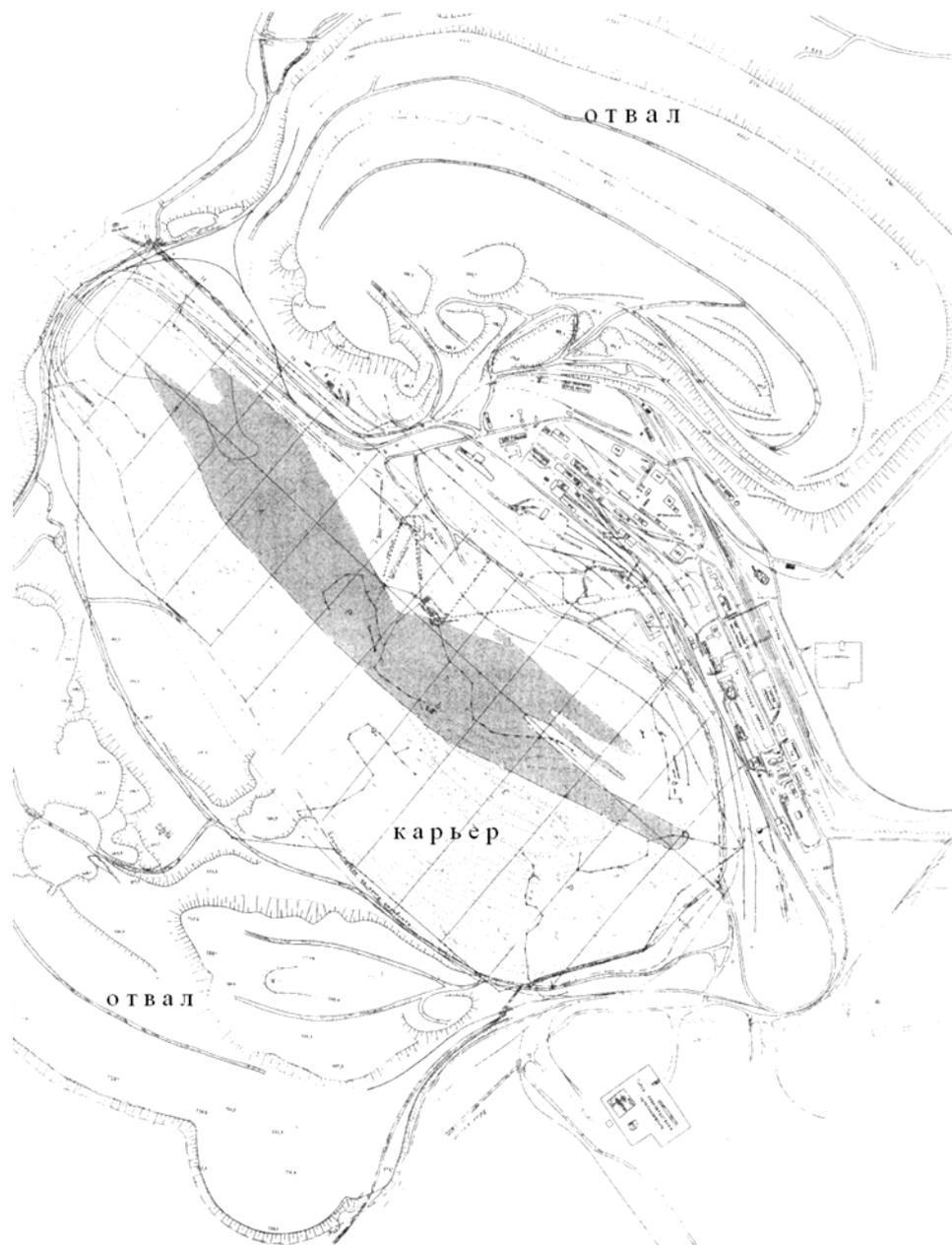


Рис. 3.5. Размещение отвалов Оленегорского карьера

На следующем этапе исследований были проанализированы многоярусные отвалы с высотой ярусов 30 м при том же объёме вскрыши, а горизонтальное расстояние от борта карьера до начала откоса отвала равно высоте нижнего яруса.

Расчёты занимаемых по указанным условиям подотвальных площадей производились с помощью системы автоматизированного планирования, проектирования и сопровождения горных работ MineFrame, результаты представлены в табл. 3.1 и на рис. 3.6.

Таблица 3.1

Расчёты земельных площадей под одноярусными и многоярусными отвалами (S_1) и бермой от карьера до отвала шириной $B_{ко}$ (S_2) по исследуемым вариантам размещения

№ варианта	Высота отвала H_0 , м	Кол-во ярусов	Высота яруса h , м	Ширина отвала по верху X , м	Площадь под отвалом в 418 млн m^3 (S_1), млн m^2	Площадь под $B_{ко}$ (S_2), млн m^2	Площадь под отвалом и $B_{ко}$ ($S_3 = S_1 + S_2$), млн m^2
1	120	1	120	176	5.20	0.96	6.16
2	30	1	30	1145	14.39	0.23	14.62
3	60	2	30	577	8.00	0.23	8.23
4	90	3	30	315	6.20	0.23	6.43
5	120	4	30	145	5.57	0.23	5.80
6	60	1	60	584.9	7.86	0.47	8.33
7	90	1	90	333	5.93	0.71	6.64

Приведённые данные показывают, что наиболее резкое изменение подотвальных площадей происходит до высоты отвала 60 м, а при увеличении высоты от 60 до 120 м снижение величины аналогичной площади происходит не так резко. Это говорит о том, что ориентироваться при большом объёме вскрыши на отвалы высотой менее 60 м вряд ли целесообразно. Кроме того, площадь под четырёхъярусным отвалом высотой 120 м всего на 7 % больше площади одноярусного той же высоты.

В работах [55–60] даны результаты анализа и оценки размещения вскрыши в высоких отвалах на основе энергетических критериев отвалообразования, в частности, оценивалась работа по транспортированию горной массы автотранспортом. Такая работа занимает большой удельный вес в общих затратах на отвалообразование (60–90 %), при этом расход горючего на работу автотранспорта прямо пропорционален этой работе.

Поскольку упомянутые работы практически оценивали положение с отвалообразованием в период 1970–1980-х гг., когда на карьерах эксплуатировалась маломощная по сегодняшним меркам техника с большими удельными расходами по топливу, а затраты на охрану природы и рекультивационные работы были незначительными, то, возможно, в сегодняшних условиях стоимостная оценка может иметь другую направленность, но использование энергетических критериев для выбора конструкции отвалов и технологии их формирования достаточно объективны.

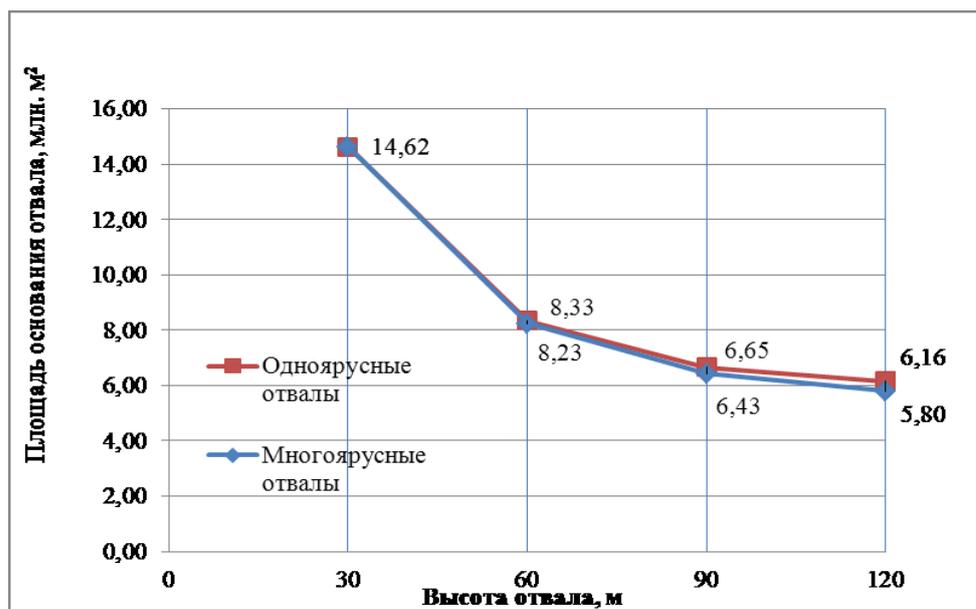


Рис. 3.6. Динамика изменения площади под отвалами при изменении высоты H_0

В работах [55–60] даются следующие принципиальные выводы:

1) самым энергоёмким является вариант отвала «ярус — отвал», когда отвал отсыпается одним высоким ярусом;

2) наиболее экономичным по энергетической характеристике процесса является способ «отвал многоярусный с поярусным последовательным заполнением отвала», совмещённая отсыпка нескольких ярусов одновременно намного уступает поярусной;

3) из форм отвалов в плане — круглые, вытянутые прямоугольные и трапециевидные; наименее энергоёмкие — вытянутые прямоугольные;

4) с увеличением высоты отвального яруса растут затраты на переподъём породы, но снижаются затраты на строительство и содержание автодорог, а также на бульдозерные работы, уменьшается площадь нарушаемых земель.

Принятый в работах [55–60] расход топлива в качестве критерия для оценки технологии отвалообразования нельзя считать всеобъемлющим и универсальным, так как он лишь частично отражает затраты по строительству и поддержанию автодорог, затраты на приобретение запчастей, шин, освещения рабочих мест, изменение цен на мировом рынке, затраты на рекультивацию, плату за пользование земельными отводами и их качество и т. п. Но для оценки работы автотранспорта на отвалах он вполне подходит, так как расход топлива учитывает не только конструктивные особенности машин, но и форму и качество покрытия дорог, высоту подъёма и спуска горной массы и длину транспортирования как главную составляющую произведённой работы. Поскольку расход топлива автосамосвалов меняется в зависимости от продольного профиля дорог, качества покрытия (через сопротивление качению), движения на подъём или на спуск, то в работах [55–60] общую длину

трассы автосамосвалов предложено представлять в виде приведённого расстояния (м) по формуле:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{г}} + H_{\text{п}}\mathcal{E}_{\text{п}} + H_{\text{с}}\mathcal{E}_{\text{с}}, \quad (3.1)$$

где $L_{\text{г}}$ — суммарная протяжённость горизонтальных участков, м; $H_{\text{п}}$ и $H_{\text{с}}$ — высота подъёма (глубина спуска), м; $\mathcal{E}_{\text{п}}$, $\mathcal{E}_{\text{с}}$ — горизонтальные эквиваленты вертикального перемещения, м/м, которые могут быть заменены на $\mathcal{E}_{\text{п}}^1$ и $\mathcal{E}_{\text{с}}^1$ — коэффициенты приведения, м/м.

Предлагаемые горизонтальные эквиваленты вертикального перемещения и коэффициенты приведения разнятся в широком диапазоне от 6.5 до 44 [60], что не способствует широкому внедрению этого метода расчёта. Однако сравнение конструкций отвалов можно произвести по результатам расчёта условной работы на отвалообразовании.

Такие расчёты были проведены для моделей отвалов по вариантам I–V (рис. 3.7) для условного карьера (см. рис. 3.4). В качестве основного базового варианта принят уже упомянутый вариант одноярусного отвала с высотой $H_0 = 120$ м. Далее расчёты проводились для вариантов ярусных отвалов с высотой яруса, равной 30 м. Вариант II — одноярусный отвал высотой 30 м, вариант III — двухъярусный отвал, вариант IV — трёхъярусный отвал, вариант V — четырёхъярусный отвал.

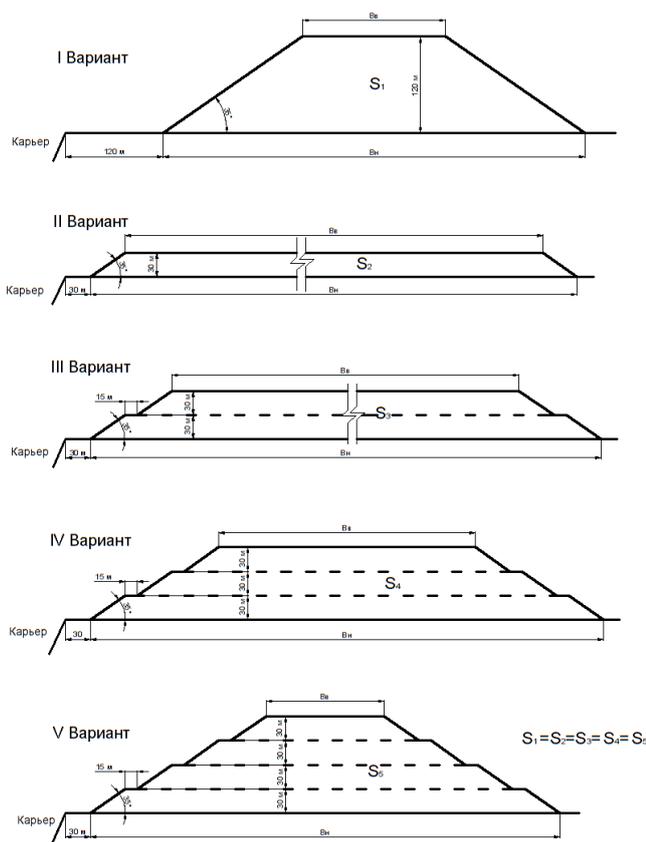


Рис. 3.7. Варианты конструкций отвалов и размещения вскрыши по модели на рис. 3.4 (поперечные сечения)

В вариантах II–V расстояние от борта карьера до отвала равно высоте яруса (30 м), ширина бермы между соседними по высоте ярусами задана равной половине высоты яруса (15 м по условию устойчивости) [61]. Площади поперечного сечения отвалов по всем вариантам равны аналогичной площади по варианту I.

Работа по укладке каждого из ярусов подсчитывалась в условных единицах производства поперечной площади яруса (м^2) на расстояние от борта карьера до середины верхней площадки каждого яруса (в метрах), так как отсыпка каждого яруса предусмотрена с верхней площадки через предохранительный вал на откос яруса. Работа по каждому варианту отвала суммировалась, и рассчитывалось средневзвешенное расстояние транспортирования по варианту конструкции отвала. Все расчёты проводились с использованием формулы (3.1) и компьютерной системы MineFrame. Так как значения горизонтального эквивалента вертикального перемещения горной массы находится в широком диапазоне, а более точное значение зависит от конкретных условий задачи, то были использованы три варианта горизонтального эквивалента перемещения горной массы на подъём (коэффициента приведения) — 20, 30 и 40 м/м. Результаты расчётов представлены в табл. 3.2 и 3.3 и графически на рис. 3.8.

Так как в большинстве случаев отвалы вскрышных пород представляют собой по конструкции отдельно стоящие насыпные сооружения, то аналогичные исследования по формированию многоярусных отвалов с малой высотой яруса были продолжены для отвалов с наиболее распространёнными вариантами конструкций (круглой, квадратной и прямоугольной формы, одно- и многоярусные и отдельно стоящие от карьера).

Таблица 3.2

Сравнение параметров отвалов (по поперечному сечению) и условной приведённой работы по внешнему перемещению горной массы в вариантах конструкций отвалов I–V (по рис. 3.7)

№ п/п	Параметр	Вариант				
		I	II	III	IV	V
1	Количество ярусов, ед.	1	1	2	3	4
2	Высота яруса, м	120	30	30	30	30
3	Высота отвала, м	120	30	60	90	120
4	Ширина по верху B_0 , м	200	1400	632	340	166
5	Ширина отвала по низу B_n , м	520	1480	822	640	576
6	Ширина от борта по низу, м	640	1510	852	670	606
7	Условная работа транспорта, $\text{м}^2 \times \text{км}$ при \mathcal{E}_n , м/м					
	20	120096	59184	57076	63270	68989
	30	171936	72144	76089	87345	96618
	40	223776	85104	95101	111420	124248
8	Средневзвешенная длина транспортирования, м, при \mathcal{E}_n , м/м					
	20	2780	1370	1320	1464	1596
	30	3980	1670	1760	2022	2237
	40	5180	1970	2200	2579	2876

Таблица 3.3

Относительное снижение условной приведённой работы
по вариантам из табл. 3.2

Коэффициент приведения $\Xi_{\text{пр}}$, м/м	Относительное снижение условной работы транспорта, разы				
	Вар. I $H_0 = 120$ м	Вар. II $H_0 = 30$ м	Вар. III $H_0 = 60$ м	Вар. IV $H_0 = 90$ м	Вар. V $H_0 = 120$ м
20	1	2.03	2.10	1.9	1.74
30	1	2.39	2.26	1.98	1.78
40	1	2.35	2.35	2.0	1.8

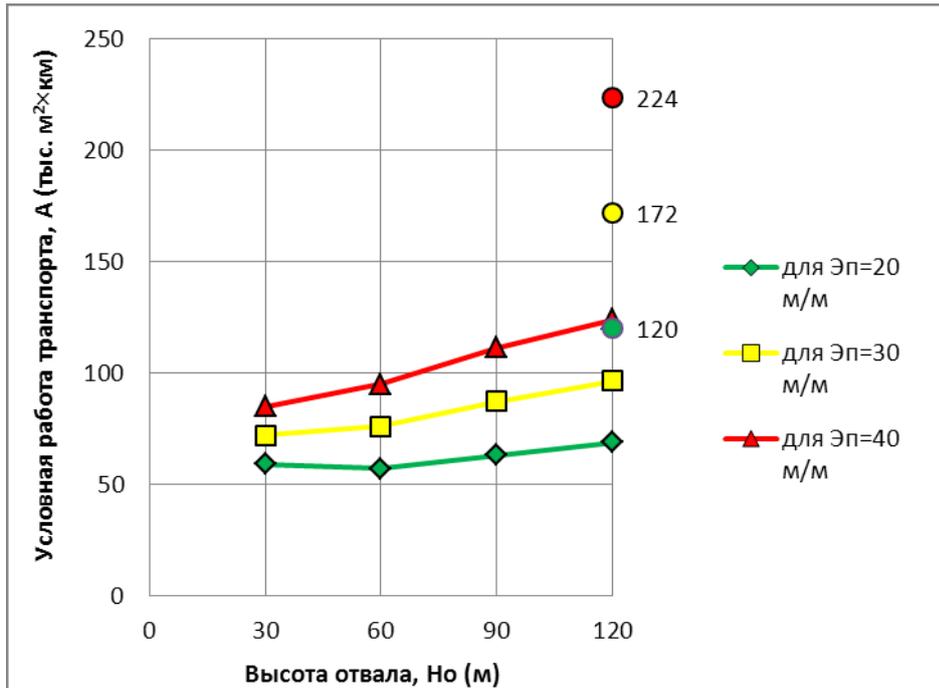


Рис. 3.8. Зависимость условной работы транспорта от высоты отвала H_0 с ярусами высотой 30 м. 120, 172, 224 — условная работа по варианту отвала I

Параметры отвалов взяты для условий, близких к одному из действующих отвалов АО «Ковдорский ГОК». Высота отвалов принята равной 120 м, вместимость — 160 млн м³. Для всех рассматриваемых вариантов отвалов анализировалась динамика изменения площади под отвалами и изменение условной работы автотранспорта. Многоярусные отвалы состояли из четырёх ярусов высотой по 30 м, с шириной предохранительной бермы, равной половине высоты вышележащего яруса, т. е. 15 м.

В расчётах условной работы средняя длина транспортирования определялась с учётом высоты подъёма и горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения по формуле (3.1). Результаты расчётов критериев для всех вышеописанных вариантов конструкций отвалов представлены в табл. 3.4 и на рис. 3.9, 3.10.

Динамика изменения подотвальных площадей (см. рис. 3.9) показывает, что при ярусной конструкции отвалов с малой высотой яруса (30 м) площадь под отвалом одинаковой формы в плане увеличивается незначительно, на 5–8 % по сравнению с одноярусным отвалом. Изменение подотвальных площадей в зависимости от формы отвала в плане из представленных вариантов также не превышает 6–9 %, что говорит о том, что выбор формы следует производить в зависимости от конкретной топографии местности и границ карьера с размещением отвалов по возможности вдоль его периметра.

Таблица 3.4

Результаты расчётов площадей под отвалами и автотранспортной работы в зависимости от формы отвалов и ярусности

Параметр	№ варианта п/п					
	1	2	3	4	5	6
Ярусность отвала	Одноярусный			Многоярусный		
Форма отвала в плане	Круглый	Квадратный	Прямоугольный	Круглый	Квадратный	Прямоугольный
Площадь под отвалом, Га	176	180	187	185	190	202
Площадь отвала с сан.-защ. зоной, Га	414	418	420	434	425	441
Работа автотранспорта при $\Theta_n = 20$, млн т.км	1943	2036	2137	1260	1246	1214
Работа автотранспорта при $\Theta_n = 30$, млн т.км	2420	2513	2614	1529	1511	1473

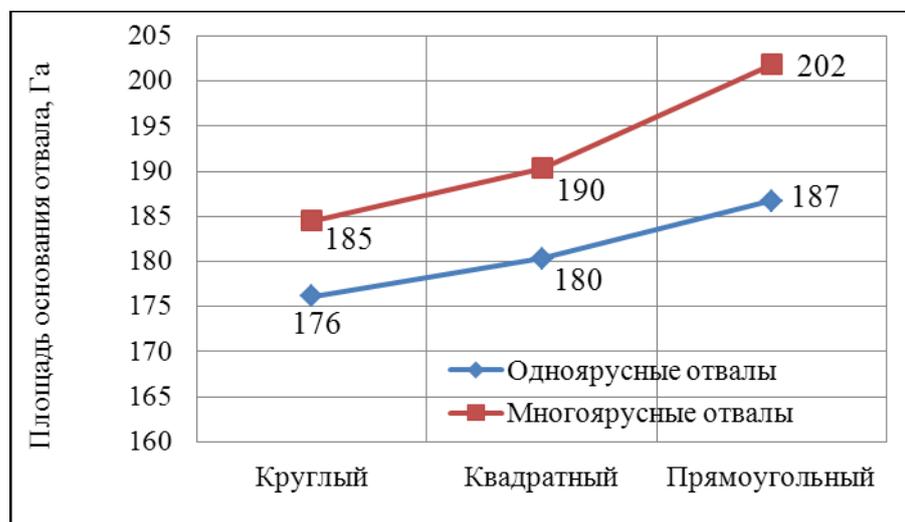


Рис. 3.9. Динамика изменения площади под отвалами в зависимости от их формы и ярусности

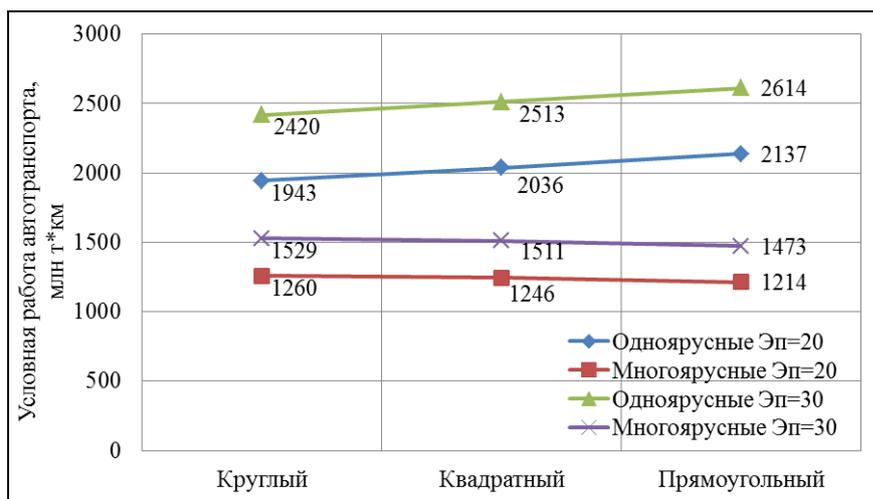


Рис. 3.10. Зависимость условной работы автотранспорта от формы и ярусности

Как видно из рис. 3.10, при различных формах отвалов в плане условная работа автотранспорта по перевозке вскрыши значительно не изменяется. При одной и той же форме отвала и одинаковом значении эквивалента $\text{Э}_п$ для формирования многоярусного отвала с высотой ярусов, равной 30 м, по сравнению с одноярусным затрачивается автотранспортной работы меньше в 1.6–1.8 раза. Эти данные подтверждают выводы, сделанные на первом этапе исследований (см. табл. 3.3).

Проведённые исследования и данные результатов, представленные в табл. 3.1–3.4, позволяют сделать ряд теоретических выводов по отвалообразованию и размещению вскрышных пород как потенциального ТС во внешних отвалах как ТМ:

1) высокие одноярусные отвалы и ярусы с предельной высотой по устойчивости отвальных пород (для скальных пород 100–120 м) являются по энергетическим затратам на транспортирование наименее предпочтительными;

2) по конструкции целесообразно использовать многоярусные отвалы с ярусным последовательным заполнением и высотой яруса до 30 м, у которых энергетические затраты на автотранспорт могут быть в 1.6–2.0 раза ниже, чем у одноярусных отвалов с высотой отвала либо яруса, равной предельной по критерию устойчивости.

3) ярус высотой 30 м является устойчивым для большинства типов вскрышных пород (скальных, полускальных, моренных и смесей этих пород), что повышает устойчивость многоярусного отвала и безопасность ведения отвальных работ;

4) на низких ярусах проще и с меньшими затратами организовать селективную укладку пород, забалансовых и попутных руд;

5) земельные площади, занимаемые многоярусными отвалами и одноярусными отвалами одинаковой вместимости и высоты, отличаются друг от друга в пределах нескольких процентов (4–7 %);

6) на склонах низких ярусов снижаются пыление при разгрузке пород и количество лавиноопасных очагов (характерно для высоких отвалов многоснежных регионов);

7) при разгрузке пород с автосамосвалов через породный предохранительный вал на 30-метровом ярусе величина разовой уходки фронта разгрузки составляет по скальным породам 45 м, по морене — 20 м, что в три раза превышает аналогичные параметры на ярусах высотой 100 м [51], а большая величина разовой уходки позволяет сокращать объём бульдозерных работ и время стабилизации фронта разгрузки;

8) при различных формах отвалов в основании условная работа автотранспорта по перевозке вскрыши значительно не изменяется, поэтому выбор формы следует производить в зависимости от конкретной топографии местности, а размещать отвал целесообразно по возможности вдоль периметра карьера;

9) на отвалах с низкими ярусами технически легче осуществлять рекультивационные работы и возможно начинать их в более ранние сроки.

3.4. Исследования возможности рекультивации породных отвалов в условиях Севера и Заполярья и влияние будущей рекультивации на технологию отвалообразования

Необходимость рекультивации земель, нарушенных открытыми горными работами, в том числе отвалообразованием, предписывается и регулируется многими правовыми документами. Эти документы были разработаны и приняты в период 1980–1990-х гг., когда охране окружающей среды стали уделять повышенное внимание. В настоящее время, когда каждый проект разработки месторождения обязан иметь принципиально разработанный вариант рекультивации нарушенных земель, сказывается недостаточность правовых нормативов 1980-х гг. Особенно это сказывается на проектировании размещения и технологии формирования отвалов вскрышных пород, от которых зависят будущие работы по их рекультивации. Наиболее остро проблемы рекультивации ощущаются при формировании высоких, и особенно нагорных, отвалов на территориях Севера и Заполярья.

Так как при любом производстве природу необходимо беречь, меньше загрязнять и не нарушать первозданные территории, по возможности восстанавливать их в кратчайшие сроки, то основными направлениями развития технологий могут быть следующие:

1) разработка малоотходных и малозагрязняющих технологий производства (малоэнергоёмких и маломатериалозатратных);

2) разработка объектов производства и их размещение с наименьшими нарушениями земной поверхности (к примеру эстакадные способы);

3) разработка рекультивационных малоэнергозатратных технологий и их применение в кратчайшие сроки для быстрой передачи территорий в соответствующие территориальные земельные фонды;

4) разработка природовосстановительных технологий с учётом региональных природных, экологических и экономических особенностей (к примеру, отсутствие пахотного земледелия в регионе не требует восстановления нарушенных земель до соответствующих критериев для земледелия).

Если рассматривать отвалообразование и размещение отвалов с перечисленных позиций, то все эти направления могут быть использованы при отвалообразовании. Так, переход на многоярусные отвалы с малой высотой ярусов (до 30 м) и последовательным поярусным заполнением позволяет в 1.5–2 раза снизить энергозатраты на транспортировку вскрышных пород. Следствием такой технологии будет сокращение расходов топлива при автотранспорте, парка машин, трудозатрат, загрязнения атмосферы газами и пылью.

Размещение отвалов вдоль периметра границ карьера на поверхности на ближайшем расстоянии от этих границ позволит уменьшить земельные отводы предприятий, несмотря на 4-7-процентное увеличение подотвальных площадей под многоярусными отвалами с малой высотой ярусов.

Первоочередное заполнение участков отвалов, прилегающих к внешним границам отвала, позволит начать рекультивационные работы в более ранние сроки, а грамотное и обоснованное использование всех региональных особенностей и условий позволит снизить затраты на рекультивацию отвалов.

Анализ региональных особенностей, условий и необходимости рекультивации отвалов в Заполярье и на Крайнем Севере на примере Мурманской области показал следующее.

Суровые климатические условия, большая продолжительность зимнего периода приводят к очень медленному естественному восстановлению растительности при нарушении почвенного покрова. Эти же условия и недостаточная мощность бедных почв не способствует развитию пахотного зернового земледелия.

Наблюдается резкое районирование распространения растительности, особенно по абсолютным высотам местности. Месторождения полезных ископаемых очень часто находятся в возвышенных и гористых районах, где распространение естественной растительности выглядит следующим образом:

- на абсолютных отметках +100 — +150 м — таёжный лес;
- на +150 — +300 м — криволесье;
- на +300 — +450 м — кустарники и мхи;
- на +450 — +500 м — мхи, лишайники, так называемые высотные тундры (Хибинские, Мончегундры и т. п.). Травостой расселяется позднее и на более низких отметках поверхности.

В области низкая плотность населения, населённые пункты (города, посёлки) размещаются чаще всего на большом расстоянии от карьеров (рудники АО «Апатит», «Олкон», «Печенганикель»), за исключением г. Ковдор, который располагается в 2 км от основных отвалов карьера.

Пылеобразование на породных отвалах невысокое и происходит только на площадках разгрузки автосамосвалов и только в сухую погоду летнего сезона. Стабилизированные откосы отвалов не пылят, так как мелкая фракция горной массы, которая может вызвать пылеобразование, проникает за счёт осадков в пространство под крупными кусками, а на горизонтальных участках мелкая фракция переуплотнена автотранспортом.

В начальные годы разработки месторождений при использовании высоких одноярусных отвалов (свыше 150–180 м) на них возникали сели и снежные лавины. Переход на многоярусные отвалы с высотой яруса ниже пределов устойчивости откосов по механическим свойствам пород способствовал стабилизации конструкции отвалов от обрушений.

Длительные наблюдения (в течение нескольких десятков лет) за состоянием откосов и площадок старых отвалов показали, что после остановки эксплуатации через год–два наступает стабилизация массивов отвалов. Деформация уплотнения ярусов больше не происходит, и откосы начинают зарастать естественной растительностью, характерной для данной высотной зоны. Естественное зарастание происходит очень медленно (40–50 лет, рис. 3.11) и распространяется на участках, где находится мелкодисперсная фракция горной массы.



Рис. 3.11. Распространение естественной растительности на отвале № 1 АО «Ковдорский ГОК», нижние ярусы отсыпались с 1959 г., время зарастания — 54 года

При анализе возможных методов и технологий рекультивации отвалов, особенно высоких и большой вместимости, нельзя не остановиться на, казалось бы, заманчивом варианте перемещения породы из отвалов обратно в выработанное пространство карьера.

Был просчитан вариант перемещения пород вскрыши из отвалов № 2 и № 3, ныне действующих, в карьер рудника «Железный» после завершения открытых горных работ на АО «Ковдорский ГОК». По самым осторожным оценкам, только выемка и перевозка 640 млн м³ (1902 млн т) пород автомобильным транспортом при уровне эксплуатационных затрат (на 2013 г.) может составить 52.5 млрд руб. При этом потребуется создать новое производство, которое будет существовать не один десяток лет и работа которого будет сопровождаться всеми характерными видами загрязнений окружающей среды от горных работ. Необходимо будет содержать большой трудовой коллектив, парк основного горнотранспортного оборудования с ремонтной базой и т. п. В результате будет заполнен карьер и очищены площади под отвалами, которые потом опять необходимо будет восстанавливать и на которых можно будет осуществлять лесопосадки, продуктивность которых наступит в условиях Заполярья через 100 лет. Таким образом, можно сделать вывод, что такого вида рекультивация не только экономически не оправдана, но и будет производить существенные загрязнения окружающей среды в течение десятилетий.

По ГОСТ 17.5.1.02-83 направления рекультивации земель представлены следующими видами: сельскохозяйственная, лесохозяйственная, рыбохозяйственная (иногда водохозяйственная), рекреационная, природоохранная и санитарно-гигиеническая и строительная [62]. С учетом проведенного краткого анализа особенностей заполярных и северных регионов, а также конструктивных параметров породных отвалов в этих регионах, первые три направления рекультивации нарушенных земель практически не имеют смысла. Рекреационная и строительная рекультивация целесообразны в тех случаях, когда необходимо для данного региона строительство конкретных объектов (спортивных, ветропарков и т. п.). При этом размещение отвалов и их параметры должны учитывать строительство будущих объектов, а породы должны использоваться в качестве строительных материалов для этих объектов. Примером может служить строительство линии циклично-поточной технологии (ЦПТ) на карьере «Железный» Ковдорского ГОКа, когда было использовано для этих целей около 20 млн м³ вскрышных пород.

Санитарно-гигиеническое направление рекультивации представляет собой биологическую или техническую консервацию нарушенных земель (техногенных образований — отвалов пустых пород, отходов обогащения и переработки, временных складов МС и пр.), оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду, в следующих случаях:

- если приведение нарушенных земель в состояние, пригодное для использования в хозяйстве страны, экономически неэффективно;
- если направление использования этих земель в хозяйстве временно не установлено;
- если породы, формирующие эти техногенные образования, подлежат переработке в качестве вторичного сырья;
- если эти техногенные образования подлежат перемещению [62]. То есть породы, слагающие эти объекты, сами по себе либо токсичны и вредны для человека, животного или растительного сообществ, либо могут быть использованы и требуют сохранения. В большинстве случаев скальные и четвертичные моренные породы отвалов относятся к IV и выше категориям опасности, т. е. не опасны. Следовательно, для таких пород рекультивация по санитарным нормам не целесообразна.

Более всего к северным и заполярным отвалам подходит природоохранное направление рекультивации, которое предусматривает укрепление откосов и склонов от ветровой и водной эрозии, восстановление видового разнообразия флоры, фауны, чистоты атмосферы и гидросферы. Под это направление подпадают и участки самозарастания, специально неблагоустраиваемые для использования в хозяйственных и рекреационных целях.

В настоящее время вместо рекультивации, т. е. возвращения земли в сферу земледелия, лесоводства, ставится задача обновления ландшафта и восстановления экосистемных функций территории. Широкое признание получил термин «ревитализация», т. е. создание обновленного ландшафта, который был бы экологически безопасным, гармоничным с окружающей природой, дополнял её элементами разнообразия экологических ниш [63].

По действующим ГОСТам [62, 64], устанавливающим общие требования к рекультивации земель, в статье 1.1 [64] указано, что рекультивации подлежат нарушенные земли всех категорий. Наряду с тем, что пунктом не предусмотрена

обязательная рекультивация, при разработке проектов обязательно надо учитывать следующие факторы: природные условия района, расположение нарушенного участка, перспективы развития района, фактическое состояние нарушенных земель, степень естественного зарастания, перспективы использования нарушенных земель, грансостав и химсостав вскрышных пород, их агрофизические свойства.

Статья 1.6 предписывает, что высота отвалов устанавливается в каждом конкретном случае, но в то же время ГОСТ [62] ограничивает высоту рекультивируемых внешних отвалов значениями 50–100 м. Означает ли это, что отвалы выше 100 м рекультивировать не требуется?

Статья 1.9 [64] обязывает выколаживать либо террасировать откосы отвалов, освободить рекультивируемую поверхность от крупногабаритных обломков пород (размер не указан), покрывать поверхности потенциально плодородными слоями почвы (высота слоя не указана). При этом нет разъяснений, необходимо ли выполнять это требование, если в этой зоне (по абсолютным отметкам) ничего не растёт, кроме лишайников.

Учитывая приведённые несоответствия правовых документов о рекультивации нарушенных земель открытыми горными работами, считаем целесообразным пересмотреть редакции некоторых статей в соответствии с современными подходами, техническими и региональными особенностями процесса отвалообразования и размещения отвалов. В этой связи в проектной документации по разработке месторождений полезных ископаемых, наряду с разделами об охране окружающей среды, следует в обязательном порядке предусматривать принципиальные проектные решения о рекультивации нарушенных горными работами территорий, но с обязательным учётом региональных особенностей и направлений использования вновь образованных техногенных объектов (карьеров, выработок, складов, отвалов и т. п.).

Так, в регионах Севера и Заполярья с учетом естественной зональности распространения растительности в зависимости от абсолютной отметки рельефа при разработке проектов рекультивации внешних отвалов путём зарастивания откосов и берм не предусматривать биологическую рекультивацию на территориях выше высотных отметок распространения древесной растительности и травостоя.

Аналогичный подход был предложен Горным институтом при разработке решений о рекультивации отвалов в регламенте по Центральному руднику АО «Апатит» в 2011 г. В этом документе предложено переходить на естественное самовосстановление растительного покрова на породных отвалах выше абсолютных отметок +350 м. Обследование отвалов АО «Ковдорский ГОК» показало, что на бермах до отметок +400 — 415 м произрастает только кустарниковая ива (рис. 3.12). Поэтому в зависимости от местных микроклиматических условий можно предложить считать границу естественного самозарастания до отметок +350 — +400 м.

Для интенсификации рекультивации отвалов на территориях с абсолютными отметками рельефа до +350 м вблизи населённых пунктов возможно создавать растительный покров за счёт посева семян многолетних и однолетних трав с предварительной подготовкой поверхностей откосов и берм. Что касается берм, то подсыпка потенциально плодородных мелких грунтов вполне обеспечит прорастание трав на фоне минеральных удобрений. Причём мощность слоя грунтов достаточна в 0.1–0.15 м. Именно на таком минимальном слое произрастают кустарники и даже сосны на Севере и в Заполярье. Даже очень незначительное количество мелкой фракции грунта между крупными кусками породы на площадках отвалов способствует естественной приживаемости трав и древесных видов.



Рис. 3.12. Естественное распространение растительности на площадках отвала № 3, абсолютная отметка +400 — +415 м

Подготовка откосов отвалов намного сложнее и затратнее. По опыту естественного зарастания откосов расселение кустарников происходит в тех местах, где образовались пятна мелких фракций отвальных пород по размеру песка. На рис. 3.13 видно, как происходит расселение ивы. Поэтому задача по подготовке откосов к рекультивации сводится к частичному или к сплошному покрытию поверхности мелкодисперсными видами потенциально плодородного грунта на горнотехническом этапе рекультивации.

Поверхность откоса отвала покрыта крупными кусками горной массы (по отвалам Ковдорского ГОКа средний размер куска составляет 440–640 мм). При отсыпке горной массы с верхней бровки разгружающимися автосамосвалами порода распределяется по длине склона по закону сегрегации. Внизу, на 1/3 длины склона, располагаются наиболее крупные куски, на средней 1/3 длины склона — куски средних размеров (обычно до 300 мм) и на верхней 1/3 склона — мелкие куски и мелочь в виде песка. Поэтому самозарастание растительностью начинается с верхних участков откоса на мелких фракциях, а средние и нижние участки зарастают очень медленно (см. рис. 3.11).

Следовательно, основной задачей горнотехнического этапа рекультивации является выравнивание поверхности откоса отвала от максимальных кусков до мелкодисперсных. Если крупнокусковую поверхность засыпать сразу мелкодисперсным грунтом, то потребуются очень большие объёмы этого грунта, а так как нужный грунт находится, как правило, далеко за пределами отвалов, то значительно возрастут транспортные расходы и потребуется дополнительное оборудование.



Рис. 3.13. Расселение ивовых кустарников на мелкодисперсных зонах отвалов

Опыт отвалообразования на Ковдорском ГОКе, где используется циклично-поточная технология с конвейерной доставкой вскрыши на отвал № 3, показывает, что можно значительно выровнять поверхность отвала, если засыпать крупнокусковую поверхность среднекусовой вскрышей от дробилок ЦПТ. Средний размер куска после дробилок составляет -143 мм. На рис. 3.14 виден результат после отсыпки среднедроблёной отвальной массы на крупнодроблёную.

Если для ковдорских отвалов такая технология уже действует, то для отвалов других рудников, где нет ЦПТ, необходимо адаптировать такой опыт. Предлагается в период горнотехнического этапа размещать на бержах крупнокусковых отвалов самоходные дробилки, дробить текущую вскрышу и через отвалообразователь сразу сбрасывать среднекусовую массу на откос. Удельные объёмы такой массы не будут значительными, и дополнительные транспортные работы не потребуются.

Следующим этапом должны быть работы по покрытию среднекусовой поверхности мелкодисперсным грунтом. Опыт естественного зарастания обломочных поверхностей, оставленных ледниками в Кольском регионе, и аналогичный опыт из работы [65] показывают, что растениям не требуется выравнивание поверхности до сглаженного состояния. Наоборот, поверхность с небольшими углублениями и маломощным, до 100–150 мм, слоем почвообразующего грунта создаёт микроклиматические условия для ускорения естественного прорастания всех видов растений для данного региона. Поэтому аналогичное заполнение грунтом откосов из среднедроблёных пород потребует небольших удельных объёмов мелкодисперсного грунта, который будет служить почвообразующей основой для биологического этапа рекультивации.

В качестве почвообразующих грунтов могут быть: мелкодисперсные (без крупных включений) моренные отложения, хвосты флотационного обогащения руд, илы и сапропели водоёмов, илы очистных сооружений, диатомитовые отложения, мелкодисперсные отсеивы линий ЦПТ, пески

водоёмов, строительных карьеров и т. п. Эти грунты при соответствующих добавках различного рода удобрений уже доказали свою пригодность для приживаемости и роста растительности. Примером могут служить рекультивированные площади на хвостохранилищах и бермах уступов карьеров в конечном положении на ГОКах Мурманской области.



Рис. 3.14. Выравнивание крупнокусковой поверхности откоса среднекусовой скальной вскрышей

Прежде чем перейти к технологиям нанесения почвообразующих грунтов на откосы, приведём в табл. 3.5 результаты испытаний по определению необходимых для расчётов физических свойств некоторых видов грунтов, пригодных для почвообразования.

Из таблицы 3.5 видно, что угол естественного откоса мелкодисперсных грунтов (особенно в процессе текущей отсыпки) зависит от крупности зёрен и естественной влажности, которая до известных пределов повышает сцепление зёрен и, следовательно, угол отсыпки откосов.

Технологии нанесения почвообразующих грунтов на откосы отвалов можно разделить на две группы: сухое нанесение (СН) и мокрое (гидро) нанесение (ГН). Каждая из технологий имеет свои достоинства и недостатки, но и СН, и ГН в значительной степени зависят от длины наклонной части откоса.

Одна из распространённых технологий состоит в разгрузке грунта из автосамосвалов на откос в необходимых объёмах. Из табл. 3.5 следует, что мелкодисперсный грунт располагается под текущим углом естественного откоса $39\text{--}42^\circ$, который больше угла естественного откоса скальной вскрыши ($35\text{--}37^\circ$). На рис. 3.15 представлена разгрузка мелких отсеков с линии ЦПТ на опытном полигоне отвала № 3 рудника «Железный» АО «Ковдорский ГОК». Угол откоса скального отвала составил 35° , а грунта — $40\text{--}41^\circ$. Масса грунта разместилась на откосе в виде клина, основание которого (a) является продолжением площадки разгрузки.

Таблица 3.5

Физические свойства грунтов для формирования откосов на горнотехническом этапе рекультивации

№ п/п	Грунт	Место отбора проб	Плотность естественного залегания, т/м ³	Средний текущий угол естественного откоса, град.		Средний угол естественного откоса при длительном стоянии, град.	Гранулометрический состав от – до, мм %
				влажная проба	сухая проба		
1	Хвосты обогащения	Хвостохранилище АНОФ-2	1.7	42.4	32.1	30.4	0.07–0.15 мм 66 %
2	Песок	Строительный карьер	Н. д.	40.5	30.9	30.5	Мелкий. До 2 мм
3	То же	То же	Н. д.	39.6	30.6	32.6	Крупный. До 7 мм
4	»	»	Н. д.	39.2	32.2	Н. д.	Смесь 2 и 3
5	Отсев вскрыши	Линия ЦПТ, Ковдорский ГОК	Н. д.	40 / 13	Н. д.	Н. д.	До 1.5 мм
6	Мелкодисперсная фракция	Отвал № 3, Ковдорский ГОК, гор. +405 м	Н. д.	40 / 11	Н. д.	Н. д.	До 1.5 мм
7	Хвосты обогащения	Хвостохранилище, Ковдорский ГОК, поле 1	1.76	38 / до 9	Н. д.	Н. д.	Н. д.
8	То же	Хвостохранилище, Ковдорский ГОК, поле 2	1.74	38–40 / до 8	34	Н. д.	< 0.071 мм 45.3 %



Рис. 3.15. Разгрузка мелкодисперсных отсевов с линии ЦПТ и распределение их на откосе отвала

По мере высыхания грунта происходит небольшое сползание его вниз. Если отсыпать грунт до тех пор, пока он не дойдёт до нижней бровки откоса, то потребуются перевезти и разгрузить объёмы, намного превышающие потребности для рекультивации.

Если исходить из минимально необходимых объёмов, то высота клина будет составлять 15–30 % от высоты яруса и массу грунта необходимо будет разравнивать по площади откоса.

В таблице 3.6 даны результаты расчётов параметров размещения грунта на откосе в зависимости от высоты яруса. Исходными данными для расчёта были: угол скального откоса — 35 °; угол откоса грунта — 40 °; минимальная высота грунта при равномерном распределении по откосу — 150 мм.

Таблица 3.6

Параметры размещения грунта на откосе яруса отвала в зависимости от высоты яруса

Высота яруса h_y , м	Длина скального откоса, м	Минимальный удельный объём грунта V на откосе при высоте слоя $h_c = 150$ мм, м ³	Высота «клина» грунта h_k при объёме V , м	Ширина основания «клина» a при объёме V , м	h_k/h_y	Удельный объём V_m грунта при $h_k = h_y$, м ³	V_m/V , разы
30	55	8.25	8.4	2.0	0.28	106.5	12.8
40	70	10.50	9.4	2.25	0.24	189.4	18.0
50	87	13.05	10.5	2.5	0.21	296.2	22.0
60	104	15.60	11.5	2.7	0.19	426.0	27.3
100	175	26.25	14.5	3.6	0.15	1184.4	45.1

Из таблицы 3.6 видно, что если стремиться отсыпать грунт с верхней бровки до нижней, то объём его возрастёт по сравнению с минимальным в зависимости от высоты яруса в 12.8–45 раз. В то же время максимальная безопасная высота мелкодисперсного грунта (типа хвостов обогащения поля 2) по устойчивой насыпи составляет 14 м [61]. Опыт отсыпки отсеков ЦПТ на отвале № 3 Ковдорского ГОКа показал, что большие объёмы отсыпки по мощности под влиянием осадков не стабильны и подвержены деформации (промоины, рис. 3.16), которая будет уничтожать посевы трав. Такие откосы придется пересеивать и, возможно, неоднократно (рис. 3.17).

Руководствуясь данными табл. 3.5 и 3.6 и оптимальной работой автотранспорта при формировании отвалов (см. раздел 3.3.2), считаем, что и для целей рекультивации необходимо формировать отвалы с высотой яруса до 30 м.

Отрицательный опыт формирования мощных слоёв грунта описывается и в работе [65], где авторы обращают внимание на плохую приживаемость травостоя, обезвоживание и пыление мощных слоёв мелкодисперсного грунта.

Специальных машин отечественного производства для разравнивания грунтов на крутых и протяжённых откосах пока не существует. Имеется опыт аналогичных работ в дорожном строительстве, но там откосы формируются сразу из мягких грунтов, они имеют небольшую длину и более пологие углы. В сети «Интернет» можно встретить информацию о бульдозерах типа John Deere (США), Lynex TX 1500, Mazauder Dozer, которые могут работать на грунтовых склонах до 55 ° и могут быть радиоуправляемыми.



Рис. 3.16. Промоины мелкодисперсного грунта на откосе после осадков и таяния снега



Рис. 3.17. Промоины на засеянном травостоем откосе опытного полигона отвала № 3 после больших дождей

С учетом того, что вслед за горнотехническим этапом рекультивации идет биологический этап, более целесообразно сконструировать специальную самоходную установку для производства работ как по техническому, так и по биологическому этапам. На сегодняшнем уровне техники для разравнивания сухого грунта можно рекомендовать (помимо названной иностранной техники) отвалообразователи, экскаваторы с удлинённым оборудованием, грейферные

экскаваторы, скреперные установки, различного рода катки и бороны. Можно использовать машины для разбрасывания песка на дорогах или машины для разбрасывания минеральных удобрений. К примеру, разбрасыватель типа Accord Exacta HL или другие модификации с большой шириной захвата (20–24 м). Перспективной технологией управляемого разбрасывания может быть шнекороторное, которое используется на отечественных машинах ЕМ-800 на базе автомобиля «Урал» или на тракторной базе МТЗ. Шнекороторное разбрасывание позволит производить работу как с верхней площадки яруса, так и с нижней, обеспечивая тем самым равномерность покрытия площади откоса. Все перечисленные машины потребуют конструктивных доработок для конкретных условий, чтобы соблюсти равномерность распределения грунта в минимально необходимых объёмах по поверхности откоса из крупнообломочных скальных пород.

Другой технологией нанесения мелкодисперсного грунта на откос является мокрое нанесение, или гидронанесение. Суть этого способа взята из опыта гидропосева различного рода трав. Способ появился в 1950-е гг. и применялся и применяется в настоящее время в разных странах, особенно в дорожном строительстве для посева трав на обочинах и откосах автомобильных и железных дорог. Для этих целей существует промышленная техника и многолетний опыт. Суть технологии состоит в нанесении на подготовленную наклонную поверхность пульпы из семян, водоудерживающих почвообразующих субстратов, удобрений, плёнкообразующих растворов типа латексов и красителей. Подача и распределение пульпы осуществляется гидромониторами. Так как поверхность откосов выполнена из земляных грунтов, то потребность в твёрдых составляющих и воде невысокая, но очень высок расход семян, так как иногда требуется повторное нанесение пульпы.

В России первоначальный опыт гидропосева описан в работе [66] в 1975 г. В работе [65] предлагалось использовать принцип гидропосева на отвалах южных карьеров. В качестве почвообразующего субстрата предлагалось использовать илы очистных сооружений. На небольших отвалах в южных регионах страны возможно такой способ и будет целесообразен, но на высоких отвалах с многомиллионными объёмами и площадями поверхности такая технология, тем более для северных условий, потребует другого подхода.

Выше уже говорилось о крупнообломочной поверхности скальных отвалов. Такие отвалы сразу покрывать пульпой нецелесообразно, так как потребуются большие объёмы мелкодисперсного грунта, воды и будет плохое прорастание семян. Поэтому принцип предварительного «сглаживания» крупнокусковой поверхности среднедроблёной вскрышной массой обязателен. В качестве грунтообразующего материала больше всего подходят хвосты флотационного обогащения. Объёмы их на крупных ГОКах достаточные, они прошли стадию гидротранспорта, поэтому обладают равномерным мелкозернистым гранулометрическим составом. Имеется также положительный опыт посадки и приживаемости трав в северных условиях на хвостохранилищах. Но наносить хвосты на откосы следует перед гидропосевом трав, а не вместе. В этом случае расход семян будет значительно меньше, а степень прорастания более высокая. Высота слоя хвостов достаточна в 150 мм. Посадочная поверхность должна быть волнистой для создания более благоприятного микроклимата прорастания.

Серьёзным недостатком нанесения хвостов гидроспособом является очень большой расход воды и большие расстояния транспортирования от хвостохранилищ до многоярусных отвалов, особенно если они размещены в гористой местности. Необходимы исследования возможности и экономичности доставки хвостов до какой-то аккумулирующей ёмкости на ярусах отвалов, либо доставки их сухим способом автотранспортом на площадки ярусов, затем пульпообразование хвостов и нанесение пульпы на откос, как это изложено в работе [64]. Но не следует забывать о том, что правилами безопасности [15] в пункте 552 предусматриваются меры, защищающие массив отвала от проникновения в него поверхностных и талых вод, грязевых потоков, чтобы не вызвать оползней откосов.

На этом основании более целесообразен сухой способ нанесения хвостов и других видов мелкодисперсного грунта на откосы отвалов (к примеру разбрасывателем), а посев трав можно производить гидросеивом с минимальным количеством воды, которая не будет вызывать обрушений и сползаний откосов.

Подводя итог исследованиям возможности рекультивации породных отвалов в условиях Заполярья, можно сделать следующие выводы.

1. Нормативные документы по рекультивации земель, нарушенных открытыми горными работами (ГОСТы 1980-х гг.), нуждаются в изменениях, дополнениях и расширениях в разделах по терминологии, направлениях рекультивации, редакциях статей в соответствии с современными подходами к рекультивации, техническими, технологическими и региональными особенностями отвалообразования и размещения отвалов при открытых горных работах.

2. Выявлена нормативная необходимость, возможность и границы естественного самовосстановления растительного покрова в регионах и на высотных отметках местности с суровыми и неблагоприятными для произрастания условиями.

3. Повторное перемещение ранее отсыпанных вскрышных пород из отвалов в карьерное пространство как способ рекультивации при значительных объёмах не оправдан ни энергетически, ни экономически, ни экологически, и возможно его использование лишь в ограниченных объёмах при всестороннем экономическом обосновании.

4. Предложено перед биологическим этапом рекультивации откосов отвалов производить выравнивание их крупнокусковой поверхности на конечном контуре за счёт отсыпки пород вскрыши, предварительно раздробленной до максимального размера куска 300 мм, а затем нанесения мелкодисперсных почвообразующих грунтов.

5. Выполнены определения физических свойств (плотности и углов естественного откоса) таких грунтов, как: хвосты флотационного обогащения хвостохранилищ АО «Ковдорский ГОК», АО «Апатит», отсеы линии ЦПТ АО «Ковдорский ГОК», пески строительного карьера ст. Хибины, для использования в качестве почвообразующих.

6. Рассмотрены и проанализированы принципы нанесения мелкодисперсных грунтов на откосы отвалов. В качестве наиболее перспективного грунта при больших объёмах рекультивационных работ рекомендуется использовать хвосты флотационного обогащения, а в качестве одного из основных способов нанесения использовать сухой способ при минимальном объёме грунта из расчёта толщины слоя при равномерном распределении, равном 100–150 мм.

4. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

4.1. Краткий анализ публикаций об освоении техногенных месторождений

В течение 2010–2016 гг. заметно увеличилось количество публикаций на тему техногенных месторождений (ТМ). Регулярно проводятся научные конференции, в ходе которых дискутируются понятия и формируется структура решения проблемы освоения ТМ как на региональном, так и на всероссийском уровне [67]. Однако, по-видимому, время специализации ещё не наступило. Например, Всероссийская конференция «Проблемы рационального использования отходов горнодобывающего производства», как и раньше, констатировала ТМ в статусе отходов, а не ресурсов [68]. Несколько публикаций, в том числе включающих в себя положения о правильных путях формирования техногенных месторождений, носят фундаментальный характер [69–74].

В 2016 г. в Государственной думе РФ состоялось совместное заседание Высшего горного совета и Комитета Государственной думы Федерального собрания Российской Федерации по природным ресурсам, природопользованию и экологии. На заседании был рассмотрен вопрос «Развитие промышленной переработки техногенного сырья в России». По итогам заседания приняты традиционные рекомендации о стимулировании освоения ТМ и целесообразности повторения исследований, выполненных АН СССР более 30 лет назад, но уже с современных позиций [75].

На основе результатов анализа публикаций по теме техногенных месторождений можно отметить, что львиная доля исследований относится к оценке потенциальных возможностей вовлечения ТС в переработку с получением товарных продуктов [76–81]. В значительной степени публикации повествуют о чисто технических возможностях обогатительной или химической обработки ТМ [82–88]. Ряд публикаций либо предлагает методики экономических расчётов вовлечения ТМ в разработку, либо приводит конкретные результаты числовых расчётов по конкретным объектам [89–92]. Практически все публикации в той или иной степени отмечают экологическую значимость освоения ТМ [84, 93–97]. Несколько публикаций посвящены изоляции активных компонентов ТМ различными способами [94, 96, 98, 99].

По видам полезных компонентов подавляющее количество публикаций посвящены ТМ драгоценных металлов с львиной долей золота, особенно россыпного [71, 100–110]. Кроме золота и других благородных металлов рассматриваются ТМ угля [111], чёрных, цветных и редких металлов [94, 112–118], фосфатного сырья [119–121], щелочных металлов и редкоземельных элементов [122], строительных материалов [123–126]. Опубликованы некоторые результаты исследований по другим видам МС, включая комплексные многокомпонентные полезные ископаемые [115, 127–134].

4.2. О проблеме техногенных месторождений за рубежом

Следует отметить исключительно малое количество публикаций по проблеме ТМ в зарубежных изданиях. Это связано с тем, что в условиях рыночной экономики пользователи природных месторождений всегда детально рассматривали возможность извлечения всех выгодных компонентов, в отличие от отечественных разработчиков месторождений, в советское время относившихся к различным ведомственным министерствам, которых не интересовали попутные полезные ископаемые.

Однако плюсом социалистического подхода к ТМ было требование о формировании складов забалансовых и попутных полезных ископаемых, хотя жёсткий контроль правильности формирования таких складов не всегда осуществлялся, что приводило как к потерям потенциального сырья, отправлявшегося в отвалы, так и к разубоживанию ТМ чисто вскрышными породами, если до склада ТМ везти их было ближе, чем до отвала. Зарубежная практика с отрицательной стороны характеризуется тем, что всё, что непосредственно в период разработки не являлось полезным ископаемым, отправлялось в отвалы, перемешиваясь с породой и утрачиваясь практически навсегда для последующей переработки.

Зарубежные публикации о ТМ, как правило, приводят кажущиеся им парадоксальными сведения о возможности извлечения полезных компонентов из отходов горного производства. Так, например, в публикации [135] говорится о том, что рекультивация места разработки может быть весьма дорогостоящей и зачастую это бремя ложится на налогоплательщиков вместо того, чтобы быть оплаченным горнодобывающей компанией. Однако эти расходы могут быть минимизированы, если горнодобывающие компании изменят своё восприятие отходов и начнут оценивать изъятые из недр материалы не как отходы, а как потенциальные ресурсы. Хвостохранилища могут стать буквально «золотыми рудниками» в некоторых случаях.

В той же публикации говорится об изменении ценности некоторых элементов со временем. Интересы общества в части МС смещаются в пользу критических или стратегических металлов, таких как литий, индий и кобальт. Эти металлы имеют огромное значение для поддержки быстрой диверсификации электронной промышленности. Например, недавно правительство Индии объявило об амбициозном плане перевода всех транспортных средств в стране на электрический привод к 2030 г. Достижение этой цели требует много лития — одного из важнейших компонентов аккумуляторов.

Австралия в настоящее время является крупнейшим производителем лития в мире, предлагая столь необходимый шанс для горнодобывающего сектора, в частности, Западной Австралии. Но сохранение этой позиции является сложным, потому что строительство новых рудников может стоить от 150 млн до 2 млрд австралийских долл. с учётом расходов на разведку. Но совершенно необязательно строить новые рудники для получения лития благодаря новым методам, которые позволяют извлекать его из материалов с гораздо меньшим содержанием. Брошенные рудничные хвосты могут быть повторно отработаны. В рамках этих новых методов изучение отходов позволит специально разработанными, экологически и научно обоснованными технологиями переработать малоценные побочные продукты. Это может также

помочь защитить окружающую среду от токсичных отходов. Многие из 50 000 заброшенных рудников Австралии содержат химически активные сульфидные минералы, такие как пирит. Они могут выделять кислоту в окружающую среду в процессе, известном как образование кислотных рудничных вод (acid mine drainage — AMD), для очистки окрестных земель от которых потребуется израсходовать более 100 000 австралийских долл. на один гектар (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Кислотные рудничные воды в Западной Тасмании

Пересмотр точки зрения на хвосты может не только увеличить срок службы существующих рудников, но также может вдохнуть новую жизнь в давно заброшенные рудники. Есть две основные причины, почему это может быть более предпочтительным, чем разработка новых рудников. Во-первых, затраты на добычу уменьшаются, поскольку эти материалы уже извлечены из недр. Во-вторых, старые рудники закрывались при более высоких бортовых содержаниях полезного компонента и многие старые технологии добычи обеспечивали гораздо меньшие коэффициенты извлечения, чем современные.

Например, исторический рудник Baal Gammon в северном Квинсленде разрабатывал руды для получения меди, олова и серебра, но дренаж кислотных вод в настоящее время из заброшенного рудника представляет опасность для близлежащих ручья Джейми-Крик и реки Уолш. Однако анализ породных кусков показывает, что они богаты оловом и индием, некоторые из которых могут быть эффективно извлечены с использованием современных металлургических методов. Это будет иметь дополнительное значение за счёт удаления сульфидных соединений, которые угрожают местным водным путям. Имеются и другие рудники, отвалы вскрышных пород которых содержат сульфиды в значительных количествах (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Вскрышные горные породы заброшенных рудников Croydon в Квинсленде, Австралия, содержат сульфиды

Аналогичным образом в Тасмании в свинцово-цинковом рудном бассейне Zeehan находится более 100 рудников, являющихся историческим наследием, от многих из которых (например рудника Silver Spray) продолжается воздействие кислотных рудничных вод на окружающую среду. Опять же характеристика пород отходов, которые содержат сульфиды, формирующие кислотные рудничные воды, показывает, что они также содержат значительное количество индия. Ни в одном из этих случаев горные проекты не рассматривались в плане извлечения этих металлов, что, безусловно, упущенная возможность.

Однако есть признаки того, что повторная добыча из хвостохранилищ может иметь бóльший финансовый и экологический смысл, чем другие варианты рекультивации. Одним из таких примеров является хвостохранилище Old Tailings Dam в Тасмании, которое содержит 14 млн м³ отходов, заскладированных слоем мощностью 30–35 м в период 1962–1982 гг. Хотя были рассмотрены многие варианты рекультивации, включая обводнение хвостохранилища или покрытие его растительностью, технические проблемы были оценены как чрезмерно большие. Тем не менее богатые пиритом хвосты также содержат до 3 % кобальта, который стоит более 23 тыс. долл. США за тонну. Почти весь кобальт можно извлечь с помощью бактериального выщелачивания. Этот процесс был первоначально разработан для выделения золота из пиритных пород и считается «зелёной» технологией обработки. В Тасмании аналогичный проект осуществляется для извлечения золота, а другим проектом предполагается извлекать олово из хвостов.

За рубежом проекты по переработке отходов планируются от Боливии до Южной Африки.

Однако и в промышленно развитых странах не всё решено в части использования ТМ. Например, на востоке германской земли Гессен располагается гора Монте Кали (рис. 4.3). На самом деле это не просто гора, а отвал хлорида натрия, или ТМ обыкновенной поваренной соли. В процессе добычи поташа на выходе получается смесь поташа и хлорида: на каждую тонну поташа приходится несколько тонн поваренной соли. Поташ извлекается, а хлорид натрия является отходом. Гора начала формироваться в 1973 г., сегодня она более 200 м высотой, и в январе 2014 г. она покрывала площадь 93 гектара. Монте Кали содержит порядка 188 млн т соли. Каждый год она увеличивается на 6.4 млн т. Соль загрязняет почву, реки и подземные воды региона [136].



Рис. 4.3. Техногенное месторождение поваренной соли в Германии

4.3. Основные пути и способы получения полезного продукта из мелкоструктурных техногенных месторождений

Хвосты обогащения. Помимо ранее детально охарактеризованного примера промышленной реализации освоения лежалых хвостов АО «Ковдорский ГОК» имеются как уже реализованные полностью или отчасти, так и предполагаемые варианты освоения техногенных месторождений, представленных хвостами обогащения других полезных ископаемых.

Одним из возможных способов вовлечения в отработку хвостохранилищ, содержащих благородные металлы, является выщелачивание. В работе [137] для извлечения полезных компонентов предлагается два варианта инфильтрационной технологии: с использованием гигроскопического слоя и с использованием канав для сбора раствора. Суть первой технологии

заключается в следующем: раствор по скважинам закачивается в массив хвостохранилища, поднимаясь вверх, растворяет требуемые компоненты, проходит через геохимический барьер и по капиллярам накапливается в гигроскопическом материале. Продукционный раствор после отжата направляется на переработку. Вторая технология отличается от первой тем, что раствор собирается по канавам в зумпф и затем также направляется на переработку.

В работе [138] приведены результаты комплексного минералогического исследования проб лежалых отходов обогащения окисленных никелевых руд. Неблагоприятный гранулометрический состав отходов, неоднородность состава магнитных и немагнитных минералов, агрегативные состояния тонких зёрен и взаимная их намагничённость, по мнению авторов, будут представлять значительные трудности для магнитных и флотационных методов переработки данного ТС.

Шламы. Одной из разновидностей ТМ являются заскладированные отходы пирометаллургических производств. На металлургическом комбинате с замкнутым циклом (чугун — сталь — прокат) твёрдые отходы могут быть двух видов — пыли и шлаки. Довольно часто применяется мокрая газоочистка, тогда вместо пыли отходом является шлам. Наиболее ценными для чёрной металлургии являются железосодержащие отходы (пыль, шлам, окалина), в то время как шлаки в основном используются в других отраслях промышленности. При работе основных металлургических агрегатов образуется большее количество тонкодисперсной пыли, состоящей из оксидов различных элементов, которая улавливается газоочистными сооружениями и затем либо подается в шламонакопитель, либо направляется на последующую переработку (в основном как компонент аглошихты).

Шламы в целом можно разделить:

- 1) на шламы агломерационных фабрик;
- 2) шламы доменного производства:
 - а) газоочисток доменных печей;
 - б) подбункерных помещений доменных печей;
- 3) шламы газоочисток мартеновских печей;
- 4) шламы газоочисток конвертеров;
- 5) шламы газоочисток электросталеплавильных печей.

По содержанию железа их подразделяют следующим образом: а) богатые (55–67 %) — пыль и шлам газоочисток мартеновских печей и конвертеров; б) относительно богатые (40–55 %) — шламы и пыли аглодоменного производства; в) бедные (30–40 %) — шлам и пыль газоочисток электросталеплавильного производства.

Основными характеристиками шламов являются химический и гранулометрический состав, однако при подготовке шламов к утилизации необходимо знать такие параметры, как плотность, влажность, удельный выход и др. Следует отметить, что пыли (шламы) металлургических предприятий по химическому (и отчасти по гранулометрическому) составу отличаются друг от друга, поэтому эти характеристики обычно представляются в усреднённом виде.

Известно, что в развитых странах процесс переработки металлургических отходов, представленных мелкогабаритными шламами, давно стал промышленно освоенной технологией. Таким образом, основными задачами для каждого конкретного металлургического предприятия являются только выбор наиболее эффективной техники и технологии для переработки ранее накопленных шламов и обоснование оптимального процесса рециклинга текущих отходов.

Условный сценарий освоения техногенных месторождений металлургического генезиса. Как правило, металлургические предприятия, как и все другие, заинтересованы в минимизации текущих отходов и ликвидации или значительном сокращении уже накопленных золошлакохранилищ. Однако предприятия, работающие уже не первый десяток лет, не имеют детальной информации о качественном составе подобных давно сформированных ТМ. Можно рассмотреть пути радикального сокращения сформированных ранее металлургических ТМ на примере условного предприятия. На предприятии имеется два золошламонакопителя, куда направляются отходы деятельности комбината, которые в настоящее время разделяются на два потока: преимущественно содержащие железо и преимущественно содержащие уголь. В хранилище имеется и ещё одна карта — первая, в которую в начальные годы работы предприятия направлялись все отходы производства без разделения по содержанию основного полезного компонента.

Первое золошламохранилище с условным названием Южное, являющееся промежуточным местом складирования отходов целого ряда технологических процессов, территориально разделено на три карты с проранами между смежными участками для перетока воды. Химический и минерально-структурный состав материала первой карты, как было сказано выше, в целом детально не исследовался, хотя проводилось опробование материалов, которые в неё направлялись. Во вторую и третью карты отдельно складировались отходы различного состава, и материалы этих карт имеют высокие содержания, соответственно, железа и угля. Соответственно, можно считать, что вторая и третья карты представляют собой полноценные ТМ и могут быть в настоящее время экономически эффективно вовлечены в разработку.

Первая секция Южного ТМ сформирована разнообразными по составу и структуре поступлениями отходов производства нескольких цехов. По ней нет достаточной информации, хотя по содержаниям полезных компонентов нельзя исключать перспективность переработки и её материала. С учётом значительной степени неопределённости химического и минерального состава, а также крупности складированного в карте материала отходов, необходимо выполнить соответствующую геологическую разведку. В случае предварительного выявления экономически привлекательной продукции, которую можно получить из материала карты, необходимо выявить закономерности локализации ценностей в карте.

Вторая секция Южного ТМ содержит в достаточно высоких концентрациях железо. По данной секции целесообразно выполнение следующих работ:

- полная (на всю площадь и глубину карты) геологическая разведка с определением качества ТС;
- определение бортового (минимально допустимого по условиям безубыточности) содержания железа в заскладированных отходах;
- оконтуривание в карте собственно ТМ железа;
- отделение предполагаемого к разработке карьерного поля от продолжающего эксплуатироваться золошламохранилища;
- подсчёт запасов железосодержащего сырья в карьере;
- технико-экономическое обоснование реализации проекта карьера;
- выполнение проекта освоения ТМ железа (проект карьера) со всеми необходимыми разрешениями и согласованиями;

- технико-экономическое обоснование реализации проекта карьера;
- третья карта Южного ТМ содержит значительное количество угля, который можно промышленно использовать.

По данной карте целесообразно выполнение следующих работ:

- полная (на всю площадь и глубину карты) геологическая разведка с определением качества ТС;
- поиск рациональной технологии обогащения (снижения зольности) материала карты;
- определение бортовой (максимально допустимой по условиям безубыточности) зольности угля в заскладированных отходах;
- оконтуривание в карте собственно ТМ угля товарного качества;
- отделение предполагаемого к разработке карьерного поля от продолжающегося эксплуатироваться золошламохранилища;
- подсчёт запасов угля в карьере;
- выполнение проекта освоения ТМ угля (проект карьера);
- технико-экономическое обоснование реализации проекта карьера.

Все три карты Южного ТМ согласно проектной технологии хранения заполнены водой, чтобы избежать пыления тонкозернистого материала и, соответственно, потерь ценного материала и загрязнения окружающей среды. Заполнение карт производится материалом, смешанным с водой, при использовании насосов и пульпопроводов.

Освоение данных ТМ целесообразно производить гидравлическим способом с помощью земснарядов, которые могут подавать ТС как непосредственно в процессы металлургической переработки после обезвоживания, так и на участок подготовки сырья, если это необходимо. Последний вариант, видимо, должен иметь место для подготовки запаса сырья к переработке в период отрицательных температур.

По мере вовлечения в переработку ценного сырья непосредственно из Южного ТМ земснаряды второй и третьей карт продолжают выемку и перекачку отходов, неперспективных для рециклинга, в золошламохранилище Северное. Основные потоки отходов к этому времени должны направляться сразу в Северное ТМ для отдельного складирования.

При этом каждая из выделенных секций для отдельного складирования железо- и угольсодержащих отходов должна быть разделена как минимум на две части. Одна часть заполняется текущими отходами, а вторая — разрабатывается в целях рециклинга. Режим работы участков каждой из секций — попеременный, поочередно происходит накопление отходов и их отправка на переработку.

К сожалению, в настоящее время складирование шламов не предполагает сортировку отходов по видам. Поэтому для целей рециклинга необходимо выполнить разведку обоих хранилищ и оконтурить зоны, представляющие собой ТМ. Для подсчёта объёмов заскладированных пригодных для рециклинга шламов необходимо провести определения их физико-механических свойств и химического состава по выделенным зонам (техногенным месторождениям).

Промышленную добычу шламов необходимо вести по соответствующему проекту, для которого необходимо предварительно составить регламент, подтверждённый соответствующими НИР. После проведения этих работ можно будет определить экономическую целесообразность разработки запасов сырья Северного ТМ.

Кроме того, необходимо провести заключительные изыскания в части выбора и подтверждения конкретными числовыми показателями (извлечение и выход полезных компонентов) технологий обогащения шламов (с выбором оборудования) и обоснования технологических схем разработки ТМ железа и угля.

Основы переработки и использования пылей и шламов. Технология подготовки шламов доменных газоочисток предусматривает обезвоживание осаждением в отстойниках, фильтрование в аппаратах различного типа и при необходимости термическую сушку. Особенностью шламов доменных газоочисток является повышенное содержание в них цинка. Вследствие этого при подготовке к использованию в качестве компонента доменной шихты необходимо проводить обесцинкование шламов, которое может проводиться как пиро-, так и гидрометаллургическими способами. При содержании в шламах цинка $> 12 \%$ они могут использоваться как сырьё для его получения. Шламы подбункерных помещений доменных печей похожи по химическому и гранулометрическому составам на шламы аглофабрик, поэтому в настоящее время единственным направлением утилизации этих шламов является использование их в качестве компонента аглошихты. В этом случае предусматриваются обычные стадии обезвоживания; желательно, чтобы этот материал, смешиваемый с другими компонентами аглошихты, имел зернистую структуру. Это улучшает окомкование аглошихты и приводит к увеличению газопроницаемости её слоя, что благотворно сказывается на производительности агломашины и качестве агломерата.

Обезвоживание шламов. Пыли металлургического производства обычно не требуют какой-либо предварительной подготовки перед утилизацией. Шламы необходимо подвергнуть обезвоживанию (сгущению, фильтрованию, сушке). Сгущение — процесс повышения концентрации твёрдой фазы в сгущаемом продукте (шламе, пульпе), протекающий под действием гравитационных и (или) центробежных сил. При сгущении шламов стремятся получить не только осадок достаточной плотности, но и возможно более чистый слив, что позволяет использовать последний в оборотном цикле и исключить потери твёрдого продукта. Поскольку количество воды в сгущаемом продукте составляет 30–60 %, то использовать такой обводнённый материал в качестве добавки к аглошихте или окомковывать его с целью получения окатышей практически невозможно. Поэтому сгущённый продукт необходимо профильтровать, для того чтобы содержание влаги в нём снизить до 8–10 %.

При фильтровании шламов происходит процесс разделения жидкого и твёрдого под действием разрежения или давления, сопровождающийся удалением влаги через пористую перегородку (обычно фильтровую ткань и частично осадок). На фильтрование обычно подают шламы, частицы которых имеют размер < 1 мм, так как обезвоживать такие дисперсные системы другими методами нецелесообразно из-за малой скорости удаления влаги и, как следствие, значительной влажности получаемого осадка. Процесс фильтрования зависит от многих факторов, основными из которых являются: содержание твёрдого в шламе, крупность твёрдой фазы, разность давлений по обе стороны фильтрующей перегородки и др.

Особенности технологии переработки доменных и сталеплавильных шламов. Следует сказать, что в настоящее время разработаны различные технологии комплексной переработки шламов (пылей); часть из них реализована в промышленном масштабе за рубежом. В России такие технологии

разрабатываются на уровне исследовательских работ и полупромышленных испытаний. Промышленного производства металлизированных окатышей из шламов (пыли) аглодоменного и сталеплавильного производств пока нет; эти материалы используются лишь как компоненты аглошихты. Разработана технология использования шламов доменного, мартеновского, конвертерного и частично электросталеплавильного производств на Челябинском металлургическом комбинате (ЧМК).

Отделение подготовки к утилизации железосодержащих шламов работает по следующей схеме: шламы из радиальных отстойников после сгущения до 600 г/л поступают в вакуум-фильтры, а после них (с влажностью 36 %) в сушильные барабаны; затем шламы с влажностью 10 % подаются на аглофабрику. Известно, однако, что использование шламов в качестве компонента аглошихты осложняется нестабильностью их химического и гранулометрического состава, что требует разработки технологии рекуперации этих материалов в каждом конкретном случае. Использование в аглошихте таких тонкодисперсных материалов, как шламы сталеплавильного производства, приводит к ухудшению газопроницаемости спекаемого слоя и вследствие этого к снижению производительности агломашины. Кроме того, увеличивается вынос весьма мелких частиц (размером < 10 мкм), которых в шламах содержится до 30–40 %, что значительно снижает эффективность работы газоочистных установок.

Использованию шламов препятствует высокое содержание в них цинка (в конверторных шламах его < 1 %, в остальных — 0.4–0.6 %), причём при кругообороте цинка в печи агломерат — доменная печь — шламы доменных газоочисток его количество в последних возрастает.

Институтом «Уралмеханобр» совместно с Карагандинским металлургическим комбинатом разработана новая технология утилизации железосодержащих шламов в аглопроизводстве. По существующей схеме шламы аглофабрик, подбункерных помещений доменных печей, тракта шихтоподачи дробильно-сортировочной фабрики сгущают и обезвоживают (крупнозернистую фракцию на ленточных, тонкозернистую — на дисковых вакуум-фильтрах). Обезвоженные продукты объединяют и подают в шихтовое отделение аглофабрики. По новой технологии шламы после двустадийного сгущения с содержанием твёрдого 40–50 % подают в распылённом виде в первичные смесители аглошихты вместо технической воды. В результате шлам достаточно равномерно распределяется в объёме аглошихты, а вся шихта увлажняется до необходимого уровня при значительном сокращении расхода технической воды.

На Орско-Халиловском металлургическом комбинате была разработана и опробована технология получения во вращающейся печи окускованного продукта из смеси доменного и мартеновского шламов. Длина барабана — 18 м, угол наклона — 2° . Шлам влажностью 30–70 % подавали в печь с помощью специальной форсунки, процесс спекания регулировали изменением скорости вращения печи, интенсивности подачи шлама и тепловой нагрузки.

Способ переработки пылей и шламов следует выбирать для каждого металлургического завода в соответствии с характеристиками образующихся отходов. В табл. 4.1 показаны особенности и разновидности этих способов.

Объёмы выделения пыли и газов при производстве чугуна приведены в табл. 4.2.

С точки зрения переработки пыли и шламов заслуживают особого внимания способы, которыми извлекают цинк, свинец, соединения щелочных металлов (классификация исходного материала в аппаратах типа гидроциклонов, получение хлорированных и металлизированных окатышей). Эти способы широко применяются в Японии, где в конце 1960-х — начале 1970-х гг. большое внимание было обращено на производство металлизированных окатышей с использованием угля в качестве восстановителя. Общим для этих процессов является использование вращающейся (трубчатой) печи для восстановительного обжига окатышей. Различаются процессы в основном технологией подготовки исходных материалов. В последние годы на таких установках вместе с вращающейся печью работает устройство типа аглоленты, на которой осуществляются сушка и предварительный нагрев окатышей теплом дыма, уходящего из трубчатой печи.

Таблица 4.1

Способы переработки шламов и пылей

Способ	Схема технологического процесса	Особенности и преимущества
Классификация в гидроциклоне	Отделение частиц, содержащих свинец и цинк, изготовление мини-окатышей — спекание на агломашине	Продукт после удаления 60–80 % цинка применяется как компонент аглошихты. В процессе агломерации используется углерод, содержащийся в пыли
Получение окатышей		
мини-окатышей	Обезвоживание — смешивание — окомкование — спекание на агломашине	Использование мини-окатышей предотвращает снижение газопроницаемости шихты при производстве агломерата
хлорированных неофлюсованных	Окислительный обжиг исходного материала — смешивание — окомкование — обжиг	Возможность использования пыли разного происхождения. Высокая степень очистки от цинка и других примесей
металлизированных	Обезвоживание — смешивание — окомкование — восстановительный обжиг — доменная (или электросталеплавильная) печь	Высокая степень очистки от цинка, свинца, соединений щелочных металлов. Снижение расхода кокса в доменной печи. Создание бескоксовой металлургии
безобжиговых	Обезвоживание — смешивание со связующим — окомкование — сушка — доменная печь или конвертер	Низкие капитальные затраты из-за отсутствия обжигового оборудования

Таблица 4.2

Объёмы выделений при выплавке чугуна

Объём печи, м ³	Производительность печи, т/сут	Количество примесей, кг/т чугуна		
		пыли	СО	SO ₂
1033	1720	0.7	1.1	0.165
1513	2520	0.6	0.95	0.15
2000	4350	0.5	0.85	0.13
2700	5500	0.4	0.7	0.115
5000	11500	0.4	0.7	0.11

Строительство таких установок довольно дорого, поэтому японской фирмой “RASA” был разработан альтернативный способ переработки пылей и шламов с большим содержанием цинка и других примесей — процесс RASA.

Особенности процесса RASA. Исследования фирмы «Син Ниппон» показали, что цинк в доменных шламах сосредоточивается в основном в наиболее тонкой фракции (около 20 мкм), железо сравнительно равномерно распределено во всех фракциях, а углерод концентрируется в наиболее крупных. На этой основе была разработана технология отделения наиболее тонкой фракции (содержащей соединения цинка) с помощью гидроциклона.

Сгущённый шлак направляется в вакуум-фильтры, затем в тарельчатый окомкователь для получения мини-окатышей (1–5 мм), которые далее поступают на агломашину. Слив гидроциклонов с содержанием твёрдого 2 % подают в отстойники, откуда через 3 ч шлак с концентрацией твёрдых частиц 9 % подается в фильтр-пресс, а осветлённая вода возвращается в первичный отстойник.

При содержании цинка на входе в гидроциклон 3–5 % в шламе, подаваемом на окомкование (а в дальнейшем на агломерацию), цинка содержится всего 1 %, в то время как в сливе гидроциклонов его содержание достигает 8–15 %. Поскольку в сгущённом продукте, а следовательно, и в мини-окатышах, содержится довольно много углерода, удельный расход кокса при агломерации удается снизить до 2 кг/т чугуна, а количество цинка, поступающего в доменную печь с агломератом, составляет 0.2 кг/т чугуна.

В процессе RASA используется специальный агрегат, с помощью которого с твёрдых частиц снимается (обдирается) поверхностный слой, содержащий соединения цинка. Проектная производительность одной установки составляет 120 тыс. т в год (по исходному сырью). Капитальные и эксплуатационные затраты на строительство установки, работающей по этому процессу, в 10–15 раз ниже затрат в случае использования, например, способа СЛ/РН.

Технологический процесс СЛ/РН. Так называемый СЛ/РН процесс — Stelco-Lurgi/Republic Steel-National Lead (SL/RN) — это процесс с широким использованием прямого восстановления железа — Direct Reduced Iron (DRI) — с помощью угля во вращающихся печах.

Процесс СЛ/РН возник на основе процессов РН и СЛ и представляет собой их усовершенствованную модификацию.

Процесс РН получил своё название по первым буквам наименований разработавших его фирм — «Рипаблик Стил» и «Нейшнл Лед» (США). Способ РН был разработан главным образом для переработки бедных труднообогатимых железных и комплексных руд с обогащением их после восстановления. В процессе используются руда крупностью 12–25 мм, флюс и твёрдый восстановитель крупностью < 3 мм. Печь отапливается газообразным или жидким топливом. Расход восстановителя составляет 50 %, а флюса — 5–7 % от массы руды. Топливо подается в печь через центральную горелку (форсунку), а воздух — с помощью фурм, установленных на кожухе печи. Количество рециркулируемого восстановителя составляет 60–75 %. При степени металлизации около 95 % извлечение железа в концентрат находится на уровне 90 %.

Способ РН позволяет удалять до 95 % серы и часть фосфора шихты. При использовании шихтовых материалов с повышенным содержанием этих элементов можно получать богатый концентрат, содержащий не более 0.05 % S и 0.07 % P. Заметное удаление фосфора возможно, по-видимому, в тех случаях, когда он связан с минералами пустой породы, удаляемой при обогащении.

Процесс РН был отработан на вращающейся печи длиной 45.7 и диаметром 2.74 м производительностью около 175 т/сут по руде. На 1 т губчатого железа в среднем расходовали 370 кг коксовой мелочи, 80 кг доломита, 290 м³ природного газа и 350 кВт.ч электроэнергии. Суммарный расход тепла примерно 5 млн ккал/т железа, в том числе 2.5–3 млн ккал (50–60 %) за счёт твёрдого топлива, остальное — за счёт газообразного или жидкого топлива.

Способ СЛ разработан для получения губчатого железа из богатых железорудных окатышей. Отличие процесса СЛ от процесса РН заключается в способе отопления печи. В процессе СЛ сжигание газа осуществляется в горелках, расположенных на кожухе печи со смещением друг относительно друга. С помощью центральной горелки в разгрузочном конце печи поддерживается слабовосстановительная или нейтральная атмосфера во избежание окисления губки. Другим различием процессов является способ извлечения губчатого железа: в процессе СЛ губка отделяется только от флюса и восстановителя.

В процессе используются окатыши крупностью 6–16 мм, флюс и антрацит крупностью 0.8–3.2 мм.

Процесс СЛ получил название по первым буквам наименований разработавших его фирм — «Стил Ко оф Кэнэда» (Канада) и «Лурги» (ФРГ).

Степень металлизации губчатого железа зависит от количества избыточного углерода и обычно превышает 95 %. Содержание серы в губке увеличивается с уменьшением её крупности, что, вероятно, является результатом ухудшения условий отделения мелкого губчатого железа от сернистых немагнитных материалов при сепарации, а также объясняется более высокой удельной поверхностью мелких частиц, что способствует большему поглощению ими серы. Поглощение серы флюсом возрастает при уменьшении размера его частиц:

Крупность доломита, мм	2.5	1.25	0.64.
Содержание серы, %	2.5	3.2	5.12.

Минимально необходимый расход флюса для получения губчатого железа с содержанием не более 0.025 % S составляет 13–15 кг на 1 т окатышей. Процесс СЛ был отработан на печи длиной 35 м и внутренним диаметром 2.3 м с футеровкой толщиной 216 мм и двумя подпорными кольцами, разделяющими печь на три зоны. На корпусе печи установлены 10 горелок, каждая из которых смещена относительно соседней на 72 °. Производительность печи — 55–95 т губчатого железа в сутки.

На 1 т металлического железа расходовали 1.58 т окатышей (66.7 % Ре), 480 кг антрацита (80.9 % С, 10.4 % влаги), 46 кг доломита и 107 м³ природного газа. Количество немагнитных продуктов, выделяемых при сепарации, составляет 284 кг на 1 т металлического железа, в том числе 214 кг углерода. Вынос пыли равен 1.25 кг; количество отходящих газов — 3110 м³ на 1 т металлического железа. Скорость газов на выходе из печи составляет 2–3 м/сек. Особенностью процесса СЛ/РН является возможность использования любых видов руды, угля и газообразного или жидкого топлива, а также применения сырых окатышей без предварительного упрочняющего обжига.

Крупность руды обычно составляет 5–20 мм, окатышей — 10–15 мм, флюса — 0.1–1.0 мм. Предпочтительная крупность угля < 10 мм. С технологической точки зрения содержание серы и золы в угле не лимитируется. Однако экономически целесообразнее применять угли

с пониженным содержанием золы и серы (содержание серы до 1 %). Наиболее подходящими восстановителями являются бурые угли и лигниты. Так, вдувание в печь угля с высоким содержанием летучих с распределением его по поверхности шихты позволило увеличить удельную производительность опытной печи до 2.4 т/(м³ сут) при достижении степени металлизации 98 %.

Технологические особенности процесса переработки шламов компанией “Progres Ekotech”. Помимо японской компании “Rasa Corporation”, занимающейся переработкой преимущественно металлургических шлаков, в области переработки мелкоразмерных шламов можно выделить чешскую компанию “Progres Ekotech, s. r. o.” [139], которая владеет оригинальным запатентованным технологическим решением по вовлечению в эксплуатацию подобных ТМ.

Компания разработала способ получения брикетов главным образом из материалов, получаемых при металлургических процессах в качестве побочного продукта или в виде отходов, шлама и пыли. Брикеты спрессовываются и используются в виде добавки в обычный металлургический процесс. Таким образом, имеется возможность эффективного и полного использования элементов, присутствующих в этих материалах, особенно ферритсодержащих веществ.

Химический состав брикетов-добавок, в том числе содержание ферритовых веществ, как правило, определяется заказчиком, который поставляет материал для производства брикетов. Тем не менее эти поставки должны соответствовать технологии производства брикетов, что означает необходимость добавлять определённое количество вяжущего или также металлургического кокса. Количество ферритовых веществ может быть увеличено путём добавления, например, окалины, стружки стали или чугуна и других подобных ферритовых материалов. Это также приводит к улучшению физико-химических свойств брикетов.

Компания “Progres Ekotech” также делает брикеты из мелочи антрацита или кокса или сочетая оба этих материала в любых соотношениях, определяемых заказчиком. Эти брикеты служат для использования по-иному не поддающихся переработке тонкодисперсных частиц, которые образуются при грубозернистом дроблении кокса. Мелкие частицы могут составлять около 10 % от всего количества загрузки. Брикеты, сделанные таким образом, снижают потребление кускового кокса и позволяют вернуть весь приобретённый заказчиком кокс в металлургический процесс. Брикеты из кокса испытывались в течение длительного времени, они достигают калорийности 25 МДж/кг.

По желанию заказчика (металлургии) можно делать однородные брикеты, которые будут изготавливаться из металлической пыли и/или шлама, мелочи кокса и далее, например, из мелких стальных стружек или отходов шлифования в машиностроении и вяжущего.

Помимо упомянутого выше сырья брикеты-добавки могут быть также сделаны, например, из мелочи или пыли известняка, графита и антрацита, из мелкого обожжённого нефтяного кокса, из пыли и мелких фракций бокситов, материалов футеровки конвертеров и сварочного шлака и т. п. с целью найти практическое применение для них в металлургическом процессе.

Химически нейтральное вещество используется в качестве вяжущего для металлургической промышленности. Это вещество, его действие, а также производство брикетов запатентованы. Фотографии на рис. 4.4 представляют собой основу освоенного промышленного производства. Брикеты уже подвергались металлургическому переделу без каких-либо негативных эффектов. Их качество и эффективность доказано тем фактом, что клиенты запрашивают их неоднократно.

		
а) металлургическая металлическая пыль	б) металлургические шламы и пыль	в) окалина, отходы шлифования, обточки и иной металлообработки
		
г) мелочь кокса и чугунная стружка	д) бокситовый песок и частицы размером от 0 до 0.5 мм	е) металлургический металлический шламы, уловленный в виде пыли кислородных конвертеров
		
ж) доменный шламы, коксовая пыль, окалина и др.	з) мелкий кокс фракции 0–40 мм	и) мелкий кокс фракции 0–40 мм, антрацит — 0–20 мм

Рис. 4.4. Брикетты, подготовленные к металлургической переработке по технологии компании “Progres Ekotech”

В России также имеются многие примеры успешной реализации концепции отработки ТМ. Один из примеров — завод в г. Тюмень, открывшийся летом 2014 г. Из твёрдых шламов титаномагниевого производства предполагается получать около 800 т магнезиально-карналлитового вяжущего вещества. Сырьё для нового производства поставляется из Пермской области и Казахстана. Первые партии закуплены на «ВСМПО-Ависма» и Соликамском титаномагниевого комбинате, где скопились значительные объёмы шламов (сами компании их переработкой не занимаются). Технология для нового производства разработана в сотрудничестве с ТюмГАСУ [90].

На Челябинском цинковом заводе активно внедряется процесс извлечения цинка из электропечных пылей «Северстали»: содержание металла в них вчетверо выше, чем в руде (15–16 %). Минобрнауки РФ также приняло

решение о выделении 150 млн руб. на проект по переработке «красных шламов» компании «Русал» (весь проект — около 600 млн руб.) [90].

Следует отметить, что по широкому ряду минеральных отходов пока не существует реализованных технологий их эффективной переработки, особенно это актуально для значительных по объёмам вышеупомянутых красных шламов, получающихся при выплавке алюминия [140]. В результате работы алюминиевых заводов, использующих процесс Байера, образуются отходы (красные шламы), состоящие в основном из оксидов железа, алюминия, титана и других металлов. Эти отходы являются тонкоизмельчёнными, содержащими большое количество как ценных компонентов, так и концентрированной едкой щёлочи, что негативно сказывается на окружающей среде. Для использования красных шламов необходимо удалить из них едкую щёлочь. С этой целью применяются процессы сгущения и фильтрования, которые показали, что обезвоживание красного шлама является неотъемлемой частью его эффективной переработки и характеризуется сложной зависимостью показателей от условий осуществления процесса. При этом фильтрация под давлением позволяет получать осадки с влажностью до 32.8 % при температуре около 20 °С.

За последние десять лет из защищённых по проблеме ТМ диссертаций можно отметить работу [141], посвящённую утилизации цинк-железосодержащих шламов, являющихся отходами горно-перерабатывающих предприятий.

При большинстве углеобогащительных фабрик в РФ сформированы хранилища отходов, представленных мелкогабаритными нетоварными шламами. В настоящее время разработаны технологии утилизации таких шламохранилищ, позволяющие использовать их материал в качестве сырья для производства окомкованного угольного топлива. В проводимых сейчас в Кузбассе опытно-промышленных испытаниях в качестве сырья используются каменноугольный шлам, бурый уголь, торф, лигнит, древесный уголь. Товарным продуктом являются топливные стержни [142].

Золошлаковые отходы. Отдельной разновидностью ТМ являются золошлаковые отходы (ЗШО) теплоэлектростанций.

В развитых странах, например в Германии и Дании, в производстве строительных материалов используется до 100 % годового выхода ЗШО [143]. В Германии в настоящее время законодательно запрещено иметь золошлакоотвалы. В КНР, США, Великобритании и Польше утилизируется 50–70 % годового выхода ЗШО. В Индии объём утилизации годового выхода золы увеличен с 30 до 53 %. В РФ накоплено 1.5 млрд т ЗШО, ежегодно используется не более 8 % выхода.

По другим данным, правда, не менее печальным, годовой выход ЗШО в России в 2014 г. составил около 22 млн т, использовано, переработано или передано для использования сторонним потребителям около 3.7 млн т (16 %). В России отсутствуют веские стимулы, которые бы вынуждали энергетиков заниматься проблематикой реализации золы. Так, в европейских странах либо вообще запрещены золоотвалы угольных электростанций, либо штраф за каждую направленную на золоотвал тонну золы составляет от 60 (Финляндия) до 248 евро в Чехии. В России этот штраф составляет 5–16 руб. за 1 т (0.1–0.3 евро). Кроме того, имеется возможность включить в себестоимость электроэнергии затраты на золоудаление [144].

Основная причина такой ситуации в России — бедственное состояние отечественной науки, не имеющей финансирования для привлечения специалистов, способных решать жизненно важные проблемы страны, и обеспечения соответствующих исследований.

Специалистами Самарского государственного экономического университета разработан способ использования отходов топливно-энергетической промышленности с повышенным содержанием углерода, который целесообразно применять не только в качестве отощителя, но и в качестве выгорающей добавки в производстве теплоизоляционных материалов. Производство и потребление теплоизоляционных материалов в России гораздо меньше, чем в странах Европы и Северной Америке, несмотря на то что там во многих странах климат мягче. Использование отходов топливно-энергетической промышленности с повышенным содержанием несгоревших частиц позволяет получить легковесный керамический материал с низкой теплопроводностью, а конкретно — легковесный кирпич [111].

Специалисты НИТУ МИСиС разработали оригинальный способ безотходного сжигания ископаемого топлива и утилизации уже накопленных ЗШО. В статье [145] предлагается перерабатывать ЗШО в реакторах типа печи Ванюкова или Ромелт. Предложенная технология может быть использована для прямого сжигания твёрдого топлива на ТЭС в качестве топки с жидким шлакоудалением, минеральная часть топлива сразу может быть модифицирована для производства изделий для строительства без образования ЗШО и организации для них специальных хранилищ.

При работе электростанций на минеральном топливе на ТЭЦ отходы образуются не только в виде золы от непосредственного сжигания угля, но и в результате улавливания золы уноса, которая содержит в качестве полезных компонентов как недожжённый уголь, так и неуглеродные частицы, которые могут использоваться в строительстве в качестве вяжущих. Целый ряд публикаций предлагает пути переработки таких хранилищ как сухим, так и влажным способами [146–149].

Одним из путей переработки ЗШО является применение технологии приготовления и сжигания суспензионного водоугольного топлива, создаваемого из отходов обогащения и сжигания угля, она позволяет с наименьшими нагрузками на окружающую среду использовать накопленные отходы углеобогащения. При этом обеспечиваются высокие технико-экономические показатели (снижение стоимости единицы тепловой энергии в 1.5–2 раза) путём замены рядового угля на новое топливо, приготовленное из отходов углеобогащения. Применение данной технологии с использованием серопоглощающих агентов позволяет снизить выбросы сернистого ангидрида до предельно допустимых значений при сжигании высокосернистых углей (при содержании серы в угле до 5 %). Также данная эффективная технология использования ЗШО угольных котельных и ТЭЦ путём предварительного приготовления позволяет получать дешёвую твердеющую смесь для закладки выработанного пространства шахт и рудников [150].

Золошлаковые отходы могут применяться и как выгорающие добавки для производства теплоизоляционных материалов [151].

В Долгосрочной программе развития угольной промышленности России на период до 2030 г. намечено опережающее развитие угольной тепло-электрогенерации в России. Для реализации программы произведена систематизация информации о негативном воздействии микроэлементов, содержащихся в углях и ЗШО угольных ТЭС, на окружающую среду и здоровье

населения. Для снижения негативного воздействия микроэлементов рекомендован хорошо организованный контроль за содержанием микроэлементов в углях и золошлаковых отходах ТЭС. Однако в данной программе по-прежнему не ставится цель ликвидации ЗШО на перспективу в 15 лет [152].

Пока в России отсутствуют реализованные технологии безотходного сжигания минерального топлива и складирование отходов продолжается с увеличением объёмов золошлакоотвалов. Вопрос снижения объёмов накопленной золы пока не переходит в практическую плоскость, демонстрируя технологическую отсталость нашей страны.

Шлаки. Существуют и другие примеры успешной переработки вторичного сырья — обогатительная фабрика Среднеуральского медеплавильного завода в значительной степени использует специально подготовленные шлаки; аналогичная ситуация на фабрике Карабашмеди; практически полностью переработаны шлаковые отвалы на Магнитогорском металлургическом комбинате и Северском трубном заводе.

Изучение шлакоотвалов Норильского никелевого завода показало наличие в них разнообразной медно-никелевой и благороднометалльной минерализации [113]. По содержаниям полезных компонентов и количеству шлакоотвалы являются техногенными полиметаллическими месторождениями. Изученные шлаки неоднородны по строению и минерализации; неоднородность связана с условиями образования (скорость охлаждения, количество летучих компонентов), что потребует учёта при вовлечении шлаков в отработку. В составе шлаков установлены около 30 минералов. Использование полученной информации предполагается для проведения ревизионных работ, направленных на повторную переработку шлакоотвалов. Имеется опыт проведения исследований и по переработке шлаков других заводов [153, 154].

4.4. Направления использования крупноструктурного техногенного минерального сырья

При добыче полезных ископаемых, особенно при открытом способе разработки, образуются большие объёмы минеральных отходов в виде отвалов вскрышных пород и складов попутных и/или забалансовых полезных ископаемых, подлежащих переработке в будущем. Оба этих вида сырья представлены преимущественно крупными отдельностями скальных или полускальных пород. Пока не представляющие товарной ценности горные породы, тем не менее, имеет смысл не сбрасывать со счетов в связи с надеждой на технический прогресс. Достижение и повышение эффективности сохранения и использования запасов МС может быть достигнуто по ряду направлений [155].

1. Доказана эффективность циклично-поточной технологии разработки, в том числе вскрышных пород. При этой технологии исходный продукт дробится до крупности -350–400 мм. Считаем целесообразным вместе с вскрышными породами из карьера конвейером поднимать по возможности в полном объёме забалансовые полезные ископаемые.

Известным является факт тяготения некоторых полезных компонентов к определённым фракциям крупности продукта. Например, оловянные, молибденовые и апатитовые и ряд других руд характеризуются способностью перехода полезных компонентов в мелкие фракции при дроблении. Таким образом, некондиционные полезные ископаемые, вывозимые из карьера автомобильно-конвейерным транспортом, можно додрабливать до необходимой

крупности и классифицировать на грохотах с получением если не полноценного полезного ископаемого, то хотя бы промпродукта с повышенным содержанием полезного компонента. Полученный продукт в связи с его относительно небольшим объёмом можно транспортировать для складирования вблизи будущего места переработки. Крупную же фракцию классификации можно размещать уже с учётом весьма далёкой перспективы вовлечения в разработку.

2. Также известен эффект сегрегации по крупности кусков отсыпаемых пород по высоте отвала или склада. При складировании горной массы в насыпи крупные фракции скатываются к основанию, а мелкие остаются в верхней его части. Многие полезные ископаемые, как уже упоминалось выше, имеют очевидную анизотропию содержания полезных компонентов во фракциях различной крупности. Следует в каждом случае изучать возможность первоочередной отработки именно верхних частей сформированных отвалов или складов как потенциально более богатых по содержанию полезных компонентов.

К сожалению, пока данные способы подготовки МС к перспективному использованию применения не находят.

3. Большой интерес представляет оценка изменения во времени качества заскладированных отходов горного и перерабатывающего производств. Известно, что отходы подвергаются выветриванию, и при этом возможно вымывание из них полезных или вредных компонентов, причём и те и другие оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду. При вымывании вредных компонентов требуется оценка интенсивности «естественного» обогащения и применение мер по его ускорению наряду с организацией перехвата стока токсичных и вредных растворов и их последующей нейтрализации. В случае вымывания полезных компонентов следует предусмотреть защиту от выветривания либо также организовать перехват растворов и выделение из них полезных компонентов.

Расходы по селективной выемке, разделению грузопотоков и складированию забалансовых полезных ископаемых ложатся на себестоимость продукции предприятий, что лишает их заинтересованности в рациональном использовании недр. Необходимо создать условия, чтобы дополнительные природоохранные мероприятия имели законную основу.

В работе [156] рассмотрена проблема, заключающаяся в низком уровне развития переработки отходов в связи с отсутствием инвестиций и слабой привлекательностью сферы техногенных минеральных объектов (ТМО). Для оценки инвестиционной привлекательности ТМО предлагается использовать показатель вероятностной стоимости бизнеса, связанный с освоением данных техногенных минеральных ресурсов, который учитывает рисковую составляющую при принятии инвестиционных решений. Использование механизма государственно-частного партнёрства позволяет перераспределить риски между сторонами, участвующими в процессе обращения с отходами, с позиций эффективного управления ими.

За исключением возможности предварительного обогащения железосодержащих руд методом сухой магнитной сепарации, технологии подготовки к использованию всех остальных полезных ископаемых предусматривают обязательное дробление, грохочение и измельчение материала. Соответственно, для разработки месторождения применяется традиционная технология ведения открытых горных работ. Транспортирование крупнокусковых пород на переработку в большинстве случаев производится карьерными автосамосвалами.

Для условий отвальных крупнокусковых техногенных образований золоторудного месторождения Мурунтау (Республика Узбекистан) предлагается решение актуальной проблемы вовлечения в переработку низкосортного МС посредством раздельной экскавации резервных отвалов. Экономически обоснованы способы определения пороговых значений содержания золота для разделения крупнотоннажных порций экскавации по сортовым планам и разрезам (объёмным геологическим моделям в геометрии 3D) на три продукта: гарантированные отходы, спецпоруду и низкосортную руду (рис. 4.5) [157].

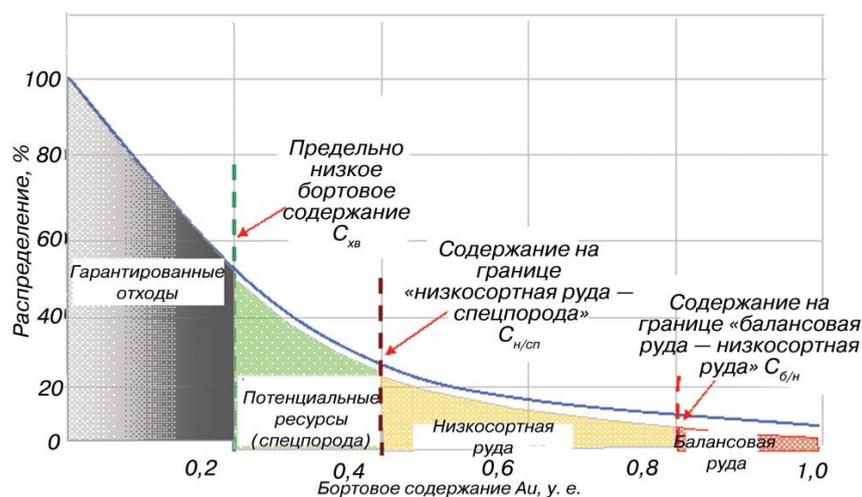


Рис. 4.5. Распределение продуктов разделения вскрышных пород по потребительским свойствам в зависимости от бортового содержания

Имеются и иные разработки, ориентированные на добычу первично отработанных крупнокусковых техногенных россыпей драгоценных металлов [158, 159]. В первой публикации рассмотрена эффективная методика переработки галеефельных отвалов, образованных при добыче и обогащении золотосодержащих россыпей. Разработана гравитационно-гидрометаллургическая схема переработки техногенного золотосодержащего сырья. Во второй рассказано о методике разведки и оценки техногенного комплекса на россыпи платиноидов.

Можно отметить многочисленные попытки вовлечения в разработку такого специфического вида сырья, как забалансовые руды, с получением конечного продукта, удовлетворяющего или внутренним требованиям горного предприятия с возможностью переработки по существующей схеме полученного промпродукта или запросам внешнего потребителя. В качестве объекта исследования использовались медно-молибденовые руды двух месторождений — Эрдэнэтийн-Овоо (Монголия) и Кальмакыр (Узбекистан), поскольку часть извлекаемых компонентов, прежде всего медьсодержащие минералы, склонна к окислению, а молибденит, напротив, весьма устойчив к экзогенным процессам. Сопоставимость содержаний извлекаемых металлов в рудах текущей добычи и техногенном сырье позволяет рассматривать последнее как перспективный резерв. На примере медно-молибденовых руд двух месторождений рассмотрены способы

подготовки к переработке заскладированных забалансовых руд. В качестве первоосновы предлагается осуществлять минералого-технологическую оценку техногенных отложений, на основе которой формируются технологическая схема и реагентный режим. Предложены варианты технологии переработки двух различных типов забалансовых руд. Подход может быть распространён на другие предприятия отрасли [160].

Для АО «ППГХО» разработаны схемы переработки некондиционных урановых руд месторождений Стрельцовского рудного поля с предварительным выделением беднобалансовых руд на основе учёта влияния крупности куска руды на степень извлечения металла. Экономический эффект в 2013–2015 гг. составил более 500 млн руб. Дополнительно разработан способ утилизации хвостов рудосортировки, представляющих собой пустую породу с содержанием металла не более 0.01 %. По итогам 2014–2015 гг. получено 3 800 м³ щебня [161].

На примере, показывающем целесообразность включения в схему переработки бедных забалансовых шеелитовых руд и сырья карьерных отвалов, путём предварительного обогащения методом рентгенометрической сепарации на месторождении Скрытое и отвалах Приморского ГОКа были получены концентраты, содержащие 65–68 % WO₃ при извлечении 84–86 %, а также были разработаны сопутствующие технологии горных работ по перемещению сырья [162–165].

В проблему подготовки ТМ к освоению проникают новейшие технологии их оценки, например с помощью беспилотных летательных аппаратов [166].

Следует констатировать весьма малое количество опубликованных работ, посвящённых именно вопросам оптимизации отработки крупнокусковых ТМ, ещё меньше публикаций ориентировано на тему целесообразного их формирования с позиций последующего вовлечения в отработку [167–171].

В ряду академических институтов страны можно отметить организации, весьма активно занимающиеся проблемами ТМ. Например, Институт проблем комплексного освоения недр и Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН [172]. Надо сказать, что одним из наиболее продвинутых в научном плане институтов России, успешно занимающимся теорией и практикой формирования и освоения ТМ, является Горный институт Кольского научного центра РАН [173–175]. Горный институт имеет сформированный и регулярно пополняемый банк данных по ТМ минерального сырья Мурманской области, сформулированные теории эффективного образования, сохранения и отработки ТМ и крупные успехи в практической реализации разработанных теоретических положений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие технического прогресса в настоящий период времени немислимо без использования в производстве минеральных ресурсов. Поскольку потребности человечества в материалах и энергии на 75–80 % удовлетворяются за счёт минеральных ресурсов, продолжается интенсивный рост добычи полезных ископаемых. В силу объективных обстоятельств получение МС сопровождается накоплением промышленных отходов, большая часть которых имеет минеральный состав и содержит полезные компоненты, сопутствующие основному извлекаемому, но на данном этапе по тем или иным причинам остающиеся невостребованными. По мере развития технического прогресса часть таких минеральных отходов может стать пригодной для использования, поэтому в настоящее время их принято называть техногенным сырьём, а места размещения ТС — техногенными месторождениями.

Техногенное сырьё по своему значению можно назвать стратегическим резервом промышленности государства. Используя ТС, мы сохраняем природные месторождения для будущего, сохраняя ТС, мы создаём потенциальную базу для расширения производства в необходимое время и с меньшими затратами. В любом случае ТС должно сохраняться с учётом его возможного извлечения и последующего использования, а не считаться отходом, требующим утилизации и изолирования.

В Мурманской области к 2015 г. накоплено около 9 млрд т ТС, представленного породами вскрыши и проходки, попутными и забалансовыми рудами в складах, хвостами обогащения, шлаками металлургического производства и золами ТЭЦ, которые размещены в 43 техногенных месторождениях, находящихся на территориях девяти горноперерабатывающих предприятий.

Горный институт Кольского научного центра РАН с 1986 г. по ряду постановлений Правительства СССР и РФ проводит мониторинг и исследования по проблеме освоения ТМ Мурманской области.

На 2017 г. получены следующие основные результаты.

1. Проведен кадастровый учёт и исследованы возможности освоения техногенного минерального сырья и техногенных месторождений области.
2. На основе кадастра разработан, создан, пополняется и совершенствуется Банк данных техногенных месторождений области.
3. Разработаны исходные данные и параметры технологии отработки лежалых хвостов обогащения первого поля хвостохранилища Ковдорского ГОКа, которые были реализованы институтом Гипроруда в проекте карьера по добыче хвостов.
4. Проведен анализ опыта эксплуатации первого поля хвостохранилища АО «Ковдорского ГОК» и выявлены сложности такого опыта при отработке открытыми горными работами техногенных месторождений мелкодисперсного ТС.
5. Проведены натурные испытания физико-механических свойств мелкодисперсного ТС на хвостохранилищах АО «Ковдорский ГОК», АО «Апатит», на золошлакоотвалах Апатитской ТЭЦ, на карьерах по добыче строительных песков. Показатели свойств использовались для расчётов параметров технологических процессов добычи сырья.

6. Выполнены предпроектные расчёты по границам карьеров и технологиям разработки второго поля хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК», хвостохранилища АНОФ-2 АО «Апатит», золошлакоотвала Апатитской ТЭЦ.

7. Разработаны принципы проектирования границ и производительности карьеров, технологии отработки и способов эффективного формирования ТМ с учётом их дальнейшей эксплуатации и экологических особенностей районов Крайнего Севера.

8. С 1971 г. Горный институт проводит мониторинг и исследования по совершенствованию безопасной технологии отвалообразования в сложных орографических и гляциоклиматических условиях Севера и Заполярья. А с 1986 г. проводит исследования и решает задачи, связанные с разработкой и формированием отвалов уже как ТМ в тех же условиях.

9. Разработаны критерии и параметры безопасного управления отвалами в нагорных условиях для их безаварийной эксплуатации.

10. Разработаны принципы и критерии размещения и конструкции породных отвалов для формирования их как ТМ со снижением негативного влияния на окружающую среду и с учётом возможной отработки в будущем.

11. Исследована возможность и необходимость рекультивации породных отвалов в условиях Севера и Заполярья и влияние будущей рекультивации на технологию отвалообразования.

Российскими учёными накоплен ценный опыт как теоретического обоснования рациональных путей освоения техногенных месторождений, так и практической реализации научных разработок, в том числе в крупных промышленных масштабах, в частности опыт успешного освоения ТМ, сформированных при эксплуатации комплексного Ковдорского месторождения бадделеит-apatит-магнетитовых руд.

Несмотря на значительное количество публикаций о технических возможностях переработки сырья техногенных месторождений в полезные продукты, случаи практической реализации разработок в этой области можно считать единичными.

Определённые сложности в решении проблемы ТМ вносит и несовершенное российское законодательство о недрах, не стимулирующее в должной степени полноту извлечения запасов природных месторождений, безотходность или малоотходность горного и перерабатывающих производств, разработку и использование накопленного ТС и формирование ТМ с необходимыми свойствами и параметрами.

Помимо совершенствования законодательства о недрах успешному решению проблемы освоения минеральных ресурсов техногенных месторождений способствовала бы разработка соответствующей долгосрочной целевой государственной программы, предусматривающей решение следующих задач:

а) разработка и составление кадастра существующих ТМ по горнодобывающим регионам страны;

б) оценка перспектив и резервов расширения минерально-сырьевой базы страны за счёт вовлечения в эксплуатацию ТМ;

в) выявление и оценка эффективности и целесообразности вовлечения конкретных ТМ в разработку для расширения минерально-сырьевой базы страны в настоящее время;

г) разведка первоочередных для эксплуатации ТМ с постановкой на баланс объемов содержащегося в них ТС и полезных компонентов;

д) изучение технологических особенностей разработки ТМ, полноты извлечения ТС и необходимости создания специальных видов техники для горных работ;

е) разработка новейших отечественных промышленных технологий и оборудования для комплексного извлечения полезных компонентов из ТС;

ж) разработка принципов, конструкций и технологий формирования ТМ для размещения и сохранения ТС с возможностью последующего оперативного извлечения;

з) мониторинг многофакторного влияния на окружающую среду освоения ТМ и сохранения ТС;

и) разработка нормативной документации по рациональному формированию и эксплуатации ТМ.

В завершение данной работы хотелось бы отметить многообразие технических, экономических, экологических и правовых сложностей в проблеме освоения и формирования ТМ. Основная доля этих сложностей появилась и продолжает сказываться только из-за долгого непризнания минеральных отходов горно-перерабатывающих предприятий минеральным сырьём. И даже при таком условии освоение техногенного МС оказывается рентабельным.

Это пример того, как важно решать такие масштабные проблемы, как использование отходов комплексно и до исчерпывающего завершения. Чтобы, говоря образно, не пришлось потомкам «собирать пустые бочки по всей Арктике»!

ЛИТЕРАТУРА

1. Ласкорин Б. Н., Бирский Л. А., Персиц В. З. Безотходная технология переработки минерального сырья // Системный анализ. М.: Недра, 1984. 334 с.
2. Мельников Н. В. Проблемы комплексного использования минерального сырья // Горная наука и рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов. М.: Наука, 1978. С. 14–28.
3. Агошков М. И. Развитие идей и практики комплексного освоения недр // Горный журнал. 1984. № 3. С. 2–6.
4. Мельников Н. В. Научные проблемы рационального использования минеральных ресурсов СССР. М.: Наука, 1969. 365 с.
5. Мельников Н. В. Комплексное использование месторождений полезных ископаемых // Научные основы оптимизации использования месторождений полезных ископаемых и охраны недр. М.: ЦЭМИ АН СССР, 1977. С. 34–54.
6. Материалы XXVII съезда КПСС. М.: Политиздат, 1986. 352 с.
7. Трубецкой К. Н., Уманец В. Н., Никитин М. Б. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // Горн. журн. 1989. № 12. С. 6–9.
8. Гуменик И. Л., Матвеев А. С., Панасенко А. И. Классификация техногенных формирований при открытых горных работах // Горн. журн. 1988. № 12. С. 53–54.
9. Секисов Г. В. Техногенные месторождения полезных ископаемых: препринт. М.: ИПКОН АН СССР, 1988. 13 с.
10. Элементы методологического подхода к вопросу освоения техногенных месторождений / Н. Н. Мельников, Э. Б. Красносельский, А. В. Архипов, С. П. Решетняк // Комплексная разработка рудных месторождений и вопросы геомеханики в сложных и особо сложных условиях. Апатиты: ГоИ КНЦ РАН, 1995. С. 71–79.
11. Архипов А. В., Земцовская Е. В. Создание базы данных техногенных месторождений Мурманской области и их мониторинг // Мониторинг природных и техногенных процессов при ведении горных работ: сб. докл. всерос. науч.-технич. конф. с междунар. участием (24–27 сентября 2013) / Российская академия наук, Отделение наук о Земле РАН, Горный институт КНЦ РАН. Апатиты; СПб., 2013. С. 331–335.
12. Горная энциклопедия. М.: Советская Энциклопедия, 1986. Т. 2. 575 с.
13. Кириченко Ю. В., Зайцев М. П., Кравченко А. Н. Инженерно-геологические особенности формирования хвостохранилищ // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2006. № 7. С. 116–124.
14. Кибирев В. И., Райлян Г. А., Сазонов Г. Т. Гидравлическое складирование хвостов обогащения: справочник. М.: Недра, 1991. 207 с.
15. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: приказ Ростехнадзора от 11.12.2013 г. № 599; зарегистр. в Минюсте России 02.07.2014 г. № 32935. М., 2014. 116 с.
16. Трубецкой К. Н., Уманец В. Н., Никитин М. Б. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // Горн. журн. 1989. № 12. С. 6–9.

17. Технические аспекты разработки техногенных месторождений на базе шламохранилищ / А. Г. Шапарь, П. И. Копач, Л. В. Якубенко и др. // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2006. № 9. С. 259–267.
18. Якубенко Л. В., Гулямов Б. С. Систематизация технологических схем открытой разработки техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2008. № 5. С. 254–261.
19. Чернегов Ю. А. Методы изучения и освоения техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2009. № 3. С. 371–375.
20. Селезнёв С. Г., Степанов Н. А. Отвалы Аллареченского сульфидного медно-никелевого месторождения как новый геолого-промышленный тип техногенных месторождений // Изв. вузов. Горн. журн. 2011. № 5. С. 32–40.
21. Месяц С. П., Петров А. А. Информационное обеспечение поддержки принятия решений при разработке и оптимизации технологий сохранения и освоения складированного минерального сырья техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 5. С. 181–187.
22. Холодняков Г. А., Аргимбаев К. Р., Иконников Д. А. Определение физико-механических свойств хвостов железосодержащих хвостохранилищ // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2009. № 5. С. 82–84.
23. Холодняков Г. А., Аргимбаев К. Р., Иконников Д. А. Исследование устойчивости уступа, сложенного сыпучим материалом, при его отработке гидравлическим экскаватором типа «обратная лопата» // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2011. № 9. С. 114–117.
24. Пуневский С. А., Лазарева М. А., Тавостин М. Н. Результаты определения прочностных характеристик техногенных отложений гидроотвала «Берёзовый лог» на приборе компрессионного типа стабилометре УСВ-2 // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2006. № 7. С. 97–100.
25. Технологические аспекты разработки техногенных месторождений на базе шламохранилищ / А. Г. Шарапов, П. И. Копач, Л. В. Якубенко, Б. С. Гулямов // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2006. № 9. С. 259–267.
26. Попов М. С. К вопросу об эффективности освоения техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2011. № 9. С. 262–264.
27. Гидромеханизированная разработка техногенного месторождения / А. М. Гальперин, В. В. Васин, Н. И. Дмитриенко, И. А. Магаршак // Горн. журн. 2000. № 8. С. 9.
28. Мониторинг и освоение техногенных массивов на горных предприятиях / А. М. Гальперин, Ю. И. Кутепов, В. С. Круподёров, О. Д. Семёнов // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2009. № 12. С. 131–142.
29. Справочник по климату СССР, вып. 2, Мурманская область, метеорологические данные за отдельные годы / Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР. Ч. 1. Температура воздуха. Мурманск, 1973; ч. 2. Осадки. Мурманск, 1975; ч. 3. Снежный покров. Мурманск, 1975; ч. 4. Ветер. Мурманск. 1976.
30. Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. Изд. 4-е. М.: Недра, 1975. 304 с.
31. Опыт проектирования усреднительно-осушительных складов при добыче лежалых хвостов на ОАО «Ковдорский ГОК» / С. П. Решетняк, А. В. Архипов, Э. Б. Красносельский, А. А. Данилкин // Глубокие карьеры: сб. докл. всерос. науч.-технич. конф. с междунар. участием (18–22 июня 2012 г.). Апатиты; СПб., 2012. С. 259–263.

32. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров / Минуглепром СССР. Л.: ВНИМИ, 1972. 165 с.
33. Хархута Н. Я., Васильев Ю. М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1975. 288 с.
34. Черкасов И. И. Механические свойства грунтов в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1976. 247 с.
35. Сергеев Е. М. Инженерная геология. М.: Изд. Моск. универ., 1978. 384 с.
36. Механика грунтов, оснований и фундаменты: учеб. пособие М 55 для строит. спец. вузов / С. Б. Ухов, В. В. Семёнов, В. В. Знаменский и др.; под ред. С. Б. Ухова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2002. 566 с.
37. Ялтанец И. М. Технология и комплексная механизация открытых и горных работ: учебник для вузов. Ч. 3. Гидромеханизированные и подводные горные работы. М.: Мир горной книги, 2006. 546 с.
38. Открытые горные работы: справочник / К. Н. Трубецкой, М. Г. Потапов, К. Е. Виницкий, Н. Н. Мельников и др. М.: Горное бюро, 1994. 590 с.
39. Холодняков Г. А., Аргимбаев К. Р., Решетняк С. П. Определение высоты добычного забоя при разработке хвостохранилищ гидравлическим экскаватором типа обратная лопата // Полезные ископаемые России и их освоение. Записки Горного института. 2012. Т. 195. С. 138–141.
40. Ржевский В. В. Открытые горные работы: учебник для вузов. В 2 ч. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1985. 549 с.
41. Разработка и обогащение лежалых обводнённых хвостов / Г. Е. Тарасов, А. Н. Быховец, А. П. Сидоренко и др. // Горный журнал. 2002, специальный выпуск. С. 34–38.
42. Решетняк С. П., Данилкин А. А. Решение проблем промышленного освоения техногенных месторождений // Открытые горные работы в XXI веке: сб. мат-лов междунар. науч.-практич. конф. Красноярск, ООО «НТЦ Горное дело», 2011. С. 384–391.
43. Фундератов Ю. В., Мелик-Гайказов И. В. Природоохранные и ресурсосберегающие технологии горных работ на Ковдорском ГОКе // Горн. журн. 2004. № 11. С. 11–15.
44. Основные итоги и уроки реализации инновационного проекта крупномасштабного освоения техногенного месторождения отходов обогатительного производства / А. А. Данилкин, С. В. Ивановский, С. В. Семкин, С. П. Решетняк и др. // Горн. журн. 2012. № 10. С. 40–44.
45. Проект разведки отходов (хвостов) обогащения магнетитовых и апатитовых руд Ковдорского месторождения, заскладированных во втором поле хвостохранилища ОАО «Ковдорский ГОК» (1-й этап) на 2006–2008 гг. Апатиты: МГРЭ, 2006. 173 с.
46. Модернизация минерально-сырьевой базы в стратегии долгосрочного развития Ковдорского ГОКа / А. И. Петрик, А. Н. Быховец, В. А. Сохарев, В. Н. Переин, А. Л. Сердюков // Горн. журн. 2012. № 10. С. 12–17.
47. Пак А. А., Сухорукова Р. Н., Краснова Г. Г. Особенности использования ультракислых золошлаковых отходов в ячеистых бетонах // Горнопромышленные отходы как сырьё для производства строительных материалов: сб. ст. Апатиты: КНЦ РАН, 1992. С. 49–55.

48. Архипов А. В., Земцовская Е. В. Транспортировка техногенного сырья в черте города // Сборник научных трудов ПетрГУ. Апатиты, 2007. Вып. 3, т. 1. С. 42–44.
49. Баранов В. Ф. Системы сгущения и складирования отвальных хвостов (обзор мировой практики) // Обогащение руд. 2009. № 3. С. 43–48.
50. Инструкция № 142 по безопасной эксплуатации отвалов Центрального рудника производственного объединения «Апатит» имени С. М. Кирова. Апатиты: Изд. Кольского филиала АН СССР, 1984. 26 с.
51. Инструкция № 148 по безопасной эксплуатации отвалов Восточного рудника производственного объединения «Апатит» имени С. М. Кирова. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1988. 26 с.
52. Томаков П. И., Манкевич В. В. Открытая разработка угольных и рудных месторождений: учеб. пособие для вузов по направлению «Горное дело». Изд. 2-е. М.: Изд. Моск. горн. ун-та, 2000. 611 с.
53. Пути повышения эффективности и экологической безопасности открытой добычи твёрдых полезных ископаемых / В. И. Ческидов и др.; отв. ред. В. Н. Опарин; Рос. акад. наук; Сиб. отд-ние; Ин-т горного дела. Новосибирск: Изд. Сиб. отделения РАН, 2010. 250 с.
54. Архипов А. В. Размещение внешних отвалов вскрышных пород на основе эколого-энергетического принципа // Горн. информ.-аналитич. бюлл. 2010. № 10. С. 278–283.
55. Плотников Н. А., Минькин В. А. Обоснование оптимальной высоты яруса отвала // Горн. журн. 1989. № 5. С. 23–25.
56. Медведев М. Л., Зуев А. Е. Анализ и оценка способов размещения породы во внешних отвалах при открытой разработке рудных крутопадающих месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2013. № 5. С. 77–83.
57. Галкин В. А. Повышение эффективности использования карьерного автотранспорта за счёт рационального отвалообразования // Цветная металлургия. 1979. № 13. С. 13–15.
58. Галкин В. А., Караулов Г. А., Сидоренко В. И. Горизонтальный эквивалент вертикальных перемещений пород карьерными автосамосвалами // Изв. вузов. Горный журнал. 1983. № 7. С. 14–18.
59. Галкин В. А. Графоаналитический метод определения рациональной конфигурации автомобильного отвала // Изв. вузов. Горный журнал. 1983. № 11. С. 15–19.
60. Лель Ю. И., Арефьев С. А., Глебов И. А. Приведение условий эксплуатации карьерных автосамосвалов при нормировании дизельного топлива // Проблемы карьерного транспорта: тез. XII междунар. науч.-практич. конф. (1–4 октября 2013 г.). Екатеринбург: Институт горного дела УрО РАН, 2013. 62 с.
61. Высокие отвалы рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК», их параметры и размещение / В. В. Рыбин, А. В. Архипов, Е. В. Земцовская, Д. А. Потапов // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2014. № 4. С. 41–44.
62. ГОСТ 17.5.1.02—85 «Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации» // Сборник ГОСТов. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. С. 14–22.
63. Гайдин А. М. Ревитализация ландшафтов, нарушенных горными работами // Горн. журн. 2011. № 8. С. 102–104.

- 64.ГОСТ 17.5.1.01—83 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель» // Сборник ГОСТов. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 8 с.
- 65.Технологии ускоренной биологической рекультивации скальных отвалов / А. Г. Шапарь, О. А. Скрипник, В. Н. Романенко, Б. С. Гулямов, А. А. Дихтяр // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2006. № 2. С. 217–219.
- 66.Коц А. Операция «Гидропосев» // Наука и жизнь. 1975. № 2. С. 106–108.
- 67.Употребить с пользой // Уголь Кузбасса. 2014. № 6. С. 48.
- 68.Всероссийская конференция «Проблемы рационального использования отходов горнодобывающего производства» // Минеральные ресурсы России. 2013. № 4. С. 95–98.
- 69.Чантурия В. А. Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения // Горн. журн. 2015. № 7. С. 29–37.
- 70.Инновационные технологии комплексного освоения рудных месторождений с активной утилизацией некондиционного сырья / К. Н. Трубецкой, Г. А. Матюшенко, И. Х. Ахмедьянов, К. А. Аверьянов, В. А. Ангелов // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 5. С. 219–226.
- 71.Прусс Ю. В. Проблемы и перспективы освоения техногенного комплекса Северо-Востока России // Разведка и охрана недр. 2016. № 4. С. 43–48.
- 72.Развитие классификаций техногенного сырья горных предприятий и обоснование технологий его активной утилизации / М. В. Рыльникова, И. Х. Ахмедьянов, К. А. Аверьянов, В. А. Ангелов // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 5. С. 208–213.
- 73.Трубецкой К. Н. Развитие науки, техники и технологии в области комплексного освоения месторождений при открытом способе разработки // Горн. журн. 2009. № 11. С. 4–7.
- 74.Рыльникова М. В., Емельяненко Е. А., Ангелов В. А. Формирование техногенного массива из хвостов обогащения в отработанном пространстве с заданными структурными параметрами // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2013. № 1. С. 115–117.
- 75.Развитие промышленной переработки техногенного сырья в России // Горная промышленность. 2016. № 2. С. 7–8.
- 76.Мясков А. В., Попов С. М. Методические основы формирования направлений использования техногенного минерального сырья // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2016. № 6. С. 231–240.
- 77.Выщелачивание золота из отработанных штабелей и упорных руд Погромного / А. Г. Секисов, Ю. И. Рубцов, А. Ю. Лавров, Г. Ю. Попова, Ю. С. Шевченко // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2015. № 5. С. 163–172.
- 78.Валиев Н. Г., Славиковский О. В. Исследование технологии комплексного освоения минеральных ресурсов недр и техногенных образований // Изв. вузов. Горн. журн. 2014. № 6. С. 22–26.
- 79.Селезнёв С. Г. О проблеме использования горнопромышленных отходов // Минеральные ресурсы России. 2013. № 4. С. 40–44.
- 80.Анисимов В. Н. Безотходная переработка природно-техногенных месторождений мобильными технологическими комплексами // Горная промышленность. 2009. № 4. С. 42–49.

81. Проблемы информационного обеспечения использования отходов горнодобывающей промышленности в производстве сырья для высокотехнологичных материалов / Ю. Н. Малышев, С. В. Черкасов, А. В. Титова, Б. В. Стерлигов // Горная промышленность. 2015. № 5. С. 24–28.
82. Александрова Т. Н., Прохоров К. В., Львов В. В. Извлечение магнитной фракции отходов сжигания углей с использованием высокоградиентной магнитной сепарации // Горн. журн. 2015. № 12. С. 4–8.
83. Измельчительный агрегат для помола угля, золошлаковых отходов ТЭЦ и других материалов / В. И. Мурко, Г. Д. Вахрушева, Д. А. Черных, В. О. Шеховцова // Горн. журн. 2015. № 12. С. 68–71.
84. Александрова Т. Н., Прохоров К. В. Комплексная переработка золошлаковых отходов как фактор обеспечения экологической безопасности // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 10. С. 283–288.
85. Римкевич В. С., Пушкин А. А., Чурушова О. В. Комплексная переработка угольной золы ТЭЦ // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2015. № 6. С. 250–259.
86. О выборе возможных способов комплексного использования техногенных пиритных хвостов в связи с их переработкой / В. А. Бочаров, В. А. Игнаткина, Е. Л. Чантурия, Т. И. Юшина, Л. С. Хачатрян, В. Н. Дунаева // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2015. № 10. С. 92–99.
87. Иванова В. А., Митрофанова Г. В. Особенности флотации апатита из складированных отходов обогащения апатит-нефелиновой руды // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 5. С. 135–141.
88. Борисков Ф. Ф., Аленичев В. М. Разработка ресурсосберегающих геотехнологий на основе использования адекватной информации о природных сульфидных месторождениях и техногенных образованиях // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2015. № 10. С. 256–262.
89. Бусырев В. М., Чуркин О. Е. Оценка стоимости запасов и эффективности освоения техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2016. № 6. С. 106–114.
90. Рыжова Л. П., Носова Е. В. К вопросу эффективности отработки техногенных месторождений рудных полезных ископаемых // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2015. № 8. С. 49–55.
91. Одобай-Фард В. В. Механизм эколого-экономической оценки и выбора варианта формирования и эксплуатации техногенного месторождения строительных материалов // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2013. № 6. С. 383–386.
92. Юков В. А. Оценка эффективности освоения техногенных образований от подземной разработки месторождения // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 7. С. 339–348.
93. Архипов А. В., Земцовская Е. В. Принципы и возможные способы сохранения отходов обогащения, предназначенных для использования в качестве техногенного сырья // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 10. С. 197–204.
94. Складорова Г. Ф., Крупская Л. Т. К вопросу разработки рациональных технологий по переработке отходов обогатительных фабрик Солнечного ГОКа // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2013. № 5. С. 138–144.
95. Гальперин А. М., Кириченко Ю. В., Кутепов Ю. И. Комплексный подход к экологически безопасному освоению техногенных массивов // Горная промышленность. 2011. № 5. С. 22–28.
96. Месяц С. П., Остапенко С. П. Компьютерная модель формирования биогеобарьера для сохранения складированных отходов рудообогащения // Горная промышленность. 2015. № 6. С. 56–60.

97. Твердов А. А., Жура А. В., Соколова М. А. Проблемы комплексного использования минерально-сырьевых ресурсов и освоения техногенных месторождений // Рациональное освоение недр. 2013. № 5. С. 44–48.
98. Ястребинский М. А. Разработка эколого-экономической классификации техногенных вторичных ресурсов, содержащих цветные, драгметаллы и редкоземельные элементы // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2013. № 1. С. 319–328.
99. Пашкевич М. А., Петрова А. Т. Новые изоляционные материалы для консервации техногенных месторождений // Обогащение руд. 2015. № 6. С. 46–49.
100. Афанасенко С. И., Лазриди А. Н. Золотая жила техногенных отвалов // Горная техника: каталог-справочник. 2014. № 2. С. 108–111.
101. Исследование возможности отработки техногенных отвалов россыпной золотодобычи методом рудной технологии / Т. Н. Александрова, А. В. Александров, Н. М. Литвинова, Р. В. Богомяков // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2013. № 3. С. 65–69.
102. Уманец В. Н. Опыт геолого-технологической оценки техногенных образований золота на некоторых месторождениях Казахстана // Минеральные ресурсы России. 2013. № 4. С. 87–93.
103. Опыт совершенствования промывочных установок для техногенной россыпи / В. Г. Пятаков, В. В. Гущенко, А. С. Соколов, П. В. Сержанин // Золотодобыча. 2014. № 11. С. 11–14.
104. Литвинцев В. С. Основные направления стратегии освоения техногенных месторождений // Горный журнал. 2013. № 10. С. 38–41.
105. Дмитриев А. А., Ковлеков И. И. Переработка отвальных золотосодержащих шлихов методом цианирования // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 10. С. 389–392.
106. Лебухов В. И. Перспективы утилизации мелкодисперсного гидроминерального сырья техногенных россыпных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2013. № 11. С. 45–52.
107. Комогорцев В. Б. Пути повышения извлечения золота из техногенных отходов // Горная техника: каталог-справочник. 2013. № 1. С. 122–129.
108. Рахимов В. Р., Шеметов П. А., Снитка Н. П. Формирование минерально-сырьевых потоков при совместной разработке месторождений природного и техногенного происхождения // Горн. журн. 2013. № 8. С. 20–25.
109. Пятаков В. Г., Гущенко В. В., Соколов А. С. Результаты применения отсадочной технологической схемы промывочных установок для техногенной россыпи // Золотодобыча. 2015. № 7. С. 14–17.
110. Элементы платиновой группы в техногенных отвалах скарново-шеелитового Лермонтовского месторождения (Приморье) / Л. И. Рогулина, Х. Х. Калажоков, Б. С. Карамурзов, З. Х. Калажоков // Разведка и охрана недр. 2015. № 1. С. 45–48.
111. Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С., Абдрахимова И. Д. Исследование теплопроводности легковесных материалов из отходов топливно-энергетической промышленности без применения природных традиционных материалов // Уголь. 2016. № 4. С. 72–75.
112. Анализ направлений переработки лежалых хвостов Джидинского ВМК / П. К. Федотов, В. И. Петухов, К. В. Федотов, А. Е. Бурдонов // Обогащение руд. 2016. № 1. С. 40–46.
113. Макаров В. А., Михеев В. Г., Самородский П. Н. Минералогия шлакоотвалов Норильского никелевого завода // Горн. журн. 2016. № 3. С. 50–55.

114. Переработка техногенных отходов магнитного обогащения железистых кварцитов / В. Ф. Скороходов, М. С. Хохуля, Р. М. Никитин, В. П. Якушкин // Горная техника: каталог-справочник. 2014. № 1. С. 114–116.
115. Патраков Ю. Ф., Кузнецова Л. В., Анфёров Б. А. Перспективы комплексного освоения месторождений сапропелитовых углей и горючих сланцев Барзасского района Кузбасса // Горн. журн. 2016. № 3. С. 38–42.
116. Васильев Е. А., Рудой Г. Н., Савин А. Г. Перспективы переработки лежалых хвостов обогащения ОАО «Гайский ГОК» // Цветные металлы. 2014. № 10. С. 25–28.
117. Рыльникова М. В., Емельяненко Е. А. Предпосылки перехода к экологически сбалансированному освоению медноколчеданных месторождений // Горн. журн. 2015. № 11. С. 36–41.
118. Евдокимов С. И., Евдокимов В. С. Эффективная технология флотации природного и техногенного медно-никелевого сырья // Горн. журн. 2016. № 2. С. 74–78.
119. Брагина В. И., Сушкина Ю. В. Извлечение апатита из хвостов Татарского месторождения // Горн. журн. 2013. № 10. С. 92–93.
120. Трушников В. Е. Исследование экономических показателей целесообразности переработки техногенных отходов фосфатно-магнезиевого сырья в проектах землеустройства // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2013. № 7. С. 264–269.
121. Повышение эффективности обогащения тонкозернистых складированных хвостов Ковдорского ГОКа / И. С. Бармин, А. В. Туголуков, В. И. Белобородов, В. В. Поливанская // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2015. № 10. С. 59–67.
122. Отвалы Завитинского литиево-бериллиевого месторождения как сырьё для получения лития / Ю. В. Азарова, В. В. Казанцев, В. Ю. Кольцов, Г. А. Сарычев, И. Г. Тананаев // Обогащение руд. 2015. № 2. С. 42–46.
123. Исаев В. А., Демкина А. А. Обоснование использования хвостов обогащения Оленегорского ГОКа для получения силикатных материалов автоклавного твердения // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2015. № 3. С. 67–74.
124. Доманская И. К., Тропников Д. Л. Перспективы применения медных шлаков в качестве заполнителей в составе строительных материалов // Цветные металлы. 2014. № 10. С. 62–65.
125. Перспективы применения техногенного сырья и модифицирующих добавок природного происхождения при строительстве карьерных дорог / А. А. Христофорова, М. Д. Соколова, С. Э. Филиппов, Б. Н. Заровняев, И. Н. Гоголев // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 11. С. 409–415.
126. Экономико-математическое моделирование технологии рециклинга отходов переработки горных пород путём производства минеральной ваты / А. В. Бортников, А. Д. Самуков, А. Д. Шулюяков, В. Ф. Баранов // Обогащение руд. 2015. № 6. С. 35–40.
127. Исследование обогатимости техногенных отвалов кварц-полевошпатового сырья рудника Хетоламбина радиометрическими методами / И. В. Алушкин, Т. И. Юшина, В. А. Рассулов, А. В. Воронкин // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2013. № 7. С. 66–72.
128. Исследование свойств лежалых отходов обогащения железистых кварцитов и создание на их основе закладочных материалов / Е. А. Ермолович, И. А. Шок, К. А. Измestьев, О. В. Ермолович // Горн. журн. 2015. № 5. С. 63–66.

129. Голик В. И., Комащенко В. И. Оптимальный критерий утилизации хвостов обогащения руд с целью применения их при изготовлении твердеющих смесей // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2015. № 12. С. 65–72.
130. Коннова Н. И. Переработка техногенного сырья горного производства // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2015. № 9. С. 70–73.
131. Сосновский С. А., Сачков В. И., Обходская Е. В. Плазмотермическая переработка сырья природных и техногенных месторождений // Недропользование. XXI век. 2015. № 2. С. 38–41.
132. Зубков А. А., Шуленина З. М., Подзноев Г. П. Повышение эффективности переработки минерального сырья и снижение загрязнения окружающей среды за счёт применения новых аппаратов и процессов // Горная техника: каталог-справочник. 2015. № 1. С. 108–111.
133. Жукова И. В. Социально-экономическое значение понятия «отходы производства и потребления» // Разведка и охрана недр. 2016. № 4. С. 56–59.
134. Минина Д. О. Технологии переработки горнопромышленных отходов в декоративные материалы // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 12. С. 354–358.
135. Сокровища из мусора: как отходы горного производства могут быть отработаны по второму разу [Электронный ресурс] // The Conversation: сайт. URL: <https://theconversation.com/treasure-from-trash-how-mining-waste-can-be-mined-a-second-time-59667> (дата обращения: 17.03.2017).
136. Day.az: сайт. URL: <http://news.day.az/gallery/716954/5250192.html> (дата обращения: 17.03.2017).
137. Вашлаев И. И., Михайлов А. Г., Харитонов М. Ю. Моделирование параметров процессов инфильтрационной технологии добычи благородных металлов из техногенных объектов // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 7. С. 143–148.
138. Нагаева С. П., Купцова А. В. Оценка качества техногенного сырья при прогнозировании его переработки // Горн. журн. 2016. № 11. С. 9–14.
139. Progres Ekotech, s. r. o.: site. URL: <http://www.progres-ekotech.com/?zobrazit=kontakt&lang=en> (accessed: 17.03.2017).
140. Обезвоживание красного шлама и основные направления его переработки / В. Н. Бричкин, О. А. Дубовиков, Н. В. Николаева, А. А. Беседин // Обогащение руд. 2014. № 1. С. 44–48.
141. Лытаева Т. А. Утилизация пылевидных цинк-железосодержащих отходов горно-перерабатывающих предприятий: автореф. дис. канд. техн. наук. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. 22 с.
142. Без дыма огонь — есть! // Уголь Кузбасса. 2015. № 6. С. 70–71.
143. Гидрогеомеханическое обоснование реконструкции золоотвала Рефтинской ГРЭС / А. Н. Гурин, В. В. Назима, Д. А. Гурин, И. Л. Хархордин, П. А. Маршак // Рациональное освоение недр. 2013. № 3–4. С. 27–32.
144. Нецветаев А. Г., Григорян А. А., Пружина Д. И. Инновационные технологии решения проблем экологической безопасности и загрязнения золошлаковыми отходами // Уголь. 2016. № 1. С. 71–73.
145. Пирометаллургическая технология как эффективный способ утилизации золошлаковых отходов и безотходного сжигания различных типов твёрдого топлива / А. А. Комков, А. В. Баласанов, Л. И. Дитятовский, А. Н. Федоров, Р. П. Хабиев, С. Л. Лукавый, М. И. Котыхов, А. У. Аликов // Уголь. 2013. № 9. С. 65–69.

146. Вещественный состав и технология сухой переработки золы ТЭЦ / В. А. Арсентьев, С. В. Дмитриев, А. О. Мезенин, Е. Л. Котова // Обогащение руд. 2015. № 4. С. 49–53.
147. Превратить отход в доход // Уголь Кузбасса. 2015. № 5. С. 42–43.
148. Котова О. Б., Шушков Д. А. Процесс получения цеолитов из золы уноса // Обогащение руд. 2015. № 5. С. 60–63.
149. От проекта к производству // Уголь Кузбасса. 2016. № 1. С. 74.
150. Развитие экологически чистых технологий по использованию отходов обогащения и сжигания угля / В. И. Мурко, О. В. Тайлаков, В. А. Хямяляйнен, В. О. Шеховцова // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2016. № 10. С. 249–258.
151. Абдрахимова Е. С., Кайракбаев А. К., Абдрахимов В. З. Использование золошлакового материала в производстве теплоизоляционных материалов на основе межсланцевой глины // Уголь. 2016. № 10. С. 74–78.
152. Крылов Д. А. «Токсичность» угольной тепло-электрогенерации // Горная промышленность. 2016. № 5. С. 66–68, 70–71.
153. Флотация медных шлаков в условиях замкнутого водооборота обогатительной фабрики / М. Н. Сабанова, И. В. Шадрунова, Н. Н. Орехова, О. Е. Горлова // Цветные металлы. 2014. № 10. С. 16–24.
154. К вопросу рационального использования отходов переработки медеплавильных шлаков / Л. А. Котельникова, И. Ф. Рябинин, Г. Г. Кориневская, Б. Д. Халезов, Д. С. Реутов, В. А. Муфтахов // Недропользование. XXI век. 2014. № 6. С. 14–19.
155. Решетняк С. П., Билин А. Л. Пути создания технологий предотвальной переработки минерального сырья // Комплексная разработка рудных месторождений мощными глубокими карьерами (Мельниковские чтения). Апатиты: КНЦ РАН, 1995. С. 103–104.
156. Пешкова М. Х., Савон Д. Ю. Механизм государственно-частного партнёрства при эколого-экономической оценке техногенных минеральных объектов // Горн. журн. 2016. № 10. С. 37–41.
157. Снитка Н. П., Федянин С. Н. О целесообразности селективной экскавации техногенных образований // Горн. журн. 2011. № 8. С. 65–68.
158. Шумилова Л. В. Двухстадиальное выщелачивание золота поликомпонентными химическими комплексами из минерального сырья галеефельных отвалов // Горн. журн. 2016. № 10. С. 74–78.
159. Куторгин В. И., Тарасов А. С., Головкин С. А. К методике разведки и оценки техногенного комплекса на россыпи платиноидов р. Кондёр // Золотодобыча. 2016. № 10. С. 31–35.
160. Назаров Ю. П. Минералого-технологическое обоснование флотационной переработки техногенного сырья на примере забалансовых медно-молибденовых руд // Горн. журн. 2016. № 11. С. 26–31.
161. Морозов А. А., Яковлев М. В. Вовлечение в переработку забалансовых урановых руд, образовавшихся при освоении месторождений Стрельцовского рудного поля // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2016. № 12. С. 174–181.
162. Саматова Л. А., Шепета Е. Д. Инновационная технология переработки забалансовых руд и горной массы карьерных отвалов // Горн. журн. 2013. № 10. С. 53–56.
163. Захаров И. В., Ворошилов А. Г., Терехина Ю. В. Использование бестранспортной технологии складирования хвостов РРС в выработанное пространство карьера // Глобус. Геология и бизнес. 2014. № 5. С. 52–54.

164. Минералого-геохимические исследования — действенный инструмент совершенствования технологии переработки техногенных отходов / Ю. Н. Малышев, В. М. Ряховский, В. Ф. Банников, С. К. Ряховская // Горн. журн. 2016. № 1. С. 73–76.
165. Захаров И. В., Ворошилов А. Г., Терехина Ю. В. Поточная технология складирования отходов (хвостов) рентгенорадиометрической сепарации в выработанное пространство карьера Приморского ГОКа // Горн. журн. 2016. № 1. С. 77–81.
166. Об оценке техногенных минеральных аккумуляций с использованием беспилотных летательных аппаратов / Ю. Н. Малышев, С. В. Черкасов, А. В. Титова, Е. И. Чесалова // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2016. № 5. С. 72–76.
167. Лаптев Ю. В., Титов Р. С. Оптимизация высоты слоя техногенного образования для его эффективной отработки // Горн. журн. 2016. № 1. С. 4–10.
168. Четверик М. С., Пчёлкин Г. Д., Кустов В. В. Параметры сегрегации при формировании техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 8. С. 75–79.
169. Решетняк С. П., Архипов А. В. Основные принципы и способы формирования техногенных месторождений, представленных отвальными породами, на примере рудников Мурманской области // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2010. № 9. С. 195–202.
170. Решетняк С. П., Архипов А. В. Обоснование путей и способов формирования техногенных месторождений, представленных отвальными породами и рудами карьеров // Инновационные направления, повышение эффективности проектирования горно-добывающих и горно-металлургических предприятий. Записки Горного института. 2012. Т. 198. С. 30–36.
171. Архипов А. В., Решетняк С. П. Особенности рекультивации породных отвалов на территориях Севера и Заполярья России // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 2 (25). С. 39–43.
172. Приоритетные направления освоения техногенных комплексов рудно-россыпных месторождений / И. Ю. Рассказов, В. С. Литвинцев, Г. С. Мирзеханов, Т. С. Банщикова // Недропользование. XXI век. 2016. № 1. С. 46–55.
173. Месяц С. П., Петров А. А. Информационное обеспечение при разработке технологий сохранения и освоения техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2012. № 5. С. 181–187.
174. Месяц С. П., Румянцева Н. С. Исследование устойчивости биогеобарьера, создаваемого с целью сохранения техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2015. № 1. С. 330–334.
175. Мельников Н. Н., Бусырев В. М. Метод оценки эффективности освоения техногенных месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. 2016. № 7. С. 20–26.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. МОНИТОРИНГ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ.....	5
1.1. Что такое «техногенное сырьё» и «техногенное месторождение»	5
1.2. История возникновения проблемы освоения техногенных месторождений в России.....	7
1.3. Мониторинг техногенных месторождений Мурманской области, кадастровый учёт, банк данных.....	9
1.4. О классификации техногенных месторождений.....	14
2. ХВОСТОВЫЕ И ШЛАКОЗОЛЬНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	17
2.1. Мониторинг техногенных месторождений мелкоструктурного техногенного сырья.....	17
2.1.1. Хвостовые и шлакозольные техногенные месторождения Мурманской области.....	17
2.1.2. Особенности и условия освоения хвостовых отвалов.....	21
2.1.3. Климатические особенности районов размещения хвостохранилищ Мурманской области.....	23
2.1.4. Физико-механические свойства и особенности техногенного сырья.....	25
2.1.5. Определение устойчивой высоты и углов откосов уступов и бортов карьера на хвостохранилище АО «Ковдорский ГОК» в рабочем и предельных положениях.....	35
2.1.6. Несущая способность хвостов для выбора горнотранспортного оборудования.....	39
2.2. Выбор способа и принципиальной технологии добычи техногенного сырья, представленного хвостами обогащения.....	47
2.2.1. Производительность горных работ в зависимости от направления использования материала хвостов.....	47
2.2.2. Технологические схемы и параметры системы разработки	49
2.2.2.1. Анализ возможностей гидромеханизированных технологий разработки.....	49
2.2.2.2. Выбор технологических схем «сухих» способов добычи и выемочно-погрузочного оборудования.....	53
2.2.2.3. Выбор типа и обоснование параметров транспортного оборудования.....	58
2.2.3. Принципы проектирования границ карьеров на хвостохранилищах.....	60
2.3. Опыт проектирования и отработки гидроотвалов предприятий Мурманской области.....	64
2.3.1. Опыт проектирования и отработки первого поля хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК».....	64
2.3.2. Оценка горнотехнических условий разработки залежи хвостов второго поля хвостохранилища Ковдорского ГОКа.....	75
2.3.3. Возможность разработки золошлаковых отвалов на примере Апатитской ТЭЦ.....	81

2.3.3.1. Конструкция и технология эксплуатации отвала.....	81
2.3.3.2. Характеристики золошлаковой смеси.....	83
2.3.3.3. Границы карьеров и порядок отработки карьерного поля	84
2.4. Формирование хвостовых техногенных месторождений с учётом их последующей отработки.....	88
2.4.1. Анализ конструктивных особенностей существующих хвостохранилищ и технологий их формирования, снижающих эффективность сохранения сырья и последующей разработки.....	88
2.4.2. Основные принципы и способы сохранения отходов обогащения при формировании техногенных месторождений	91
2.4.3. Укрупнённая горнотехническая оценка предлагаемых способов формирования хвостохранилищ.....	94
2.4.3.1. Свойства овражно-балочных хвостохранилищ.....	94
2.4.3.2. Свойства равнинных и овражно-равнинных хвостохранилищ.....	95
2.4.3.3. Свойства пойменных и косогорных хвостохранилищ	95
2.4.3.4. Свойства котловинных и котлованных хвостохранилищ.....	96
2.4.3.5. Формирование хвостохранилищ с позиций их последующей отработки.....	96
2.4.4. О перспективном способе «сухого» складирования отвальных хвостов обогатительных фабрик.....	100
3. РУДНО-ПОРОДНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	101
3.1. Мониторинг рудно-породных техногенных месторождений Мурманской области.....	101
3.2. Существующие принципы формирования и размещения внешних породных отвалов и рудных складов и технология их разработки.....	107
3.3. Формирование рудно-породных техногенных месторождений.....	111
3.3.1. Требования к отвалообразованию с современных позиций	111
3.3.2. Техническая возможность и безопасная технология формирования отвалов вскрышных пород как техногенных месторождений.....	113
3.3.3. Возможные технологии формирования отвалов вскрышных пород как техногенных месторождений.....	114
3.4. Исследования возможности рекультивации породных отвалов в условиях Севера и Заполярья и влияние будущей рекультивации на технологию отвалообразования.....	126
4. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ.....	139
4.1. Краткий анализ публикаций об освоении техногенных месторождений.....	139
4.2. О проблеме техногенных месторождений за рубежом.....	140
4.3. Основные пути и способы получения полезного продукта из мелкоструктурных техногенных месторождений.....	143
4.4. Направления использования крупноструктурного техногенного минерального сырья.....	156
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	160
ЛИТЕРАТУРА.....	163



В этой книге представлены результаты тридцатилетних исследований, проводимых в Горном институте Кольского научного центра АН СССР, в последующем Российской академии наук, по проблеме освоения имеющихся в стране техногенных месторождений минерального сырья, которое до сих пор некоторые специалисты считают отходом предприятий горно-перерабатывающей отрасли, а также по проблеме сохранения такого сырья для будущего в техногенных месторождениях, сформированных на принципах минимизации энергетических и экономических затрат и бережного отношения к окружающей нас природе.

ISBN 978-5-91137-355-9



9 785911 373559

ФАНО РОССИИ

КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН
Горный институт

РОССИЯ, 184209, Мурманская область, г.Апатиты, ул.Ферсмана, 24

