

**Горная
книга**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.А. ПУЧКОВ

*ректор МГГУ,
чл.-корр. РАН*

Зам. председателя

Л.Х. ГИТИС

*директор
Издательства МГГУ*

Члены редсовета

И.В. ДЕМЕНТЬЕВ

академик РАЕН

А.П. ДМИТРИЕВ

академик РАЕН

Б.А. КАРТОЗИЯ

академик РАЕН

М.В. КУРЛЕНЯ

академик РАН

В.И. ОСИПОВ

академик РАН

Э.М. СОКОЛОВ

академик МАН ВШ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

академик РАН

В.В. ХРОНИН

профессор

В.А. ЧАНТУРИЯ

академик РАН

Б.И. ШЕМЯКИН

академик РАН



Г.М. Еремин

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ
И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ
В НАСЫПНЫХ ПОРОДАХ
НА СКЛОНАХ

МОСКВА

Издательство
«ГОРНАЯ КНИГА»

2007

УДК 622.693.26
ББК 33.1
Е70

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых. СанПиН 1.2.1253—03», утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г.

Еремин Г.М.

Е70 Физико-технические и геомеханические процессы в насыпных породах на склонах. — М.: Издательство «Горная книга». — 2007. — 343 с.: ил.
ISBN 978-5-98672-052-4 (пер.)

Приведены результаты многолетних исследований и наблюдений за процессами отвалообразования в условиях нагорных месторождений Севера. На основе изучения физико-механических свойств породной массы отвалов с различным содержанием снега, льда и воды показано изменение этих свойств под действием различных уплотняющих нагрузок и температур.

Объяснен механизм деформации и обрушения отвалов со склонов, предложены технологические схемы, предотвращающие зарождение и развитие техногенных селей на склонах. Разработаны новая приборная база и методика лабораторных исследований.

Для специалистов горно-рудных предприятий, проектных институтов и научно-исследовательских организаций. Может быть полезна студентам горных специальностей и учащимся техникумов.

УДК 622.693.26
ББК 33.1

ISBN 978-5-98672-052-4

© Г.М. Еремин, 2007
© Издательство «Горная книга», 2007
© Дизайн книги. Издательство МГТУ,
2007

ВВЕДЕНИЕ

Решение народно-хозяйственных проблем рациональной разработки природных богатств, эффективного освоения минерально-сырьевых ресурсов, разработка ресурсосберегающих технологий неразрывно связаны с дальнейшим совершенствованием технологических процессов на карьерах с учетом использования на практике свойств породного материала. Это особенно актуально и важно для условий нагорных месторождений Севера с большими грузопотоками вскрыши до площадок отвалов, расположенных на значительных расстояниях от карьеров, в условиях повышенных деформаций и обрушений отвалов со склонов.

В основу методологии обоснования и выбора эффективных способов временного размещения вскрышных пород в контурах карьера положены принципы и методы, разработанные под руководством акад. Н.В. Мельникова при научном обосновании применения бестранспортной системы разработки пластовых месторождений полезных ископаемых с четкой технологической и геометрической взаимосвязью между объемами выемки полезного ископаемого (угля) и породой, временно складированной в контурах карьера, а также теории, развитой почетным акад. В.С. Хохряковым, предложившим применение промежуточных отвалов при поэтапной разработке месторождений.

В книге детально не рассматриваются теоретические проблемы научных основ, связанных с особенностью внутреннего отвалообразования в карьерах при разработке вытянутых рудных тел, разработанных еще в начале 60-х гг. XX в. П.И. Томаковым, А.И. Арсентьевым и другими учеными и исследователями и получивших решение и развитие в 1970—1980 гг. при разработке ряда месторождений. Кроме того, ввиду сложности проблемы управления отвалообразованием на склонах при включении в породную массу слабых компонентов (снег, лед, вода) не рассматриваются специальные способы управления деформированием пород отвалов, разработанные А.М. Деминым (применение «слабого» основания отвалов в виде глинистых пород). В основу данной работы положены результаты исследований и наблюдений за процессами отвалообразования в сложных топографических и климатических условиях высокогорного рудника «Центральный» ОАО «Апатит» в течение длительного времени. Сложность проблемы объясняется тем, что пока разрабатывалась высокогорная часть месторождения «Плато Расвумчорр» произошло 23 обрушения отвалов в виде селей. Для получения достоверных данных о причинах и механизмах процессов, протекающих в отвалах, применен комплекс методов, включающий в себя также лабораторное изучение свойств снегопородного конгломерата в широком диапазоне изменения нагрузок, включений снега (воды), влияния отрицательных температур. С этой целью была разработана новая приборная база для изучения более крупных образцов скальных пород, что повысило точность и представительность полученных данных. Для подтверждения научных положений и выводов автором использованы ранее полученные результаты исследований, связанные с особенностью смерзания рудной (породной) массы при влиянии ряда факторов

климатического характера, а также при испытании крупноразмерных кусков (блоков) породы на сдвиг. Это облегчает объяснение некоторых механизмов сопротивляемости призмы упора отвала сдвигу.

Приведенные в книге результаты исследований представляют собой логическую связь решаемых вопросов, начиная с постановочной части, в которой излагается состояние исследований в области отвалообразования, и заканчивая решением возникающих на карьерах проблем, вызванных деформацией отвалов на склонах. На основе изучения свойств породного материала со снегом (льдом и влагой) показано изменение этих свойств под действием уплотняющих нагрузок, таяния снега, замерзания воды. В результате стало возможным объяснение механизма протекания деформаций ослабленных слоев в отвале и постепенного насыщения их водой, а также причин, приводящих со временем к обрушению отвалов со склона. При решении технологических вопросов разработаны эффективные схемы и способы отвалообразования, позволяющие учесть как вертикальную составляющую отсыпaeмой на склоне толщи пород, так и ее горизонтальную составляющую, с которой связано обоснование расстояния транспортировки пород до площадок отвалов. Показана эффективность применения комбинированных отвалов, включающих в себя основные (стационарные), дополнительные (на крыльях залежи) и временные (в контуре карьера с частичной переэкскавацией и управляемым смещением по склону). Приведенная научно-методическая база, учитывающая закономерности деформации породной массы со снегом (льдом) в поле отрицательных температур под нагрузкой, надежно подкреплена практикой ведения работ в условиях рудника «Центральный» ОАО «Апатит».

В работе затронуты подходы и даны решения по важной для условий Севера проблеме применения новых методов и способов выбора местоположения и создания высоких отвалов на основе более совершенных и производительных способов транспортировки пород вскрыши из глубоких карьеров с помощью крутонаклонных и вертикальных конвейеров в системе циклично-поточной и поточной технологии на карьерах.

В заключительной части книги приведены современные способы переэкскавации породной массы со снегом (льдом) и подтверждена актуальность исследований работ в этой области, поскольку на карьерах накоплены огромные запасы техногенного сырья, подлежащего со временем разработке и использованию.

Результаты исследований и данные обобщения работы карьера за 40-летний период особенно актуальны и полезны при разработке в настоящее время восточного участка месторождения (Восточный Расвумчорр), где предстоит вести отвалообразование в нагорной и равнинно-глубинной частях карьера. Они могут быть полезны и при разработке нагорного Удоканского месторождения, а также других карьеров северных широт.

Автор благодарен коллегам и специалистам ОАО «Апатит», особенно рудника «Центральный», за помощь при решении поставленных научно-исследовательских задач и их практическую реализацию.

Глава 1

ПРОБЛЕМНЫЕ
ВОПРОСЫ
БЕЗОПАСНОГО
И ЭФФЕКТИВНОГО
РАЗМЕЩЕНИЯ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ
ОТВАЛОВ
В УСЛОВИЯХ
НАГОРНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1.1. ОСОБЕННОСТИ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ВЫСОКОГОРНЫХ КАРЬЕРАХ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН И ШИРОТ

Для определения эффективности процессов отвалообразования на карьерах целесообразно проанализировать их работоспособность по следующим позициям:

- роль и влияние климата высокогорья на условия эксплуатации отвалов;
- размещение отвалов относительно контура карьера;
- установление особенностей строения отвалов и выявление моделей механизмов их деформации;
- особенности формирования и эксплуатации отвалов;
- применяемые методы определения их устойчивых параметров.

Для учета главных факторов горно-геологического и климатического характера в проектах высокогорных месторождений южных широт предлагается выделять их особенности по принадлежности к зонам:

- гляциально-нивальная;
- субальпийско-альпийской;
- среднегорной степной;
- равнинно-предгорной полупустынной [16].

Высокогорье первой зоны отличается самыми суровыми климатическими условиями. Высота ее приурочена к отметкам свыше 3400—3700 м над уровнем моря. Средняя температура июля отрицательная. Осадки в твердом виде могут выпадать почти круглый год. Дожди могут идти лишь иногда, в июне. К этой зоне приурочено большинство нагорных месторождений за рубежом (Перу, Мексика и др.), а также месторождения Памира, Тянь-Шаня и Кавказа [16].

Верхняя часть вольфрам-молибденового месторождения Тырныауз, разрабатываемого рудником «Молибден» открытым способом, находится в местности, которая также относится к первой зоне (гляциально-нивальная). Опыт работы на руднике показал, что при выполнении технологических операций следует учитывать такие факторы, как низкие температуры, ветер и метели [16]. Поскольку карьер находится в сложных топографических условиях,

отсыпка пород первоначально осуществлялась с крутых склонов горы и в ущелья.

Ко второй зоне — субальпийско-альпийской — могут быть отнесены области высокогорья, расположенные на высоте от 2700—3000 до 3500—3700 м над уровнем моря [16]. Относительное превышение горных вершин первой зоны по сравнению со второй — примерно 1000 м. Климат резко континентальный, холодный. Зима длится 6—9 мес. Морозы до $-30+40^{\circ}$. Зимой часты метели, но осадков выпадает мало. Лето короткое, с неустойчивой переменной погодой. На летний период приходится до 60 % осадков, выпадающих преимущественно в виде дождя, крупы или снега. К этой зоне относят также нижнюю часть Тырнаузского месторождения, а также месторождения типа Чукикамата в Чили и Токепала в Перу.

Месторождение Чукикамата разрабатывается открытым способом. Основными породами в зоне минерализации являются крепкие порфиры и гранодиориты. Из карьера порода транспортируется в отвалы в думпках вместимостью $22,5 \text{ м}^3$. Длина транспортировки 5,4 км. С самых верхних уступов руда и порода доставляются автосамосвалами. Руда транспортируется на расстояние 1,2 км, а затем перегружается в железнодорожные вагоны. Средняя длина транспортировки породы с верхних уступов 0,8 км. Складирование породы на первом этапе осуществлялось на пологие склоны ярусами небольшой высоты.

Меднорудное месторождение Токепала в Перу также разрабатывается открытым способом. Длина карьера по простиранию изменялась от 1,5—1,6 км до 1,8—2,0 км по мере углубления горных работ. Для вывозки руды и вскрыши на карьере вначале применяли комбинированный транспорт. Руду и основную часть породы транспортировали в автосамосвалах на дно карьера к трем перегрузочным станциям, где осуществлялась их перегрузка в думпкары вместимостью 33 м^3 , и затем руда направлялась на обогатительную фабрику, расположенную на расстоянии 5,3 км. Порода транспортировалась в отвал, причем с верхних горизонтов часть вскрышных пород перевозилась в отвалы самосвалами. Формирование отвалов велось на пологих склонах ярусами небольшой высоты, поэтому проблем с их устойчивостью длительное время практически не возникало.

К среднегорной степной зоне могут быть отнесены месторождения, разрабатываемые как открытым, так и подземным способа-

ми. Климат этой зоны в целом умеренно континентальный с годовыми амплитудами от 28 до 35°. Среднегодовая температура воздуха колеблется от -1 до +1 °С [16]. Среднегодовое количество осадков составляет 300—400 мм в нижней части зоны и 400—600 мм — в верхней. Выпадение осадков неравномерное. В отдельные годы за апрель и май выпадает до 200—250 мм осадков. Часто они могут носить ливневый характер. Здесь могут интенсивно развиваться эрозионные процессы. К этой зоне относят Алтын-Топканский, Дашкесанский, Боординский рудники, а также Бингэм (США) и «Плато Расвумчорр» (Россия).

Алтын-Топканский рудник расположен в высокогорной местности Средней Азии. Максимальная отметка карьера 1830 м. Карьером обрабатывается верхняя часть месторождения. Отвалообразование осуществлялось с крутых склонов. Доставка породы до площадок отвалов производилась автосамосвалами. Высота их достигала сотен метров, и при малой площади отвалы были очень вместительны. Многолетний опыт работы на высоких отвалах с перевозкой породы автотранспортом подтвердил техническую целесообразность применения отвалов большой, практически неограниченной, высоты. Из-за небольших размеров площадки автомашины разгружались в 3—5 м от бровки откоса, а затем порода бульдозером сталкивалась с откоса.

Дашкесанское месторождение железных руд расположено на территории Азербайджана на высоте 1800—1600 м над уровнем моря. С учетом условий участков месторождения и склонов было принято решение о создании обособленных погоризонтных отвалов. Используя большую глубину ущелий и скальный характер бортов, отвалы отсыпали непосредственно на бровку. Такая схема отвалообразования позволила резко сократить дальность транспортировки породы до отвалов и улучшить условия работы автотранспорта, так как перевозка породы осуществлялась практически по горизонтали. Высота отвалов составляла 240—250 м [16].

При отработке северо-западного участка была проведена дорога в насыпях, расположенных на косогорах. Опыт показал, что по таким дорогам успешно проходят не только самосвалы, но и экскаваторы типа СЭ-3. Это позволило отсыпать с одного горизонта отвалы на всю высоту ущелья (200—250 м по вертикали) [16].

Боординский рудник находится в Тянь-Шане на высоте 2330 м над уровнем моря. Карьер, разрабатывающий месторождение, имеет

вытянутую форму и располагается в более долинной его части. Порода на площадки отвалов доставлялась автосамосвалами. Рельеф местности позволял на малой площади образовывать вместительные внеконтурные отвалы, высота которых достигала 80—120 м [16].

Рудник Бингэм (США) расположен в сравнительно не очень высоком гористом районе. С его помощью разрабатывается месторождение меди открытым способом. Транспортировку породы до площадок отвалов осуществляли комбинированным транспортом. С верхних горизонтов порода на отвалы доставлялась автосамосвалами, с нижних — железнодорожным транспортом. Длительное время применяли бульдозерные и экскаваторные отвалы, размещенные ярусами на склонах небольшой крутизны [16].

Карьер «Каджаранский» находится в условиях высокогорья на абсолютных отметках 1500—1916 м. Для размещения пород был образован двухъярусный северо-западный отвал. Высота верхнего яруса составляла 35—40 м, нижнего — 120—130 м. Порода отсыпалась под откос автотранспортом через предохранительный вал [16]. Из-за неблагоприятных инженерно-геологических условий склонов на отвалах имели место не только просадки и деформации, но и обрушения типа селей.

Одна из особенностей такой местности состоит в том, что наибольшее количество осадков выпадает в апреле-июне (70—150 мм), причем осадки могут выпасть за один-полтора часа. Резкому снижению прочностных свойств пород основания (делювиальные отложения) отвала способствовали не только наличие верховодки, но и выход в отдельных местах напорных вод. Деформированию, а затем и обрушению подвергся отвал окисленных руд, представленный двумя ярусами высотой 60 м (нижний) и 35 м (верхний). Объем отвала составлял около 720 тыс. м³. Расстояние распространения грязевого потока — 1,5 км. Оползни подподошвенного типа наблюдались в 1960 и 1963 гг. [40, 41]. Вскрышные породы (в основном, окисленные монцититы) складировались в двухъярусные отвалы, расположенные на склоне горы. Высота верхнего яруса 30—35 м, нижнего, в период возникновения оползня, достигала 120 м. На оползневых участках угол наклона основания, сложенного водонасыщенными суглинками, составлял 10—12°. Мощность песчано-глинистой толщи аллювиальных отложений изменялась от 7 до 15 м. Непосредственная причина оползней — выдавливание пород

основания, в результате чего произошло резкое ослабление призмы упора прислоненного откоса, что привело к обрушениям отвально-го массива [41].

По данным проф. Х. Хертига, проанализировавшего 329 случаев оползней, имевших место на карьерах бывшей ГДР за период с 1954 по 1960 гг., 13 % всех оползней связано с выдавливанием пород основания отвалов [15].

Аналогичные аварии внешних отвалов, хотя и в меньших масштабах, имели место на Алтын-Топканском и Боординском карьерах, а также на хвостохранилищах, где селевые потоки размывали значительные массы складированного материала [14, 16].

В работе [38] приведены данные о крупнейших оползнях за последние 20 лет на ряде карьеров бывших СССР и ЧССР. Так, крупный оползень на внешних отвалах карьера Норильского ГМК объемом 60 млн м³ произошел в 1992 г. Еще более крупный оползень произошел в 1985 г. также на внешних отвалах в буроугольном разрезе «Меркур» (бывш. ЧССР). Его объем составил 120—140 млн м³.

Изучение опыта эксплуатации рудников в других высокогорных зонах показало, что деформации и оползни отвалов могут быть связаны также с проявлением сейсмотектоники (свинцово-цинковые рудники Австрии) и вулканической деятельности (рудники Перу, Никарагуа и др.) [16].

В условиях глубокорасчлененного высокогорного рельефа и ограниченности территорий для размещения породных отвалов высоту последних резко увеличивают (до 100—200 м и более), концентрируя огромные объемы вскрышных пород в узких ущельях или на склонах гор [16]. По мнению И.З. Лысенко, при крутых склонах высоту автомобильных отвалов не следует ограничивать, если они сложены скальными породами. При крутизне откоса менее 35° отвальная насыпь никаким деформациям не подвергается, если в отвал ссыпаются скальные породы [16]. При крутизне 35—47° отвальные насыпи подвергаются деформации в виде подошвенных оползней, которые не вызывают внезапного разрушения верхней части отвала. Склоны гор с относительно развитым покровом лёссовидных пород и со сложным гидрогеологическим режимом мелкой гидрографической сети не подходят для размещения породных отвалов, так как периодически возникающие в горах сели легко смыывают в таких местах рыхлые породы.

1.2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВЫБОРУ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОТВАЛОВ ОТНОСИТЕЛЬНО КОНТУРА КАРЬЕРА

В справочном пособии «Системы открытой разработки» под редакцией акад. Н.В. Мельникова приводятся взаимосвязи между мощностью полезного ископаемого (угля, руды), вскрышных пород и необходимым комплексом горно-транспортного оборудования, позволяющего наиболее экономично и безопасно обеспечить выемку и размещение пород вскрыши внутри контура карьера или за его пределами [3]. Временное складирование пород вскрыши снижает себестоимость выемки 1 м³ вскрыши. По данным работы [3], себестоимость выемки 1 м³ вскрыши в системах разработки с перевалкой вскрыши в выработанное пространство по схеме «экскаватор — карьер» может быть почти в 2—3 раза меньше, чем в системах с переекспкавацией пород, и в 5—6 раз меньше, чем при транспортной системе разработки.

При ведении открытых работ в гористой местности и с учетом трудностей организации отвалов «на больших склонах» рекомендуется при отвалообразовании скальных пород использовать крупные шагающие драглайны [3]. В этом же пособии указывается, что шагающие драглайны типа ЭШ-6/60 могут быть эффективны при складировании неустойчивых и обводненных пород. Рекомендуется увеличивать высоту отвальных уступов и длину тупиков во всех случаях, когда устойчивость отвалов и условия безопасности работы на них это позволяют.

При осложненных бестранспортных способах разработки переекспкавацию породы производят драглайном, устанавливаемым на нижнем уступе вторичного отвала или на первичном отвале [3]. Переекспкавации подлежит часть породы из первичного отвала.

Отношение объема породы $V_{\text{пер}}$, подлежащей переекспкавации, к общему ее объему V_0 называется коэффициентом переекспкавации:

$$K_{\text{пер}} = \frac{V_{\text{пер}}}{V_0}. \quad (1.1)$$

Процесс отвалообразования существенно образом влияет на технологию вскрышных работ. Расходы на него в карьерах составляют 12—25 % затрат на выемку 1 м³ вскрыши [19].

Основополагающим принципом научных исследований, по мнению Н.В. Мельникова, является комплексный подход. Применительно к отвалам он заключается в технико-экономических расчетах, корректировке путем оценки устойчивости отвалов и учете дополнительных факторов при выборе технического решения.

Отмеченное Н.В. Мельниковым влияние технологии отсыпки отвалов на их устойчивость стало основой для многих последующих инженерных решений по совершенствованию технологии отвалообразования и управлению устойчивостью отвалов. Повышение высоты отвалов и безопасное производство работ — основы научных и инженерных решений, заложенных в проектах разработки многих угольных месторождений. Так, при обосновании вариантов разработки Талдинского месторождения в Кузбассе максимальная высота транспортных и бестранспортных отвалов должна составить 280 м, а угол их откоса — 23°.

На карьерах широко применяется управляемое отвалообразование с использованием экскаваторов (механических лопат), а также шагающих драглайнов, конвейерных отвалообразователей и бульдозеров. При этом увеличивается высота отвалов и соответственно уменьшается площадь отчуждаемых земель. В работе [5] отмечается, что расходы на отвалообразование могут составлять 12—15 % расходов на вскрышные работы, на отвальных работах обычно занято 25—30 % штата рабочих вскрышных участков.

На выбор способа отвалообразования существенное влияние оказывают оборудование, принятое на вскрышных работах, рельеф местности, а также крепость пород. Отвал должен быть расположен как можно ближе к карьере, чтобы расстояние транспортирования пород было наименьшим, и вместе с тем, рельеф местности должен допускать планомерное развитие отвала с наименьшими объемами первоначальных насыпей. Площади, занимаемые постоянными отвалами, должны быть безрудными и безугольными.

Оптимальный вариант размещения отвалов должен отвечать следующему условию [12]:

$$Z_{\text{тр}} + Z_p + Z_y \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

где $Z_{\text{тр}}$ — суммарные затраты на перевозку породы в отвалы за оцениваемый период, обычно равный сроку эксплуатации карьера;

Z_p — затраты на рекультивацию земли; Z_y — выплаты компенсации за ущерб, наносимый народному хозяйству изъятием земель (в среднем 150—250 руб. в год за 1 га в ценах 1980—1982 гг.).

Для уменьшения затрат на землю рекомендуется применять поэтапное развитие отвалов. Переход от одного этапа к другому осуществляется в течение 10—12 лет.

В глубоких карьерах с длительным сроком отработки верхние контуры расширяются этапами через 10—12 лет. Поэтому отвалы пород и других поверхностных сооружений первой очереди могут быть запроектированы за конечным контуром карьера или внутри конечного контура с его последующим переносом после отработки первой очереди.

Суммарная экономия за счет сокращения расстояния транспортирования равна [12]:

$$\Delta = VSL' \frac{K(K^T - 1)}{K - 1}, \quad (1.3)$$

где V — объем вскрышных пород 1-й очереди, м^3 ; S — себестоимость 1 км, руб.; L' — сокращение расстояния транспортирования пород до промежуточных отвалов, км; T — срок отработки карьера 1-й очереди; K — коэффициент, $K = 1 + E$ (E — нормативный коэффициент эффективности).

Затраты на перевозку породы из промежуточных отвалов в постоянные

$$Z_T = V T L S, \quad (1.4)$$

где S — себестоимость 1 т·км при перевозке породы из промежуточных отвалов в постоянные.

Затраты на экскавацию Z_3 и отвалообразование Z_0 :

$$Z_3 + Z_0 = VT(S_3 + S_0), \quad (1.5)$$

где $S_3 + S_0$ — соответственно себестоимость экскавации и отвалообразования при отработке и переносе промежуточных отвалов.

Тогда чистая экономия Δ , или прибыль Π от применения промежуточных отвалов, составит [12]:

$$\Pi = \Delta - Z_T - Z_3 - Z_0. \quad (1.6)$$

Основные принципы, соблюдаемые при выборе места складирования пород, должны обеспечивать экономичность и безопас-

ность производства работ. С этой точки зрения отвалы следует располагать [26]:

- в выработанном пространстве;
- как можно ближе к месту разработки пород на малоценных земельных угодьях;
- на одном уровне или ниже отметки разработки (для снижения транспортных расходов);
- на территориях с благоприятными условиями, обеспечивающими устойчивость отдельных ярусов и отвала в целом.

В некоторых случаях отвалы временно размещаются в контуре карьера и на крутопадающих месторождениях (например, рудник «Центральный» ОАО «Апатит» и др.), но подобные решения, по мнению К.А. Кумачева, требуют соответствующего экономического обоснования, так как по мере развития карьерного пространства временные отвалы необходимо переносить на новое место [26]. При больших размерах карьерного поля может оказаться целесообразным временно размещать отвалы в пределах конечного контура карьера, но за пределами границ горных работ, например, 10-летнего периода [26]. При выборе числа и местоположения отвалов следует учитывать необходимость, как правило, раздельного складирования рыхлых и скальных пород или выделения соответствующих самостоятельных участков в пределах одного отвала [26]. Дополнительные условия выбора местоположения отвалов накладываются в случае, если складывается бедная или кондиционная руда в период строительства карьера, подлежащая в последующем повторной разработке и транспортированию на обогатительную фабрику [26].

Некоторые технико-экономические показатели различных видов отвалообразования и механизации работ приведены в табл. 1.1—1.3 [5].

Таблица 1.1

Технико-экономические показатели различных видов отвалообразования и механизации работ [5]

Способ отвалообразования	Производительность труда на выход, м ³	Производительность отвала, тыс. м ³ /сут.
Разработка одноковшовыми экскаваторами	100—280	3—6
Бульдозерный	60—430	До 30

Таблица 1.2

**Технико-экономические показатели оценки способов
механизации отвальных работ (по П.Э. Зуркову) [5]**

Способ отвалообразования	Трудоемкость на 1000 м ³ , чел/смена	Стоимость отвалооб- разования, коп/м ³ (в ценах 1965—1970 гг.)
Экскаваторный при транспортной системе разработки:		
разработка одноковшовыми экска- ваторами	9—2	10,5—3,5
с консольными перегружателями	2,4—1,2	4—1,5
Экскаваторный при бестранспортной системе разработки:		
механическими лопатами	1,0—0,25	—
драглайнами	1,2—0,3	—
спаренными драглайнами	2,4—0,6	6—3
бульдозерный	5,5—3,8	4—2

Таблица 1.3

**Сравнительные экономические показатели при экскаваторном
и бульдозерном отвалообразовании (железнодорожный транспорт)
(по И.М. Русскому) [5]**

Показатель	Экскаватор ЭКГ-8	Бульдозер Д-714
Себестоимость, коп/м ³	5,4	4,6
Приведенные затраты, коп/м ³	8,6	5,5

Для определения оптимальных параметров отвальных полей составляется уравнение стоимости отвалообразования 1 м³ горной массы по сумме приведенных капитальных и эксплуатационных затрат [5]:

$$Z = Z_k + Z_z,$$

где Z — полные расходы; Z_k — капитальные расходы; Z_e — эксплуатационные расходы.

Уравнение решается на экстремум относительно L (длина отвального поля) типа $\frac{\partial Z}{\partial L}$ и $h_0 = h_{\max}$ и $B \frac{V}{Zh_0}$, где V — общий объем отвала.

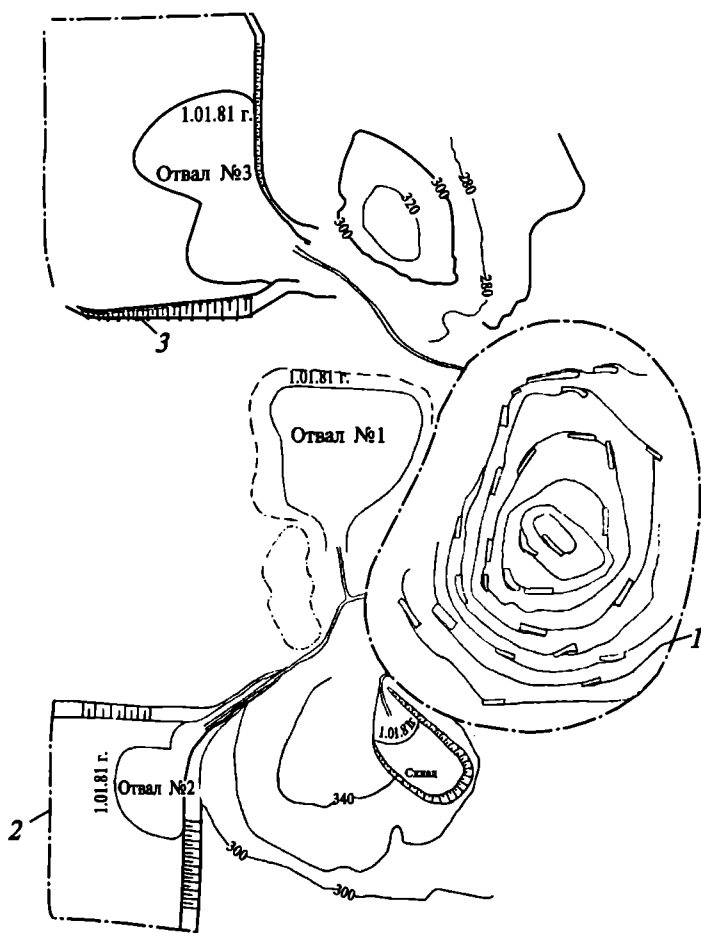
При работе бульдозеров Д-385 при $H_0 = 60$ м расходы на отвалобразование не превышают 8 коп/м^3 , как и при работе экскаваторов ЭКГ-8 при $H_0 = 32$ м.

На высокогорных отвалах при общей длине фронта отсыпки 20—60 м разгрузка автомашин и планировочные работы обычно совмещаются на одном участке. При большом объеме планировочных работ и возможности увеличения фронта отсыпки его целесообразно разделить на два-четыре участка и попеременно производить на каждом участке отсыпку и планировку. Затраты на отвалобразование составят 2—6 коп/м³ при периферийном способе и 5—8 коп/м³ при площадном [16].

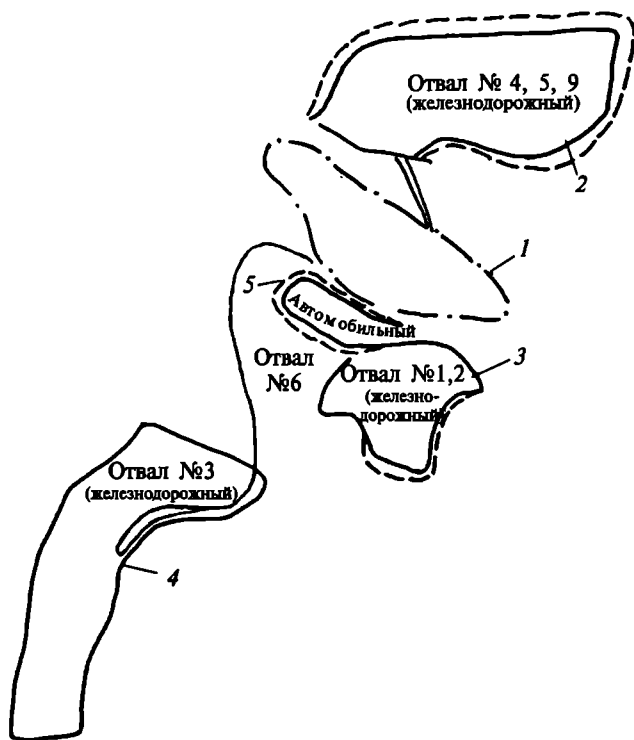
Проектирование размещения отвалов относительно контура карьера обычно осуществляется на основе распространенной методологии, по которой отвалы рассматриваются как отдельный независимый объект от процессов в карьере, и чаще всего это приводит к тому, что отвалы размещаются на отдаленных от карьера площадках.

При этом площадки отвода земли под отвалы увеличиваются более чем в 2 раза по сравнению с площадью карьеров. Кроме возрастания транспортных затрат на перевозку и складирование вскрыши, постепенно ухудшается экологическая обстановка вблизи карьеров и построенных на базе горно-рудных предприятий поселков и городов.

Применение железнодорожного и конвейерного транспорта, с одной стороны, позволяет снизить затраты на транспортирование пород вскрыши, а с другой — из-за своих особенностей (прямолинейности трассы) отдаляет площадки отвалов от карьера и в целом с учетом других составляющих (плата за землю, экологический фактор) удорожает производство работ (невысокая средняя высота отвалов). На рис. 1.1—1.5 приведены примеры принятых проектных решений по размещению отвалов на карьерах.



**Рис. 1.1. Схема размещения отвалов на карьере
ОАО «Ковдорский ГОК»:**
1 — контур карьера; 2, 3 — соответственно отвалы № 2 и 3



**Рис. 1.2. Схема размещения отвалов
на Оленегорском карьере «ОлКОН»:**

1 — контур карьера; 2—4 — железнодорожные отвалы;
5 — автомобильный отвал



**Рис. 1.3. Схема размещения отвалов
на Кошвинском апатит-нефелиновом карьере ОАО «Апатит»**

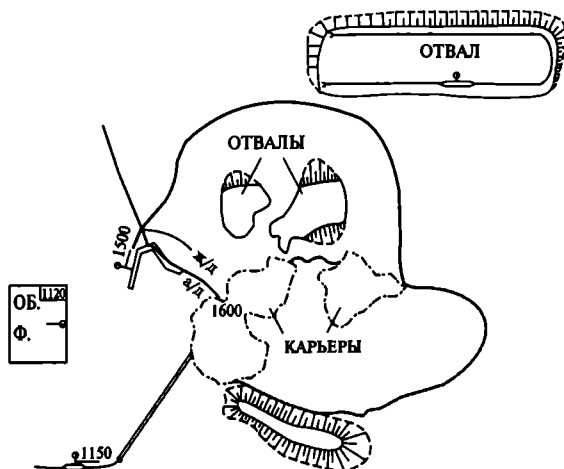


Рис. 1.4. Схема размещения отвалов на перспективном карьере Удукана

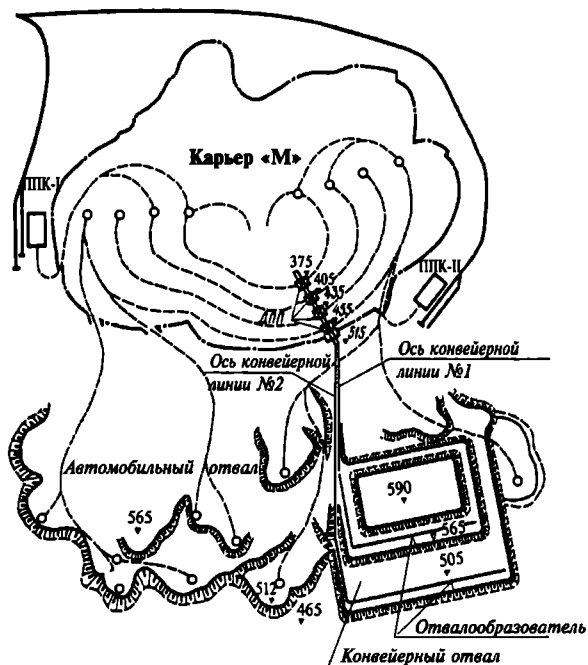


Рис. 1.5. Размещение комбинированных отвалов на карьере Мурунтау (Узбекистан)

1.3. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТВАЛОВ В ГОРИСТОЙ МЕСТНОСТИ (АНАЛИЗ ОПЫТА ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ В ГОРИСТОЙ МЕСТНОСТИ)

При установлении места складирования и порядка отсыпки вскрышных пород, а также при выборе горно- и гидротехнических мероприятий при строительстве и эксплуатации отвалов должны учитываться взаимосвязь технологии отвалообразования и погрузочно-транспортных работ, современных средств механизации, транспортно-отвальных процессов, целесообразной высоты отвалов и степени их устойчивости [14].

Высота отвалов, расположенных на косогоре, изменяется в широких пределах. Влияние средств механизации отвальных работ и характера складировемых пород наглядно иллюстрируется примерами из отечественной практики.

На медно-молибденовом карьере «Каджаранский» проектом было предусмотрено ярусное отвалообразование [14]. Ярусы отсыпались высотой 25—40 м. На северо-западном отвале высота верхнего яруса составила 35—40 м, нижнего — 120—130 м. Машины разгружались под откос. Лишь в случае сильных просадок свежеотсыпанной породы автомашины разгружались на расстоянии 3—4 м от верхней бровки. Движение по отвальной площадке верное. Средняя просадка верхнего яруса — 20 см/сут., нижнего — 50 см/сут. Рабочий фронт превышал 40—60 м.

На железорудном карьере «Дашкесанский» первоначально породу складировали в двухъярусный отвал на склоне. Фронт отсыпки составлял 30—35 м. Высота верхних ярусов — 30 м, нижнего — 50 м. На северо-западном участке породу складировали из автосамосвалов прямо под откос. Бульдозер использовался периодически (два раза в смену). Порода северо-восточного участка карьера отсыпалась в погоризонтные отвалы. В работе находились два верхних яруса с общим откосом. Высота отвала составляла 200—230 м.

На свинцово-цинковом карьере «Алтын-Топканский» по проекту предполагалось создать многоярусные отвалы с высотой яруса 15—20 м на расстоянии 2—4 км от карьера. На практике начали

применять групповые отвалы, расположенные на склонах разрабатываемой горы. Строительство отвалов заключалось в проведении полутраншей и создании площадок для разворота автомашин. У верхней бровки отвалов с высотой 50—130 м устраивался предохранительный вал высотой до 1 м. При крутизне склонов 70—80° и глубине ущелья до 600 м на карьере некоторое время применяли эстакадное отвалообразование. На других отвалах при разгрузке автомашин непосредственно под откос бульдозеры использовались лишь периодически, 1—2 раза в смену.

В условиях отсыпки высоких отвалов на карьере «Каджаранский» отмечена некоторая специфика производства работ. При размещении отвалов на склонах горы породы склонов оказались обводненными. Считается, что складированные в отвал монциты под воздействием климатических и гидрогеологических факторов быстро теряют первоначальную прочность, что отрицательно сказывается на их сопротивлении сдвигу [16]. В апреле 1956 г. в период сильных дождей произошел оползень южного отвала, вызванный передвижением зоны контактов отвала и делювиальных образований на склоне, отчего складированные в отвал и подстилающие породы делювия перешли в текучее состояние. Область распространения оползневых деформаций составила 200 м по фронту и 30 м в глубину. Объем оползня был равен примерно 0,4 млн м³.

На северо-западном отвале карьера «Каджаранский» также наблюдались оползневые деформации, вызванные разрушением обводненных пород нижней части склона под действием массы первого яруса отвала. Для отвода поверхностных вод была сооружена бетонированная канава с площадью сечения $S = 120 \times 150 \text{ см}^2$, длиной 1,2 км. Кроме того, для осушения обводненных пород склонов провели штольню с дренажными штреками. Чтобы исключить оползневые деформации и создать безопасные условия отвалообразования, по новому проекту была принята схема отсыпки снизу вверх начиная с предотвала. К горизонту отсыпки последнего проведут временную насыпь шириной по верху 45 м и уклоном 6 %. Эта насыпь будет служить временной опорой для высоких отвалов, существующих в настоящее время. Высота ярусов нового отвала — 40 м. Между откосами останется берма шириной 30 м, имеющая продольный уклон 2 %. Минимальная ширина рабочей отвальной площадки принята равной 45 м.

На карьере «Дашкесанский» четвертичные отложения на склонах не обводнены и мощность их невелика. Угол заложения склонов в верхней части достигает 30—35°. Погоризонтные отвалы северо-восточного участка высотой до 270 м имеют в нижней части естественный противоупор. Угол откоса отвала 38—42°. Так как подавляющая часть укладываемых пород представлена скальными разностями, отвал хорошо дренирует. Осадочные деформации на высоких отвалах не вызывают нарушений откосов, и трещины на отвальной площадке, вызванные ими, ликвидируются подсыпкой вскрышных пород. Оползневые деформации наблюдались на нерабочем отвале северо-восточного участка. Оползень захватил по фронту 30 м и в глубину от верхней бровки — 20 м. Причины оползня — большой угол заложения склона и ослабление прочности пород в отвале.

На карьере «Алтын-Топканский» склоны ущелий, на которых расположены отвалы, сложены скальными породами. Большинство отвалов оползневые деформации не подверглось. При расположении высоких отвалов на склонах крутизной 35—47° происходят подошвенные оползни. Однако по данным маркшейдерских наблюдений, оползни отсыпаемого слоя породы не разрушали верхней бровки отвала.

На отвале карьера «Боординский» наблюдались частичные нарушения нижней части откоса. На этих стадиях осадочные деформации приводили к среднесуточной осадке отвальной площадки в 30—40 см.

Остановимся на особенностях отвалообразования в условиях Заполярья. При открытом способе разработки нагорных месторождений отвалообразование является сложной инженерной проблемой в связи с отсутствием значительных площадей для размещения отвалов [27]. В работе Р.С. Пермякова отмечается, что особенности высоких бульдозерных отвалов заключаются в их большой приемной способности, малой скорости подвигания фронта работ, ограниченной длине фронта отсыпки.

Выбор способа отвалообразования и отвального оборудования зависит от климатических факторов и устойчивости отвальных пород. На высоких отвалах могут формироваться все виды оползней, которые, согласно классификации С.И. Попова [27], по положению поверхности скольжения основания подразделяются на надподошвенные, подошвенные и подподошвенные.

Факторы, влияющие на устойчивость отвалов, могут быть разбиты на следующие группы:

- связанные с сопротивлением сдвигу пород основания отвала;
- обусловленные сопротивлением сдвигу пород отвала;
- технологические.

Устойчивость отвалов на слабых основаниях зависит не только от наличия слабого слоя, но и от его мощности и скорости подвигания фронта отвальных работ. Если интенсивность нагружения и фильтрационные свойства пород не обеспечивают рассеивание порового давления, а вызывают его рост, то возможны оползневые деформации.

Ко второй и третьей группам факторов относятся сопротивление пород отвала в зависимости от их свойств и технологии размещения.

При совместной отсыпке рыхлые породы, располагаясь в теле отвала под углом естественного откоса, могут служить причиной оползневых деформаций ввиду их невысокого сопротивления сдвигу. Следует отметить, что в суровых климатических условиях роль поверхности ослабления может играть лед, так как под влиянием массы пород, отсыпаемых на снежный покров, снег перекристаллизовывается и переходит в лед [17]. Однако на устойчивость отвала, имеющего в своем теле прослойки льда, будет влиять не столько предел прочности льда при срезе, сколько предел длительной прочности, величина которого для льда при температуре минус 1—2° составляет около 0,16 МПа, причем с увеличением нормальных напряжений этот предел уменьшается [27]. Таким образом, при размещении слоя снега на слое пород вертикальной мощностью 10 м следовало бы ожидать увеличения скорости смещения породных масс вниз по склону с последующим обрушением. Вместе с тем, за время существования отвалов на карьерах таких оползней не наблюдалось [27].

При отсыпке высоких отвалов отдельные куски скальных пород, обладая большой кинетической энергией и скатываясь по слою снега на откосе отвала, вызывают перемешивание пород со снегом. В результате отвал приобретает слоистое строение, при котором слои отвальных пород, отсыпанные в летнее время, перемежаются со слоями, отсыпанными зимой, и слоями, представленными скальными породами с заполнителем льда [27]. В таком слое основную часть напряжений принимают на себя скальные породы,

в результате чего оползней не происходит. Тем не менее, для большей гарантии при проверке устойчивости отвалов следует учитывать наличие снега в отвальных породах.

На отвале № 4, объем которого составил 1,3 млн м³ пород, в августе было отмечено оседание, достигающее 4—6 м/сут. Впоследствии скорость оседания снизилась до 1—1,7 м/сут., но отвал в сентябре обрушился. Обрушение захватило центральную часть отвала, объем которой составил 700—800 м³. Расстояние перемещения 800—900 м. Площадь, занятая породами обрушенного отвала, равнялась 30—35 га [17, 27].

В работе [48] указывается, что существенное прогревание отвала относительно подстилающей поверхности, способное поднять температуру мерзлого ядра выше 0 °С, возможно только за счет талых вод, стекающих в отвал по его контакту со склоном. Такой сток, существующий длительное время и являющийся мощным теплоносителем, создает поднимающийся вертикально вверх поток тепла, который, в отличие от внешнего поверхностного нагрева, способен обеспечить полное прогревание отвала до положительных температур.

Однако на практике, с учетом всех случаев обрушения отвалов со склонов, отмечено, что удельный вес водогрязевой массы составлял всего 30—40 % объема отвалов. Остальная масса представляла собой крупные блоки размером 20—50 м³ и более.

В СССР крупные деформации отвалов были на Богдановском карьере треста «Никополь-Марганец», на Богословском и Веселовском карьерах треста «Вахрушевуголь» и др. [15, 27, 37]. В качестве рекомендации предложено при наличии призмы обрушения до 10 м для безопасности работ автотранспорт и бульдозеры закреплять при помощи анкеров, которые устанавливать за призмой обрушения [14]. На большинстве нагорных карьеров от этого приема отказались из-за малой его эффективности.

За пять лет эксплуатации Центрального рудника ОАО «Апатит» (1965—1970 гг.) произошло три обрушения отвалов, расположенных на южном склоне плато Расвумчорр (отвалы № 4, 4а, б) объемом от 1 до 2,2 млн м³ (рис. 1.6) [47]. Все отвалы до обрушения имели начальную фазу, характеризующуюся незначительными суточными деформациями — до 50—100 мм/сут. В общем случае можно констатировать, что перемещение отвалов происходит под действием комплекса сил, приводящих к возрастанию скорости деформации до 10 м/сут. и более, после чего наступает обрушение отвала.

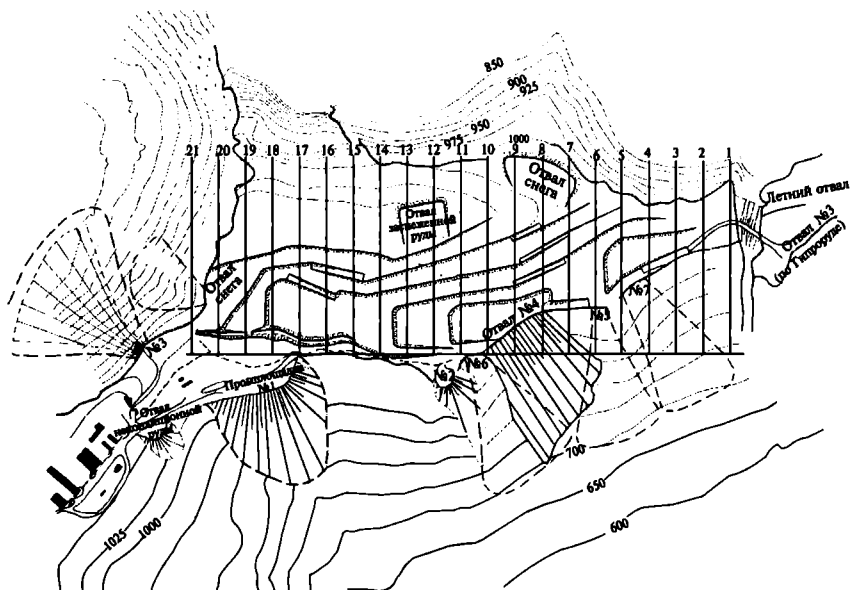


Рис. 1.6. Эксплуатация отвальных площадок на карьере Центрального рудника ОАО «Апатит»

В общем виде время наступления критической деформации отвала h_k можно выразить выражением [47]

$$h_k = f(\alpha, V, B, H, X),$$

где α — угол наклона косогора; V — объем отсыпанной породы; B , H — соответственно ширина и высота отвала; X — физико-механические свойства отвальной породы

$$X = f(\omega, t, P, H).$$

Математическая обработка этих материалов позволила найти следующую эмпирическую зависимость [47]:

$$h = 0,31 + 0,05t + 0,000126e^{1,34t}. \quad (1.7)$$

Пользуясь этой зависимостью, можно с некоторым приближением установить скорость деформаций отвалов до полного их обрушения при достижении критических значений.

Деформации оседания и скольжения имеют противоположные тенденции развития. Если оседание со временем стремится к зату-

ханию, то скольжение при тех же условиях — к нарастанию. Характер скольжения и особенности его развития определяются связанностью отвальной массы и ее вязкопластическими свойствами, которые зависят от насыщенности породы снегом [32].

Некоторые исследователи считают, что сам факт заснеженности породы и большое содержание в ней снега в условиях Заполярья практически не влияют на технологию отвалообразования и эксплуатацию невысоких отвалов [32]. Поскольку процесс оседания породы за счет уплотнения растянут во времени, то при постоянной отсыпке он практически не прекращается, а за счет разности абсолютных деформаций возникает некоторое относительное смещение слоев. Очевидно, каждый последующий слой будет суммировать смещение всех предыдущих. Поэтому поверхность рабочей площадки оставленного отвала всегда приобретает ступенчатый вид, а внешний слой всегда имеет максимальную скорость деформации и максимальное абсолютное смещение [32].

Натурные наблюдения с помощью термоградиентных установок показали, что прогревание и промерзание отвалов от поверхности распространяется на глубину 3—5 м. Однако полное прогревание отвала или хотя бы его достаточно большой зоны, прилегающей к подстилающей поверхности, возможно за счет стока в отвалы талых или грунтовых вод, что может происходить летом и в начале осени [32].

После прекращения отсыпки породы в отвал деформация его затухает. По данной модели прогревание шло как от дневной поверхности, так и от подстилающего склона. Когда прогревание достигло глубины 13 м, деформации отвала стабилизировались. При дальнейшем повышении температуры отвала до 0 °С и выше деформации стали возрастать, что свидетельствует об уменьшении сил сцепления при постоянной нагрузке [32]. Было установлено, что вслед за нулевой изотермой в отвале продвигается зона разрыхления, которая возникает при вытаивании снега и является причиной возникновения пульсирующей деформации [32].

Как показал опыт работы по отсыпке пород на пологий склон (8—10°) комплексных железных руд на Ковдорском карьере в период 1961—1965 гг., при достижении ярусами отвала высоты выше

25—30 м они начинали интенсивно деформироваться [43]. Это проявилось в виде образования зоны заколов и просадок на верхних площадках ярусов. Если же скорость продвижения фронта яруса снижалась до некоторого значения V_k , то образование закольных трещин не наблюдалось, несмотря на то, что высота ярусов изменялась от 25 до 65 м (для условий Ковдорского ГОКа $V_k \leq 1$ м/сут.). Вторичные просадки возникают в весенне-летнее время в виде трещин и заколов, совпадающих с положением верхних бровок ярусов на момент промерзания грунтов основания [43]. Переход на новую схему отсыпки (непосредственно под откос) позволил полностью устранить возникновение закольных трещин и просадок верхних площадок ярусов, хотя высота их стала достигать в отдельных случаях 60—70 м. За счет сокращения объема бульдозерных работ затраты на отвалообразование сократились на 4 коп/м³ [43].

Предельная ширина отвала на горных склонах зимой больше, чем летом. Поэтому в зимний период в отвал можно отсыпать больше вскрышных пород. Однако необходимо учитывать, что отвал, отсыпанный зимой, летом без дополнительной отсыпки из-за перегруженности может потерять устойчивость и обрушиться, поскольку ширина насыпной части рабочей площадки летом меньше [46].

«Подвижной отвал», отсыпaeмый на склон в проектный контур, за счет деформации скольжения самотранспортирует горную массу за пределы этого контура. Такие отвалы действовали на Центральном руднике, в них отсыпано более 4,0 млн м³ вскрышной породы. Свыше 70 % этого объема самотранспортировкой вышло за пределы проектного контура. Реальный экономический эффект составил от 700 тыс. до 1 млн руб. (в ценах 1985 г.) [46].

Размещение отвалов на склонах или в верховьях долины над карьером всегда связано с определенным риском для работы в карьере. Поэтому, как правило, отвалы размещают либо в соседних долинах, либо в низовьях этой же долины, что приводит к увеличению дальности транспортировки вскрышного грузооборота, а следовательно, и увеличению эксплуатационных затрат [57].

По мнению некоторых исследователей, в слоях зимней отсыпки температура держится на уровне -10 °С, а в слоях летней от-

сыпки она может достигать $+5^{\circ}\text{C}$. Со временем происходит нивелирование температуры и в теле отвала устанавливается средний уровень — примерно -5°C [57]. В поле отрицательных температур (средняя -3°C) снег в порах отвальной породы не снижает ее прочностных характеристик, а увеличивает их на 30—50 % [52]. Практически это означает, что снег, заполняющий пустоты отвальной породы, не ослабляет отвалы, а, наоборот, упрочняет их, цементирует [57]. Снег в отвальной массе заполняет в первую очередь ее поры, объем которых в среднем составляет 25,9 % объема породы. Средняя заснеженность отвалов Центрального рудника — 9—10 % [57].

При анализе графика изменения скорости деформации отвала во времени сделан вывод, что в пределах пологого участка деформации отвала могут быть опасны для работы на нем, но деформация скольжения, способная привести отвал к обрушению, еще не является определяющей характеристикой отвала [57]. Следовательно, на высоких подвижных склонах отвалов можно работать вплоть до скорости деформации 50 мм/сут., которая является критерием безопасной эксплуатации отвала [57]. Считается, что снегопородная смесь, созданная таким образом в теле отвала, при отрицательных температурах значительно прочнее сухой отвальной породы. При нулевой температуре и тающем снеге сопротивление сдвигу в отвальной породе достигает минимальных значений [17].

Отвал на горном склоне, высота которого достигает 400—600 м, а крутизна — 58° , обязательно начинает деформироваться [57]. При этом выявлено два вида деформации: уплотнение, которое имеет тенденцию к затуханию, и скольжение, которое появляется и прогрессирует с увеличением массы нагрузки в отвале. Деформация скольжения не может развиваться вплоть до мгновенного обрушения всего отвала или его части [57]. Однако закономерная монотонность развития скорости деформации скольжения позволяет установить критерии, контролирующие состояние отвала. В соответствии с этими критериями отвалы могут быть устойчивыми, если деформации скольжения практически отсутствуют или пренебрежимо малы, и подвижными или относительно устойчивыми, подверженными первой стадии деформации скольжения (в допредельном состоянии) [57].

1.4. ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЕМ НА КАРЬЕРАХ И СПОСОБЫ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ

Управление отвалами открытых горных работ может производиться как с обязательным обеспечением устойчивости откосов (при внутреннем отвалообразовании и при наличии малоподвижного оборудования в призме возможного оползания), так и с контролируемыми оползнями откосов отвалов, характер деформирования которых известен заранее [35].

В практике открытых горных работ в настоящее время чаще применяется первая группа способов управления. Предпосылкой применения второго способа является, помимо экономических соображений, наличие в основании отвала пород с низкой несущей способностью, что обуславливает развитие оползней подпошвенного типа, характеризующихся медленным и плавным протеканием процесса деформирования [35]. Этот способ может также использоваться при отвалообразовании в гористой местности при высоте отвалов, измеряемой сотнями метров, и наличием поверхностей ослабления в массиве отвала или его основания. Способ управления отвалами связан с факторами, влияющими на устойчивость откосов, и предопределяет мероприятия, применение которых обеспечивает безопасность и высокую технико-экономическую эффективность отвалообразования [35].

Количественная оценка степени влияния условий отвалообразования на устойчивость откосов производится путем расчета устойчивости на основе изучения физико-механических свойств пород. Решения о целесообразности применения того или иного способа отвалообразования принимаются при помощи технико-экономического сравнения вариантов.

Факторы, влияющие на устойчивость отвалов. Поведение пород при отвалообразовании определяется физико-географическими, геологическими, инженерно-геологическими, гидрогеологическими и технологическими факторами [15]. Влияние наклона основания существенно, когда сопротивление сдвигу пород основания отвала ниже сопротивления сдвигу пород самого отвала.

Рельефом местности определяется также характер поверхностного стока. В случае скольжения атмосферных вод у нижней бровки отвалов, подтапливания дождевыми и паводковыми водами или размещения отвалов во впадинах, не имеющих стока, происходит увлажнение пород отвалов и их оснований, снижение сопротивляемости пород сдвигу, уменьшение высоты и угла откоса устойчивых отвальных откосов.

Значительное влияние на устойчивость отвальных откосов оказывают атмосферные осадки. Так, систематизация нарушения устойчивости откосов на карьерах бывших СССР, ГДР, ЧССР, а также КНР, Болгарии, ФРГ и Италии показывает, что с атмосферными осадками связано более 25 % деформаций откосов [51].

В горной практике известны примеры создания отвалов из скальных пород высотой в сотни метров [26]. Так, на Дашкесанском железорудном карьере высота отвального уступа при автомобильном транспорте достигает 250 м. На Кальмакырском руднике в среднеазиатских предгорьях высота уступа отвала даже при использовании железнодорожного транспорта составляла в ряде случаев 80—120 м. На Алтын-Топканском комбинате в Средней Азии на склонах крутизной 60—70° были созданы бульдозерные отвалы высотой до 600 м. Отвалы большой высоты эксплуатируются на Тырнаузском комбинате на Северном Кавказе и на ряде других объектов [26].

При разработке нагорных месторождений возникает необходимость в организации так называемых погоризонтных отвалов, т.е. отвалов, отметки отсыпки которых совпадают с отметками разработки вскрышных уступов в карьере и которые для сокращения расстояния транспортировки породы стремятся расположить непосредственно у конечного контура карьера.

Поскольку разработка нагорных уступов карьера производится обычно сверху вниз, отсыпка отвалов должна осуществляться в такой же последовательности. При крутых склонах рельефа или слабой несущей способности грунтов необходимо вначале обеспечить устойчивость будущего отвала, создав прочное основание, для чего вскрышу с верхних горизонтов карьера необходимо доставлять в нижние ярусы отвалов. В некоторых случаях ярусы сложно располагать друг под другом по условиям безопасности производства работ. Возможен вариант, когда ярусы отвала отсыпаются снизу вверх [26].

При накоплении значительного объема пустых пород отвал может внезапно обрушиться с образованием обвально-лавинного движения пород по склону [102]. Вероятность этого повышается при неблагоприятных факторах: слабом основании отвала, плохом дренировании пород, при частых ливнях, сейсмических воздействиях, при взрывах или землетрясениях. Для обеспечения безопасности отвальных работ предлагается принудительно обрушать высокие отвалы до достижения ими критического объема взрыванием скважинных зарядов, размещенных вблизи потенциальной поверхности обрушения.

На некоторых зарубежных карьерах, например на карьере Бингэм, вскрышные породы вывозят в отвалы за пределы карьера и на обратный склон окружающих возвышенностей [103]. Отвалообразование велось с отсыпкой опережающего уступа железнодорожным транспортом. Высота яруса принималась не более 15—20 м, затем автомобильным транспортом отсыпался второй ярус высотой 150 м и более. Отвалообразование велось с предохранительным валом высотой до 1 м и шириной 1,5—2 м. На отвалах работали бульдозеры «Катерпиллер» мощностью 184 и 257 кВт. При дальнейшем увеличении глубины разработки (производительность карьера $A_p = 15+20$ млн т/год) начали применять комбинированный транспорт.

Известен способ отсыпки нагорных отвалов [117], по которому рабочие площадки ярусов располагают последовательно сверху вниз с соединением площадок по центру ярусов серпантинной автодорогой. Отсыпку отвала осуществляют снизу вверх с засыпкой центральной части каждого нижележащего яруса одновременно с окончательной засыпкой флангов выше лежащего яруса. Способ может применяться в условиях локальных участков склонов (пологие). В условиях Севера (бураны, туманы, наледи) сложно обеспечить ритмичную отсыпку заданных объемов вскрыши, спускаясь с крутых склонов на пологие.

Иногда применяют способ складирования пород в отвал [118], который исключает смерзание пород в отвале, что снижает их прочностные свойства и, следовательно, высоту отвалов.

По другому способу отвалообразования на косогорах [119] применяют отвальное оборудование в виде консольных отвалооб-