Министерство угольной промышленности СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

по определению углов откосов уступов и углов наклона бортов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами

Ленинград
1972

gost.e-ecolog.ru

УДК 622.831:622.271.7

А Н Н О Т А Ц И Я

Методическое пособие по определению углов наклона бортов и углов откосов уступов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами, составлено на основе материалов исследований, проведенных на карьерах кимберлитовых трубок "Мир" и "Айхал". В нем приводится краткая геологическая характеристика алмазоносных районов Якутии, методика определения физико-механических характеристик многолетнемерзлых пород и дается описание видов деформаций откосов уступов и бортов карьеров.

На основе результатов проведенных исследований излагается методика выбора расчетных характеристик и дается пример расчета устойчивости бортов карьера. Приведено теоретическое обоснование и методические положения искусственного укрепления уступов.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы определения параметров бортов и уступов карьеров, расположенных в зоне распространения многолетней мерзлоты, возникли в связи с развитием горнодобывающей промышленности в северных районах СССР. В настоящее время на территории Якутской АССР и северо-востоке Сибири производится разработка открытым способом алмазных и угольных месторождений, составляются проекты отработки открытым способом руд цветных металлов.

Быстрое развитие горнодобывающей промышленности в указанных районах требует решения ряда задач, связанных со специфическими условиями Крайнего Севера. Одной из важнейших задач при разработке месторождений открытым способом является устойчивость бортов и уступов карьеров, сложенных массивом многолетнемерзлых пород. Особое значение при этом приобретают вопросы влияния многолетней мерзлоты на прочность трещиноватого массива горных пород; влияние периодически повторяющегося процесса замораживания и последующего оттаивания на характер и степень ослабления прочности массива, влияние взрывных работ на прочность массива и др.

Вместе с тем большое значение приобретают вопросы поддержания бортов и уступов карьеров в устойчивом состоянии.

В 1961-1970 гг. ВНИМИ проводил исследования устойчивости бортов карьеров "Мир", "Айхал" и Удоканского карьера, расположенных в зоне распространения многолетней мерзлоты. В процессе исследований определены и изучены различные факторы, оказывающие влияние на устойчивость бортов и уступов, сложенных многолетнемерзлыми породами; разработаны мероприятия по поддержанию берм и откосов в устойчивом состоянии и даны рекомендации по их параметрам.

В 1962 г. ВНИМИ было выпущено "Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и откосов отвалов", а в 1967 г. "Методическое руководство по искусственному укреплению скальных и полускальных

пород на карьерах". Однако в указанных руководствах не затрагивались карьеры, пройденные в условиях многолетней мерзлоты, что и вызвало необходимость составления настоящего пособия, не дублируя указанные выше.

В методическом пособии, составленном по материалам исследований, проведенных лабораторией устойчивости бортов карьеров, рассмотрены методы изучения факторов, оказывающих влияние на устойчивость бортов и уступов карьеров, приведены сведения о свойствах многолетнемерзлых пород, а также рекомендации по определению параметров бортов и уступов карьеров и мероприятия по их поддержанию.

Методическое пособие составили канд.техн.наук И.И. Ермаков и канд.техн.наук Г.Р.Глозман.

В настоящей редакции учтены замечания сотрудников институтов "Гипроруда", "ВНИИПРОЗОЛОТО", "Гипроцветмет", "Якутнипроалмаз", а также предприятий объединения "Якуталмаз", высказанные ими после ознакомления с первой редакцией пособия, за что авторы выражают им свою глубокую признательность.

ГЛАВА 1

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛМАЗОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ

§ 1. Общие сведения

Алмазоносная область Западной Якутии охватывает восточную часть Средне-Сибирского плоскогорья и северо-западную часть Вилюйской низменности. Этот район характеризуется резко континентальным климатом с температурой воздуха от −65 до +40°С.

В Западной Якутии повсеместно развита многолетняя мерзлота. Мощность слоя постоянно мерзлых грунтов и пород колеблется в широких пределах. Так, в окрестностях кимберлитовой трубки "Мир" она равна 320 м, а в районе кимберлитовой трубки "Айхал" достигает 500 м. Глубина деятельного слоя не превышает 2–3 м и зависит от экспозиции склона, густоты растительного покрова и состава грунта.

Среднегодовое количество осадков колеблется от 200 до 350 мм. Большая часть их выпадает в теплое время года. Зимы малоснежные, мощность снежного покрова 30–40 см. Снежный покров ложится в конце сентября и держится до середины мая.

Мерзлые грунты и породы представляют собой водоупорный пласт, повсюду подстилающий тонкий слаборазвитый слой почвы. Весной, а также в дождливые месяцы лета почва очень быстро полностью насыщается влагой. Инфильтрация воды в почву отсутствует и в водном балансе решающую роль играет поверхностный сток.

Открытие богатых алмазных месторождений коренным образом меняет экономику края и неизмеримо расширяет перспективы дальнейшего экономического развития Западной Якутии. Создание здесь крупной алмазодобывающей промышленности влечет за собой развитие других отраслей горнодобывающей промышленности. Разведены большие запасы каменного угля, создаются предприятия по

добыче строительных материалов

В ближайшие годы горнодобывающая промышленность Западной Якутии сделается ведущей отраслью хозяйства, что ставит перед горной наукой большие и неотложные задачи.

§ 2. Форма и залегание рудных тел

Основными особенностями кимберлитовых трубок Якутии являются сравнительно небольшие размеры и близкая к круговой или овальная форма в плане (рис.1) /1/. Кро-



Рис.1.

ме того, особенностью кимберлитовых тел является то, что почти все известные кимберлитовые трубки выходят на поверхность. Это обстоятельство является основным условием, определяющим разработку верхней части месторождений открытым способом.

Падение большинства кимберлитовых трубок близко к вертикальному, кимберлитовые тела с глубиной постепенно выклиниваются.

§ 3. Структурная характеристика и трещиноватость вмещающих пород

Массив пород, вмещающих алмазоносные кимберлитовые трубки Якутии, представлен нижнеордовикскими и

кембрийскими осадками и является трещиноватой средой с анизотропными механическими свойствами.

Наличие в массиве пород трещин-плоскостей ослабления ведет к ослаблению прочностных свойств массива. При решении различных горнотехнических задач возникает необходимость в изучении трещиноватости горных пород и определении ее влияния на прочность последних в каждом отдельном случае.

С точки зрения влияния на устойчивость бортов карьеров, плоскости ослабления следует подразделить на две основные группы.

К первой группе относятся контакты слоев, сплошные трещины и тектонические нарушения, т.е. поверхности ослабления, имеющие размеры в несколько десятков метров по простиранию и падению (рис.2). Ко

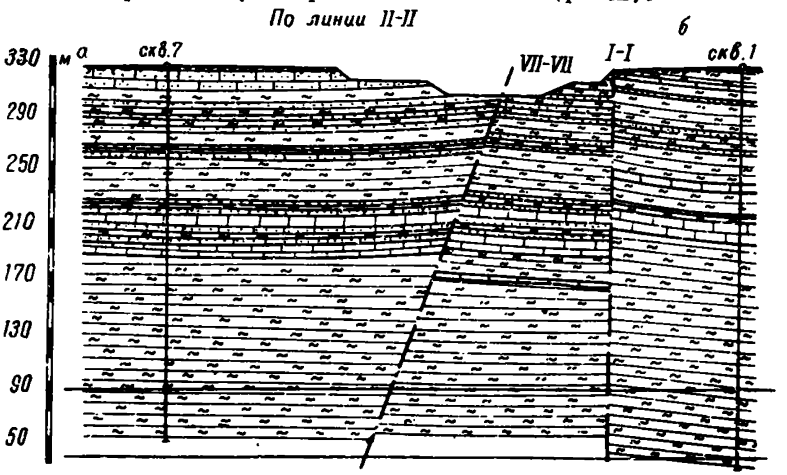


Рис.2

второй группе относится мелкая трещиноватость – (трещины отдельности, кливажные трещины и т.д.).

И те и другие трещины оказывают непосредственное влияние на устойчивость откосов и, следовательно, их необходимо учитывать при расчетах устойчивости бортов и уступов карьеров.

Структурные особенности массива во многих случаях предопределяют характер его деформации при разработке. На устойчивость откосов и бортов карьеров решающее влияние оказывают трещины, развитые по слоистости, сланцеватости, параллельно тектоническим нарушениям, а также отдельные трещины протяженностью более 10-15 м по падению и простиранию и падающие в сторону выработанного пространства.

При падении в сторону выработанного пространства указанных поверхностей ослабления, последние могут служить поверхностями, по которым развиваются подвижки массива и, в конечном итоге, могут происходить обрушения. Ослабленными зонами, реализующимися в дальнейшем в поверхности скольжения, могут являться также пропластки более слабых, по сравнению с окружающим массивом, пород.

В условиях кимберлитовых трубок Якутии основными поверхностями ослабления являются контакты слоев, тектонические нарушения и отдельные трещины, размерами 10 и более метров по простиранию и падению.

Для учета таких поверхностей ослабления при решении вопроса устойчивости бортов карьеров необходимо определить: 1) размеры поверхностей ослабления; 2) элементы залегания (азимут простирания и угол падения трещин или контактов); 3) прочностные характеристики пород по поверхности ослабления (сцепление - K и угол трения ρ).

Элементы залегания и размеры поверхностей ослабления определяются как в процессе ведения разведочных работ, так и непосредственными замерами в обнажениях, образованных в результате ведения горных работ, или в естественных обнажениях. Непосредственные измерения ведутся обычно горным компасом; точки замера наносятся на план горных работ и по результатам замеров составляется карта крупных (сплошных) трещин.

Как показали наблюдения, залегание вмещающих пород разрабатываемых кимберлитовых трубок близко к горизонтальному.

Вдоль контактов с кимберлитовыми телами вмещающие породы, как правило, приподняты, иногда вдоль контактов

наблюдается образование небольших пологих складок. Углы падения слоев вмещающих пород непосредственно вдоль плоскости контакта варьируют в весьма широких пределах - от 2-3 до 35-38°, составляя в большинстве случаев 5-12°.

Значительно реже вмещающие породы погружаются в сторону трубок и характеризуются пологими углами падения, не превышающими на трубках "Мир" и "Айхал" 12-15°. При удалении от контактов трубок на расстояние 15-30 м вмещающие породы приобретают горизонтальное залегание.

Определенное развитие в крепких породах-песчаниках, алевролитах, известняках - имеют сплошные трещины. Эти трещины характеризуются большими размерами (10-15 м по простиранию и падению), выдержанным простиранием и крутым (более 70°) падением. Такие трещины встречаются в породах карьеров "Мир" и "Айхал", по всей вероятности, подобные трещины имеют место и во вмещающих породах других кимберлитовых трубок.

Как правило, поверхности таких трещин довольно ровные, шероховатые, с небольшими наростями и выемками.

В массиве пород кимберлитовой трубки "Мир" встречаются тектонические нарушения крутого падения, рассекающие рудное тело и вмещающие породы в радиальных направлениях. Примерной точкой пересечения указанных нарушений является при этом центр кимберлитовой трубки (в плане).

Учитывая то обстоятельство, что указанные тектонические нарушения благоприятно ориентированы к простиранию борта и имеют крутые углы падения, они не будут оказывать существенного влияния на устойчивость бортов карьера трубки "Мир".

Вторая группа трещин - трещины отдельности в породах кимберлитовых трубок "Мир" и "Айхал" состоит из четырех-пяти систем, характеризующихся крутыми углами падения. При этом следует отметить, что основные системы трещин являются общими, как для вмещающих пород трубки "Мир", так и трубки "Айхал". Элементы залегания этих систем трещин приведены в табл.1.

Таблица I

Азимут простирания, град.	Трубка "Мир"					Трубка "Айхал"			
	20	88	130	263	200	345	80	155	260
Угол падения, град.	83	85	82	82	84	65–75	70–80	65–80	85

Как видно из таблицы, все трещины имеют крутые углы падения, т.е. являются нормально-секущими по отношению к напластованию. Отсюда основной формой блоков, образуемых в результате пересечения пород трещинами, являются плиты и прямоугольные параллелепипеды.

По мере приближения к контакту с кимберлитовым телом трещиноватость вмещающих пород заметно возрастает. Непосредственно вдоль плоскости контакта имеют место зоны дробления, как правило, небольшой мощности. По мере удаления от трубок интенсивность трещиноватости затухает, однако отдельные зоны дробления встречаются также и на значительном удалении от контактов трубок.

Большое распространение в массиве многолетнемерзлых пород имеют скрытые трещины. Скрытые трещины особенно распространены в выветрелых породах, а также в породах невысокой прочности (мергели, алевролиты). С глубиной, как показали результаты бурения скважин, количество их уменьшается.

В естественном замороженном состоянии (в свежих обнажениях) даже мергели верхних горизонтов представляют собой крепкую монолитную породу, разбитую редкой сетью основных нормально-секущих трещин. Скрытые трещины спаяны льдом и не проявляются. При оттаивании нарушаются связи по трещинам и породы распадаются на мелкие блоки размером 2x3x3 см.

Полученные данные по трещиноватости керна из скважин, а также наблюдения ВНИМИ, проведенные на других карьерах, свидетельствуют о том, что ориентировка трещин одноименных пород с увеличением глубины не изменяется.

Следовательно, данные, полученные по изучению трещиноватости верхних горизонтов, могут характеризовать трещиноватость массива глубоких горизонтов.

§4. Мерзлотно-гидрогеологические условия месторождения

1. Как уже отмечалось, коренные месторождения алмазов расположены в области сплошного распространения многолетней мерзлоты. Результаты, полученные при измерениях температуры до глубины 200–220 м, показывают растянутую геотермическую ступень (около 100–110 м). Мощность многолетней мерзлоты по трубкам совпадает с мощностью мерзлых пород по районам.

Для кимберлитовой трубки "Айхал" наиболее низкая температура свойственна породам на глубине 20–80 м в пределах от –3 до –2,8°С. Изменение температуры пород с глубиной приведено в табл.2.

Таблица 2

Глубина, м	20	60	100	140	180	220
t° С	–3	–2,8	–2,3	–2,3	–1,9	–1,5

По значениям температур пород трубка "Айхал" относится к числу трубок с относительно высокими температурами ("Мир" – в пределах от –2,6 до –2,8°С; "Зарница" – в пределах от –1,0 до –3,4°С). Сквозные талики на трубке отсутствуют. Проведенные наблюдения показывают, что породы кимберлитовой трубки "Айхал" по своему температурному режиму можно подразделить на три принятых в мерзлотоведении основных слоя:

а) деятельный или активный слой – слой сезонного оттаивания, мощность которого в откосах составляет 0,6–1,6м;

б) аккумулятивный слой, характеризующийся отрицательными температурами, изменяющимися (по величине) в тече-

ние года; мощность его составляет 12-13 м от нижней границы деятельного слоя в глубь массива;

в) слой постоянных отрицательных температур - ниже 13-15 м от обнаженной поверхности.

Льдистость пород имеет наибольшее распространение в интервале 15-20 м от поверхности. Делювиальные отложения характеризуются высокой льдистостью, при этом лед содержится в них в виде многочисленных мелких линзочек и отдельных прослоев. Последние имеют мощность до 20-30 см. Они, как правило, залегают на границе деятельного слоя с многолетнемерзлым слоем.

Льдистость делювиальных отложений достигает 30-25%. Необходимо отметить, что распределение льда в рассматриваемых районах неравномерно и изменяется как с увеличением глубины, так и по площади.

Эллювиальный слой содержит лед с базальной и корковой структурой. Лед здесь, как правило, цементирует обломки и очень редко залегает в виде самостоятельных слоев.

В коренных и осадочных породах лед заполняет трещины. При этом наибольшее распространение он получил в вертикальных трещинах, мощность которых достигает 20-30 см. По контактам между слоями ледяные прослои, как правило, отсутствуют.

Особенно большое распространение ледяные жилы получили в массиве пород, залегающих на глубинах до 100 м. Относительное распространение их по всем горизонтам, примерно, одинаково. Отмечается лишь некоторое увеличение их между отдельными горизонтами. Наибольшая мощность льда в близвертикальных трещинах достигает в отдельных случаях 0,4-0,5 м.

Трещинный лед цементирует блоки отдельностей, образуя своеобразный монолит очень прочный в зимнее время. С наступлением теплой погоды трещинный лед в пределах деятельного слоя тает, в результате чего в массиве образуются пустоты и ликвидируются связи между блоками.

Положительная температура к концу летнего периода

распространяется в откосах на глубину до 2,0-2,5 м на карьере трубки "Мир" и до 0,6-1,6 м в откосах карьера "Айхал".

Уменьшение спайности между блоками, вследствие таяния льда в теплое время года, сопровождается развитием осыпей откосов, интенсивность которых зависит от степени трещиноватости пород.

Свободный лед в мергелях встречается значительно реже, хотя общая влажность их выше. Это объясняется тем, что в известняках, большая часть воды находится в трещинах в виде свободного льда, а в мергелях - связная вода, заполняющая поры. Часто трещины в мергелях имеют очень малую мощность (доли миллиметра) и, когда порода находится в мерзлом состоянии, трещины крепко спаяны на контактах до такой степени, что их трудно различать. Проявляются эти трещины только при оттаивании.

По данным разведочного бурения содержание льда уменьшается с глубиной. В верхних частях интервала льдистость достигает 35%, а в нижних - 15-20%. Среднее значение ее составляет 23,3%.

2. Выходы межмерзлотных и подмерзлотных вод на поверхность в рассматриваемых районах не наблюдаются. Это обуславливает своеобразные условия циркуляции подземных вод и их химического состава. На территориях алмазных месторождений наблюдаются три типа подземных вод: надмерзлотные (воды деятельного слоя), межмерзлотные и подмерзлотные.

Надмерзлотные воды. Образование их связано с сезонным оттаиванием деятельного слоя и просачиванием атмосферных осадков. Возникают они обычно в конце лета в августе месяца. Надмерзлотные воды имеют свободную поверхность и приобретают незначительный напор лишь осенью в период промерзания слоя. В зимнее время полностью перемерзают.

Межмерзлотные воды. Как показывает бурение гидрогеологических скважин, межмерзлотные воды встречаются не повсеместно, что свидельствует об ограниченном распространении водоносных горизонтов.

П о д м е р з л о т н ы е в о д ы. Глубина залегания подземных вод определяется нижней границей многолетней мерзлоты. Подмерзлотные воды встречены скважинами на ряде алмазных и других месторождений полезных ископаемых, залегающих в зоне распространения многолетней мерзлоты. Воды, как правило, напорные, величина напора изменяется в широких пределах.

Водообильность весьма неравномерна по площади и определяется степенью трещиноватости пород.

ГЛАВА II

ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРНЫХ РАБОТ И ДЕФОРМАЦИИ ОТКОСОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

§ 1. В с к р ы т и е м е с т о р о ж д е н и й. В ы б о р с и с т е м ы р а з р а б о т к и и э л е м е н т ы с и с т е м ы р а з р а б о т к и

Выход кимберлитовых трубок на поверхность, сравнительно небольшие размеры и близкая к круговой форма кимберлитовых тел в плане, крутые углы их падения, а также высокие значения прочности вмещающих скальных и полускальных пород в мерзлом массиве позволяют производить выемку руды открытым способом, принимая крутые углы наклона бортов карьеров.

В соответствии с принятым открытым способом разработки, рельефом местности и непосредственным выходом рудных тел на поверхность вскрытие кимберлитовых трубок производится наклонными траншеями и спиральным съездом.

Высота рабочих уступов на карьере трубки "Айхал" принята равной 10 м, на карьере "Мир" – 15 м. При постановке в предельное положение уступы сдваиваются.

Бермы очистки, расположенные через 20–30 м по высоте, имеют ширину 12–16 м на верхних горизонтах и 9–10 м на нижних, что обеспечивает безопасность работ и возможность систематической механизированной зачистки берм.

Бермы на верхних горизонтах используются как транспортные.

Бурение скважин на карьерах производится станками шарошечного бурения БСШ-2 и БСШ-2М.

Погрузка и уборка вскрышных пород производятся экскаваторами ЭКГ-8, а руды ЭКГ-4.

Транспортирование вскрышных пород и руды проектом предусмотрено в автосамосвалах грузоподъемностью 40 т. В настоящее время на карьерах используются самосвалы МАЗ-525 и БелАЗ-540. В дальнейшем будут использоваться более мощные автосамосвалы.

§2. Деформации откосов уступов в условиях многолетней мерзлоты

Отработка месторождения кимберлитовой трубки "Мир" ведется с 1957 г., а кимберлитовой трубки "Айхал" с 1961 г. За время проведения исследований на этих карьерах имелись участки уступов, которые ряд лет (до 5) не находились в работе. Детальное обследование фактического состояния всех уступов позволило сделать выводы об устойчивости скальных и полускальных многолетнемерзлых пород в откосах карьеров.

На карьерах не отмечено деформаций откосов в результате значительных обрушений или вязко-пластического течения. Массовые деформации откосов уступов в условиях многолетней мерзлоты происходят вследствие осыпания пород с откосов, вызванного их криогенным выветриванием.

Интенсивность и характер осыпания зависит от трещинно-структурной характеристики пород, их прочности, от мерзлотных особенностей массива и т.д.

Наименее подверженными осыпанию являются откосы уступов, сложенные диабазами, известняками, песчаниками. Интенсивное осыпание породы происходит с откосов уступов, сложенных мелкоблоковыми известняками с прослоями глины, и особенно с откосов уступов, сложенных мергелями. На карьере "Айхал" мощность слоя мергелей составляет около 50 м.

В мерзлом состоянии мергели представляют собой креп-

кую монолитную породу. При многократно повторяющемся процессе оттаивания и последующего замерзания они рассыпаются на мелкие блоки. При этом скорость разрушения мергелей очень сильно возрастает при их обводнении. В условиях карьера "Айхал", где не велись должным образом работы по отводу дождевых и талых вод, скорость разрушения мергелей и осыпания уступов очень велика. В результате этого углы откосов уступов за 3–4 года выполаживаются от вертикальных до углов естественного откоса (35–37°). Следует отметить, что столь быстрое осыпание уступов и разрушение мергелей было бы невозможно, если бы своевременно был осуществлен отвод вод с берм уступов.

Учитывая быстрое разрушение мергелей в летние периоды и трудность разработки их в это время года, отработку мергельных уступов предпочтительно вести с наступлением морозов. К летнему теплому периоду года необходимо производить укатку предохранительных берм и отстройку водоотводных канавок. Выполнение этих мероприятий особенно важно при постановке уступов в предельное положение.

Доломитизированные и песчанистые мергели карьера кимберлитовой трубки "Мир" значительно прочнее мергелей с карьера трубки "Айхал", и, кроме того, слои мергелей не слагают целые уступы, а заключены между слоями прочных известняков и песчаников. Указанными факторами объясняется их большая устойчивость в откосах, по сравнению с мергелями карьера "Айхал".

С 1967 г. на карьерах "Айхал" и "Мир" заоткоса уступов на предельном контуре ведется с помощью отрезной щели. Почти во всех случаях подобная заоткоска дала хорошие результаты. Однако на отдельных участках заоткоска проведена неудачно (несоблюдение рекомендованных расстояний между скважинами отрезной щели, их наклона, количества взрываемого ВВ и т.д.), поэтому на бермах уступов имеют место трещины и заколы, получают развитие осыпи.

Заметное влияние на разрушение берм уступов оказывает перебур скважин, допускавшийся при отработке вышележащих уступов. В практике работ карьера "Мир" величина перебура достигала 4–6 м. Это привело к тому, что верхняя

часть уступов, поставленных в предельное положение, оказалась нарушенной.

Деформациям откосов и берм уступов способствует также производившийся спуск дождевых и талых вод с верхних горизонтов карьера и с участка "Галечный" на нижние горизонты карьера "Мир" без специальных трубопроводов и, кроме того, плохая планировка берм.

Таким образом, рассматривая деформации откосов уступов и раскрытие трещин на бермах уступов карьеров кимберлитовых трубок "Айхал" и "Мир" можно отметить следующие причины этих деформаций:

1) выветривание пород в откосах, интенсивность которого обусловлена многократно повторяющимися циклами замораживания - оттаивания;

2) оттаивание вскрытых многолетнемерзлых пород в весеннелетний период года и подвижки отдельных блоков в связи с таянием ледяных прослоев в трещинах.

Оба указанных процесса совместно влияют на деформации откосов уступов. Однако следует отметить, что основной причиной деформаций уступов, сложенных мергелями или сильно выветрелыми трещиноватыми известняками с прослоями глины, является выветривание пород в откосах.

Основной причиной деформации откосов уступов, сложенных диабазами, известковистыми песчаниками, известняками без прослоев глины является оттаивание многолетнемерзлых пород и подвижки отдельных блоков в связи с таянием ледяных прослоев в трещинах.

Факторами, способствующими деформациям откосов уступов и появлению раскрытых трещин на бермах, являются:

1) отсутствие отвода дождевых и талых вод с берм уступов;

2) малая глубина (меньше глубины сезонного протаивания) или отсутствие на бортах карьеров отводных нагорных канав;

3) влияние взрывных работ;

4) отсутствие эффективного метода заоткоски уступов при постановке их в предельное положение.

Не исключая возможности действия некоторых других факторов, которые могут способствовать раскрытию трещин, указанные следует считать основными. Следовательно, для предупреждения дальнейшего распространения деформаций уступов, в первую очередь, необходимо провести работы по отводу вод и разработке методики взрывных работ.

Отводу дождевых и талых вод с берм уступов в практике открытых горных работ придается большое значение. Важность этих работ во много раз возрастает при ведении работ в условиях многолетнемерзлых трещиноватых пород. Если учесть еще и то обстоятельство, что в условиях кимберлитовых трубок вмещающими породами является комплекс осадочных пород, среди которых значительное распространение получили мергели (особенно на верхних горизонтах), станет понятным опасное действие воды на них. Наличие на бермах трещин и выбоин способствует скоплению воды и проникновению ее вглубь массива, увеличивая таким образом мощность деятельного слоя. Интенсивное таяние прожилков льда, заполняющего трещины массива пород, приводит к его ослаблению и частичному смещению блоков относительно друг друга. Заполнение трещин дождевой водой в дальнейшем приводит к разрушению массива вследствие расширения трещин льдом. Процессы оттаивания-замерзания многократно повторяются за время стояния уступов. Именно эти факторы послужили причиной появления и постепенного раскрытия трещин на бермах уступов карьеров кимберлитовых трубок "Мир" и "Айхал".

Кроме дождевых и талых вод, попадающих непосредственно на бермы и уступы карьеров, большое влияние на развитие трещиноватости массива, раскрытие трещин, выветривание пород, а следовательно, и на прочность массива пород оказывают воды деятельного слоя. На карьере трубки "Мир" дождевые и талые воды, насыщающие деятельный слой, имеют сток к карьеру, так как общий рельеф местности имеет уклон к карьеру, расположенному в логе Хабардина. Свободный сток вод деятельного слоя к карьеру оказывает не менее отрицательное действие, чем дождевые и талые

воды, непосредственно попадающие на бермы и уступы карьера. Особенно большой приток подземных вод деятельного слоя к карьеру имеет место глубокой осенью с наступлением сильных морозов. В эти периоды подземные воды под большим напором выходят по трещинам на поверхность уступов, нарушая существующие связи между блоками. При оттаивании массива с наступлением теплой погоды в этом уже ослабленном массиве могут иметь место выпадения блоков, появление завалов и осыпей.

Заметное влияние на целостность трещиноватого массива пород, а следовательно, и на устойчивость уступов и бортов карьеров, могут оказывать взрывные работы при неправильном их ведении. Исследования, проведенные ВНИМИ на карьере кимберлитовой трубки "Мир" /2/, показали, что деформирование (относительное смещение блоков отдельностей) массива многолетнемерзлых пород под влиянием взрывных работ наблюдается на расстоянии 35-40 м от места взрыва.

В условиях многолетнемерзлых пород, когда блоки отдельностей спаяны между собой льдом, имеют место смещения больших массивов. Опасность образования таких смещений возрастает при взрывании ВВ в скважинах с большим перебуром, когда берма нижележащего уступа имеет неболь шую ширину (менее 50 м). Эти обрушения тем более возможны в условиях карьеров кимберлитовых трубок "Айхал" и "Мир", массивы вмещающих пород которых имеют горизонтальную или близкую к горизонтальной, падающую в выработанное пространство, слоистость. При ведении взрывных работ на вышележащих уступах нельзя допускать перебура взрываемых скважин более, чем на 0,5 м при подходе к предельному контуру карьера на 25-30 м.

Особенно недопустим перебур скважин при взрывах по заоткоске уступов при постановке их в предельное положение.

Чрезвычайно важное значение правильное ведение буровзрывных работ приобретает при постановке уступов в предельное положение. В этом случае имеет большое значение правильно выбранное расстояние между скважинами, между рядами, расположение зарядов в скважинах, ступени замедления, порядок взрывания рядов скважин.

Значение причин деформаций и факторов, способствующих их развитию, позволяет принимать необходимые и своевременные меры для поддержания в устойчивом состоянии бортов и уступов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами.

§ 3. Влияние буро-взрывных работ на устойчивость откосов в условиях многолетней мерзлоты

Обеспечение устойчивости бортов и откосов уступов, поставленных в предельное положение, в связи с увеличивающейся глубиной карьеров и большим сроком их работы, является одним из основных условий успешной эксплуатации месторождений открытым способом. При этом большое значение приобретает правильное ведение буро-взрывных работ при подходе уступов к предельному положению и заоткоске их на предельном контуре.

По наблюдениям ВНИМИ /2/ сплошность верхнего слоя горных пород на горизонтальных площадках нарушается под действием массовых взрывов в вертикальных скважинах на расстоянии до 60-70 м (при весе одновременно взрываемого ВВ равном 60-65 кг на 1 пог.м. уступа). Мощность нарушенной зоны и примерный характер ее распространения приведены на рис.3. Как видно из рисунка, верхний слой пород, слагающих откосы, будет нарушен взрывными работами. При этом мощность слоя колеблется от 3-4 м в нижней части уступа до 10 м в верхней части уступа. Ширина зоны по поверхности горизонтальных площадок достигает нескольких десятков метров.

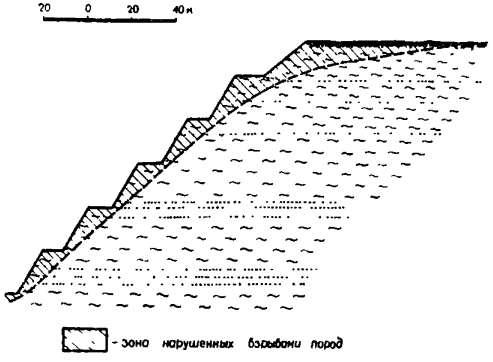


Рис.3.

Проведенные институтом Иргиредмет /3/ на карьере "Айхал" (в

известняках) определения деформаций в глубине массива по вместимости и скорости бурения скважин стенками канатно-ударного бурения дают значения нарушенной зоны, близкие к указанным выше.

Таким образом, при проведении взрывов в вертикальных скважинах на предельном контуре, уступы бортов будут сложены нарушенными взрывами породами, в результате чего устойчивость их значительно снижается.

Для определения степени и характера деформаций массива трещиноватых горных пород от взрывов ВНИМИ проводились специальные инструментальные наблюдения на ряде отечественных карьеров (в том числе и на карьере трубки "Мир").

Проведенные наблюдения позволили получить зависимость между величинами горизонтальных деформаций массива и расстоянием до взрываемой скважины. Эта зависимость выражается гиперболической кривой, определяющейся формулой

$$y = \frac{75 - x}{0{,}4\,x} .$$

На графике, представленном на рис.4, эта зависимость выражается кривой в системе прямоугольных координат, где по оси абсцисс отложены расстояния от взрываемой скважины, а по оси ординат - величины горизонтальных деформаций массива.

Так как деформирование массива трещиноватых горных пород сопровождается ослаблением его прочности, а характер изменения прочности массива и остаточных деформаций его по всей вероятности одинаков, построена шкала (прямая λ_b), отражающая характер изменения прочности массива в зависимости от расстояния до взрываемого ряда скважин. Эта зависимость получена в результате анализа натурных испытаний прочности трещиноватых горных пород, подверженных влиянию взрывных работ, и лабораторных испытаний прочности трещиноватого массива.

На рис.4а представлен график зависимости деформаций массива скальных трещиноватых пород от расстояния до взрываемой скважины.

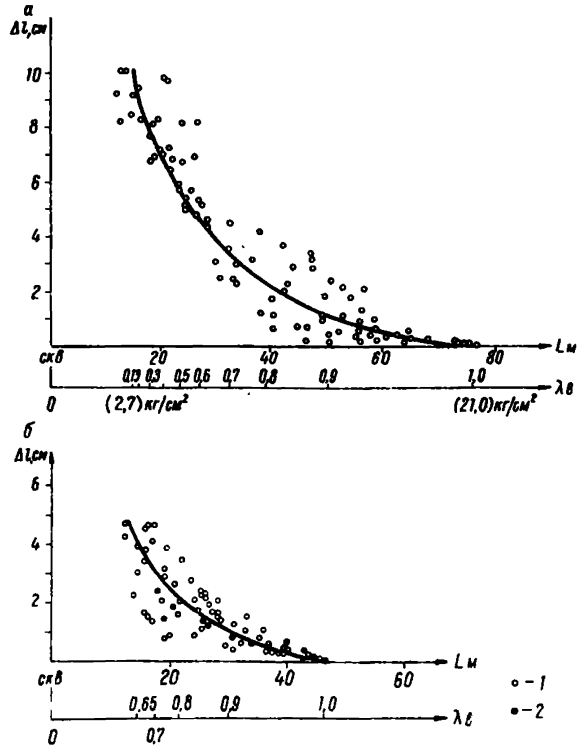


Рис.4

1 – деформация связного трещиноватого массива пород; 2 – деформации массива мерзлых пород трубки "Мир"

Как видно из рис.4,а, прочность массива на расстоянии 16 м от скважины составляет лишь 20% от первоначальной прочности. На расстоянии 38 м от скважины прочность массива составляет 80%.

Таким образом, мгновенное взрывание больших зарядов ВВ вызывает сильное ослабление прочности массива трещиноватых крепких немерзлых пород в радиусе до 40м. от места взрыва, а деформации массива с небольшим

уменьшением прочности наблюдаются на расстоянии до 75 м от места взрыва.

Следовательно, рыхление горных пород взрывами вызывает ослабление прочности массива в радиусе до 55–70м от места взрыва.

Характер деформирования (ослабления) массива многолетнемерзлых пород в зависимости от расстояния до места взрыва представлен в виде графика, изображенного на рис. 4,б. Этот график построен аналогично графику 4,а с той лишь разницей, что наблюдения проводились за деформацией пород, характеризующихся наличием значительного сцепления на контактах трещин. Сюда относятся также полускальные трещиноватые породы средней прочности, трещины которых заполнены гипсом, кальцитом и другим цементирующим материалом.

Величина деформаций и характер их развития для этих групп пород, по нашим наблюдениям, является одинаковым, а следовательно, и изменение прочности также будет одинаковым. Из рис.4,б видно, что на расстоянии 15–16 м от скважины прочность массива составляет 0,6–0,65 от первоначальной, а общее ослабление прочности наблюдается на расстоянии до 40–45 м.

Пользуясь составленными графиками, можно определить прочность массива на различном расстоянии от места взрыва, имея при этом сведения о прочности массива в обнажении уступа, образованном взрывом ряда скважин.

Полученную зависимость ослабления массива взрывами можно относить лишь к уступам и сплошным откосам, заоткоска которых производилась взрывом ВВ в скважинах, пробуренных на всю высоту уступа. При заоткоске бортов отдельными уступами взрывы, ведущиеся на нижних уступах, не вызывают заметных деформаций на вышележащих.

Согласно исследованиям института Иргиредмет /3/, проведенным на карьерах кимберлитовых трубок "Мир" и "Айхал", величиной зоны остаточных деформаций при взрывании скважин перед предохранительным целиком можно варьировать в широких пределах, изменяя диаметр

скважин, угол наклона скважин, схему взрывания и конструкцию заряда.

Величина зоны распространения деформаций в массиве пород от воздействия массовых взрывов, проводимых с параметрами, применяемыми на карьере "Айхал", по данным Иргиредмета составляет:

для диазабов при диаметре скважин		200 мм. . . 20м
для известняков	-"-	200 мм. . . 30м
для мергелей	-"-	200 мм. . . 33,5м
для мергелей	-"-	150мм. . . 24,0м

Эти величины принимаются как ширина предохранительных целиков при подходе к предельному контуру карьера.

Приведенные выше величины допустимых зон деформаций массива (предохранительные целики) получены институтом Иргиредмет на основании предложенного сотрудниками этого института /3/ метода совмещенных графических зависимостей деформаций, замеренных на поверхности и по глубине уступа; при этом допустимыми считаются остаточные деформации, распространяющиеся в массиве на глубину в пределах 2-х метров.

Ограничение зон деформаций (предохранительные целики) указанными выше размерами следует считать правильным, так как при наблюдениях, проводимых в летнее время оттаивает поверхностный слой мощностью до 1,5-2,0 м, прочность которого значительно уменьшается. Кроме того, породы этого слоя нарушены при отработке вышележащего горизонта, вследствие взрывания ВВ в скважинах с перебуром около 2 м.

Минимальные разрушения массива пород происходят при постановке уступов в предельное положение с помощью отрезных (экранирующих) щелей, что особенно важно для открытых выработок длительного срока службы.

Величина заряда в скважинах отрезной щели зависит от диаметра скважины и крепости породы. Расстояние между скважинами заоткашивающего (экранирующего) ряда зависит, в основном, от диаметра скважин, диаметра зарядов, величины приведенного заряда на 1 пог.м. скважины, от ориентировки трещиноватости по отношению к

простиранию заоткашиваемого участка борта.

Так, для пород карьера "Айхал", при наличии в борту кососекущих по отношению к его простиранию трещин, институтом Иргиредмет /3/ рекомендованы следующие величины расстояний между скважинами экранирующего ряда:

для известняков при диаметре скважин 105мм – 1,40 м
для -"- -"- 200мм – 2,0 м
для мергелей -"- 160мм – 1,7 м

Институтом ВНИМИ на основании проведенных исследований /4/ рекомендованы следующие величины зарядов и расстояния между скважинами отрезных щелей / $d_{скв}$ = 80÷105 мм/ (табл.3):

Таблица 3

Крепость породы по шкале проф. М.М.Протодьяконова	Расстояние между скважинами, м					
	0,8 -1,0	1,0- -1,2	1,2- -1,5	1,5- -1,75	1,75- -2,0	2,0- -2,25
	Вес заряда на 1 пог.м. скважины, кг					
12 ÷ 16	0,70	0,80	0,8- -1,0	1,0- -1,2	1,2- -1,4	1,4- -1,5
8 ÷ 12	0,50	0,60	0,6- -0,8	0,8- -1,0	1,1	1,2

Наблюдениями установлено /3/, что при предварительном образовании экранирующей щели, созданной взрывом рассредоточенных зарядов в скважинах диаметром 105 мм с расстоянием между ними от 1,4 до 2,5 м на мергелях и 1,8 м на диабазах, и диаметром 200 мм и расстоянием между скважинами 2,0 м на известняках, сдвижения пород за образованной бровкой имеют незначительную величину (в пределах 5 мм) по сравнению с деформациями без экранирующей щели.

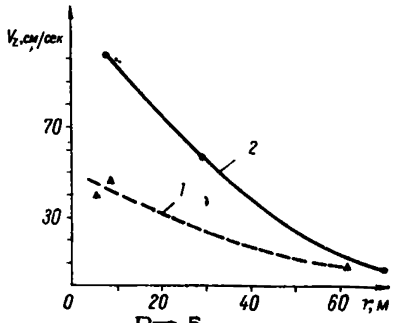


Рис.5

1–взрывы с отрезной щелью;
2–взрывы без отрезной щели

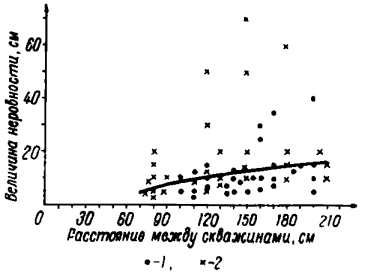


Рис.6

1–мелкоплитчатые доломиты;
2–крупноблочные доломиты и магнезиты

Замеры интенсивности колебания массива доломитов, проведенные ВНИМИ на Саткинских магнезитовых карьерах, от расстояния до последнего ряда взрываемых скважин (при одинаковом количестве ВВ, взорванного в одной ступени замедления) показали, что на расстоянии 30–40 м от взрыва происходит существенное снижение величины колебаний массива (в 2–2,5 раза) при экранировании отрезной щелью (кривая 1, рис.5) по сравнению со взрывом такого же масштаба без отрезной щели (кривая 2).

На рис.6 изображен график зависимости величины неровностей откоса от расстояния между скважинами отрезной щели /4/. Как видно из рисунка, уменьшая расстояние между скважинами, можно достичь достаточно ровной поверхности откоса, что при необходимости проведения укрепительных мероприятий упрощает их производство (например, укладку на поверхность откоса металлической сетки).

ГЛАВА III

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Физико-механические свойства горных пород являются одним из основных факторов, определяющих устойчивость откосов и бортов карьеров.

Физико-механическими характеристиками, входящими в формулы расчета устойчивости откосов, являются:

1) показатели сопротивляемости пород сдвигу:

а) сцепление - K, т/м^2;

б) угол (коэффициент) внутреннего трения - ρ^0

2) объемный вес пород - γ, т/м^3.

Кроме этих основных характеристик, непосредственно входящих в расчетные формулы, необходимо учитывать другие физические характеристики, оказывающие влияние на величины первых.

К ним относятся:

1) влажность пород - W, %;

2) плотность их - D, т/м^3;

3) температура - t^0 C.

Имеется еще ряд других второстепенных физико-механических показателей, в той или иной мере оказывающих влияние на величины расчетных характеристик, которые мы проводить не будем.

Таким образом, для расчета устойчивых откосов (бортов карьеров) необходимо определить для каждой геологической разности пород, принимающей участие в формировании месторождения, определенные физико-механические показатели и их взаимозависимость.

Зависимость сопротивления пород сдвигу (τ, кг/см^2) от нормального давления (σ, кг/см^2) выражается функцией $\tau = f(\sigma)$. На графике прямоугольных координат, если по оси абсцисс в масштабе откладывать σ по оси ординат τ, эта зависимость выразится кривой, уравнение касательной к любой точке, которой выражается формулой Кулона:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \rho + K$$

Угол наклона этой прямой к горизонту определяет угол внутреннего трения (ρ), а отрезок, отсекаемый ею на оси ординат, характеризует сцепление (K) испытываемой горной породы.

Наибольшее влияние на сцепление и угол внутреннего трения пород оказывает их влажность. Поэтому при определении этих характеристик, величину последней очень важно знать. При этом важно сохранить и определить естественную влажность пород, для чего при отборе образцов для испытаний их следует парафинировать непосредственно в месте отбора (в забое или сразу же после выемки кернов из скважин). При изменении естественной влажности пород, последние будут характеризоваться механическими характеристиками K и ρ, отличными от их первоначального значения. В этом случае возникает необходимость в дополнительных исследованиях, определяющих характер зависимости прочности пород от влажности.

Говоря о влиянии температуры на основные механические показатели K и ρ применительно к условиям залегания горных пород кимберлитовых трубок Якутии, нужно иметь в виду те значительные изменения в величинах сцепления, которые последние претерпевают при переходе пород из талого в мерзлое состояние. Многолетняя мерзлота горных пород кимберлитовых трубок Якутии определяет специфические особенности условий устойчивости бортов карьеров, характерные только для районов Крайнего Севера и отличные от других областей СССР.

Эти специфические условия вызывают необходимость определения основных механических характеристик горных пород, находящихся в мерзлом состоянии

§ 1. Методика отбора и подготовка образцов многолетнемерзлых пород для лабораторных испытаний

Отбор образцов. Для получения надежных сведений о физико-механических свойствах горных пород, слагающих борта карьера, необходимо правильно произвести отбор образцов для лабораторных испытаний.

В стадии разведки месторождения отбора образцов производится из кернов скважин разведочного бурения. При этом отбираются образцы каждого литологического наиме-

нования, а для одноименных пород образцы отбираются с разных глубин (через 50–60 м по глубине).

В случае эксплуатации месторождения открытым способом и наличия обнажений, отбор образцов производится непосредственно в свежих забоях выработок. При этом отбираются образцы всех литологических разностей, а однородные породы – через 50–60 м по глубине.

Для полускальных пород длина отобранного с одной глубины керна (или размер штуфа) должны быть такими, чтобы можно было получить 6–9 образцов-цилиндров диаметром 45 мм и высотой 70–80 мм.

Для условий кимберлитовых трубок Якутии, вмещающие породы которых находятся в состоянии многолетней мерзлоты число образцов для лабораторных испытаний возрастает в 3–5 раз в связи с необходимостью получения данных о свойствах пород как в мерзлом, так и в талом состояниях, а также после различного числа циклов периодически повторяющегося замораживания и последующего оттаивания.

Для сохранения естественной влажности образцов пород, последние при отборе должны быть запарафинированы.

П о д г о т о в к а о б р а з ц о в к и с п ы т а н и я м. Отобранные на месторождении образцы в лабораторных условиях подготавливаются к испытаниям. Для этого из отобранных кернов и штуфов выбуриваются цилиндры диаметром 40–45 мм и высотой 70–80 мм. Торцы керна опиливается алмазной пилой и шлифуются на планшейбе. Образец считается подготовленным к испытаниям в том случае, если торцы его отшлифованы строго параллельно друг другу и перпендикулярно к оси цилиндра.

§ 2. Л а б о р а т о р н ы е о п р е д е л е н и я ф и з и к о – м е х а н и ч е с к и х х а р а к т е р и с т и к п о р о д

1. М е т о д ы л а б о р а т о р н ы х и с п ы т а н и й. Лабораторными испытаниями образцов горных пород преследуется цель получить их физические и механические характеристики. Достоверность величин тех или

ных показателей физико-механических свойств пород будет зависеть главным образом от правильности принятой методики определения этих показателей. Для определения устойчивости откосов и бортов карьеров необходимо знать следующие физические и механические характеристики горных пород, слагающих борта исследуемых карьеров: объемный вес γ ; влажность W ; сцепление K; угол внутреннего трения ρ .

Определение влажности и объемного веса пород проводится общепринятыми методами. Определение же механических характеристик - сцепления и угла внутреннего трения в настоящее время производится различными методами.

Метод испытаний выбирается с таким расчетом, чтобы по возможности приблизить характер нагружения и деформирование породы к реальным природным условиям /6/.

Для расчетов устойчивости бортов и уступов карьеров сложенных многолетнемерзлыми породами, указанные характеристики необходимо получить как для талых, так и для мерзлых пород. Такое разделение необходимо, если учесть, что в летний период породы на глубину до 3,5 м оттаивают. Следовательно, устойчивость отдельных участков уступов в летние периоды будет определяться прочностью талых пород. Устойчивость же бортов карьеров в целом будет определяться прочностью мерзлых пород, так как наиболее слабая поверхность расположена на расстоянии нескольких метров (или десятков метров) от поверхности откоса.

2. Результаты лабораторных испытаний. В районах расположения кимберлитовых трубок Якутии вмещающими породами является комплекс осадочных пород, представленных алевролитами, известняками, доломитами, мергелями. Кроме того, в бортах карьера "Айхал", например, встречаются крепкие интрузивные породы - диабазы. Крепкими разностями представлены вмещающие породы Удоканского медного месторождения.

Верхние горизонты вмещающих пород практически на всех месторождениях представлены четвертичными отложениями – глины, суглинки, супеси.

Таким образом, комплекс разновидностей вмещающих пород месторождений, расположенных в зоне распространения многолетней мерзлоты, представлен геологическими разностями с большим интервалом величин прочности: от пластичных глин до крепких диабазов и гранитов.

Ниже приведены результаты исследований прочностных характеристик пород, полученных для некоторых месторождений полезных ископаемых, залегающих в зоне распространения многолетней мерзлоты.

Р е з у л ь т а т ы и с п ы т а н и й с л а б ы х п о р о д. При проведении исследований устойчивости бортов кимберлитовой трубки "Мир" проведены определения прочностных характеристик песчанистых глин, залегающих на верхних горизонтах карьера и имеющих мощность около 10 м.

Испытания проводились на срез и на трехосное сжатие. Подготовленные образцы были разделены на три группы. Первая группа образцов испытана в талом состоянии; вторая группа – в замороженном; третья – после 8 циклов замораживания-оттаивания (рис.7). Результаты испытаний приведены в табл.4.

Таблица 4

Наименование и состояние пород	Количество испытаний	Угол внутреннего трения град.	Сцепление K, кг/см^2	Пределы колебаний K, кг/см^2
Глина мерзлая	I7	30	36,5	26,6–49,5
Глина талая	I6	27	3,5	3,2–8,0
Глина мерзлая, после 8 циклов замораживания–оттаивания	I9	24	3I,0	2I,4–44,2
Глина талая, после 8 циклов замораживания-оттаивания	8	7	0,2	–
Длительные испытания мерзлых образцов	9	26	I7	I0,I–22,4

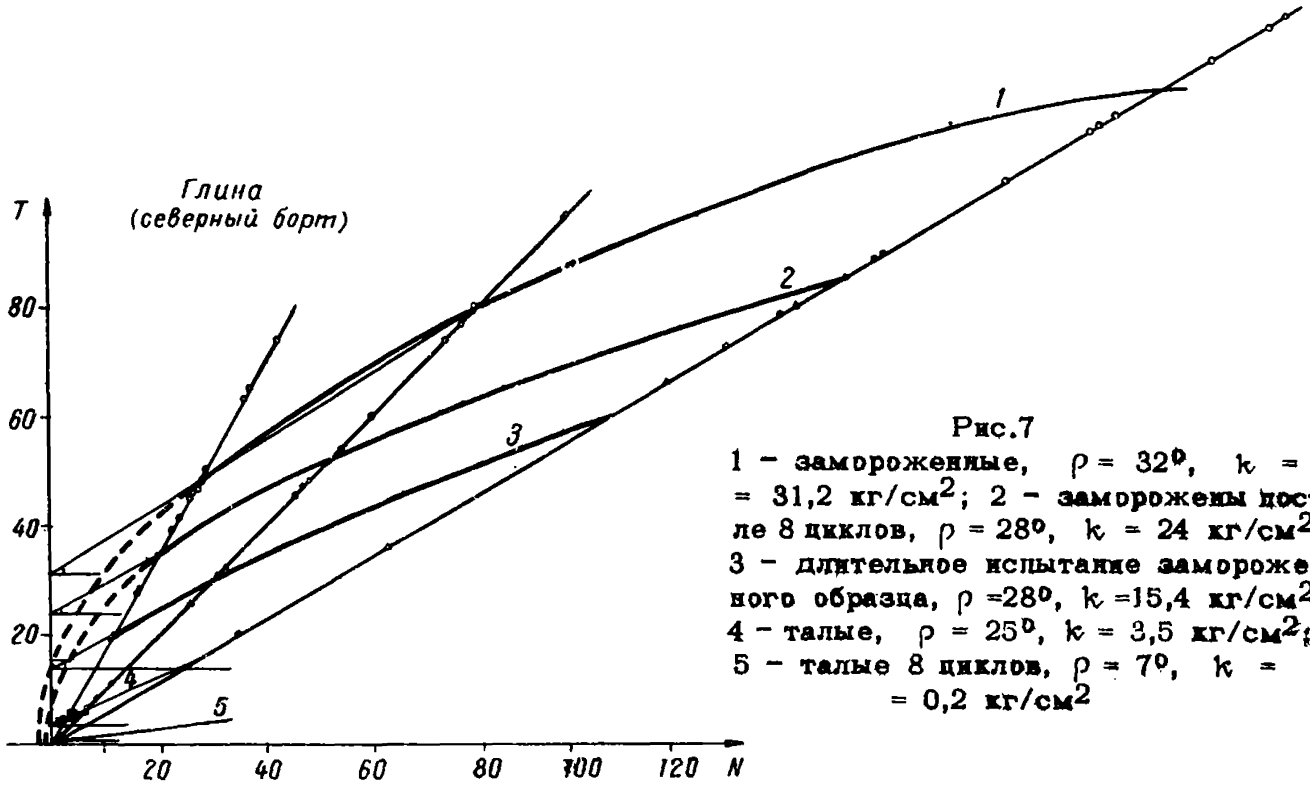


Рис.7

1 – замороженные, $\rho = 32^0$, $k = 31{,}2$ кг/см^2; 2 – заморожены после 8 циклов, $\rho = 28^0$, $k = 24$ кг/см^2; 3 – длительное испытание замороженного образца, $\rho = 28^0$, $k = 15{,}4$ кг/см^2; 4 – талые, $\rho = 25^0$, $k = 3{,}5$ кг/см^2; 5 – талые 8 циклов, $\rho = 7^0$, $k = 0{,}2$ кг/см^2

Как видно из табл.4, величина сцепления мерзлых глин более чем в 10 раз превышает величину сцепления глин талых. Угол внутреннего трения при этом изменяется незначительно.

Большое разрушающее воздействие на глины оказывает периодически повторяющийся процесс замораживания и последующего оттаивания. При этом, как показывают наблюдения, образцы глин в талом состоянии практически полностью разрушаются после восьми циклов. В мерзлом же состоянии глина обладает значительными прочностными свойствами.

Замораживание и последующее оттаивание образцов производилось при постоянном их увлажнении.

Р е з у л ь т а т ы и с п ы т а н и й с к а л ь н ы х и п о л у с к а л ь н ы х п о р о д. Прочностные характеристики мерзлых скальных и полускальных пород определялись по результатам испытаний на косой срез, одноосное и трехосное сжатие, а также путем испытаний на сжатие и растяжение методом соосных пуансонов.

По результатам испытаний на косой срез и трехосное сжатие построены графики (рис.8) и составлена табл.5.

Таблица 5

Наименование пород	Мерзлые		Талые		Влажность W ,%
	Сцепление K_2 кг/см²	Угол внутреннего трения ρ град.	Сцепление K_1 кг/см²	Угол внутреннего трения ρ град.	
Диабазы	300	36,5	230	36	0,66
Известняки глинистые	I60	37	I06	37	I,6
Известняки песчанистые	90	36	58	36	I,4
Алевролит	I00	30	50	30	6,5
Мергель с прослоями песчаника	II0	32	75	26	4,6
Мергель	37	35	8	35	I2

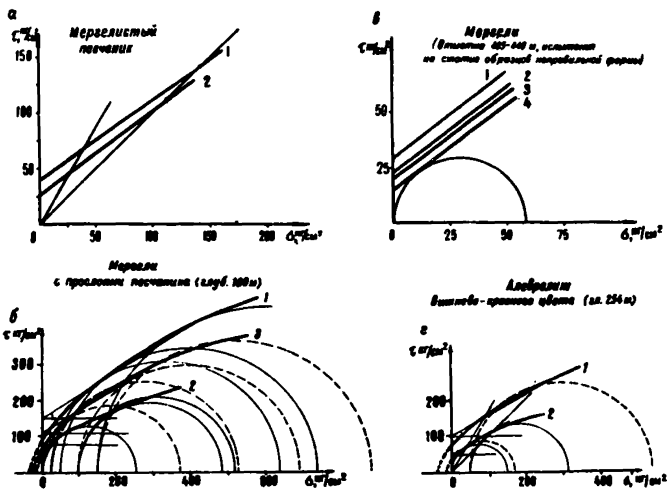


Рис.8

а – 1–мергелистый песчаник талый, W= 7–10%, ρ = 37°, k = 25 кг/см^2; 2–мергелистый песчаник мерзлый, t^0 = = –5° ÷ –7°, ρ= 36°, k =38,5 кг/см^2; б – 1–мергель мерзлый, t^0 = –5° ÷ ÷ –7°, W= 6–8%, ρ = 37°, k = = 29,5 кг/см^2; 2–мергель мерзлый, t^0 = –5 ÷ 7°, W= 9–10%, ρ = 37°, k = = 22,7 кг/см^2; в – 1–талые образцы, ρ = 32°30, k = 150 кг/см^2; 2–талые, ρ = 26°, k = 75 кг/см^2; 3–мерзлые, ρ = 32°, k = 110 кг/см^2; г – 1–мерзлые образцы, ρ = 30°, k= 100 кг/см^2; 2–талые, ρ = 30°, k = 50 кг/см^2

Как видно из табл.5, величина сцепления пород, находящихся в мерзлом состоянии, значительно выше сцепления талых пород. Угол внутреннего трения при этом изменяется незначительно.

Большое влияние на прочность пород в мерзлом состоянии оказывает их влажность. Проведенные эксперименты показывают, что прочность пород в талом и мерзлом состоянии изменяется даже при незначительной влажности (табл.5).

Влажность скальных пород в десятки раз меньше, чем влажность дисперсных пород вообще и связных в особенности. Тем не менее прочность скальных пород зависит от изменения их влажности, что определяется степенью их химического выветривания /5/.

Чем сильнее породы подвергаются криогенному физико-химическому изменению, тем больше снижается их прочность при обводнении. Это подтверждается и тем, что часто извлеченные при бурении многолетнемерзлых скальных пород образцы при оттаивании разрушаются на отдельные куски. Все это говорит о необходимости внимательного изучения прочности скальных пород в талом и мерзлом состоянии при различных значениях влажности. Так, результаты испытаний показывают, что отношения прочностей на сжатие диабазов в талом состоянии при W_1 = 0,3-0,5% и W_2 = 0,5-0,7% составляют $\frac{\sigma_{т_1}}{\sigma_{т_2}} = \frac{1910}{1608} = 1{,}19$. Отношение прочностей ($\sigma_{сж}$) мерзлых и талых образцов при W = 0,5-0,7% равны: $\frac{\sigma_м}{\sigma_т} = \frac{2110}{1608} = 1{,}31$. Так как влажность пород сильно влияет на их прочность, то сравнивать их прочности необходимо при одинаковых влажностях.

Для пород менее прочных и с большей влажностью значение отношения $\frac{\sigma_м}{\sigma_т}$ возрастает. Так, для глинистых известняков при W = 1,5-1,6% отношение $\frac{\sigma_м}{\sigma_т} = \frac{1667}{1109} = 1{,}51$, а для мергелей при W = 12-13% отно-

шение $\frac{\sigma_м}{\sigma_т} = \frac{673}{143} = 4{,}72$ (таблица 5). Образцы испытывались на сжатие методом соосных пуансонов при $t = -10^{\circ}$. Еще большее влияние замораживания сказывается на прочность пород при растяжении. Так для уже упомянутых глинистых известняков ($W = 0{,}3\text{-}1{,}4\%$) при растяжении $\frac{\sigma_м}{\sigma_т} = \frac{162}{65} = 2{,}5$ (при $t = -10^{\circ}$). Для песчанистых известняков при растяжении $\frac{\sigma_м}{\sigma_т} = \frac{12{,}8}{3{,}95} = 3{,}2$ ($t = -2^{\circ} \div -5^{\circ}$).

Таким образом, по результатам испытаний прочность образцов на сжатие в талом и мерзлом состоянии практически не изменяется при влажности образцов около 0,2%.

Испытания, проводимые методом соосных пуансонов, позволяют, не требуя большого количества монолитов для выбуривания образцов, устанавливать зависимости прочности талых и мерзлых пород от влажности и температуры.

На рис.9 приведены графики зависимостей прочности доломитизированных известняков, а также отношений их прочности в мерзлом и талом состоянии от влажности.

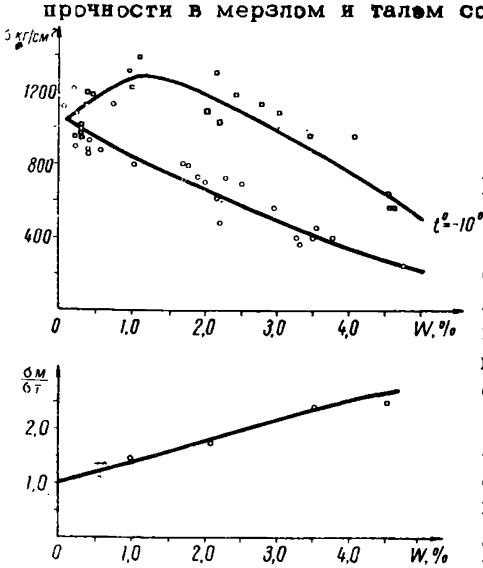


Рис.9.

Перегиб графика зависимости прочности на сжатие мерзлой породы от влажности (рис.9,а) объясняется следующим образом. При увеличении влажности мерзлого образца до некоторой величины прочность его увеличивается вследствие того, что заполняя мельчайшие трещинки и поры в породе, лед препятствует концентрации напряжений в этих местах. Однако при дальнейшем увеличении влажности лед производит расклинивающее действие, что вызывает уменьшение прочности об разца.

Для плотных известняков, а также для других крепких пород, характеризующихся небольшой влажностью (до 5%), может быть предложена следующая формула, связывающая прочность образцов на сжатие в мерзлом и талом состоянии (рис.9,б):

$$\sigma_м = \sigma_т (1 + \alpha W),$$

где $\sigma_м$ – прочность в мерзлом состоянии, кг/см^2;

$\sigma_т$ – прочность в талом состоянии, кг/см^2;

W – влажность, %;

α – величина, постоянная для каждой породы и соответственно равная.

для доломитизированных известняков 0,36

для песчанистых –"– 0,30

для других полускальных пород 0,20–0,35

для диабазов 0,53

Учитывая, что при небольшой влажности прочность скальных и полускальных мерзлых пород в монолите при понижении температуры изменяется весьма незначительно /7/, формулу, связывающую прочность образцов в мерзлом и талом состоянии, можно использовать практически при различных отрицательных температурах.

§ 3. Полевые определения прочности многолетнемерзлых пород в монолите

Испытания прочности горных пород в талом и мерзлом состоянии в лабораторных условиях позволяют провести широкий круг исследований. Но определение характеристик прочности пород в лабораторных условиях имеет ряд недостатков, основным из которых является изменение естественного состояния образцов пород за время между моментом отбора их из скважин и испытанием.

Поэтому для получения достоверных данных о прочности пород, залегающих в условиях многолетней мерзлоты, ис-

ных - льдистых и слабых по прочности образцов необходимо проводить в натурных условиях непосредственно в момент их отбора.

Такие испытания проводились при проведении исследований устойчивости бортов карьеров кимберлитовых трубок "Мир" и "Айхал".

В толще пород трубки "Айхал" широко распространены слабые алевролиты, мергели, аргиллиты, встречаются также маломощные прослои песка (мощностью до 1-2 м). При этом во многих случаях породы пронизаны жилами и включениями льда, заполняющего естественные трещины и промежутки между минеральными частицами. Чаще всего последние встречаются в отложениях мергеля и песка. При оттаивании образцы этих пород разрушаются, что и вызывает необходимость определения их прочности в естественном состоянии.

Для испытаний было использовано оборудование для натурных испытаний (гидродомкрат, плиты, насос, манометр) в комплексе со специально приспособленной для этой цели рамой, сваренной из уголкового железа. Для обработки торцовых поверхностей керна использовался наждачный круг. Кроме того, применялись полевые установки на сжатие, конструкции ВНИМИ.

Испытаниям подвергался керн, вынимаемый из специально пробуренной инженерно-геологической скважины с гор.530 м на глубину 200 м.

Полевое оборудование для испытаний было установлено непосредственно у места бурения скважины. Сразу же по выемке из скважины на наждачном круге обрабатывались торцовые поверхности керна и проводились испытания на одноосное сжатие. Время обработки и испытания керна не превышало пяти минут. Контрольные измерения показали, что температура испытываемого керна была равной $-1,5 \div -2,0^{\circ}$, что всего лишь на $0,2-0,4^{\circ}$ выше естественной температуры испытываемых многолетнемерзлых пород.

Расчетная формула для обработки результатов испытаний имеет вид:

$$\sigma_{2:1} = \frac{8\sigma_w}{7 + 2\frac{a_{cp}}{h}},$$

где $\sigma_{2:1}$ – прочность образца с отношениями $\frac{a_{ср}}{h} = 0{,}5$;

$\sigma_{ш} = P / S_{ср}$ – прочность испытываемого образца с иным соотношением $a_{ср}$ и h;

P – разрушающая нагрузка при испытании, кг;

$S_{ср}$ – среднее значение площади сечения образца, см;

h – высота образца, см.

Для определения величины сцепления в образце воспользуемся формулой

$$K = \frac{\sigma_{сж}}{2} \operatorname{tg}(45 - \rho/2).$$

Подставляя вместо $\sigma_{сж}$ значение $\sigma_{2:1}$, вычисленное по формуле, получим следующую формулу для определения сцепления в образце:

$$K = \frac{4\,\sigma_{ш} \cdot \operatorname{tg}(45 - \rho/2)}{7 + 2\,\frac{a_{ср}}{h}},$$

где ρ – угол внутреннего трения, известный из лабораторных испытаний.

В табл.8 приводятся результаты полевых испытаний образцов (кернов) из скважины, проведенных в 1966 г. на карьере кимберлитовой трубки "Айхал".

На рис.10 приведен график зависимости прочности мерзлых мергелей от суммарной влажности W_c, равной

$$W_c = W_н + W_п + W_л$$

где $W_н$ – влажность мерзлой породы за счет незамерзшей воды;

$W_п$ – влажность мерзлой породы за счет льда-цемента;

$W_л$ – влажность мерзлой породы за счет льда-прослоек.

Таблица 6

Наименование пород	Глубина залегания, отметка, м	Влажность (суммарная), %	Угол трения, град.	Сцепление К, кг/см^2	Состояние пород
Мергель с прослойками льда	454	24,7$^{x)}$	37	4,5$^{x)}$	мерзлый
Мергель зеленый	483–479	I6,6$^{x)}$	37	8,5$^{x)}$	мерзлый
Мергель зеленый	473	I3,3	37	I2,I	мерзлый
Мергель красный	475	II,6	37	I4,4	мерзлый
Мергель зеленый	470	I0,I	37	I4,3	мерзлый
Мергель доломитизированный	458	9,6	37	20,8	мерзлый
Мергель красный известковый	450	II,2	37	II,4	талый
Песок	445	23,9	30	II,9	мерзлый

x) Примечание: Значения влажности и сцепления являются средними из нескольких параллельных определений.

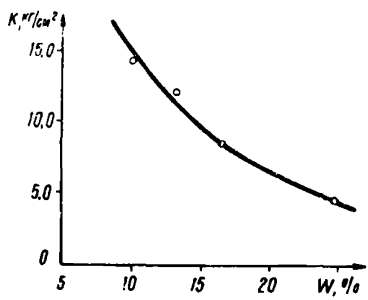


Рис.10.

Результаты полевых определений прочности мергелей несколько отличаются от лабораторных определений, так как лабораторные испытания проводились при другой температуре образцов; в результате обработки образцов для лабораторных испытаний наиболее слабые из них разрушались. Кроме того, в лабораторных условиях не испытывались образцы с льдистыми прослойками, так как последние разрушаются при оттаивании керна.

Метод определения прочности горных пород по испытаниям керна в натурных условиях может применяться как для получения характеристик прочности многолетнемерзлых пород, так и пород талых в тех случаях, когда затруднена доставка образцов в лабораторию или когда невозможно обеспечить сохранность вынимаемого из скважин керна, а также при разведочном бурении.

§4. Прочность многолетнемерзлых пород по контактам слоев и трещин

Массивы скальных и полускальных пород разбиты трещинами на отдельные блоки. Часто встречаются нарушения и трещины большой протяженности, а также контакты слоев осадочных пород, оказывающие большое влияние на устойчивость бортов и уступов карьеров. Прочностные показатели по этим контактам значительно ниже прочностных показателей монолита и массива; знание этих величин необходимо для расчета устойчивых бортов и уступов карьеров.

Для определения угла трения по контактам слоев и трещин отбираются образцы с контактом в их естественном состоянии. Угол трения определяется путем проведения испытаний на специальном срезном приборе, дающем возможность создавать движение пород по контакту слоев и трещины, при различных величинах нормальных нагрузок на контакт. Величины нормальных нагрузок принимаются различными, в зависимости от бытовых нагрузок.

По результатам испытаний строится график в системе прямоугольных координат, где по оси абсцисс в масштабе откладываются нормальные нагрузки, а по оси ординат касательные. Наклон к оси абсцисс прямой, полученной путем соединения точек на графике, определяет угол трения ρ пород по контакту слоев или трещины в данном диапазоне нормальных нагрузок. Отрезок, отсекаемый этой прямой по оси ординат, характеризует величину сцепления по контакту (К).

В условиях, когда породы находятся в состоянии многолетней мерзлоты, имеет место смерзание контактов. На верхних горизонтах, где породы подвергались выветриванию и все трещины и контакты слоев, как правило, заполнены продуктами выветривания, смерзание контактов происходит за счет влажности продуктов разрушения и самих пород; на нижних горизонтах, не захваченных выветриванием, смерзание происходит, в основном, за счет влажности пород. Как в том, так и в другом случае контакты характеризуются значительным сцеплением, повышающим общую прочность

массива. Это обстоятельство значительно улучшает устойчивость откосов.

Учет контактов и других поверхностей ослабления при расчетах устойчивости откосов в условиях многолетней мерзлоты производить необходимо, так как прочность смерзшихся контактов все же ниже прочности пород в монолите. Однако прочность, характеризующая смерзшиеся контакты, выше прочности контактов талых и поэтому в условиях многолетней мерзлоты влияние контактов на устойчивость откосов будет сказываться меньше.

Результаты испытаний прочности талых и смерзшихся контактов для известняков приведены в табл.7.

Таблица 7

Характеристика контактов	Сцепление K', т/м²	Угол трения ρ, град.	Среднее значение сцепления $K_{ср}$, т/м²	Среднее значение угла трения $\rho_{ср}$, град.	Примечание
Контакты шероховатые, сухие	12–23	30–37	13	36	Средние значения получены в результате построения обобщенных прямых по всем значениям сопротивлений сдвигу
Контакты шероховатые, влажные	7–25	27	12	28	
Контакты гладкие, сухие	5–16	15–28	11	23	
Контакты гладкие влажные	3	28	–	–	
Глинка талая (W =20–22%) между контактами x)	15	11	–	–	
Глина мерзлая между контактами	–	–	83	30	Температура t = –5°
Контакт заполнен слоем глины мощностью 5 мм	–	–	55	17	t = –3°
Лед (пятнистое заполнение) между контактами	–	–	39	35	t = –5°
Контакт заполнен слоем льда мощностью около 2 мм	–	–	87	33	t = –5°
Контакт заполнен слоем льда мощностью около 3 мм (контакты гладкие)	–	–	58	35	t = –5°
Контакт заполнен слоем льда мощностью 2 мм	18,5	22	–	–	Длительные испытания t =–3,5–4°
То же xx)	30,0	22	–	–	Длительные испытания t =–7°

x) Характеристики глинки (W =18–20%), испытанной на срезном приборе конструкции Н.Н.Маслова равны: K = 14 т/м², ρ = 12°.

xx) Проведено только одно испытание, поэтому указанные характеристики длительной прочности нуждаются в уточнении.

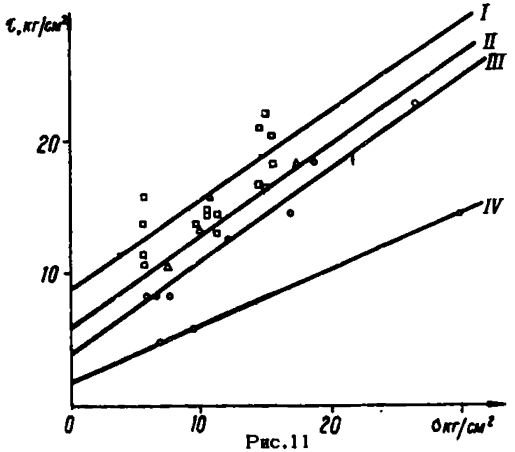


Рис.11

I -контакты шероховатые, прослоек льда (2мм) между контактами, $t^0 = -5^0$, $\rho = 33^0$, К =6,7кг/см²;
II -контакты гладкие, прослоек льда (3мм) между контактами, $t^0 = -5^0$, $\rho = 35^0$, К =5,8кг/см²;
III -контакты шероховатые, лед (пятнистое заполнение) между контактами, $t^0 = -5^0$, $\rho = 35^0$ К=3,9кг/см²;
IV -контакты шероховатые прослоек льда (2мм) между контактами, $t^0 = -35 \div -4^0$ длительные испытания $\rho = 22^0$, К =1,85кг/см²

Как видно из табл.7 и рис.11, значения углов трения при кратковременном срезе близки между собой для контактов со льдом и мерзлой глиной и для сухих шероховатых контактов. Значение же сцепления в 3-6,5 раз больше для контактов со льдом и мерзлой дисперсной породой, чем для сухих шероховатых контактов. В то же время для контактов с пятнистым заполнением льда сцепление при кратковременных испытаниях примерно в 2 раза меньше, чем для контактов со сплошными льдистыми прослоями, так как в первом случае меньше поверхность действительных контактов.

Следует отметить, что величины прочности по контактам, заполненным талой глинкой, очень близки к прочности полученной по результатам испытаний на срез самой глины. Таким образом, для получения характеристик прочности по контактам пород, заполненных глинкой трения, достаточно провести испытания на срез самой глинки.

Учитывая высокие пластические свойства пород в замороженном состоянии, а также смерзшихся контактов, к расчетам необходимо принимать показатели прочности пород, полученные при длительных испытаниях.

Определение длительной прочности по контактам, заполненным льдом, производится на тех же приборах. Длительность опыта должна быть не менее одного часа. Результаты проведенных ВНИМИ длительных испытаний приведены в табл.7.

Приведенные в табл.7 сведения о прочностных характеристиках смерзшихся контактов могут быть использованы

при расчетах устойчивости бортов и уступов карьеров в условиях многолетнемерзлых пород.

§ 5. Влияние формы блоков и степени трещиноватости на прочность массива горных пород

Наблюдения за устойчивостью горных пород в откосах уступов на ряде рудных и угольных карьеров показали, что уступы, сложенные одинаковыми по прочности породами, но имеющими различную форму образованных трещинами блоков отдельностей, в устойчивом состоянии имеют различные углы заоткоски. Во многих случаях было замечено, что уступы, сложенные блоками в форме плит или прямоугольных параллелепипедов, оказываются устойчивыми при больших углах заоткоски, чем уступы, сложенные блоками косоугольной формы.

Следовательно, форма блоков отдельностей влияет на прочность трещиноватого массива пород. Это предположение подтверждают результаты многочисленных натурных испытаний прочности пород в массиве, проведенных на ряде карьеров, сложенных различными породами. Сравнительные результаты испытаний приведены в табл.8.

Таблица 8

Форма блоков	Наименование породы	Отношение размеров призмы к среднему размеру блоков H/l	Коэффициент структурного ослабления λ	Пределы колебания
Плитообразные блоки	Гранодиоритпорфиры и сиенито-диориты	5-9	0,075	0,052-0,094
Прямоугольные параллелепипеды	Гранодиоритпорфиры и сиенито-диориты	4-I5	0,032	0,015-0,072
Косоугольные блоки	Гранодиоритпорфиры и сиенито-диориты	5-23	0,022	0,007-0,055

Как видно из табл.8, коэффициент структурного ослабления λ одних и тех же пород имеет наименьшую величину для массива, сложенного косоугольными параллелепипедами, и наибольшую - для массива, сложенного плитообразными блоками.

Об этом же свидетельствуют результаты лабораторных испытаний.

Для проведения таких испытаний из цементных растворов (с различным соотношением песка и цемента) были изготовлены образцы в форме прямоугольных и косоугольных параллелепипедов. Острые углы косоугольных параллелепипедов принимались равными 45°.

Из приготовленных образцов различной прочности складывали призмы и испытаниями на сжатие определяли их прочность.

Сложенная из отдельных блоков призма имитировала разбитый трещинами массив горных пород. Отношение высоты призмы H к высоте отдельного блока l принималось равным $\frac{H}{l} = 7; 8; 10; 11; 12$. При этом постоянно соблюдалось условие $H \geqslant 1{,}7\ a$, где a - длина основания призмы. Результаты испытаний приведены в табл.9.

Таблица 9

Блоки прямоугольные		Блоки косоугольные	
$\frac{H}{l}$	$\lambda = \frac{K_м}{K_к}$	$\frac{H}{l}$	$\lambda = \frac{K_м}{K_к}$
7	0,70	7	0,36
10	0,35	8	0,18
11	0,15	10	0,05
12	0,05	12	0,04

Из приведенных в таблице результатов видно, что при отношении $\frac{H}{l} = 7$ величина коэффициента структурного ослабления для призмы, сложенной прямоугольными блоками, примерно в 1,8 раза больше λ для призмы, сложенной косоугольными блоками. Разница в величинах λ

объясняется тем, что разрушение призмы происходит не только вследствие разрушения блоков отдельности, но и в результате их взаимного поворота; при этом блоки косоугольной формы имеют меньшую устойчивость и на их вращение требуется меньшее усилие, чем для вращения прямоугольных блоков.

Увеличение отношения $\frac{H}{l}$ ведет к уменьшению разницы величин λ для призм, сложенных блоками разной формы. При $\frac{H}{l} = 12$ величины λ для призм, сложенных прямоугольными блоками, только в 1,3 раза превышает призм, сложенных косоугольными блоками.

Совместный анализ лабораторных и натурных испытаний дает основание предполагать, что при дальнейшем увеличении отношения $\frac{H}{l}$ величины коэффициентов структурного ослабления λ будут одинаковы, независимо от формы слагающих массива блоков. В этом случае разрушение призм будет происходить путем взаимного поворота блоков отдельностей без их разрушения. Поверхность сдвига призмы при этом выражается не плоскостью, а зоной, охватывающей 2-3 блока. Ширина зоны зависит от размера обрушаемого массива.

Следовательно, проведенные наблюдения показывают, что форма блоков, слагающих массив откосов, влияет на устойчивость последних только в том случае, когда отношение высоты откоса к среднему размеру элементарного блока не превышает 10÷12.

Если отношение $\frac{H}{l} > 12$, то форма блоков, очевидно, не будет оказывать влияния на прочность массива и, следовательно, на устойчивость откосов. В применении к карьерам форма блоков будет оказывать влияние только на устойчивость уступов.

Аналогичные испытания и определения проводились также для условий многолетнемерзлых пород.

Составленные из блоков призмы смачивались водой и промораживались, чем достигалась спайность (смерзание) блоков по контактам. После этого призмы выдерживались в течение суток при температуре в пределах от -2 до -3°С

и испытывались на сжатие. Одновременно с этим на сжатие испытывались отдельные блоки, из которых составлены призмы. Блоки испытывались в талом состоянии при температуре 16–18 °С.

Результаты испытаний сборных промороженных призм совместно с результатами проведенных ранее талых призм сведены в табл.10.

Таблица 10

Отношение размера призмы к размеру блока	Блоки прямоугольные		Блоки косоугольные	
	Талые λ	замороженные λ	талые λ	замороженные λ
6	-	-	-	0,62
7	0,62	-	0,36	-
8	-	0,33	0,I8	0,34
9	-	0,30	-	0,3I
II	0,20	-	-	-
I2	0,06	0,24	0,05	0,24
I4	-	0,I7	-	-

Приведенные в табнице результаты являются средними из нескольких испытаний, а количество их по каждой группе составляет не менее двух–трех.

Анализируя результаты испытаний можно заметить, что при увеличении числа блоков в призме (увеличении отношения $\frac{H}{l}$) прочность замороженных призм заметно увеличивается по сравнению с прочностью талых призм. При этом, чем больше отношение $\frac{H}{l}$, тем больше разница между прочностью талых и мерзлых призм. При соотношении $\frac{H}{l}$ = 12 прочность замороженных сборных призм в 4–6 раз выше прочности призм, находящихся в талом состоянии.

Обращает на себя внимание также тот факт, что в случае, когда призмы заморожены (блоки смерзлись по контактам), форма блоков отдельностей не оказывает влияния на прочность призмы (массива), т.е. призмы, сложен-

ные из прямоугольных и косоугольных блоков (если число их в призме одинаково), характеризуются одинаковой прочностью. При испытании аналогичных призм в талом состоянии форма блоков отдельностей оказывает существенное влияние на прочность испытываемой призмы.

§ 6. Прочность массива мерзлых трещиноватых горных пород

Наличие в массиве пород трещин, разбивающих его на отдельные блоки, приводит к значительному ослаблению прочности массива, а следовательно, и к уменьшению устойчивости откосов, сложенных этими породами.

Прочность массива определяется при помощи натурных испытаний, методика которых разработана и внедрена ВНИМИ /6/.

В настоящее время имеются графики и формулы, позволяющие определить прочность массива пород, по имеющимся данным прочности пород в монолите и интенсивности трещиноватости. Так, для определения прочности пород в массиве часто используется формула, предложенная Г.Л.Фисенко /6/:

$$K_м = \frac{K}{1 + a \ln \frac{H}{l}},$$

где $K_м$ и K – сцепление в массиве и в образце;

a – коэффициент, зависящий от прочности породы в монолитном образце и характера трещиноватости;

$\frac{H}{l}$ – отношение высоты борта к среднему размеру элементарных блоков.

Однако все проводившиеся ранее исследования касались, в основном, прочности массива талых пород.

Для получения более точных зависимостей прочности массива многолетнемерзлых пород необходимо продолжать проведение натурных испытаний пород различных литологи-

ческих разностей, различной интенсивности трещиноватости.

Проведение натурных испытаний многолетнемерзлых пород имеет особо важное значение, так как определение общей зависимости между прочностью массива многолетнемерзлых пород и интенсивностью трещиноватости осложняется тем обстоятельством, что трещины в них, как правило, заполнены льдом или дисперсными льдонасыщенными материалами. В закрытых и скрытых трещинах также находится некоторое количество льда, цементирующего породные отдельности в своеобразные монолиты. Указанные особенности оказывают свое влияние на прочность и закономерность деформации массива мерзлых пород и значительно отличают их от немерзлого массива. Кроме того, прочность и деформируемость мерзлых пород зависит от температуры, влияющей на механические свойства льда и других заполнителей. Поэтому, как указывает К.Ф.Войтковский /7/, нельзя оценивать прочность мерзлого массива скальных пород одной лишь прочностью минеральных отдельностей, а необходимо рассматривать этот массив как сложную многокомпонентную систему, в простейшем случае, как двухкомпонентную систему, и учитывать как прочности отдельных компонентов, так и их соотношение.

При проведении исследований устойчивости бортов карьеров кимберлитовых трубок "Мир" и "Айхал" натурным определениям (испытаниям) прочности массива трещиноватых многолетнемерзлых горных пород уделялось большое внимание. Всего на двух карьерах проведено более 40 испытаний, из них – 10 в известняках, остальные в мергелях. При этом породы испытывались как в талом, так и в мерзлом состояниях.

Для определения прочности оттаявшего массива выбираются участки, длительное время находившиеся открытыми. Для проведения испытаний в мерзлом массиве делается выборка оттаявших пород, а испытание проводится сразу же после нарезки призмы.

Срезывающие усилия создаются гидравлическим домкратом. Разрушение призмы происходит в форме сдвига или раздавливания. При разрушении в форме сдвига в призме отчетливо проявляется поверхность, по которой

происходит срез, при раздавливании такая поверхность отсутствует.

В результате испытания определяются: P – давление в домкрате, атм; S – площадь поверхности среза, см^2; S_0 – полезная площадь гидродомкрата, см^2; – угол между поверхностью среза и направлением давления, создаваемого гидродомкратом.

Получив эти данные, можно определить сцепление в массиве по формуле

$$K_м = \frac{P}{S} (\sin\alpha - \cos\alpha \cdot \operatorname{tg}\rho),$$

где $K_м$ – сцепление пород в массиве, кг/см^2;
ρ – угол внутреннего трения (определяется по лабораторным испытаниям), град.

Для определения точного положения поверхности среза при проведении натурных испытаний использовались индикаторы часового типа. Наблюдения показали, что в однородных мергелях поверхность среза отчетливо формируется в призме, длина которой составляет 1,5–1,8 ширины ее. При большей длине призмы поверхность среза захватывает только часть ее. Таким образом, длина призмы должна быть не менее полуторной ширины.

При проведении натурных испытаний измеряется также температура испытываемых пород.

Результаты натурных испытаний приведены в табл.11, являющейся сводной по результатам натурных испытаний, проведенных на карьерах трубок "Мир" и "Айхал".

Как видно из табл.11 результаты испытаний мергелей на карьерах "Мир" и "Айхал" хорошо совпадают между собой, т.е. прочности мергелей в массивах трубок "Мир" и "Айхал" практически одинаковы как в талом, так и в мерзлом состояниях. Следует, однако, отметить, что устойчивость мергелей в откосах на карьерах "Мир" и "Айхал" различна. Мергели на карьере трубки "Мир" в откосах более устойчивы. Это объясняется тем, что на карьере трубки "Мир" слой мергелей, максимальная мощность которых не превышает 1,5 м, переслаиваются маломощными (m = 2–5 см) слоями песчаника. А так как песчаник

Таблица II

Наименование пород	Состояние пород	Сцепление в монолите К, кг/см^2	Сцепление в массиве $К_м$, кг/см^2	Пределы колебаний $К_м$, кг/см^2	Количество испытаний	Коэффициент структурного ослабления	Примечание
Мергели (выветрелые)	талые	5,0	0,50	0,I2-0,60	I9	0,I0	"Мир"
Мергели	-"-	8,5	0,6I	0,32-I,23	5	0,072	"Айхал"
Мергели с прослоями песчаника	-"-	I0,I	I,7I	I,23-2,I6	6	0,I7	"Мир"
-"-	мерзлые	I5,0	3,I3	2,I2-4,I0	I0	0,2I	"Мир"
Мергели	-"-	I5,0	2,73	I,6I-3,58	6	0,I8	"Айхал"
Известняки мелкозернистые с прослоями глины	мерзлые	90	2,I7	-	I	0,024	-"-
Известняки без прослоев глины	талые	90	I,56	I,27-I,86	2	0,0I7	-"-
Известняки мелкозернистые с прослоями глины	талые	90	0,65	0,5I-0,98	7	0,007	-"-
Мергели с прослоями песчаника	мерзлые	I5,0	4,02	3,4-4,64	2	0,27	"Мир"
Мергели с прослоями песчаника (длительные испытания)	-"-	-"-	3,23	2,82-3,64	2	-	-"-

является крепкой породой, те слои его образуют как бы каркас, который предохраняет мергели от разрушения.

В условиях Айхала мергельные отложения имеют большую мощность (около 40 м), при этом в толще мергелей отсутствуют прослойки более крепких пород. Поэтому после нескольких циклов замораживания-оттаивания мергели рассыпаются на мелкие блоки и полностью разрушаются.

Таким образом, как видно из табл.11, прочность мерзлого массива мергелей в 4,5 раз выше прочности талого массива. Прочность мерзлого массива сильно трещиноватых известняков выше прочности талых в 3-3,5 раза.

Увеличение прочности массива при замерзании происходит по двум причинам:

а) за счет увеличения прочности в монолите в результате цементирующего действия льда между частицами грунта;

б) за счет смерзания контактов трещин, в результате чего происходит как бы увеличение размеров блоков отдельности и уменьшение их общего количества в срезаемой призме.

При сдвиге призм мелкотрещиноватых мергелей и известняков на карьерах "Мир" и "Айхал" породы не рассыпаются полностью на блоки отдельности (что имеет место в трещиноватых немерзлых породах), а раскалываются лишь на несколько частей, каждая из которых состоит из ряда блоков. Следовательно, трещиноватость мерзлого массива проявляется лишь частично, благодаря чему прочность его возрастает.

Коэффициенты структурного ослабления, полученные на основании проведенных исследований, получились равными:

1) для талых мергелей $\lambda_т = 0,07 - 0,10$;

для мерзлых мергелей $\lambda_м = 0,18 - 0,21$;

2) для талых сильно трещиноватых мелкозернистых известняков с прослоями глины $\lambda_т = 0,007$;

для мерзлых $\lambda_м = 0,024$.

Как указывалось выше, увеличение прочности мерзлых пород в массиве, по сравнению с талыми, происходит за счет увеличения прочности мерзлых пород в монолите и за счет смерзания контактов трещин. Точно определить удельное влияние каждого из этих факторов в отдельности в настоящее время трудно. Однако, если проанализировать результаты проведенных лабораторных испытаний пород в

монолите в талом и мерзлом состоянии и результаты испытаний прочности пород в массиве, то можно сделать некоторые выводы.

При замерзании массива мергелей и сильно трещиноватых известняков происходит увеличение его прочности в 3 - 4,5 раза по сравнению с талым массивом тех же пород. В то же время прочность этих пород в монолите при замерзании, по результатам лабораторных испытаний пород карьеров "Мир" и "Айхал" увеличивается в 1,5 - 3,0 раза. Таким образом, увеличение прочности массива при замерзании происходит примерно на 30-40% за счет увеличения прочности в монолите и на 60-70% за счет смерзания блоков по контактам.

Испытания прочности в массиве мерзлых мергелей, произведенных на карьерах "Мир" и "Айхал", дают значения сцепления близкие друг к другу, хотя в призмах мерзлых мергелей, подвергавшихся сразу на карьере "Мир", находились прослои сильно трещиноватых известняков и песчаников, обладающих значительно большей прочностью в монолите, чем мергели. Этот факт подтверждает сделанный выше вывод о превалирующем влиянии и увеличении сцепления сильнотрещиноватых мерзлых пород в массиве за счет смерзания (скрепления льдом) блоков по трещинам по сравнению с увеличением прочности в массиве за счет увеличения прочности при замерзании в монолите.

С уменьшением степени трещиноватости увеличение прочности в мерзлом массиве будет происходить в большей степени за счет увеличения прочности мерзлых пород в монолите.

Из сказанного выше следует, что известную формулу Г.Л.Фисенко для определения сцепления пород в массиве в мерзлом состоянии применить непосредственно нельзя. Однако, анализируя имеющиеся данные, ее можно обобщить на случай мерзлых пород, введя коэффициент, учитывающий смерзание блоков по контактам, благодаря которому происходит как бы увеличение размера структурного блока. Тогда формула Г.Л.Фисенко перепишется в виде:

$$K_м = \frac{K_к}{1 + \alpha l_n \frac{H}{\alpha l}} .$$

Обозначив $\ln d = a$, получим

$$K_м = \frac{K_к}{1 + \alpha \ln \frac{H}{l} \alpha b} .$$

На основании проведенных на карьерах "Мир" и "Айхал" натурных испытаний вычислены значения b для различных пород. При этом наблюдается довольно четкая зависимость между величиной b и коэффициентом структурного ослабления для талых пород. Эта зависимость приведена на рис.12. При этом значение $\lambda_т$ может быть определено или по результатам натурных испытаний или взято из таблицы, составленной для пород различной прочности в монолите в талом состоянии (табл.12).

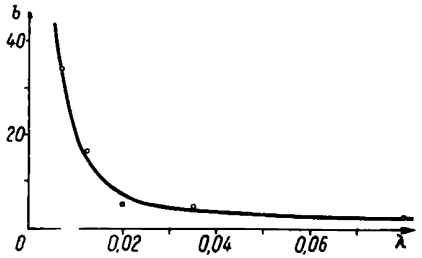


Рис.12.

Зная b, по формуле нетрудно определить сцепление массива мерзлых пород.

Предложенный путь определения сцепления пород

Таблица I2

Сцепление в монолите $K_к$, кг/см²	< I	I–6	6–20	20–80	80–I70	I70–350	>350
Коэффициент структурного ослабления $\lambda_т$	0,90	0,40	0,20	0,I0	0,05	0,03	0,02

в мерзлом состоянии является приближенным и требует дальнейшего уточнения. Он может быть рекомендован при определении прочности мерзлого массива при расчетах устойчивости на стадии проектирования и вовсе не исключает натурных испытаний прочности массива, которые проводятся при детальном исследовании устойчивости бортов карьеров.

ГЛАВА 1У

ВЫВЕТРИВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

§ 1. Наблюдения за выветриванием многолетнемерзлых пород в откосах

Под совместным воздействием воды, колебаний температуры воздуха, ветра, горные породы постепенно разрушаются, выветриваются. В зависимости от перечисленных факторов, а также от состава и свойств пород, различные горные породы со временем теряют часть прочности.

В районах Крайнего Севера с резко континентальным климатом (так, например, в Айхале амплитуда колебаний температуры воздуха около 100°), при значительной влажности (льдистости) пород, периодически повторяющихся циклах оттаивания-замораживания и большом количестве атмосферных осадков выветривание оказывает большое воздействие на прочность многолетнемерзлых пород и на устойчивость сложенных ими откосов.

По нашим наблюдениям и наблюдениям других авторов /8/ массовые деформации откосов в условиях многолетней мерзлоты связаны с оттаиванием и выветриванием горных пород.

Основными задачами, стоящими при исследовании выветривания многолетнемерзлых пород в откосах уступов, являются следующие:

1) изучение скорости осыпания пород в откосах с целью определения оптимальных углов откосов уступов и ширины берм;

2) изучение уменьшения прочности пород в откосах с целью правильного расчета укрепительных мероприятий.

Для решения этих задач необходимо проведение следующего комплекса работ:

1) визуальные наблюдения за состоянием различных пород в откосах;

2) обследование состояния во времени керна из инженерно-геологических скважин;

3) определение глубины протаивания массива многолетнемерзлых пород;

4) наблюдения с помощью специально заложенных реперов за скоростью выветривания пород в откосах;

5) инструментальные съемки профилей откосов уступов и положение бровок уступов во времени;

6) определение прочности пород в массиве и критической прочности пород в откосах;

7) определение в лабораторных условиях морозостойкости пород.

Визуальные наблюдения позволяют выделить участки уступов, подверженные наиболее интенсивному выветриванию.

По результатам периодически проводимых инструментальных съемок положения бровок уступов в плане и съемок профилей откосов уступов для определения уменьшения ширины берм и выполаживания углов откосов во времени (рис.13) можно судить о скорости выветривания пород.

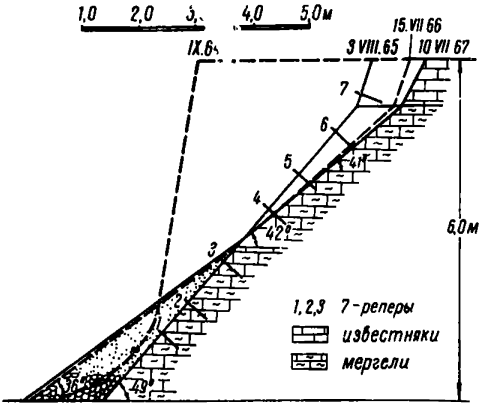


Рис.13.

Представление о примерных скоростях осыпания верхних бровок уступов дает табл.13, составленная на основании материалов наблюдений за осыпанием уступов по разрезу П-П, как наиболее характерного.

Из таблицы видно, что участки уступа, сложенные мергелями, за два года стояния вы-

Таблица I3

Наименование породы	Высота уступа, $h_м$	Угол на момент отработки α_0, град.	Угол на момент съемки α_1,x) град.	Величина осыпания бровки l_1, м	Время стояния (в весенне-летних сезонах)	Угол на момент съемки α_2 x) град.	Величина осыпания бровки l_2 м	Время стояния (в весенне-летних сезонах)	Примечания
Мергель	480-470	80	55	3,3	I	45	4,4	2	Берма не спланирована, водоотвод не организован
Известняк, мергель	490-480	80	60	2,5	2	58	2,8	3	-"-
Известняк, сильнотрещиноватый с прослоями глины	500-490	80	66	I,7	2	65	I,8	3	-"-
Известняки сильно трещиноватые	500-490	80	70	I,2	2	68	I,6	3	
Известняк крупноблоковый	5I0-500	80	80	0	3	80	0	4	-"-

x) Углы на моменты съемок взяты без учета осыпей в откосах коренных пород

ветриваются примерно в 1,8 раза быстрее, чем участки уступа, сложенные наполовину известняками и мергелями, и примерно в 3,7 раза быстрее, чем участки уступа, сложенные сильно трещиноватыми известняками.

Определение скорости и характера осыпания с откосов выветривающихся пород осуществляется также (кроме съемок профилей и съемок положения верхних бровок берм на разные сроки стояния) с помощью заложенных наблюдательных станций (рис.13), по которым в течение ряда летних сезонов периодически проводятся серии наблюдений.

Реперы наблюдательных станций за выветриванием представляют собой металлические штыри длиной от 30 см до 50 см. Станции закладывались в мергелях и известняках как вдоль откосов, так и по их высоте. При этом реперы закладывались в уступах с различными углами откосов и различными условиями залегания пород (например, известняки массивные и с прослоями глины; мергели сухие и влажные). Число реперов (штырей) в станции бралось в зависимости от длины участка (от 4 до 10 штук). Штыри выступают из откоса на 8–12 см. Расстояние между реперами принимается в зависимости от условий залегания пород и удобства измерений от 1 до 3–4 м. Измерения производятся следующим образом: между реперами натягивается рулетка, от которой через каждые 10 см металлической линейкой измеряется расстояние до груди забоя.

Из рис.13 видно, что уход бровки уступа наиболее интенсивен в первый весенне-летний сезон (выветривание происходит в 5 раз быстрее, чем в последующий сезон), что объясняется более крутым углом откоса уступа и нарушенностью уступа взрывными работами, способствующей проникновению в массив талых и дождевых вод.

При расположении реперов по простиранию откоса профиль откоса строится из допущения, что мощность осыпавшегося слоя увеличивается пропорционально высоте уступа.

§ 2. Изменение прочности многолетнемерзлых пород в откосах под воздействием выветривания

Выветривание горных пород сопровождается изменением их физико-механических свойств.

Так как на изменение физико-механических свойств многолетнемерзлых пород основное влияние оказывает оттаивание их и увлажнение в весенне-летний период времени, то очень важным является определение величины зоны протаивания в откосах и на бермах уступов.

Для определения максимальной зоны протаивания горных пород делаются зачистки, а также производятся замеры температур в шпурах и скважинах с помощью термистера и моста сопротивлений или с помощью заленивленных термометров. Величина зоны протаивания на карьере кимберлитовой трубки "Айхал", в зависимости от экспозиции борта, составляет по нашим наблюдениям 0,6-1,6 м, в среднем равняясь 1,1 м, а на карьере "Мир" 0,8-2,0 м. Начиная с 10-11 м от поверхности откоса (бермы) в массивах сохраняется естественная отрицательная температура (в пределах от -2,5 до -2,8°С).

Относительная механическая прочность пород на поверхности откосов и в глубине их может быть определена с помощью динамического пробника /9/.

Прочность пород, определяемая способом динамического вдавливания, условно характеризуется величиной работы в кгм, приходящейся на 1 мм внедрения пуансона в породу (длина пуансона 50 мм), диаметр 11,3 мм, площадь поперечного сечения 1 $см^2$. Пуансон устанавливается перпендикулярно испытываемой поверхности и по пробнику наносятся равномерные удары молотком весом в 1 кг; затем штангенциркулем измеряется глубина внедрения пуансона в породу.

Относительная механическая прочность пород определяется по формуле

$$q = \frac{nA}{vS}$$

где n - число ударов;
v - глубина внедрения пуансона, м;
S - площадь поперечного сечения пуансона, $S = 1$ $см^2$;
A - работа одного удара, кгм.

Зависимость между относительной механической прочностью (q) и прочностью пород в образце ($K_к$) выражается кривой, имеющей параболическую форму (рис.14) /10/.

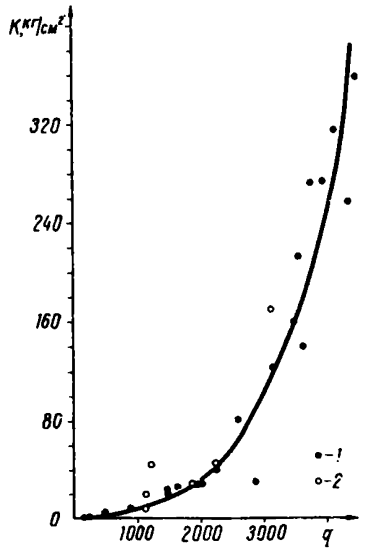


Рис.14
1-песчаники Джезказганских карьеров; 2-другие породы

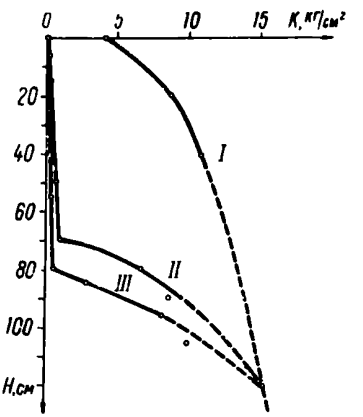


Рис.15.

Характер изменения прочности пород в откосе при их выветривании виден из рис.15. Первая кривая отображает изменение прочности мергелей вглубь откоса, угол которого составляет около 60°. Угол откоса уступа на момент отработки (зимой того же года) равнялся 80°. Полевые определения прочности проводились в середине августа, когда основное осыпание за весенне-летний сезон уже произошло. Как видно из результатов испытаний, даже за короткий срок, вследствие оттаивания и воздействия внешних факторов, прочность мергелей значительно уменьшается (по результатам лабораторных испытаний прочность в куске $K_к$ = 15,2 кг/см^2 при W = 10%). Особенно уменьшалась при этом прочность мергелей в интервале глубин 0-25 см.

Вторая кривая показывает характер изменения прочности мергелей вглубь уступа на месте предыдущих испытаний.

Вторая серия испытаний была проведена через год. При этом угол откоса уступа выположился до 50°. Мергели в откосе отличались высокой влажностью (до 22,4%).

Прочность мергелей значительно уменьшилась по всей мощности слоя сезонного протаивания. И, наконец, третья кривая характеризует прочность мергелей в откосе уступа, после 3-х лет стояния (угол откоса уступа равнялся 43°). Точки, в которых на графиках происходит перегиб кривых, соответствуют границе оттаявшего и мерзлого слоев на момент проведения испытаний (первая и третья декады июля) Точка слияния кривых соответствует прочности мергелей в откосе на глубине максимального протаивания за весенне-летний сезон. За слоем максимального протаивания (в данном случае - 1,2 м) порода круглогодично находится в мерзлом состоянии и прочность ее, если и изменяется, то незначительно от колебания отрицательных температур в зоне постоянно мерзлых пород. Уменьшение прочности мерзлых (еще не успевших оттаять) мергелей в пределах слоя максимального сезонного протаивания по сравнению с прочностью на глубине 1,2 м объясняется воздействием на этот слой повторявшихся циклов оттаивания-замораживания, в результате чего изменилась первичная структура мергелей, происходило ее влагонасыщение, и, как следствие указанных процессов, уменьшение прочности.

По результатам испытаний динамическим пробником пород на поверхности откосов можно построить график (рис 16) зависимости критической прочности K_α от угла откоса уступов α в мергелях. Под критической прочностью /10/понимается то минимальное сцепление, с потерей которого начинается осыпание частиц породы с поверхности откоса:

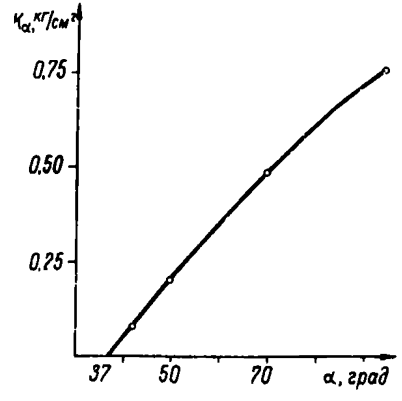


Рис.16.

$$K_\alpha = C \cdot \cos\alpha \, (tg\alpha - tg\rho),$$

где K_α - критическая прочность при данном угле откоса α ; ρ - угол внутреннего трения породы; C - константа для данной породы, численно равная критической прочности на поверхности осыпающегося вертикального откоса.

Так как при угле откоса $\alpha = 50^{\circ}$ по результатам полевых испытаний $K_{\alpha} = 0{,}2$ кг/см^2, то $C = 0{,}715$ кг/см^2.

Результаты полевых наблюдений за скоростью осыпания уступов и за изменением прочности мергелей вглубь массива, сопоставленные с лабораторными испытаниями на морозостойкость, говорят о том, что критическая прочность при крутых углах откоса (80–90°) может наступать сразу же по мере оттаивания породы.

Большое значение имеет характер изменения прочности пород в массиве вглубь откоса. Такие определения можно проводить с помощью натурных испытаний. Нами проводились испытания в мергелях – 1 год стояния (кривая 2, рис.17) и сильно трещиноватых известняках с глинкой между блоками – 2 года стояния (кривая 1). Как видно из рисунка, за слоем, подверженным сезонному протаиванию, прочность пород в массиве является практически постоянной, незначительно увеличиваясь вглубь массива, в связи с понижением температуры.

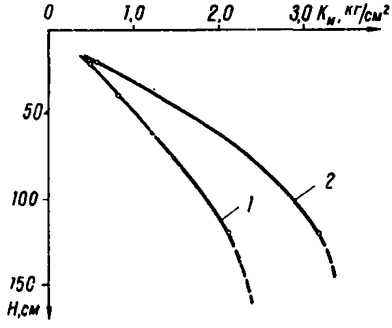


Рис.17
1–известняки (2 года стояния; 2–мергели (1 год стояния

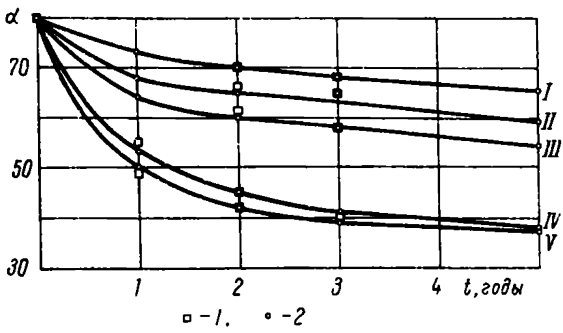
§ 3. Предрасчет углов откосов уступов на различные сроки стояния

На основании проведенных в течение четырех лет наблюдений за выветриванием пород в откосах карьера "Айхал" (съемка профилей уступов и положения верхних бровок берм, наблюдательные станции) были построены графики изменения углов откосов уступов во времени (рис.16): кривая I–откосы сложены сильно трещиноватыми известняками; кривая П – сильно трещиноватыми известняками с прослоями глины; кривая Ш –известняками с мергелями, а

также сильно раздробленными известняками с прослоями глины; 1У - мергелями; У - выветрелыми мергелями.

Приведенные на рис.18 кривые описываются уравнениями вида

$$\alpha_t = (\alpha_0 - \rho)e^{-bt^n} + \rho$$



□-1, ○-2

Рис.18

1-данные наблюдений; 2-данные предрасчета

где α_t - угол откоса уступа в момент времени t ; α_0 -угол откоса уступа на момент отработки; b - коэффициент, зависящий от скорости выветривания пород (скорости выполаживания угла откоса уступа); t - число лет (весенне-летних сезонов) с момента отработки уступа; n -коэффициент, зависящий от прочности пород в массиве; ρ -угол естественного откоса.

Проведенные по указанной формуле расчеты дают значения углов откосов уступов во времени, хорошо совпадающие со значениями углов, наблюдаемыми по прошествии определенного срока в натуре (табл.14) .

Предрасчет углов откосов уступов на различные сроки стояния по предлагаемой методике имеет важное значение для практики открытых горных работ, так как позволяет более обоснованно выбирать ширину берм.

Для определения коэффициента b построен график зависимости его от скорости выполаживания угла откоса уступа $\Delta\alpha$ за 2 года стояния при начальном угле на момент отработки 80^0 при отсутствии специальных методов заоткоски (рис.19,а). Таким образом, для построения подобного графика, достаточно провести наблюдения на действующих карьерах за изменением углов откосов уступов на участках, не находящихся в течение 2-3 лет в работе.

Таблица 14

Число лет, прошедших с момента отработки	Углы откосов, сложенных сильно трещиноватыми известняками, град		Углы откосов, сложенных сильно трещиноватыми известняками с прослоями глины, град.		Углы откосов, сложенных совместно известняками и мергелями, а также сильно раздробленными известняками с прослоями глины, град.		Углы откосов, сложенные мергелями, град.		Угли откосов, сложенные выветрелыми мергелями, град.	
	измеренные	вычисленные	измеренные	вычисленные	измеренные	вычисленные	измеренные	вычисленные	измеренные	вычисленные
0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
I	-	73	-	68	-	64	55	53	49	50
2	70	70	66	65	6I	60	45	45	42	42
3	68	68	65	65	58	58	-	4I	40	39
5	-	65	-	59	-	54	-	38	-	37,5
6	-	64	-	57	-	52,5	-	37,5	-	37
7	-	63	-	56	-	5I,5	-	37	-	-
I0	-	6I	-	53	-	49	-	-	-	-
20	-	55,5	-	48	-	43	-	-	-	-
30	-	52,5	-	45		4I	-	-	-	-

Примечание: Углы взяты без учета осыпей в откосах коренных пород.

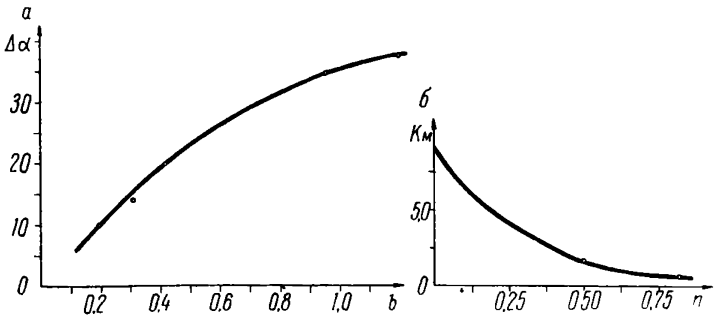


Рис.19.

Для определения коэффициента w, изменяющегося от 0 до 1, построен график зависимости его от прочности талых пород в массиве (рис.19,б). Прочность в массиве мергелей и сильно трещиноватых известняков получена по результатам натурных испытаний, проведенных на карьере кимберлитовой трубки "Айхал". Прочность в массиве чрезвычайно слабо выветривающихся плотных крупноблоковых известняков (размер блока около 1,0 м) рассчитана по формуле, предложенной Г.Л.Фисенко.

Приведенная в п.3 гл.1У формула и графики (см. рис.19) могут быть использованы для предрасчета углов откосов уступов на определенные сроки стояния для пород, близких по своим свойствам к породам, слагающим кимберлитовую трубку карьеров "Айхал" и "Мир".

§ 4. Морозостойкость горных пород и ее связь со скоростью выветривания пород в откосах

Стойкость многолетнемерзлых пород к выветриванию необходимо изучать уже на стадии разведки, проводя наблюдения за изменением керна во времени под воздействием агентов выветривания при нахождении его на открытом воздухе после извлечения керна из скважин.

Наблюдения за поведением керна многолетнемерзлых пород показывают, что его разрушение начинается сразу же по извлечении из скважины и последующего оттаива-

ния. Керн известняка (карьер "Айхал", керн пролежал летом месяц на открытом воздухе) чаще всего разрушается по наслоению, в большинстве на столбики или плитки высотой от 3 см до 15 см; реже разрушается по скрытым трещинам. Керн мергелей за это же время рассыпался на отдельные кусочки до 3 см, местами вообще превращаясь в дресву.

Однако, наблюдения за поведением керна в полевых условиях позволяют судить, в основном, о качественном изменении многолетнемерзлых пород под влиянием агентов выветривания.

Влияние циклов замораживания-оттаивания на уменьшение прочности пород, т.е. определение их морозостойкости, проводится в лабораторных условиях.

Изучение в лабораторных условиях влияния многократно повторяющихся процессов замораживания-оттаивания на различные типы пород проводилось во ВНИМИ на образцах цилиндрической формы, имеющих размеры d = 40-35 мм и h = 70 мм. Образцы замораживали при t = -30 ÷ -35°С, а затем оттаивали в воде при t =18÷20°С.

В результате проведенных испытаний установлено, что изменение прочности пород происходит после большого числа циклов замораживания-оттаивания (рис.20, табл.15 и 16).

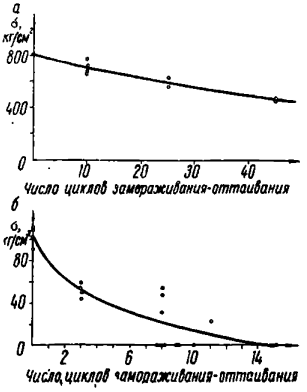


Рис.20.

Прогнозировать возможные изменения положения бровок уступов вследствие выветривания необходимо как для проектирования, так и для практики эксплуатации карьеров.

Предлагается следующий путь увязки полевых и лабораторных исследований и определения возможностей скорости осыпания уступов, в условиях многолетнемерзлых пород:

1. По результатам полевых исследований определяется критическая прочность породы при осыпании для различных углов откоса уступов - K_d ;

Таблица I5

Таблица результатов определения морозостойкости пород

Наименование породы	Количество образцов	Число циклов замораживания-оттаивания	Временное сопротивление сжатию $\sigma_{сж}$, кг/см	Снижение прочности после циклов	Месторождение	Примечание
Каолинизированные песчаники	4	-	I03,5	-	Джезказган	
"	4	3	5I,4	0,50	"	
"	3	8	44,3	0,57	"	
"	3	8	Разрушились	-	"	
"	2	9	Разрушились	-	"	См. рис. 20, а
"	I	I0	Разрушились	-	"	
"	I	II	22,I	0,70	"	
"	3	I5	Разрушились	-	"	
Габбро	2	-	20I2	-	Удокан	
"	I	44	I348	0,33	"	
"	I	57	I330	0,34	"	
"	I	I20	I280	0,36	"	
Диабаз	2	-	I608	-	Айхал	
"	2	45	I6I0	-	"	
Известняк глинистый	-	-	800	-	Айхал	Взято по результатам испытаний на косой срез
"	4	I0	706	0,I2	"	См. рис. 20, б
"	2	25	596	0,25	"	
"	2	45	465	0,42	"	
Песчанистый мергель	-	-	-	-	Айхал	Взято по результатам испытаний на косой срез
Песчанистые мергели	I	3	Разрушился	-	Айхал	
"	3	5	Разрушился	-	Айхал	
Мергели зеленые, 480-470 м	-	I-4	Разрушаются	-	Айхал	На основании многочисленных полевых и лабораторных определений
Мергели, 4I0 м	-	4-5	Разрушаются	-	"	"
Мергели, ниже 400 м	2	7-8	Разрушаются	-	"	"

Таблица I6

Наименование пород	Глубина залегания, м	Состояние образцов								Влажность W, %
		Мерзлые		Талые		Талые–5 циклов		Талые –I0 циклов		
		сцепление К, кг/см^2	угол внутреннего трения ρ, град.	сцепление К, кг/см^2	угол внутреннего трения ρ, град.	сцепление К, кг/см^2	угол внутреннего трения ρ, град.	сцепление К, кг/см^2	угол внутреннего трения ρ, град.	
Мергель известковый	50	75,5	37,5	-	-	46	33,5	22	35	9
Мергель доломитовый	50	97	23	52,5	32,5	-	-	54	25	6
Мергель доломитовый	I00	208	34,5	I43	32	76	36	68	30	5,5
Алевролит	200	-	-	5I	36	48	35	22	32	6,5

Примечание: Таблица построена по испытаниям на трехосное сжатие (карьер "Мир")

2. Проводятся лабораторные испытания породы на морозостойкость. Строятся графики, подобные изображенным на рис.20.

3. Определяется количество переходов в году температуры через нуль и мощность слоя оттаивания-промерзания за сутки.

Поясним сказанное на примере. Допустим, что необходимо знать насколько осыпается за 1 год верхняя бровка уступа, сложенного мергелями. По данным лабораторных испытаний на морозостойкость образцы этой разновидности полностью разрушаются через 1-4 циклов, в среднем через 2 цикла. Имея число переходов в году через нуль около 70, мощность слоя оттаивания-промерзания за сутки около 5 см и значения критической прочности мергелей при осыпании для различных углов откоса уступа (рис.16), получим величину осыпания верхней бровки уступа (высота H = 10 м) около 180 см. В естественных же условиях осыпается, как правило, около 250 см, что вызывается влиянием оттаивающих льдистых прослоек, скоплением на бермах атмосферных вод и целым рядом других факторов. Таким образом, фактическая величина осыпания $a_ф$ будет равна

$$a_ф = a_р \cdot q = \frac{n_п \cdot m}{n_ц} q,$$

где $a_р$ - величина осыпания, рассчитанная на основании лабораторных и частично полевых исследований (определение критической прочности K_α при осыпании);

$n_ц$ - число переходов температуры в году через нуль;

n_m - число циклов замораживания-оттаивания в лабораторных условиях, по прошествии которых образцы пород будут обладать прочностью, соответствующей критической прочности K при интересующих нас углах откоса уступа α;

m - мощность слоя оттаивания-промерзания за сутки, см;

q – коэффициент, зависящий от прочности породы в монолите, от структуры породы и материала, заполняющего трещины, а также от климатических условий.

Для сравнительно слабых полускальных пород типа мергелей (без ясно выраженной трещиноватости, разбитых волосяными трещинами) коэффициент q можно принимать равным 1,0–1,4.

Для более прочных пород типа песчаников, аргиллитов, алевролитов и т.д. коэффициент $q < 1$. Точно значение этого коэффициента можно будет определить на основании изучения выветривания этих пород, как в лабораторных, так и в натурных условиях.

Для сильно трещиноватых пород с большой прочностью в монолите (особенно для пород мелкоблоковой структуры с глинистым заполнителем между блоками) следует определять скорость выветривания откосов уступов во времени по методике, изложенной в п.3 настоящей главы.

ГЛАВА У

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ НАКЛОНА БОРТОВ КАРЬЕРОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

§ 1. Выбор расчетных характеристик

Расчеты устойчивости бортов и уступов карьеров проводятся на основании данных о физико-механических свойствах вмещающих пород и о структуре массива.

Борта карьера разбиваются на участки, каждый из которых должен характеризоваться однородным составом пород с одинаковыми физико-механическими характеристиками. Для каждого участка составляется геологический разрез с нанесением всех литологических разновидностей пород и структурной характеристики участка.

На геологический разрез наносится ориентировочный

профиль борта и поверхность скольжения. Этими поверхностями ограничивается призма возможного обрушения пород, по которой и определяются основные разновидности пород, слагающие данные участки карьера.

Средневзвешенные для всего разреза показатели прочности пород сцепление K и угол внутреннего трения ρ определяются по формулам:

$$K_{ср} = \frac{K_{м_1} \cdot l_1 + K_{м_2} \cdot l_2 + \ldots + K_{м_n} \cdot l_n}{L};$$

$$\rho_{ср} = \frac{\rho_1 \sigma_1 l_1 + \rho_2 \sigma_2 l_2 + \ldots + \rho_n \sigma_n l_n}{\sum_{i=1}^{n} \sigma_i l_i},$$

где $l_1, l_2 \ldots l_n$ – длина отрезков вероятной поверхности скольжения для каждого блока пород с характеристиками $K_{м_i}$ и ρ_i ;

$\sigma_1, \sigma_2 \ldots \sigma_n$ – средние величины нормального напряжения по соответствующим отрезкам поверхности скольжения;

L – общая длина поверхности скольжения.

Величины углов внутреннего трения и сцепления как в массиве, так и по контактам трещин принимаются по данным лабораторных и натурных испытаний. При отсутствии натурных испытаний сцепление трещиноватого массива определяется по формуле $K_м = K_к \cdot \lambda$; λ определяется по табл.12.

В полученные указанным способом характеристики необходимо ввести коэффициент запаса, пользуясь следующими формулами:

$$K_р = \frac{K_{ср}}{n} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \rho = \frac{\operatorname{tg} \rho_{ср}}{n}$$

Коэффициент запаса n для характеристик полускальных и скальных пород в талом состоянии при расчетах устойчивости бортов карьеров обычно принимается равным 1,3.

В условиях многолетнемерзлых пород к выбору коэффициента запаса следует подходить по-разному, в зависимости от того, характеристики малых или замороженных пород принимаются к расчетам. Как отмечалось, прочность массива трещиноватых многолетнемерзлых пород значительно выше прочности массива талых пород. Однако, как показывают опыты, высокими прочностными показателями характеризуется только быстрая (мгновенная) прочность замороженных пород. С увеличением времени приложения нагрузки разрушающие усилия уменьшаются, т.е. происходит снижение прочности во времени. При этом, снижение прочности мерзлых пород происходит постепенно в течение длительного времени.

Учитывая это, к расчетам следует принимать характеристики прочности мерзлых пород, соответствующие длительному действию нагрузки. Проведенные эксперименты показывают, что длительная прочность мерзлого массива составляет примерно 80% от прочности кратковременной. Т.е. сцепление $K_{дл.м} = 0{,}8\ K_{м}$; угол внутреннего трения $tg\,\rho_{дл.м} = 0{,}8\ tg\,\rho_{м}$

В этом случае величину коэффициента запаса следует принимать равной 1,20 ÷ 1,30 и определять по формуле

$$n = \frac{tg\,\rho \sum P_i \cdot \cos\alpha_i + KL}{\sum P_i \sin\alpha_i} = \frac{\sum T_{уд}}{\sum T_{сд}} = 1{,}20 \div 1{,}30,$$

где P_i – вес блока призмы возможного обрушения, т;

ρ – угол внутреннего трения пород по поверхности скольжения, град.;

K – сцепление пород по поверхности скольжения; $т/м^2$;

L – длина поверхности скольжения, м;

α_i – угол наклона поверхности скольжения блока.

В случае, когда к расчетам устойчивости бортов, сложенных массивом многолетнемерзлых пород, принимают прочностные показатели, характеризующие талый массив, коэффициент запаса следует принимать равным n = 1,0-1,05.

Коэффициент запаса устойчивости бортов карьеров в сейсмоопасных районах следует определять по формуле

$$n_{\phi c} = \frac{\Sigma T_{y\partial} - S \cdot \sin\beta \cdot \operatorname{tg}\rho}{\Sigma T_{c\partial} + S \cdot \cos\beta},$$

где β – угол между поверхностью скольжения и направлением сейсмической силы, измеренный в вертикальной плоскости;

$S = 1{,}5 \cdot \Sigma R_i \cdot Kc$, Kc – коэффициент сейсмичности.

Величина коэффициента запаса должна быть $n_{фс} \geqslant 1{,}02$.

§ 2. Выбор расчетных схем

Расчетная схема для определения устойчивости бортов карьеров выбирается исходя из геологического строения массива. Основное внимание при выборе схемы необходимо обращать на структурную характеристику пород. Для этого на геологический разрез наносят все имеющиеся в массиве поверхности ослабления в виде контактов слоев, тектонических трещин, нарушений и других зон и поверхностей ослабления.

В настоящее время ВНИМИ /5/ разработаны схемы для расчета устойчивости бортов карьеров в различных инженерно-геологических и структурных условиях. Таблица расчетных схем, условия их применения и необходимые формулы приведены на рис.21.

Для условий месторождений кимберлитовых трубок Якутии больше всего применима схема 1Х. Эта схема позволяет учесть при расчетах горизонтальное или пологое напластование, а также тектонические трещины и нарушения с горизонтальным или пологим падением (либо в сторону выемки, либо в сторону массива). Ниже приводится пример расчета устойчивости бортов карьера кимберлитовой трубки "Мир".

Борта карьера кимберлитовой трубки "Мир" сложены осадочным комплексом пород, представленным известняка-

ми, алевролитами, мергелями и песчаниками. Контакты слоев четко проявлены, имеют горизонтальное залегание и только вблизи контакта с трубкой имеют небольшой уклон в сторону от рудного тела. Средневзвешенные прочностные характеристики массива и прочность по контактам слоев, с учетом коэффициента запаса $n = 1{,}2$, составляют:

$K_n = 62{,}5$ т/м^2, $\rho_n = 25^\circ 30'$, $\gamma = 2{,}51$

$K_n = 14{,}2$ т/м^2, $\rho_n' = 10^\circ$

Угол сдвига по поверхностям ослабления определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \psi_n' = \operatorname{tg} \rho_n' + \frac{K_n'}{\sigma_{cp}}$$

где σ_{cp} – среднее удельное давление на поверхность ослабления, и в нашем случае составляет

$$\operatorname{tg} \psi_n' = \operatorname{tg} 10^\circ + \frac{14{,}2}{130} = 0{,}176 + 0{,}109 = 0{,}285;$$

$$\psi_n' = 16^\circ.$$

По известным прочностным характеристикам массива определяется величина вертикального откоса по формуле

$$H_{90} = \frac{2\,K_n}{\gamma} \cdot \operatorname{ctg}\left(45^\circ - \frac{\rho_n}{2}\right) = 80 \text{ м}$$

Далее, по графику плоского откоса (рис.22) можно определить угол наклона борта по известной глубине карьера, либо для заданного угла определяется глубина карьера (так, для $H = 400$ м, $\alpha = 50^\circ 30'$).

Полученные величины H и α определены без учета имеющихся в массиве поверхностей ослабления β. Чтобы учесть влияние указанных поверхностей ослабления, необходимо определить поправочный коэффициент b по формуле $b = b_0 - c$

где b_0 и δ берутся из табл.17 по заданным значениям α° и β, величина c определяется по формуле /25/:

$$c = \frac{\operatorname{tg} \rho_n}{\operatorname{tg} \psi_n'} - 1{,}28^{x)}.$$

x) При коэффициенте 1,28 составлена табл.17.

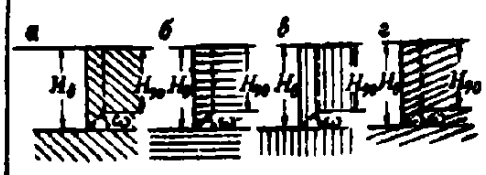
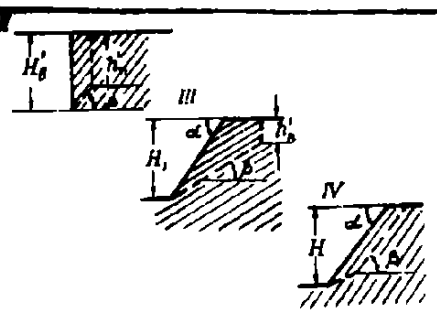
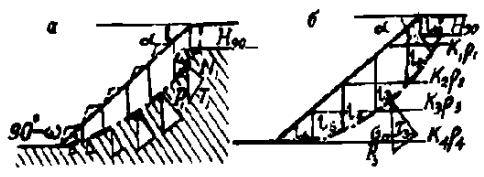
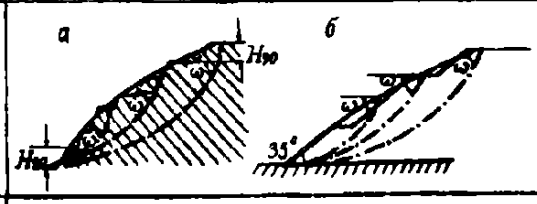
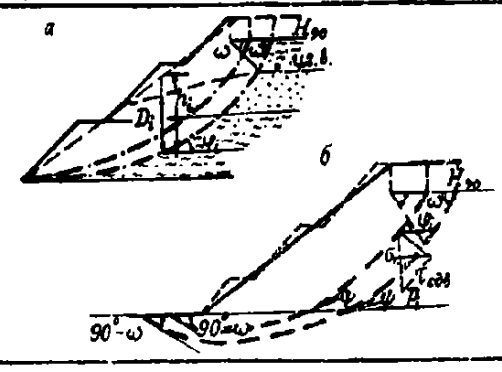
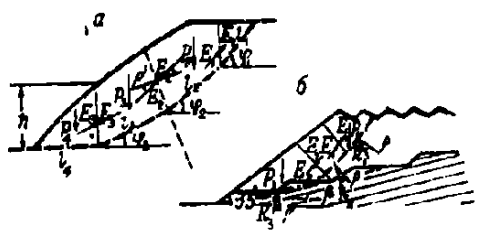
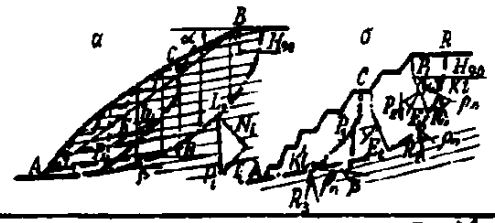
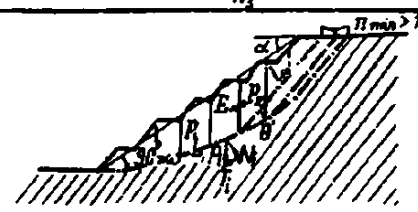
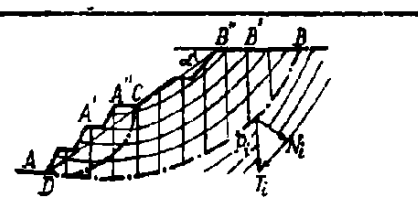
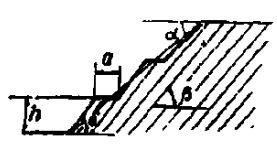
Номера схем расчета	РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЗАЛЕГАНИЯ ПОРОД	В КАКИХ УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЯЕТСЯ СХЕМА	ФОРМУЛЫ И ГРАФИКИ
I		При определении высоты вертикального откоса и трещины отрыва при благоприятном залегании поверхностей ослабления; в случае 1. $\beta < \rho'$	$H_{90} = \frac{2K_n}{\gamma} tg\,\omega_n$ $H_B = \frac{2K_n}{\gamma} tg\,\omega_n \left(1+\sqrt{\frac{\sigma_{pn}}{K_n} tg\,\omega_n}\right)$
II III IV		При определении высоты уступов и бортов при неблагоприятном залегании поверхностей ослабления $\beta > \rho'$	$H'_B = h'_n + \sqrt{\frac{2\sigma_{pn}h'_n}{\gamma} \cdot tg\,\beta \cdot ctg(\beta-\rho'_n)}$; $H'_B \leq H_B$; $h'_n = \frac{K'_n \cos\rho'_n}{\gamma \cos\beta \sin(\beta-\rho'_n)}$; $h'_n \leq H_{90}$; $H_1 = h'_n \frac{1}{1-\sqrt{ctg\,\alpha\, tg\,\beta}}$; $ctg\,\alpha = ctg\,\beta\,(1-\frac{h'_n}{H_1})^2$; $H = H_{90} \frac{1}{1-ctg\,\alpha\, tg\,\psi'_n}$; $ctg\,\alpha = ctg\,\psi'_n(1-\frac{H_{90}}{H})$.
V		а. Плоский борт при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления б. Горизонтальное залегание слоев при отсутствии ослабленных контактов $K_n = \frac{\sum K_{ni} l_i}{\sum l_i}$; $tg\,\rho_n = \frac{\sum l_i \sigma_{ni} tg\,\rho_{ni}}{\sum l_i \sigma_{ni}}$	Алгебраическое сложение сил по круглоцилиндрической поверхности скольжения; Условие устойчивости $\frac{K_n L + tg\,\rho_n \cdot \sum N_i}{\sum T_i} = 1$ Углы откосов определяются по графику
VI		а. Борт выпуклого профиля при отсутствии неблагоприятных поверхностей ослабления и пластичных слоев в основании б. Многоярусные отвалы рыхлых пород на устойчивом основании	Расчет на предельное равновесие по круглоцилиндрическим или плавным криволинейным поверхностям, пересекающимся в нижней точке откоса; используется так же метод предельного напряженного состояния
VII		а. Борт сложен обводненными рыхлыми породами $K < \frac{1}{2} H \gamma (1-tg\,\rho_n)\cdot(1-tg\,\frac{\rho_n}{2})$ б. В основании борта или отвала залегает слой пластичных глин $K_{осн.} < 0{,}4H$	Алгебраическое сложение сил по плавной криволинейной поверхности Условие устойчивости $\frac{\sum \tau_{уд}}{\sum \tau_{сдв}} > 1$, $\tau_{уд} = f\,|\sigma_n|$ – по графику сопротивления сдвигу: $\sigma_n = h_i \gamma \cos^2\varphi_i - D_i$; $\tau_{сдв} = \frac{1}{2} h_i \gamma \sin 2\varphi_i$.
VIII		а. В борту имеется ряд неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления; поверхность скольжения на профиле имеет вид ломаной линии; б. Отвалы на слоистом основании.	Метод многоугольника сил $t_m = \frac{E_{m-1} \sin\theta\,(ctg\,\theta - tg\,\rho'_n)}{K'_n + \frac{1}{2} h \gamma \cos^2\varphi_m \cdot (tg\,\rho_n - tg\,\varphi_m)}$ $\theta = \varphi_{m-1} - \varphi_m$
IX		Борт висячего бока при горизонтальном или пологом согласием залегания слоев при условии: $\alpha > \rho'$; $H > H_1$; а) $\beta < 10°$ б) $\beta > 10°$	Алгебраическое сложение сил на участке призмы активного давления $E = \sum T - tg\,\rho_n \sum N - K_n L_2$; $L_1 = \frac{E \sin\theta\,(ctg\,\theta - tg\,\rho'_n)}{K'_n + \frac{1}{2} h_i \gamma \cos^2\beta\,(tg\,\rho'_n - tg\,\beta)}$; б. Метод многоугольника сил
X		Борт лежачего бока при условии: $\rho < \alpha < \beta < 80°$	Алгебраическое сложение сил на участке призмы упора $E = tg\,\rho_n \sum N_i + K_n L_i - \sum T_i$; $P_2 = \frac{E \sin\theta\,(ctg\,\theta + tg\,\rho'_n) + K'_n L_2}{\cos\beta\,(tg\,\beta - tg\,\rho'_n)}$. Параметры борта определяются по графику зависимости между высотой откоса плоского профиля и его углом (рис.6) с поправкой, взятой по таблицам 5,6.
XI		При мульдообразном залегании слоев пород $\alpha > \rho'_n$	Условие устойчивости $\sum T_i < K_n L + tg\,\rho'_n \sum N_i$ сохраняется по всем поверхностям: ADB, A'B', и ADC
XII		В породах весьма крепких слаботрещиноватых или при небольшой высоте бортов и средней прочности пород; $\delta = \beta$ при $\beta > 30°$; при $\beta < 20°$ $\delta = 65°$	$\alpha = arcctg \frac{\sum n_i}{\sum a_i + \sum h_i ctg\,\delta_i}$; $\alpha = \beta$ при $20° < \beta < 30°$

Рис.21

H_α – высота и угол наклона борта; h, δ – высота и угол откоса уступа; H_{90} – вертикальная трещина отрыва; β – угол падения слоев и поверхностей ослабления; $\omega_i = 45° + \frac{1}{2}\rho°_n$ – угол наклона поверхности скольжения в верхней части; φ_i – угол наклона поверхности скольжения в любой точке; $K_n \rho_n$ – расчетные величины сцепления и угла внутреннего трения пород; $K'_n \rho'_n$ – то же, по поверхности ослабления; γ – объемный вес пород; L – площадь поверхности скольжения; D_i – гидростатическое давление; P – вес элементарных блоков.

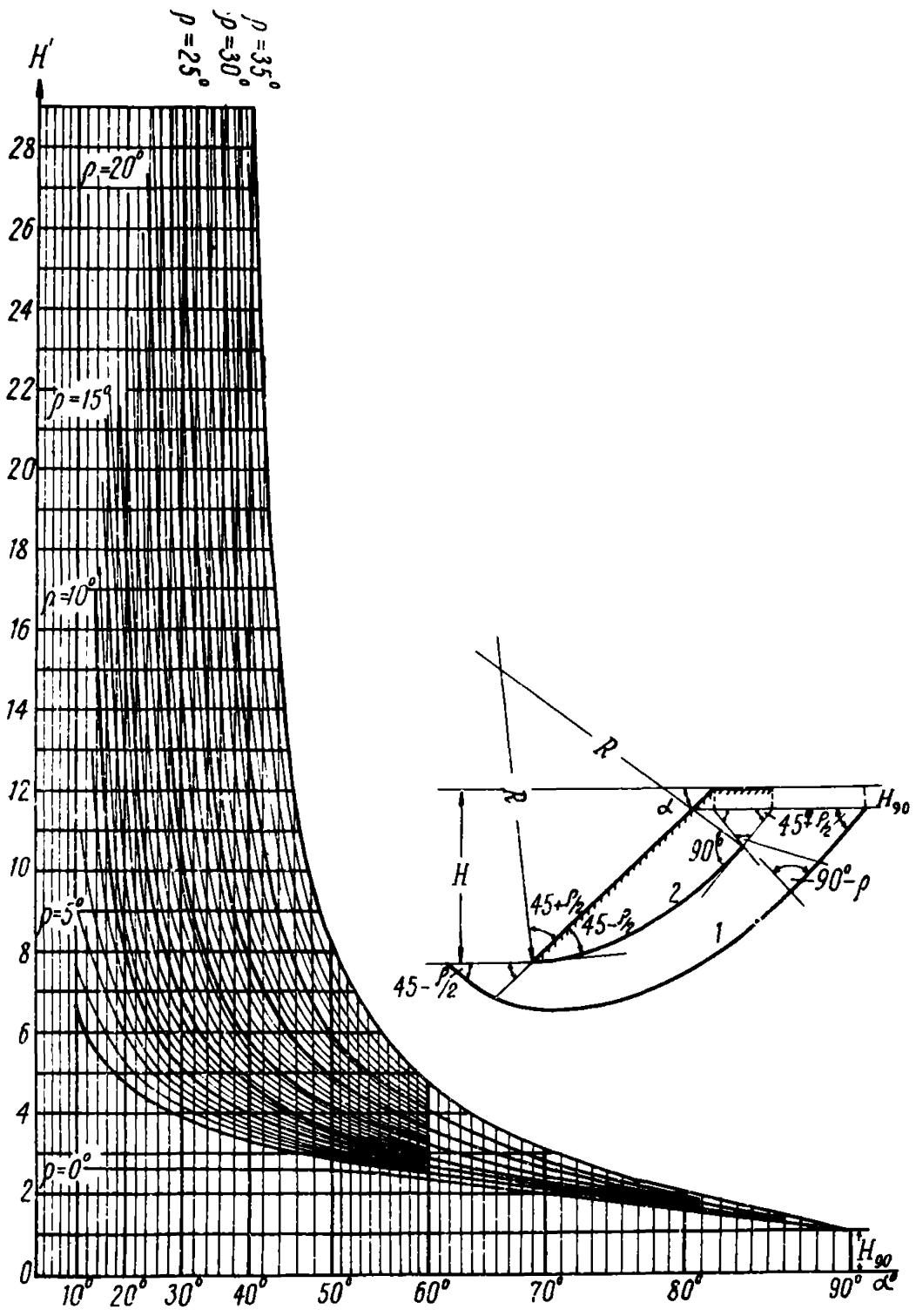

H'
ρ=35°
ρ=30°
ρ=25°
ρ=20°
ρ=15°
ρ=10°
ρ=5°
ρ=0°
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
10°
20°
30°
40°
50°
60°
70°
80°
90°
α°
H90
R
H
α
90°
90°-ρ
45+ρ/2
45-ρ/2
1
2

Рис.22

Таблица I7

Таблица поправочных коэффициентов B к расчетной схеме IX

β, град.	+30	+20	+I0	0	-I0	-20	-25
α, град.	B_0/B	B_0/B	B_0/B	B_0/B	B_0/B	B_0/B	B_0/B
40	I,000	0,920	0,850	0,795	0,740	0,532	0,470
	0,045	0,079	0,II8	0,I60	0,300	0,400	0,440
50		I,000	0,9I0	0,8I5	0,765	0,627	0,550
		0,063	0,II0	0,I50	0,250	0,340	0,380
60			I,000	0,880	0,800	0,660	0,590
			0,I00	0,I40	0,220	0,295	0,340
70				I,000	0,880	0,720	0,620
				0,I35	0,205	0,265	0,305
80					1,000	0,800	0,690
					0,I95	0,245	0,280

В нашем случае: $c = \frac{0,476}{0,285} - 1,28 = 0,39$

$B = 0,767 - 0,39 \cdot 0,248 = 0,670$

$H_1 = H \cdot B = 400 \cdot 0,670 = 268$ м (при $\beta = -10^\circ$)

В случае, если задана глубина карьера и необходимо определить угол наклона борта, следует, определяя указанным методом α для различных значений H и β, построить график зависимости H_1 от α (рис.23) для нужных значений β, по которому можно получить искомые величины.

Пользуясь этим графиком легко определить угол наклона борта для любой высоты его при соответствующем залегании поверхностей ослабления. Так, по графику рис.23 для $H = 400$ м и $\beta = 10^\circ$ (в сторону карьера) $\alpha = 39^\circ$, при $H = 500$ м и $\beta = 10^\circ$ - $\alpha = 37^\circ$.

Следует при этом отметить, что по этому графику определяется угол наклона прямолинейного борта карьера.

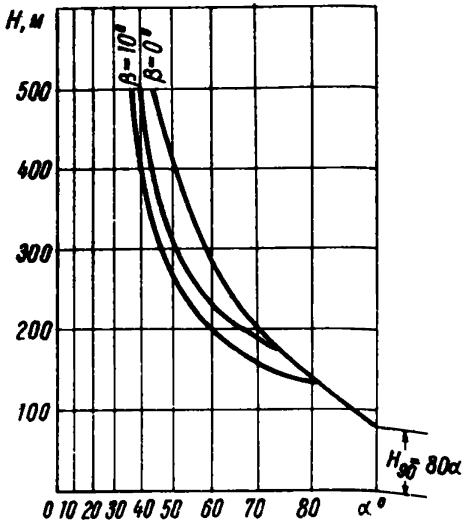


Рис.23.

§ 3. Влияние кривизны борта в плане на его устойчивость

При открытой разработке месторождений форма тела полезного ископаемого определяет форму контура карьера в плане. В большинстве случаев контуры карьеров имеют замкнутую форму с ограниченными размерами.

При этом, в одних случаях форма карьера представлена кругом, в других – овалом, в третьих случаях карьеры имеют вытянутую форму с закруглениями в торцах. Выемка во всех случаях напоминает опрокинутый усеченный конус, форма оснований в котором определяется формой карьера в плане.

Если выемка представлена опрокинутым усеченным конусом с кругами в основаниях, то устойчивость бортов во всех сечениях будет одинаковой (при условии, что борта карьера сложены однородным массивом пород). Во всех остальных случаях устойчивость отдальных участков бортов будет различной и будет зависеть не только от прочностных характеристик, слагающих борта пород, но и от формы выреза борта в плане.

Учитывая то обстоятельство, что большинство известных кимберлитовых трубок Якутии имеют овальную или близкую к кругу форму в плане, форма контуров карьеров, при отработке их открытым способом, будет также овальной или близкой к кругу. Следовательно, устойчивость бортов этих карьеров будет выше, чем устойчивость бортов прямолинейных.

Проведенные исследования показали, что устойчивость бортов зависит от радиуса кривизны контура карьера. Эта задача решалась путем моделирования эквивалентными материалами откосов круглой формы в плане с различным соотношением глубины H и радиуса кривизны R . По результатам моделирования оказалось возможным построить график зависимости величины приращения угла наклона борта $\Delta\alpha$ от $\frac{R}{H}$ (рис.24). Пользуясь этим графи-

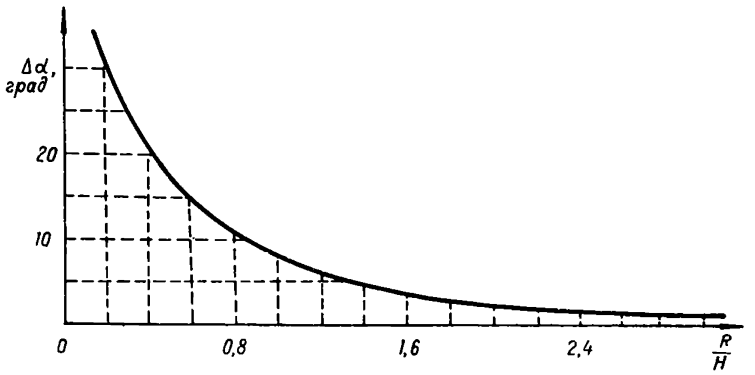


Рис.24.

ком, можно легко определить поправку к углу криволинейного откоса для заданного радиуса R и высоты H. Полученная величина поправки $\Delta\alpha$ прибавляется к углу α, определенному расчетами по выбранной схеме (см.рис.23).

Пользование графиком очень простое.

По плану определяется величина радиуса верхней бровки карьера, построенной по α без учета кривизны. Затем определяется отношение величины радиуса к проектной глубине карьера R/H. На оси абсцисс графика из точки, соответствующей этому отношению восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой. Из точки пересечения проводится перпендикуляр на ось ординат, по которой и берется величина поправки к углу наклона борта криволинейного контура.

Так, для карьера трубки "Мир" радиус кривизны верхнего контура борта $R \approx 500$ м. При глубине $H = 400$ м, отношение

$$\frac{R}{H} = \frac{500}{400} = 1{,}27.$$

Откладываем на оси абсцисс графика (см.рис.24) величину $R/H = 1{,}27$ и в этой точке восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой графика. По оси ординат определяем поправку, которая в данном случае составляет $\Delta\alpha = 6^\circ$. Полученную поправку прибавляем к величине α, определенной по графику рис.23, получим для $H = 400$ м $\alpha = 39^\circ + 6^\circ = 45^\circ$.

Необходимо помнить, что отсыпка отвалов и строительство производственных объектов в пределах призмы возможного обрушения могут ухудшить условия устойчивости бортов карьера. Поэтому их следует располагать на расстоянии, равном глубине карьера от верхней бровки борта.

§ 4. Расчет углов откосов уступов

Устойчивость уступов определяется, в основном, физико-механическими характеристиками пород и их изменением в процессе выветривания.

Слабые влажные породы (глины, мергели) в процессе замораживания и последующего оттаивания заметно теряют свою прочность уже после нескольких циклов замораживания-оттаивания. Более крепкие породы, влажность которых не превышает 5-7% (алевролиты, песчаники, доломиты и др.), менее подвержены выветриванию и, например, после 40 циклов замораживания-оттаивания, незначительно уменьшают первоначальную прочность. Тем не менее, при наличии в образце крепких пород мелких трещин и нарушений наблюдается ослабление его прочности после ряда циклов замораживания-оттаивания.

Таким образом, постепенное воздействие указанных факторов приводит к ослаблению прочности пород и в результате к выполаживанию уступов и к сокращению ширины

предохранительных берм. Если принять во внимание, что срок службы берм и уступов на глубоких карьерах составляет 15–25 лет, то можно представить важность правильного определения расчетных характеристик и путем расчета определение оптимальных параметров берм и уступов карьеров.

Углы откосов по характеристикам прочности массива горных пород в мерзлом состоянии высоте откоса уступа 30–40 м могут принимать значения, равные 80–90°. Однако, вследствие довольно интенсивно протекающих процессов криогенного выветривания, углы откосов выполаживаются во времени. Поэтому углы откосов уступов в условиях многолетней мерзлоты рекомендуется определять, исходя из склонности пород к осыпанию, по методикам, изложенным в главе IУ (п.п.3 и 4) настоящего пособия.

Если необходимые данные для рекомендуемых предрасчетов отсутствуют, то учитывая интенсивное выветривание многолетнемерзлых пород а также сейсмическое воздействие взрывных работ и динамические воздействия транспорта и горного оборудования, в расчетные характеристики необходимо вводить (в зависимости от состава пород) коэффициент запаса, равный n =2,5 ÷ 4,0 в величины сцепления массива пород и n = 1,3 в величины углов внутреннего трения. Это обусловливается тем, что величина угла внутреннего трения различных пород мало изменяется, а для скальных и полускальных пород практически не изменяется, в то время как величина сцепления изменяется в больших пределах.

По принятым расчетным характеристикам угол откоса устойчивого уступа для заданной высоты определяется по графику плоского откоса (см.рис.22), в случае, если в массиве отсутствуют падающие в сторону выемки под углом $\beta \geqslant \rho'$ контакты слоев или другие поверхности ослабления. В случае, если в массиве имеются указанные поверхности ослабления, заоткоса уступов необходимо проводить по ним, или предусматривать искусственное укрепление этих участков.

В табл.18 приведены примерные величины углов откосов уступов для встречающихся в северных районах СССР основных разновидностей пород.

Таблица 18

Наименование пород	Углы заоткоски уступов, град.	
	h_1= 30 м	h_2= 40 м
Глина	25	-
Мергели x)	37	35
Песчаники с прослоями мергелей	70-75	65-70
Известняки сильно трещиноватые, с прослоями глины	60-65	60
Слоистая толща мергелей, алевролитов, песчаников	60-65	60
Алевролиты прочные	70-75	65-70
Песчаники	75	70
Известняки монолитные, диабазы	75	70
Переслаивание песчаников, алевролитов, известняков	70	65

x) Углы откосов в мергелях даны для длительного срока стояния уступов (с учетом выветривания мергелей) без изоляционного покрытия откосов.

Приведенные в табл.18 величины углов откосов уступов рассчитаны для массива, ненарушенного поверхностями ослабления, падающими в сторону выемки. В случае, если в массиве имеют место поверхности ослабления, падающие в сторону выемки под углом более 35-37°, заоткоску уступов следует производить по ним.

Рекомендуемые величины углов применимы для уступов, заоткоска которых производится с применением отрезной щели", образуемой взрыванием рассредоточенных зарядов ВВ в ряде наклонных скважин, пробуренных через 1,5-2,5 м. друг от друга под углом заоткоски уступа.

ГЛАВА У1

МЕТОДЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ОТКОСОВ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД В УСТОЙЧИВОМ СОСТОЯНИИ

§ 1. Краткий обзор методов укрепления пород в откосах карьеров

Углы наклона бортов карьеров в предельном положении определяются физико-механическими свойствами и структурными особенностями горных пород.

Однако на практике довольно часто имеют место местные обрушения и осыпания в целом устойчивых бортов карьеров вследствие благоприятно расположенных технических нарушений и трещин большого протяжения, зон сильно развитой трещиноватости, а также большой скорости выветривания пород в откосах.

Чтобы избежать дорогостоящей разноски бортов карьеров, в последние годы в отечественной практике и за рубежом все чаще применяется искусственное укрепление ослабленных участков бортов.

Институтом ВНИМИ на основании исследований устойчивости откосов на многих отечественных карьерах была составлена классификация деформаций бортов и уступов /11/. В основу классификации положены причины и механизм оползневых явлений.

Существующие методы укрепления скальных и полускальных пород можно подразделить на 3 основные группы:

1) инженерные (механические способы) - железобетонные сваи, штанги и гибкие тросовые тяжи, защитные подпорные и контрфорсные стенки;

2) инженерно-геологические - цементация массива, нагнетание в массиве укрепляющих растворов и полимерных веществ;

3) изолирующие покрытия - набрызг-бетон; битумизация, изоляция с помощью полимерных смол.

В зависимости от свойств и структуры пород укрепляемого участка, можно применять сочетание различных способов укрепления.

Расчеты укрепления различными способами ослабленных участков бортов карьеров, технология укрепительных работ, технико-экономические показатели экспериментальных работ подробно освещены в "Методическом руководстве по искусственному укреплению откосов скальных и полускальных пород на карьерах" /12/.

§ 2. О методах укрепления откосов в условиях многолетней мерзлоты

Открытые горные работы в условиях многолетней мерзлоты получили развитие сравнительно недавно. Однако углубление существующих и проектирование новых карьеров насущно требуют разработки методов поддержания и укрепления ослабленных участков бортов применительно к условиям Крайнего Севера. Специфические условия многолетнемерзлых пород требуют разработки специфических способов и особой методики расчета укрепительных мероприятий.

Массовые деформации откосов, сложенных многолетнемерзлыми породами, связаны с летним оттаиванием льдистых четвертичных отложений и выветриванием коренных пород, которое в условиях многократно-повторяющихся циклов замораживания-оттаивания проходит особенно интенсивно. В результате выветривания происходит выполаживание откосов уступов и, как следствие этого, уменьшение (а при длительном интенсивном выветривании может произойти и полная сработка) транспортных берм и берм безопасности.

В таких условиях предотвратить откосы от деформаций можно с помощью тепло-гидроизоляционных покрытий, призванных уменьшить глубину сезонного протаивания до необходимой величины.

Для теплоизоляции откосов можно применять оттаиваю-

щие льдистые материалы (мох, торф, шлак). Так, под слоем мха, мощностью 0,2 м, за летний сезон глубина протаивания достигает максимально 0,5 – 0,9 м /13/. Толщину $\delta_{из}$ промороженного влажного покрытия, необходимую для защиты породы от протаивания свыше заданной глубины $h_к$, можно приближенно определить способом последующих приближений по формуле /18/:

$$\delta_{из} = \sqrt{\frac{2\lambda_{из}\eta_0 v_в (\tau_л - \tau_п)}{i\omega_{из}}} = \tag{6.1}$$

$$= \sqrt{\frac{2\lambda_{из}\eta_0 v_в \tau_л}{i\omega_{из}} \quad h_к^2 \frac{\lambda_{из}\omega_п}{\lambda_п \cdot \omega_{из}} \cdot \eta_0 \frac{1}{\eta_\delta}},$$

где $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляционного материала в талом состоянии, ккал/час.м.град;

$\lambda_п$ – то же, подстилающей породы;

$v_в$ – средняя летняя температура воздуха по данным многолетних наблюдений, град;

$\omega_п$ – льдосодержание породы, кг/м^3;

$\omega_{из}$ – то же, изоляционного материала;

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{1}{1 + 2\sqrt{\frac{\pi}{m_0^2 a_{из} T}} + \frac{2\pi}{m_0^2 a_{из} T}}}; \tag{6.2}$$

$$\eta_\delta = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{\frac{\pi}{m_\delta^2 a_п T}} + \frac{2\pi}{m_\delta^2 a_п T}}}; \tag{6.3}$$

$$m_0 = \frac{\alpha_{из}}{\lambda_{из}}; \tag{6.4}$$

$$m_\delta = \frac{1}{\lambda_п \left(\frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} - \frac{1}{\lambda_{из}}\right)}; \tag{6.5}$$

$\alpha_{из}$ – коэффициент теплопередачи поверхности изоляции в атмосферу, ккал/м^2 час.град;

$a_{из}$ – коэффициент температуропроводности оттаявшей изоляции, м^2/час;

$a_{п}$ – то же, оттаявшей породы;

i – скрытая теплота таяния льда, 80 ккал/кг;

T – период колебания температуры на поверхности покрытия, 8760 час;

$\tau_{л}$ – длительность летнего периода, час;

$\tau_{п}$ – длительность протаивания слоя $h_{к}$, час.

Следует отметить, что расположение на откосе покрытий из мха, торфа или шлака вызовет определенные трудности (особенно при большой высоте откоса), так как эти материалы должны удерживаться на поверхности откоса при помощи дополнительных сооружений (например, легкая удерживающая стенка, параллельная поверхности откоса).

Для предотвращения выполаживания участков уступов и бортов карьеров, сложенных интенсивно выветривающимися скальными и полускальными породами, целесообразно укреплять их тонкими заанкеренными стенками (легкими железобетонными плитами), представляющими собой набрызг-бетон по металлической сетке, поддерживаемой штангами (рис.25).

В условиях многолетнемерзлых пород наибольшим изменениям подвергается параллельный откосу слой пород определенной мощности, на глубину максимального сезонного протаивания. Мощность этого слоя различна в зависимости от местных климатических условий и состава пород. Если рассматриваемый слой не закрепить, то под влиянием процессов выветривания он обрушится и в дальнейшем обрушения будут циклично повторяться. Применение этого способа крепления обеспечит устойчивость слоя, подверженного сезонному протаиванию, что предотвратит протаивание следующих за ним слоев, и тем самым будет обеспечена целостность берм. Укрепленный (удержанный) стенкой слой будет играть как бы роль теплоизолирующего

0 2 4 6 8м
Слой набрызг - бетона по металлической сетке
Слой максимального протаивания
Штанга
Массив пород в мерзлом состоянии
Массив пород в мерзлом состоянии
H = 10м
H
A
B
C
l
a_1
$\rho = 37°$
$\theta = 65°$
ρ
θ

Рис.25

слоя. Кроме того, слой набрызг-бетона по металлической сетке также будет являться гидроизолятором и в определенной степени теплоизолятором. Данные, полученные при испытаниях /14/, свидетельствуют о том, что набрызг-бетон является морозостойким материалом (после 400-дневного замораживания прочность его снижается всего на 14,2%), что, в свою очередь, говорит в пользу применения набрызг-бетона в условиях Крайнего Севера.

В будущем (с удешевлением искусственных пористых материалов) можно будет применять комбинированные крепления, состоящие, например, из пенопластовых плит, поддерживаемых сетками и штангами.

В качестве материала для теплоизоляции, обладающего малым объемным весом и низким коэффициентом теплопроводности, может служить пенополистирол, ПСБ (пенополистирол суспензионный беспрессовый). Этот материал обладает объемным весом 30 кг/м^3, коэффициентом теплопроводности 0,035 – 0,040 и водопоглощением около 2% от объема. Недостатком этого материала является его довольно низкая сопротивляемость механическим повреждениям.

Специфическим и характерным для карьеров, сложенных скальными и полускальными многолетнемерзлыми породами является возникновение зияющих трещин на бермах уступов (например, на карьерах кимберлитовых трубок "Мир" и "Айхал"). Постепенное раскрытие и развитие этих трещин может вызвать обрушение блоков пород и уменьшение проектной ширины бермы.

Ширина раскрытия указанных трещин может быть самой различной: от 1 см до 25 см (на участках бермы гор. 280-295 м карьера трубки "Мир") и достигать 40 см (на бермах уступов карьера трубки "Айхал", сложенных массивными крупно-блоковыми известняками).

На бермах и откосах уступов встречаются также небольшие зияющие полости, так называемые, "стаканы". Раскрытие трещин и "стаканов" вглубь уступов достигает 2,0м.

Элементы залегания этих трещин совпадают с элементами залегания основных систем трещин, рассекающих мас-

сив вмещающих пород на блоки.

Детальное ознакомление с подобными трещинами позволяет сделать вывод, что они являются трещинами протаивания. Образование же "стаканов" вызвано оттаиванием мелких линзочек льда.

Не кроме воздействия внешних климатических факторов, на развитие раскрытых трещин оказали влияние и другие факторы: отсутствие отвода дождевых и талых вод, а также ведущиеся взрывные работы.

Для предотвращения обрушений блоков пород и сохранения целостности проектной ширины берм уступов, поставленных в предельное положение, необходимо все раскрытые трещины "залечивать". При этом трещины с раскрытием до 15 см, ориентированные параллельно бровке уступа и расположенные на расстоянии до 3-х метров от бровки, следует заливать цементно-песчаным раствором (соотношением по весу цемент: песок - 1:3). Трещины большого раскрытия (свыше 15 см) и "стаканы" рекомендуется заливать цементно-песчаным раствором с мелким щебнем, а все остальные трещины заливать глинистым раствором или другим связывающим материалом.

Мероприятия по заливке трещин, засыпке глинистым материалом и укатке берм, проведенные на карьере кимберлитовой трубки "Мир", резко уменьшили количество раскрывающихся трещин и, следовательно, деформации берм уступов и осыпание пород.

Необходимо отметить, что при проведении мероприятий по укреплению участков бортов и уступов, сложенных многолетнемерзлыми породами, следует соблюдать следующие условия:

1. При постановке уступов в предельное положение выдерживать принятые проектами величины углов откосов уступов и ширину предохранительных берм.

2. При постановке уступов в предельное положение буровзрывные работы следует проводить с соблюдением мер, способствующих предохранению уступов от разрушения (заоткоска уступов в предельном положении с помощью экранирующей отрезной щели).

3. Необходимо организовать постоянный отвод с берм уступов дождевых и талых вод (отстроить водоотводные канавки).

4. Перед укреплением производить оборку уступов, очистку берм от осыпей, тщательную планировку берм с последующей их засыпкой (например, глиной с целью создания гидроизоляционного слоя) и укаткой.

5. При использовании предохранительных берм в качестве транспортных, в зависимости от условий, необходимо применять более тщательные укрепительные мероприятия: бетонирование бермы, покрытие щебнем с последующей пропиткой битумом, отсыпка покрытия из шлака.

6. Необходимо проводить постоянные маркшейдерские наблюдения за состоянием как незакрепленных, так и закрепленных участков бортов и уступов карьеров.

На основании изучения фактического состояния бортов и уступов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами, а также опыта по укреплению ослабленных участков карьеров, проведенных ВНИМИ и другими организациями, составлена таблица, в которой приводятся возможные виды деформаций и способы укрепления неустойчивых участков карьеров в условиях Крайнего Севера (табл.19).

К выбору неустойчивых участков и способов их укрепления следует подходить после тщательного инженерно-геологического изучения структурных особенностей участков, физико-механических свойств пород, слагающих откосы, устойчивости участков и влияния на устойчивость многолетней мерзлоты.

§ 3. Расчет крепления откосов тонкими заанкеренными стенками

Как указывалось выше, в условиях карьеров кимберлитовых трубок наиболее приемлемым будет укрепление интенсивно выветривающихся пород легкими железобетонными плитами (тонкими заанкеренными стенками), пред-

Таблица I9

Возможные виды деформаций бортов и уступов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами и способы их укрепления

Породы	Разновидности деформаций	Условия и причины возникновения деформаций	Возможные способы укрепления
Скальные и полускальные породы	Оползание по подрезанным контактам, трещинам, нарушениям.	Падение слоев и нарушений в сторону выемки круче 25–30°, недопустимые нагрузки на откос (от интенсивного движения железнодорожного транспорта, веса оборудования)	Сваи и гибкие тросовые тяжи – при наличии крупных трещин и значительной мощности склонных к обрушению пород.
		Падение слоев и трещин в сторону выемки круче 30–35°. Порода в пределах слоя крупно-блоковая, слабо подверженная выветриванию, контакты слоев и трещин выполнены льдом и мерзлым мелкодисперсным материалом.	Укрепление откоса штангами. Устройство теплоизоляционных покрытий.
	Осыпание откосов	Выветривание пород, ускоренное многократным замораживанием – оттаиванием, влияние массовых взрывов и отсутствие заоткоски наклонными скважинами, отсутствие водоотвода с предохранительных берм уступов, появление трещин оттаивания в зонах с интенсивной трещиноватостью и дроблением пород.	Цементация – в сильно трещиноватых породах, между блоками нет или мало глинки трения, мощность зоны сезонного протаивания 3,0–4,0 м. Укрепление тонкими железобетонными плитами (набрызг-бетон по металлической сетке) поддерживаемыми штангами, теплогидроизоляционные покрытия-интенсивно выветривающиеся породы, мощность зоны сезонного протаивания до 2,5–3,0 м. "Лечение", заполнение трещин на бермах укрепляющими растворами, покрытие теплогидроизоляционными материалами.
Слабые песчано-глинистые породы	Осыпи, оплывание оттаявшего слоя	Выветривание, воздействие дождевых и талых вод.	Тепло-гидроизоляционные покрытия.

ставляющими собой набрызг-бетон по металлической сетке, поддерживаемыми штангами.

Слой пород, подвергающийся сезонному протаиванию, условно может рассматриваться как сыпучее тело, заключенное между двумя удерживающими параллельными стенками (см.рис.25). Внешняя стенка - слой набрызг-бетона по металлической сетке; другая, внутренняя - массив многолетнемерзлых пород, на который не распространяется сезонное протаивание, т.е. температура его остается ниже нуля.

1. Давление σ_n слоя сыпучей породы на внешнюю стенку можно определить, воспользовавшись решением К.В.Руппенейта и Е.В.Куняева /15/, которое проведено на основании общей теории расчета, разработанной В.В.Соколовским.

На рис.26 приведены построенные для конкретных случаев эпюры нормального давления σ_n слоя сыпучей породы на внешнюю стенку.

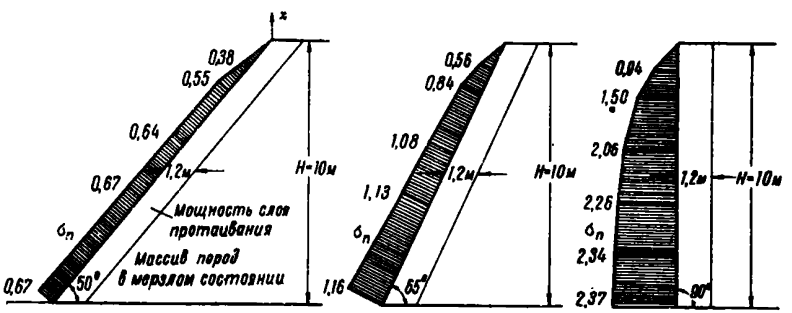


Рис.26.

Исходные данные для этого примера взяты следующие.

Сильно трещиноватые известняки мелкоблоковой структуры (размеры блоков 7x10 см и менее) с глиной (до 5-7см) между блоками слагают отдельные участки уступов. На некоторых участках наибольшая горизонтальная мощность слоя протаивания составляет 1,2 м, т.е. половина мощности слоя $a = 0{,}6$ м. Объемный вес известняка $\gamma = 2{,}48$ т/м^3; угол внутреннего трения известняков $\rho = 37^\circ$; угол трения из-

вестняка по бетону $\mu = 32^{\circ}$. Вертикальная высота уступов $x_{max} = 10$ м (x - ординаты точек, расположенных на стенке), α - угол, составленный стенками с горизонтом (в нашем случае углы откосов уступов, взятые равными 90, 65 и 50°).

При расположении слоя сыпучей породы под углом, равным углу внутреннего трения (в нашем случае $\rho = 37^{\circ}$), давление на внешнюю стенку будет равняться нулю.

По результатам приводимых выше определений общего давления на внешнюю удерживающую стенку при различных углах наклона параллельных удерживающих стенок построен график (прямая 1, рис.27).

Поскольку график зависимости $P_{\alpha} = f(\alpha)$ (рис.27) близок к прямой линии, можно получить следующую прямую зависимость:

$$P = \frac{P_{90}(\alpha - \rho)}{90 - \rho} \qquad (6.6)$$

где P - общее давление на внешнюю наклонную стенку; P_{90} - давление на вертикальную стенку; α - угол наклона стенок; ρ - угол внутреннего трения породы.

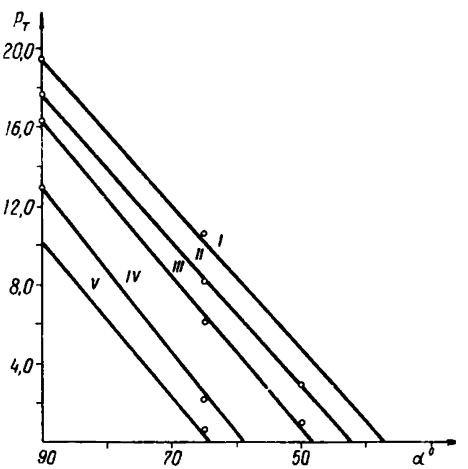


Рис.27.

Для определения давления (P_{90}) сыпучего материала на вертикальные параллельные стенки рекомендуется пользоваться выражением, полученным И.П.Прокофьевым /16/:

$$P_{90} = \frac{\alpha \cdot \gamma}{\lg \mu}\left(\lambda x + \frac{1}{c \cdot l^{cx}} - \frac{1}{c}\right), \qquad (6.7)$$

где постоянная $c = \frac{K \cdot tg \cdot \mu}{a}$; μ – угол трения породы по стенке.

Коэффициент K равен отношению давления сыпучего тела на вертикальную плоскость к давлению на горизонтальную плоскость.

Для наших значений $\rho = 37^{\circ}$ и $\mu = 32^{\circ}$ коэффициент K равен 0,5 /16/. Давление на вертикальные стенки, рассчитанное по формуле (6.7) при $a = 0{,}6$ м и $\gamma = 2{,}48$ т/м^3 равно 19,6 т.

В приведенных выше расчетах предполагалось, что слой породы, заключенной между стенками, является абсолютно сыпучим, т.е. $\rho \neq 0$, $K_{сц} = 0$.

Однако, реальная порода закрепленного слоя будет обладать сцеплением, величина которого со временем уменьшается.

Поэтому при расчете укрепления откосов, имеющих длительный срок службы (10–20 лет), давление на внешнюю стенку можно определять исходя из предположения, что $K_{сц} = 0$. Для откосов, имеющих меньший срок службы, учет сцепления является обязательным. В этом случае формула для определения давления на вертикальную стенку примет следующий вид:

$$P_{90} = \left(x + \frac{1}{tcx_c} - \frac{1}{c}\right) \frac{a\gamma}{tg\,\mu} + \frac{K_{сц}}{tg\,\rho}(K-1)x. \quad (6.8)$$

Принимая для известняков с прослоями глины после многих циклов замораживания–оттаивания характеристики $\rho = 37^{\circ}$ и $K_{сц} = 0{,}5$ т/м^2, получим по формуле (6.8) $P_{90} = 16{,}3$ т.

Давление на вертикальные удерживающие стенки можно рассчитать и по методу Руппенейта–Куняева. Для этого породы с трением и сцеплением заменим сыпучей породой с $K_{сц} = 0$ и углом трения, равным углу сдвига. Для пород с указанными выше характеристиками определим угол сдвига $\psi = 50^{\circ}$. При этом получим $P_{90} = 14{,}9$ т, близкие к рассчитанному по формуле (6.8) – 16,3 т. Подставляя значения P_{90}, учитывающее сцепление породы, в формулу (6.6)

и заменяя угол трения ρ породы углом сдвига, получим давление (P_α) на наклонную удерживающую стенку при любом угле ее наклона.

Характер изменения P с увеличением сцепления ясен из табл.20.

Таблица 20

K, т/м^2	Угол α, град.		
	90	65	50
0,0	19,6	10,8	5,6
0,25	17,7	8,1	2,6
0,5	16,3	6,1	1,0
1,0	12,9	2,8	-
1,5	10,2	0,58	-

2. Расчет параметров удерживающей железобетонной плиты и штанг рассмотрим на примере для условий карьера трубки "Айхал" (см.рис.25).

В этом случае при длине плиты по высоте откоса, равной 11 м, и общем давлении на внешнюю стенку 10,8 т на 1 пог.м простирания уступа равномерно распределенная нагрузка составит P =0,98 т/м^2. Исходя из удобства проведения буровых работ, штанги можно рекомендовать закладывать в 1-2 м от основания и от верхней бровки уступа. Примем a_1 =2 м, тогда расстояние между опорами l = 7 м.

Опорные реакции будут равны /17/:

$$A_{оп} = B_{оп} = P\left(a_1 + \frac{l}{2}\right); \qquad A_{оп} = B_{оп} = 5{,}4 \text{ т}. \tag{6.9}$$

Расчет штанг производится по формуле

$$A_{оп} = \pi r^2 m_a R_a, \tag{6.10}$$

где $A_{оп}$ – опорная реакция, кг;

πr^2 – расчетная площадь сечения, $см^2$;

m_a – коэффициент условий работы, $m_a = 1{,}0$;

R_a – расчетное сопротивление арматуры; $кг/см^2$.

Для горячекатанной арматуры периодического профиля из стали марки 5 $R_a = 2400$ $кг/см^2$. Тогда расчетная площадь сечения $\pi r^2 = \frac{A_{оп}}{m_a R_a} = 2{,}25$ $см^2$.

В соответствии с ГОСТ-5781-53 к этому сечению ближе всего подходят штанги из горячекатанной арматуры периодического профиля (марка Ст.5), номер 18.

Штанги могут применяться как с клиновым замком, так и железобетонные. Но и при использовании штанг с клиновым замком пространство между стенками шпура и штангой должно заполняться цементом (или другим заполнителем) для теплоизоляции в массиве многолетнемерзлых пород "внутреннего" замка штанги.

Для определения глубины заделки (замка) железобетонной штанги в массиве следует по формуле, приводимой в работе /18/, рассчитать величину удельного сцепления бетона с арматурой ($R_{сц}$):

$$R_{сц} = \sqrt{\frac{R_a R_p \operatorname{ctg}(45^0 - \rho/2)}{4 \sin(45^0 - \rho/2)}}, \qquad (6.11)$$

где R_a – расчетное сопротивление арматуры, R_a = $= 2400$ $кг/см^2$;

R_p – сопротивление отрыву пород в массиве, $кг/см^2$ По данным ВНИМИ R_p в первом приближении можно принять равной $(0{,}25 - 0{,}3)\ K_{сц}$, где $K_{сц}$ – сцепление пород в ненарушенном массиве.

ρ – угол трения породы, $\rho = 37^0$.

Сцепление в массиве мелкоблоковых известняков с глинкой трения между блоками по результатам натурных испытаний примем равным $2{,}16$ $кг/см^2$. Тогда по формуле (6.11) $R_{сц} = 13{,}5$ $кг/см^2$.

Требуемую величину замка определяем по формуле /18/

$$l_в = \frac{d \cdot Ra}{4 R_{сц}}, \qquad l_в = 80 \text{ см} \qquad (6.12)$$

где d – диаметр штанги, $d = 18$ мм.

Необходимую марку цемента, способную создать нужное $R_{сц}$, можно определить по графику (рис.28). В нашем

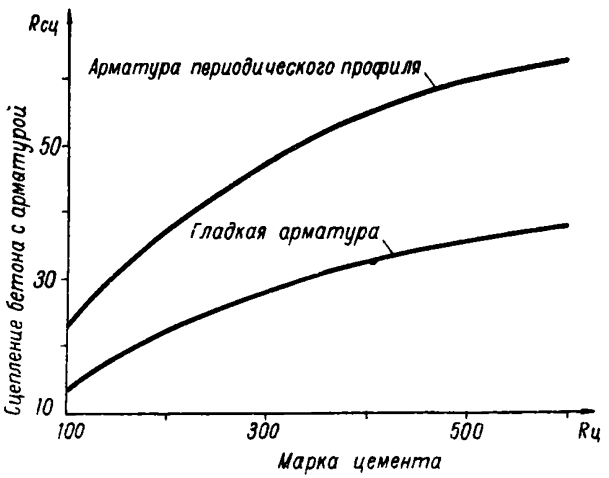


Рис.28.

случае для пород с положительной температурой это был бы цемент марки 100. Но в условиях многолетнемерзлых пород внутренний замок будет находиться в области отрицательных температур. Опыты показывают /19/, что бетон за 28 суток твердения при 0^0 набирает 40–50%, а при температуре от –1,5 до -2^0С (что будет соответствовать температуре пород около "внутреннего" замка штанги на карьере "Айхал") около 20% прочности бетона, твердевшего в нормальных условиях. Поэтому в условиях многолетнемерзлых пород марку бетона следует выбирать с учетом температуры пород около внутреннего замка штанги (в нашем примере следует рекомендовать цемент марки 500).

Таким образом, общая длина железобетонной штанги будет равна

$$L = l_в + l_у + l_з, \qquad (6.13)$$

где $l_в$ – длина "внешнего" замка штанги, м;

$l_у$ – длина штанги в укрепляемом массиве, м;

$l_з$ – длина "внутреннего" замка штанги (вне зоны сезонного оттаивания).

В нашем примере $L = 2{,}1$ м.

Поскольку материал штанг является хорошим проводником тепла, "внешний" замок штанг следует полностью цементировать, для его теплоизоляции.

Определив изгибающий момент в пролете /17/, равный

$$M_{мах} = \frac{p}{2}\left(\frac{l^2}{8} - a_1^2\right), \qquad (6.14)$$

переходим к отысканию параметров железобетонной плиты.

Расчетную несущую способность сечения железобетонной плиты определяем по формуле /17/

$$[M] = m \cdot A_0 \cdot b \cdot h_0^2 \cdot R_ц, \qquad (6.15)$$

где m – коэффициент условия работы плиты. По рекомендациям /17/ принимаем $m = 1{,}1$;

A_0 – коэффициент, определяемый по таблицам;

b – ширина плиты, см;

h_0 – толщина слоя набрызг-бетона непосредственно за металлической сеткой, см;

$R_ц$ – расчетное сопротивление на сжатие для бетона, кг/см^2.

Величина A_0 находится из таблиц /17/. Для этого необходимо вычислить величину α по формуле

$$\alpha = \frac{F_a}{b \cdot h_0} \cdot \frac{m_a R_a}{R_ц}, \qquad (6.16)$$

где F_a – площадь сечения всех продольных стержней (в см^2) при ширине сетки "b" в (мм),

m_a – коэффициент условия работы арматуры, m_a=1,

R_a – расчетное сопротивление арматуры (для арматуры из холоднотянутой проволоки до 5 мм включительно – R_a = 4500 кг/см^2).

Значениями b, h_0, а также F_a, R_u, R_a задается исходя из состояния пород в откосе и технологии производства укрепительных работ.

Параметры металлических сеток даны в ГОСТ 8478-66. Марку бетона для возведения тонких железобетонных стенок следует брать не ниже 150-200. Задаваясь указанными выше величинами подбираем такое оптимальное сечение плиты, чтобы соблюдалось неравенство

$$M \leq [M] \qquad (6.17)$$

В нашем примере M = 2100 кгм (1050 кгм на 1 м по простиранию откоса).

При b = 190 см, h_0 = 3 см, R_a =4500 кг/см^2, R_u= 100 кг/см^2 и сетке 4-15/3 вычисленное по формуле (6.12) значение $[M]$ =2450 кгм. Таким образом, соблюдено условие $M \leq [M]$.

Так как арматура сетки хорошо работает на растяжение, то ее необходимо располагать по возможности ближе к откосу (укладывать на откос), который перед производством укрепительных работ должен быть тщательно зачищен. Заоткоска уступов должна обязательно производиться по специальной методике (см.п.3, гл.П). Бермы укрепляемых уступов должны быть хорошо спланированы и воды с них необходимо отводить.

При укреплении откосов следует рекомендовать сетки шириной 1900 и 2300 мм марок 3-15/3, 4-15/3, 5-15/3 и 5-10/4. Толщину слоя набрызг-бетона, следующего за металлической сеткой, рекомендуется принимать равным 3-7 см, что при толщине слоя неизбежно получающимся между поверхностью откоса и сеткой (около 2-3 см) в сумме (до

10 см) не превысит толщину одновременно наносимого слоя набрызг-бетона.

Следует отметить, что в железобетонных плитах необходимо оставлять отверстия с тем, чтобы талые и дождевые воды могли свободно высачиваться на берму, не оказывая дополнительного давления на плиты.

При проведении работ по укреплению откосов тонкими железобетонными плитами, поддерживаемыми штангами, параметры крепи (тип штанг и способ их закрепления, марки сеток и бетонов) должны выбираться для каждого участка с учетом его горнотехнических и инженерно-геологических особенностей.

Осыпи, образующиеся в результате выветривания пород в откосах, являются наиболее распространенным видом деформаций откосов на карьерах. В результате осыпания уничтожаются бермы, и борта карьеров приобретают вид сплошных откосов, а поэтому важность предохранения откосов уступов от выветривания не подлежит сомнению.

В 1968 г. сотрудниками ВНИМИ тонкими заанкеренными стенками был укреплен участок уступа на Зырянов-ском карьере.

Рекомендуемый способ укрепления бортов карьеров тонкими удерживающими стенками по разработанной ВНИМИ методике может найти широкое применение как для откосов, сложенных многолетнемерзлыми породами, так и для откосов, сложенных породами, склонными к интенсивному выветриванию.

В настоящем параграфе не описываются подробно технология приготовления набрызг-бетона, машины, применяемые при нанесении набрызг-бетона, а также технология укрепления откосов штангами, так как эти вопросы довольно подробно освещены в / 12, 14, 20, 21/.

Мероприятия по укреплению откосов карьеров должны подкрепляться экономической оценкой, ибо основным критерием необходимости широкого внедрения методов укрепления в практику открытых разработок является их экономичность.

Подсчет экономической эффективности укрепительных мероприятий может быть определен как разность затрат на выемку объема породы, подлежащей выемке при реконструкции борта и ликвидации последствий обрушений, и затрат на укрепление подверженных обрушению пород /12/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобриневич А.П. и др. Алмазные месторождения Якутии. М., Гос.Комитет.изд.лит.по геологии и охране недр, 1959.

2. Ермаков И.И. Исследование устойчивости бортов карьеров круглой и овальной формы в условиях многолетнемерзлых пород. Автореферат диссертации. Л.,1966.

3. Неганов В.П. Исследование и выбор технологии отработки приконтурных целиков карьера при эксплуатации месторождения в условиях многолетней мерзлоты. Автореферат диссертации. Магнитогорск, 1970.

4. Фрейберг Э.А. Исследование методов повышения устойчивости бортов карьеров от действия динамических нагрузок при взрывных работах. Автореферат диссертации. Л., 1969.

5. Тютюнов И.А. О природе формирования структурных связей в грунтах. Сб."Криогенные процессы в почвах и горных породах". "Наука", 1965.

6. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. "Недра", 1965.

7. Войтковский К.Ф. О прочности и ползучести мерзлых трещиноватых скальных пород. Сб."Прочность и ползучесть мерзлых грунтов". М., изд.АН СССР, 1963.

8. Петрашкев Г.Д., Цветкова С.Г. Устойчивость льдистых отложений в откосах карьеров. Материалы УП Всесоюзного междуведомственного совещания по геокриологии (мерзлотоведению). Вып.5, Физика и механика мерзлых пород, снега и льда.Якутск,1966.

9. Беляев Ю.Д. Определение прочности горных пород динамическим пробником. Сб.трудов ВНИМИ, № 60, 1966.

10. Кагермазова С.В. Показатели процесса выветривания пород в откосах карьеров и методика их определения. Сб. Формирование и изменение физико-механических свойств горных пород под влиянием естественных и искусственных факторов (геологических процессов, инженерных сооружений и горных работ). Тезисы докладов к Ш-му региональному совещанию по инженерной геологии.Л.,1966.

11. Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и откосов отвалов. Л., ВНИМИ, 1962.

12. Методическое руководство по искусственному укреплению откосов скальных и полускальных пород на карьерах. Л.,ВНИМИ, 1967.

13. Балобаев В.Т. Влияние поверхностного слоя на тепловой режим и глубину протаивания мерзлых горных пород. Сб."Тепловые процессы в мерзлых горных породах", "Наука", 1964.

14. Применение набрызг-бетона в горном деле. Издание института Цветметинформация, Москва, 1965.

15. Руппенейт К.В., Куняев Е.В. К вопросу о давлении закладки на ограждающие поверхности. Сб.трудов ВНИМИ, № 25, М.,-Л.,Углетехиздат, 1952.

16. Прокофьев И.П. Давление сыпучего тела и расчет подпорных стенок. М.,Стройиздат, 1947.

17. Улицкий И.И., Ривкин С.А., Самолетов М.В. Железобетонные конструкции. Гостехиздат Киев,, УССР, 1959.

18. Реваэов М.А., Звонарев Н.К. Расчет штанг и гибких тросовых тяжей при искусственном укреплении откосов скальных пород на карьерах. Научные записки Ленинградского горного института, том П, вып.1,1966.

19. Миронов С.А., Крылов Б.А., Иванова О.С. Твердение бетона при отрицательных температу-

рах. "Бетон и железобетон", 1968, № 12.

20. Новые виды крепи на горнорудных предприятиях. М., Цветметинформация, 1963.

21. Временная инструкция по креплению горных выработок пневмобетоном. ЦНИИподземшахтострой. М., 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

ВВЕДЕНИЕ 3

Глава I. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛМАЗОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ 5

§ 1. Общие сведения 5

§ 2. Форма и залегание рудных тел 6

§ 3. Структурная характеристика и трещиноватость вмещающих пород. 6

§ 4. Мерзлотно-гидрогеологические условия месторождения. 11

Глава II. ХАРАКТЕРИСТИКА ГОРНЫХ РАБОТ И ДЕФОРМАЦИИ ОТКОСОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД. 14

§ 1. Вскрытие месторождений. Выбор системы разработки и элементы систем разработки. 14

§ 2. Деформации откосов уступов в условиях многолетней мерзлоты 15

§ 3. Влияние буро-взрывных работ на устойчивость откосов в условиях многолетней мерзлоты. . 20

Глава III. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД 26

§ 1. Методика отбора и подготовка образцов многолетнемерзлых пород для лабораторных испытаний 28

§ 2. Лабораторные определения физико-механических характеристик пород 29

§ 3. Полевые определения прочности многолетнемерзлых пород в монолите 37

§ 4. Прочность многолетнемерзлых пород по контактам слоев и трещин 41

§ 5. Влияние формы блоков и степени трещиноватости на прочность массива горных пород. 44

§ 6. Прочность массива мерзлых трещиноватых горных пород. 48

Глава 1У. ВЫВЕТРИВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД 55

§ 1. Наблюдения за выветриванием многолетнемерзлых пород в откосах 55

§ 2. Изменение прочности многолетнемерзлых пород в откосах под воздействием выветривания. 58

§ 3. Предрасчет углов откосов уступов на различные сроки стояния 62

Глава У. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ НАКЛОНА БОРТОВ КАРЬЕРОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД 68

§ 1. Выбор расчетных характеристик. 68

§ 2. Выбор расчетных схем 71

§ 3. Влияние кривизны борта в плане на его устойчивость 75

§ 4. Расчет углов откосов уступов 77

Глава У1. МЕТОДЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ОТКОСОВ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД В УСТОЙЧИВОМ СОСТОЯНИИ 80

§ 1. Краткий обзор методов укрепления пород в откосах карьеров 80

§ 2. О методах укрепления откосов в условиях многолетней мерзлоты 81

§ 3. Расчет крепления откосов тонкими заанкеренными стенками 87

Л И Т Е Р А Т У Р А 97

gost.e-ecolog.ru

Печатный цех ВНИИМИ Заказ № 16 Тираж 300 28/II-72
М-22947 Объем 4 п.л. Цена 40 коп