Министерство геологии СССР

Методические рекомендации по прогнозированию изменений инженерно - геокриологических условий эксплуатации месторождений полезных ископаемых на Крайнем Севере при их разведке

Москва 1976г

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

Всесоюзный научно-исследовательский институт
гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ИЗМЕНЕНИЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ ПРИ ИХ РАЗВЕДКЕ

Москва 1976

УДК 551.34:553.3/5(001.1)

Методические рекомендации по прогнозированию изменений инженерно-геокриологических условий эксплуатации месторождений полезных ископаемых на Крайнем Севере при их разведке. Н.Г. Бобов, Р.Г. Петрова, П.Ф. Швецов. Труды ВСЕГИНГЕО, 1976, 76 с., табл. 10, илл.16, список литературы 26 назв.

Предлагается впервые разработанная методика прогнозирования изменений инженерно-геокриологических условий, учитывающая исходные геокриологические обстановки (ГО), формы, направления, интенсивность, площадь и плотность влияния результатов производственной деятельности на них. Составлена классификация пространственных форм искусственного воздействия на ГО. При сходстве сравниваемых обстановок и однородном воздействии, например, создании карьера, последствия техногенных изменений должны быть одинаковыми. Количественные показатели ГО определяются на основе физико-географической аксиомы по трем независимым группам ландшафтных факторов. Отмечается необходимость учитывать также естественные периодические (5-6-, 22-23-летние и вековые) изменения ГО.

Рекомендации необходимы инженерам-геологам, гидрогеологам и геокриологам при разведке месторождений полезных ископаемых в районах с мерзлыми породами на Крайнем Севере.

Составители: Н.Г. Бобов, Р.Г. Петрова,
П.Ф. Швецов

Научный редактор П.Ф. Швецов

Литературный редактор И.А. Демьянова
Технический редактор А.П. Жаркова
Корректор Т.А. Ушакова

Ротапринтная серия № 315

© Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), 1976

Л. 60861 . Подписано к печати 13/IУ-76г. Тираж 300 экз.
Уч.-изд.л. 5,1 Зак. 60 . Цена 41 коп. Ротапринт ВСЕГИНГЕО.

В В Е Д Е Н И Е

Цель инженерно-геокриологического прогноза при разведке месторождений полезных ископаемых состоит в выяснении направления и меры неизбежных и возможных нарушений геокриологической обстановки, которые будут вызваны естественными и техногенными (искусственными) изменениями всего комплекса природных условий тепло- и водообмена горных пород с атмосферой в связи с предстоящей производственной деятельностью. Необходимость таких прогнозов вытекает из опыта освоения месторождений Крайнего Севера и обусловлена перспективностью подобных научно-технических разработок / I5 /

Инженерно-геокриологический прогноз является значительной частью обоснования геологопромышленной и экономической оценок запасов полезных ископаемых на разведуемых месторождениях. Для этого требуется обязательно учитывать не только исходную геокриологическую обстановку и ее развитие во времени, но и всю совокупность предстоящих техногенных изменений геокриологических условий освоения месторождения. К искусственным факторам, нарушающим естественную геокриологическую обстановку на значительных по площади участках, относятся результаты открытого или подземного способов разработки месторождений, наземной застройки местности (промышленный комплекс и жилой поселок), а также геологоразведочных работ. Воздействие современной техники и технологии производства в большинстве случаев оказывается огромным.

Недоучет или неправильное понимание направления и меры предстоящего изменения геокриологической обстановки на выбранном участке в результате освоения его до последнего времени обуславливали значительное замедление и удорожание добычи полезных ископаемых. Типичным примером служит длительный опыт освоения Печорского угольного бассейна и норильской группы полиметаллических месторождений (пос.Аварийный и др.). Здания, выстроенные здесь по принципу сохранения мерзлого состояния пород в основании , но без учета противоположного воздействия всего населенного пункта, оказались со временем чаще всего на протаивающих горных массивах, что вызывало значительные деформации, а также и аварии. Заблаговременный прогноз позволил бы выбрать иной способ строительства.

На необходимость разработки прогнозов изменения геокриологических обстановок в связи с предстоящим освоением месторождений Тимано-Печорской нефте-газоносной провинции указано министром геологии СССР А.В. Сидоренко в приказе № 609 от 25 декабря 1970 г. Настоящие рекомендации являются началом выполнения данного приказа. Полное выполнение его возможно лишь в дальнейшем.

Важные особенности методики инженерно-геологических прогнозов при разведке месторождений твердых полезных ископаемых, находящихся в области с многолетнемерзлыми породами, отмечались ранее / I8, I9 /. Теперь можно утверждать, что на Крайнем Севере, где геокриологические процессы распространяются особенно широко, инженерно-геокриологический прогноз существенно дополняет, а чаще целиком заменяет инженерно-геологическое прогнозирование.

Рекомендации предлагаемого типа разработаны впервые и предназначены для специалистов-геокриологов, инженеров-геологов и гидрогеологов, участвующих в разведке месторождений твердых полезных ископаемых на Крайнем Севере, где геокриологические обстановки и закономерности их изменчивости весьма своеобразны / I, I5 /. Специалисты должны предсказывать развитие важнейших инженерно-геокриологических явлений, главным образом в стадиях предварительной и детальной разведки. Детальность и обоснованность предсказания техногенных и естественных геокриологических явлений на данном этапе должна и может быть существенно иной, нежели при изысканиях площадок и трасс для конкретных сооружений и учете результатов производства работ при проектировании горнодобывающего предприятия.

В настоящих рекомендациях значительное место уделяется сравнительно-геокриологическим методам, которые позволяют учитывать общие закономерности развития инженерно-геокриологических процессов, проявляющихся в аналогичных природных обстановках и сходных нарушениях исходных обстановок. Наиболее сложные и действенные результаты производственной деятельности (карьеры, рудники, шахты, города, поселки) анализируются как искусственные элементы ландшафта, появление которых сильно нарушает весь комплекс естественных условий тепло- и водообмена. Прямое тепловое воздействие отдельных сооружений (зданий, выработок, водо- и теплопроводов), проявляющееся весьма локально, здесь не рассматривается. При раз-

ведке оно не может быть определено и учтено с необходимой точностью. На этих стадиях не известны ни расположение будущих конкретных горных выработок и сооружений, ни их тип.

Сложность количественного определения ожидаемых изменений геокриологической обстановки, вызываемых будущим освоением местности, заключается в трудностях соблюдения принципа подобия сравниваемых естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью природных условий. Использование рекомендаций будет способствовать преодолению этих трудностей.

Чисто теоретический путь прогнозирования изменений геокриологической обстановки в результате предстоящего нарушения естественных условий тепло- и водообмена пока разработан не настолько, чтобы его можно было считать основным и эффективно использовать уже в настоящее время. Получение прогнозов с помощью расчетов, видимо, всегда необходимо сочетать со сравнительными методами, вследствие сложности и малой изученности условий формирования инженерно-геокриологических процессов.

Примеры расчета влияния отдельных факторов даны в "Основах мерзлотного прогноза" / I4 /, поэтому здесь приводятся только расчетные формулы.

Требованиями, введенными в действие приказом Министерства геологии СССР / 20 / с июля I975 г., предусматривается тщательное изучение геокриологических условий при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. Руководствуясь предлагаемыми рекомендациями можно обеспечить повышение информативности и эффективности - кондиционность результатов полевых наблюдений при разведке. Анализу и обобщению будут подвергаться, таким образом, все имеющиеся и ранее не использовавшиеся материалы (физико-географические, геолого-гидрогеологические, климатологические, инженерно-геокриологические и т.п.). Во многих случаях это приведет к сокращению объема дорогостоящих горных и буровых работ, проводимых при инженерно-геокриологическом изучении месторождения. Кроме того, данные методические рекомендации помогут рациональнее выбрать виды, уменьшить объемы и стоимость изыскательских работ.

Инженерно-геокриологические прогнозы, составленные в итоге разведки, будут использоваться прежде всего при составлении ТЭО, а затем при изысканиях и проектировании, когда потребуется их уточнение

и детализация. Значение таких прогнозов особенно велико для народного хозяйства нашей страны в связи с большими перспективами развития горно-добывающей промышленности на обширных пространствах с беспрестанномерзлыми породами. Точную цифру экономии применения данных рекомендаций сейчас привести нельзя, так как нет эталона для сравнения. Эффект их выразится в повышении устойчивости горных выработок и надежности службы наземных сооружений. Общая сумма эффекта таким образом будет исчисляться, вероятно, сотнями тысяч рублей в год, если не больше, на каждом эксплуатируемом месторождении полезных ископаемых.

Методические рекомендации основываются на результатах специальных камеральных и полевых исследований, проводившихся ВСЕГИНГЕО с 1967 по 1970 гг. / 15 /. С середины 1971 г. до 1973 г. исследования велись в г.Норильске лабораторией геокриологии месторождений полезных ископаемых ВСЕГИНГЕО совместно с мерзлотной лабораторией Горно-металлургического комбината им.А.П. Завенягина (Л.И. Урбановичус, Л.Ж. Синева).

По геокриологической обстановке на промплощадке г.Норильска консультировал главный специалист отдела изысканий института Норильскпроект В.П. Плешаков.

Рекомендации составлены во ВСЕГИНГЕО. Введение и раздел 5 написаны Н.Г. Бобовым, раздел 1 – П.Ф. Швецовым; раздел 2 – Н.Г. Бобовым и Р.Г. Петровой; раздел 3 – П.Ф. Швецовым и Н.Г. Бобовым, а также Р.Г. Петровой; разделы 4,6 – Н.Г. Бобовым, Р.Г. Петровой, а также Б.К. Лапочкиным.

В работе по получению и технической обработке полевых материалов помогали инженеры А.В. Долгов и Г.П. Мосина.

Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам – профессору Г.Г. Скворцову и канд.техн.наук Р.М. Саркисяну за полезные замечания.

В этих методических рекомендациях, как и в "Основах методики инженерно-геокриологических прогнозов" / 15 /, некоторые термины, выражающие или обозначающие основные понятия, заимствованы у выдающихся исследователей – А.Ф. Миддендорфа и А.И. Воейкова.

Вместо противоречивых и спорных терминов "вечномерзлая порода" и "вечномерзлый грунт" применяется соответствующий понятию М.В. Ломоносова ("всегда мерзлая земля") и А.Ф. Миддендорфа ("беспрестанно мерзлые слои земли") – "беспрестанномерзлая порода".

Для сокращения текста толщи мерзлых пород обозначаются аббревиатурой ТМП.

Верхний горизонт почвы с растительным и снеговым покровом или водой, а также верхний слой водоемов, которые исполняют роль приемника, преобразователя, аккумулятора и отдатчика солнечной энергии атмосфере, почве и литосфере, называется деятельным слоем (по Воейкову) и кратко обозначается ДС.

В работе также применены следующие аббревиатуры: СТС - сезонноталый слой; СМС - сезонномерзлый слой; ЯГТО - ярус пород с годовыми теплооборотами или переменной в году температурой; ПГК - почвенно-грунтовый комплекс.

I. РАЗРЕШАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

I. Общие положения

I.I. Предлагаемые методические рекомендации представляют собою результаты второго этапа работы по созданию современной методики инженерно-геокриологических прогнозов при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. Первый этап - создание некоторых научных основ такой методики завершился в 1970 г. Результаты работы на этом этапе были изложены в виде коллективной монографии "Основы методики инженерно-геокриологических прогнозов при разведке месторождений твердых полезных ископаемых" / I5 /.

В 1970-1973 гг. по данной теме были выполнены дополнительные экспедиционно-стационарные исследования в г.Норильске - на одном из основных участков,в пределах которого отмечаются наиболее существенные изменения геокриологической обстановки, связанные не с прямыми, а косвенными суммарными воздействиями на нее результатов производственной деятельности людей. Полученные новые эмпирические данные позволили лучше обосновать и уточнить ряд суждений, положенных в основу методических рекомендаций.

I.2. Слово "прогноз" означает заблаговременное знание, то есть предвидение изменений в развитии и исходе каких-либо явлений, событий, процессов на основании полученных данных, законов и закономерностей. Процесс обработки информации для получения конечного прогностического вывода (конечной информации прогноза) называется сокра-

ценно прогностикой. Инженерно-геокриологическим прогнозом называется предвидение изменений геокриологической обстановки данного участка, вызванных суммарным воздействием на нее результатов производственной и коммунально-хозяйственной деятельности путем изменения условий тепло- и влагообмена в системе толщи мерзлых пород - деятельный слой - атмосфера (и космос).

Поскольку геокриологическая обстановка на значительных участках суши и даже площадках одного и того же участка неоднородна, а формы и методы воздействия на нее разные, инженерно-геокриологические прогнозы в принципе имеют вероятностный характер; в предпосылки прогностического вывода включаются гипотезы и гипотетические данные. Значение тех и других, как и вероятностно-статистический характер таких прогнозов, особенно ярко выступает при сравнении их с метеорологическими прогнозами, получаемыми путем решения системы уравнений, описывающих состояние атмосферы, термодинамические процессы в ней и возможные движения воздушных масс. Иначе говоря, метеорология располагает всеми необходимыми законами развития объекта и методами применения их при данных начальных и граничных условиях. Геокриология не располагает пока детерминированными моделями достаточно большого осваиваемого участка с разными хозяйственными объектами.

I.3. При инженерно-геокриологическом прогнозировании так или иначе должен быть учтен весьма сложный и непостоянный по структуре комплекс результатов производственной и коммунально-хозяйственной деятельности людей. И хотя та и другая деятельность на участке месторождения и в районе, включающем этот участок, определена в общих чертах до детальной разведки составителями технико-экономического доклада или обоснования (ТЭД и ТЭО), все же результаты ее оказываются самыми неопределенными факторами изменения гидрогеокриологической обстановки в ближайшие 5-I0 годовых периодов.

В связи с этим в инженерно-геокриологических прогнозах приходится пользоваться в основном давно известной гипотезой предсказания будущего по известному прошедшему. Она заключается в том, что выводы о возможности и вероятности будущего события либо ряда событий делаются на основании изучения, анализа и обобщения предыдущего опыта - истории предсказываемого явления. Предлагаемые методические рекомендации основаны на анализе и обобщении данных опыта

освоения участков лесотундры и тундры, включающих Норильское месторождение медно-никелевых руд и Воркутское месторождение угля.

I.4. Дать инженерно-геокриологический прогноз можно только в результате научно-технической работы, более сложной, чем та, которая требуется для составления инженерно-геологического прогноза. Последний представляет собой предсказание хода и результатов механического и влажностного взаимодействий сооружений, производств и их комплексов с массивами горных пород, тогда как при инженерно-геокриологических прогнозах должны быть предсказания, касающиеся также и теплового взаимодействия названных искусственных и естественных объектов.

Чтобы сформулировать критерий равновесия открытых систем - толща мерзлых пород (ТМП) - сезонноталый слой (СТС) - приземный слой воздуха (ПСВ), необходимо учесть наличие тепловых контактов внутри них и их с окружающими телами (средами), хотя бы при постоянной температуре. Следует также рассмотреть процессы на границе раздела фаз H_2O в почве и горных породах для выяснения закономерностей движения этой границы. Нарушение термодинамического равновесия в почвенно-грунтовом комплексе участков с льдистой подпочвой на склонах приводит к таким механическим явлениям, которые представляются следствием самого интенсивного (часто катастрофического) взаимодействия температурного и гравитационного полей.

Геотехника с момента своего возникновения стремилась и сейчас стремится отнести слои, толщи и массивы горных пород к сплошным средам с одними механическими связями. Геокриология в решении своих задач вынуждена существом самих исследуемых объектов идти более сложными путями.

I.5. В реальных процессах всегда присутствуют и в различной мере проявляются три принципиально разные составляющие:

а) детерминированная часть, поддающаяся точному расчету на любое достаточное для целей прогнозирования время упреждения;

б) вероятностная часть, выявляемая в ходе изучения (наблюдения прогнозируемого явления в прошлом и настоящем);

в) случайная часть, с позиций современного уровня знаний принципиально не поддающаяся предсказанию.

"Тактика, принятая в статистической теории предсказания, состоит в том, чтобы максимально выделить детерминированную часть процесса и постоянно стремиться к уточнению (по мере роста наших

знаний) предсказания вероятностной части" / 2 /. Эта тенденция нашла отражение в выработке научных основ инженерно-геокриологических прогнозов, начатой Северным отделением бывшего Института мерзлотоведения им. В.А. Обручева / 23 /.

I.6. Инженерно-геокриологические прогнозы в настоящее время могут быть в основном косвенными, поскольку известно, что прямой прогноз представляет собой экстраполяцию уровней и ритмов изменения состояний систем. Системный метод дает возможность с достаточной для утверждения запасов полезных ископаемых надежностью получить прогноз ряда процессов, оказывающих комплексное влияние на большое число факторов в пределах значительных площадок, целых месторождений, промышленных поселков и городов. В применении системного метода пока что решающую роль играет не моделирование, а методика сравнения исходных геокриологических обстановок, способов и форм освоения месторождений.

Сходство таких обстановок, способов и форм освоения месторождений дает основание уверенно предполагать, что сходными будут и техногенные геокриологические явления. Предсказывать будущие явления по аналогии условий их возникновения в ряде мест - значит развивать эмпирическое направление в физико-геологическом прогнозировании, которое выработал создатель физической геологии И.В. Мушкетов. Предсказание по аналогии, установленной эмпирическим, а не физико-математическим путем, долго еще будет сохранять свое большое значение в инженерно-геокриологическом прогнозировании, хотя оно и должно быть как можно скорее дополнено современным методом предсказания - математическим и физическим моделированием реальных процессов. Компонентный метод прогнозирования инженерно-геокриологических явлений применяется больше всего в стадии изысканий и проектирования, когда требуется уже с относительно большой надежностью знать контуры чаш и ореолов протаивания от тепловыделяющих и других отдельных сооружений, глубину протаивания или промерзания под покрытием дороги, улицы и др.

I.7. Прогнозирование изменений инженерно-геокриологических условий, вызванных производственной и коммунально-хозяйственной деятельностью, немыслимо без знания исходных (естественно сложившихся) геокриологических обстановок на участках с разведуемыми месторождениями полезных ископаемых. Синтетическое и наглядное знание о них

дают геокриологические карты. Они представляют собой картографические модели геокриологических обстановок. Методике получения и формам выражения знаний об исходных инженерно-геокриологических условиях и посвящены следующие разделы рекомендаций.

2. Выяснение исходной геокриологической обстановки и выбор рациональных форм выражения ее особенностей

Исходной (не всегда вполне естественной) называется геокриологическая обстановка, сложившаяся к началу освоения (перед разведкой) месторождения в процессе исторического развития данного ландшафта.

2.I. При оценке условий намечаемого освоения разведуемых месторождений полезных ископаемых необходимо учитывать основные параметры геокриологических обстановок (2.3). Их специфика определяется главными факторами теплообмена толщи горных пород с атмосферой (3.4). Геокриологические обстановки на столь обширной территории характеризуются большим разнообразием. На Крайнем Севере выделяется 7 геокриологических областей (рис.I): I. Кольская; 2. Канинско-Большеземельская; 3. Уральская; 4. Западносибирская; 5. Средне-Сибирская; 6. Верхояно-Колымская; 7. Чукотско-Анадырская.

Названным территориальным единицам свойственны также специфические комплексы важнейших природных условий тепло- и водообмена. Подобное расчленение территории Крайнего Севера облегчает при разведке инженерно-геокриологическое прогнозирование наиболее существенных изменений, которые будут вызваны предстоящим освоением месторождений полезных ископаемых.

2.2. Прежде чем приступить к составлению прогнозов инженерно-геокриологических явлений, необходимо иметь исходные геокриологические материалы по разведуемому месторождению в виде:

а) геокриологической карты масштаба не мельче I:50 000;

б) геокриологических разрезов к ней того же масштаба;

в) краткого описания или записки к карте.

2.3. Геокриологические карты и разрезы составляются в процессе и по окончании комплексной гидрогеокриологической съемки. Методика производства и картографического отображения результатов такой съемки изложена в главе П "Методического руководства" / I0 /.

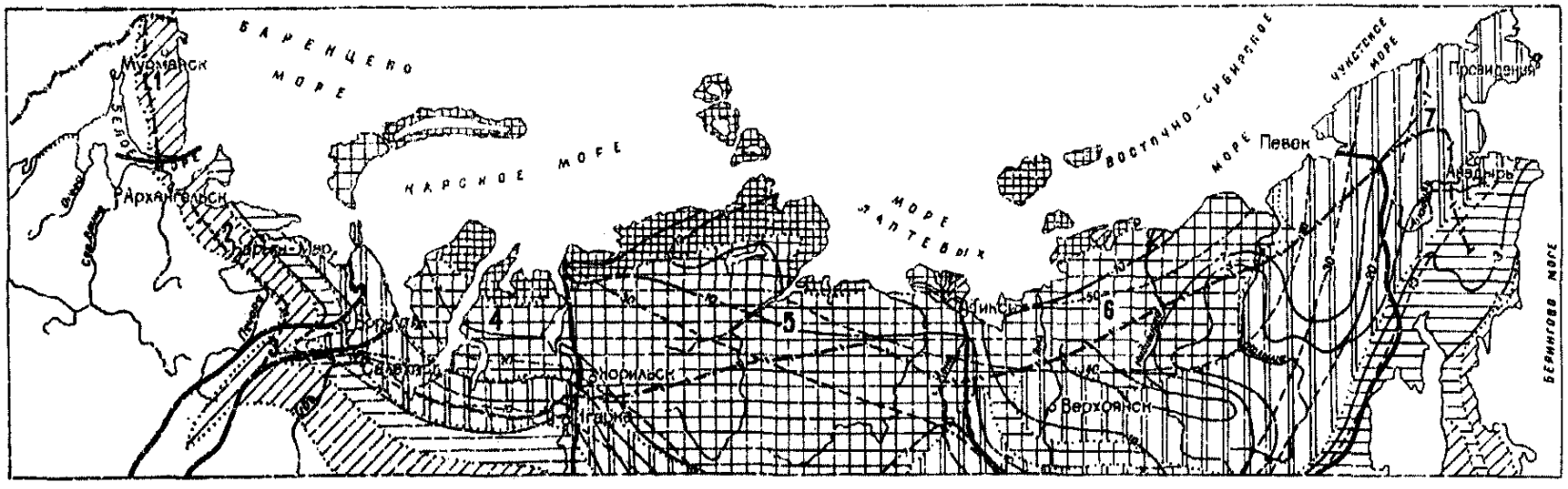


Рис.I. Схема геокриологического разделения территории Крайнего Севера

I-5 - зональная мощность (в м) и прерывистость ТМП (отношение площади таликов ко всей площади местности): I - более 500, редкие (менее 5%) водоносные талики; 2 - 800-500, частые (5-80%) водоносные и неводоносные талики; 3 - I00-800, половина площади (80-70%) с ТМП; 4 - 25-I00, талые породы на большей части (70-90%) площади; 5 - менее 25, редкие острова ТМП, талые породы на значительно большей части (более 90%) площади; 6 - изотермы пород в основании НГТО (°С); 7 - изолинии предельной мощности (в м) залежей подземного льда; 8 - континентальная граница территории Крайнего Севера; 9 - границы геокриологических областей; I0 - порядковый номер области

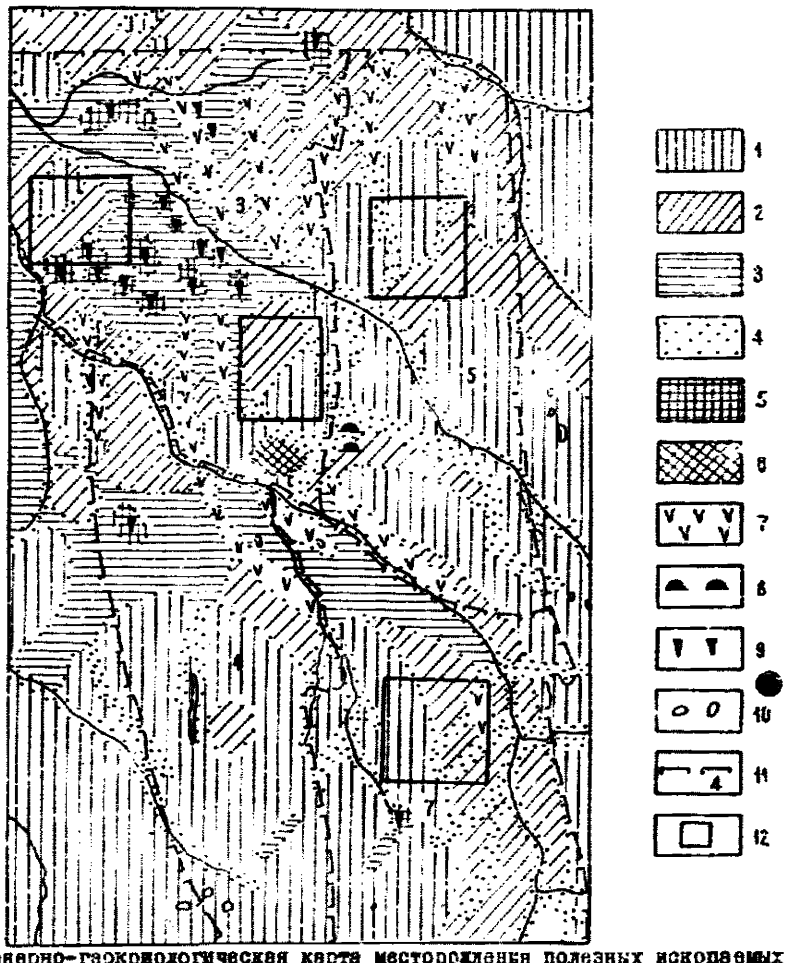


Рис.2. Инженерно-геокриологическая карта месторождения полезных ископаемых на Крайнем Севере европейской части СССР; намечается подземная разработка

I - суглинки покровные пылеватые, талые; мощность слоя М = 1,5-2,0 м; ниже песчаные и гравелисто-галечниковые отложения водно-ледникового генезиса, мерзлые со льдом-цементом, суммарная весовая влажность В = 15-18%, М = 6-15 м. Еще ниже суглинки моренные легкие с гравием, мерзлые, со льдом-цементом и редкими прослойками льда толщиной 1-2 мм, В = 10-15%. Разрез характерен для водоразделов с кочковато-ерниковой тундрой, СТС около 1,5 м; температура пород в основании яруса годовых теплооборотов Т = минус 1-2°С. 2 - суглинки покровные пылеватые, талые, М = 1,8-2,0 м. Ниже гравийно-галечниковые отложения и разнозернистые пески водно-ледникового генезиса, местами мерзлые с льдом-цементом, В = 20%, М = 6-15 м. Еще ниже суглинки моренные, легкие гравелистые, мерзлые, массивной, реже слоистой криогенной текстуры; прослои льда толщиной 1-2 мм. Разрез характерен для пологих склонов с ивняково-кипяниковой тундрой. Глубина залегания мерзлой толщи от 1 до 20 м, Т = 0°С. 3 - торф талый, М = 0,5 м. Ниже суглинки озерно-болотные, пылеватые, мерзлые, сетчатой криогенной текстуры. Прослойки льда от 1-2 мм до 1-2 см, В = 30-40%, М = 2-4 м. Еще ниже суглинки моренные легкие, гравелистые, слоистой криогенной текстуры, В = 15-20%. Разрез характерен для понижений с сфагново-моховыми болотами, СТС= 0,6-0,8 м, Т = -1°С. 4 - суглинки покровные пылеватые, талые, М = 3-5 м. Ниже гравийно-галечниковые отложения и пески разнозернистые водно-ледникового генезиса, талые, В = 15-20%. Разрез характерен для полос стока. Глубина залегания мерзлой толщи 5-20 м и более , Т = от 0 до 0,3°С. 5 - торф, М = 2 м. Ниже суглинки озерно-болотные, пылеватые с гравием и галькой, мерзлые сетчатой криогенной текстуры, прослойки и жилы льда толщиной от 1 до 10 см, В = 40%, М = 3-4 м. Ниже суглинки элювиально-делювиальные с большим количеством гравия и щебня, М = 2 м. Еще ниже песчаники и алевролиты. Разрез характерен для торфяников, СТС = 0,5 - 0,6 м, Т = до -2,5°С. 6 - суглинки покровные пылеватые, талые, М = 1,0-1,5 м. Ниже гравийно-галечниковые отложения и пески разнозернистые, водно-ледникового генезиса, мерзлые, массивной и криогенной текстуры, В = 15-18%, М = 7 м. Еще ниже суглинки моренные легкие с гравием, мерзлые, массивной, иногда слоистой криогенной текстуры, тонкие прослойки льда, В = 10-16%. Разрез характерен для вершин холмов с пятнистой тундрой, СТС = 1,5-2,0 м, Т = минус 2,2-2,4°С. 7 - суглинки покровные пылеватые, талые, М = 1-2 м. Ниже гравийно-галечниковые отложения, пески разнозернистые, реже гравелистые суглинки, талые, М = 3-4 м. Еще ниже песчаники и алевролиты трещиноватые, реже аргиллиты, талые обводненные. Разрез характерен для участков сквозных таликов, обусловленных в основном небольшой мощностью и грубозернистостью перекрывающих пород, а также выходом вод глубоких горизонтов по трещинам коренных пород. 8 - бугры пучения высотой до 2,5 м и пластовые залежи льда. 9 - полигональность форм рельефа и жилы льда. 10 - термокарстовые озера. 11 - границы шахтных полей и их номера. 12 - рекомендуемые участки для промплощадок

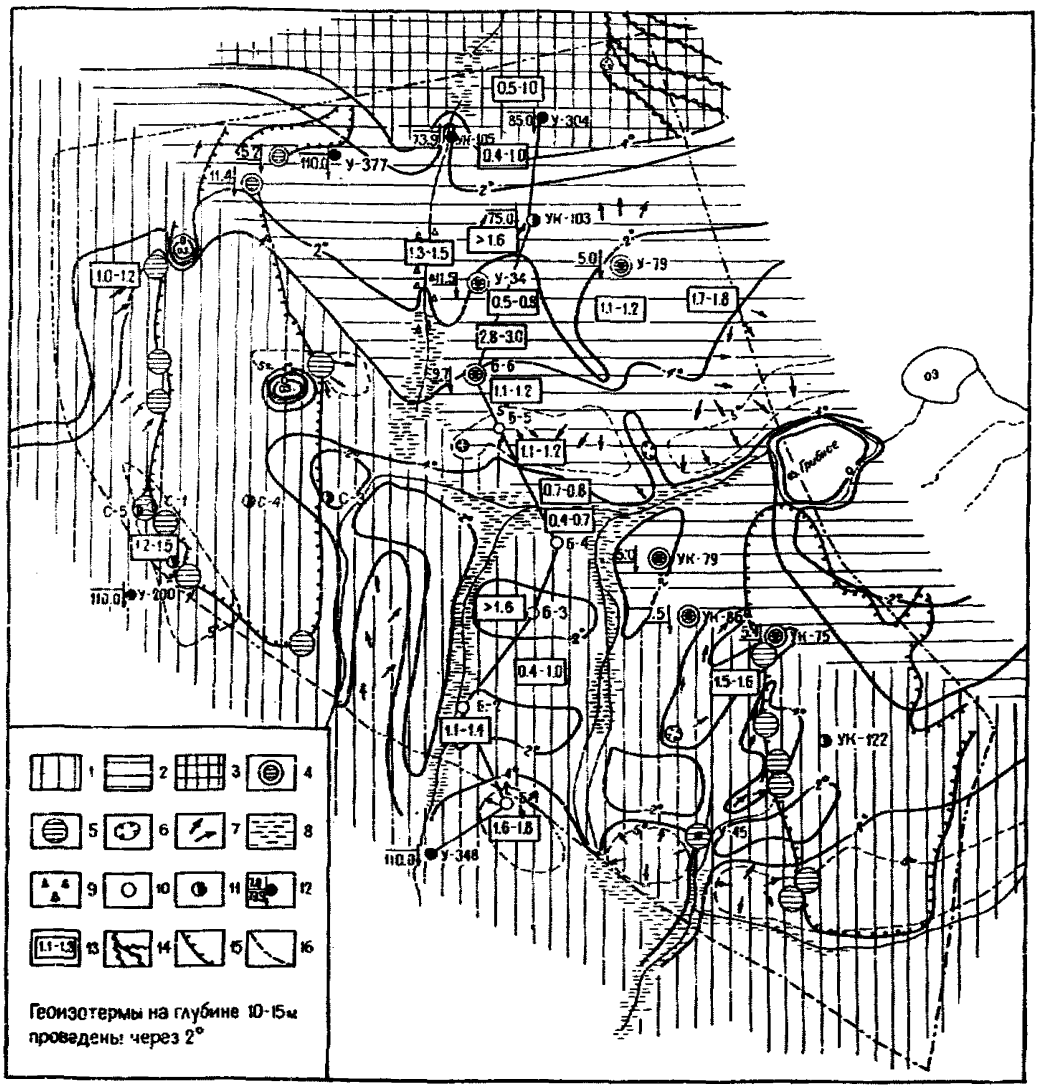


Рис.3. Инженерно-геокриологическая карта месторождения полезных ископаемых на Крайнем Севере Сибири; намечается разработка открытым способом

I - суглинки моренные и делювиальные льдистые, включающие значительные слои песка; 2 - суглинки такие же, включающие тонкие и редкие слои песка; 3 - суглинки аллювиальные льдистые с частыми тонкими прослойками песка; 4 - погребенная залежь подземного льда, находящаяся значительно глубже СТС; 5 - современная залежь подземного льда, располагающаяся вблизи СТС; 6 - термокарстовая западина; 7 - интенсивный делювиальный снос; 8 - заболоченность; 9 - валунная россыпь; I0 - скважины с годовым циклом наблюдений температуры; II - скважины с разовыми температурными измерениями; I2 - скважины без температурных наблюдений: в числителе - глубина нахождения залежи льда, в знаменателе - глубина вскрытия подземных вод (в метрах); I3 - толщина сезоннопротаивающего слоя; I4 - термокарстовые лощины по тракторному следу; I5 - бровка карьеров летом 1964 г.; I6 - граница карьерного поля

Необходимо использовать все материалы, полученные при геологической съемке масштаба I:200 000, которая проводится с картировочным бурением скважин глубиной до I5-20 м. Три карты в масштабе I:200 000 - геоморфологическая, литологическая четвертичных отложений и литолого-петрографическая коренных пород - дают, по крайней мере, треть информации, необходимой для составления гидрогеокриологической карты в масштабе I:50 000. На такой карте должны быть показаны следующие основные геокриологические параметры:

а) распространение беспрестанномерзлой толщи и ее прерывистость;

б) температура пород в подошве яруса с годовыми теплооборотами;

в) состав, в том числе льдистость ТМП и залежи подземного льда;

г) толщина сезонноталого и сезонномерзлого слоев.

На геокриологической карте, кроме указанных параметров, должны быть отображены геокриологические явления - бугры пучения, полигональность поверхности, термокарстовые западины и склоновые образования (4.8), овраги, подмываемые берега, россыпи обломков скальных пород, наледные явления (тарыны) и полыньи.

Примером составления геокриологических карт на месторождениях полезных ископаемых могут служить рис.2, 3, а геокриологического разреза к карте - рис.4.

2.4. В объяснительной записке к карте излагаются сведения о составе, строении и свойствах пород с подробным описанием почвенно-грунтового комплекса четвертичного возраста, краткая гидрогеологическая и орогидрографическая характеристики территории самого месторождения и прилегающей местности, характеристика режима погод в районе месторождения, данные о заболоченности поверхности, растительном и снеговом покровах. Все материалы приводятся для понимания условий формирования геокриологической обстановки, в соответствии с существом физико-географической аксиомы (3.4).

2.5. При составлении геокриологической карты и разрезов необходимо руководствоваться существующей методикой / I0, 4 /. Необходимо помнить, что на геокриологических картах отображаются количественные значения параметров и качественные особенности геокриологических явлений. Геокриологические разрезы должны содержать лишь основные параметры (2.3).

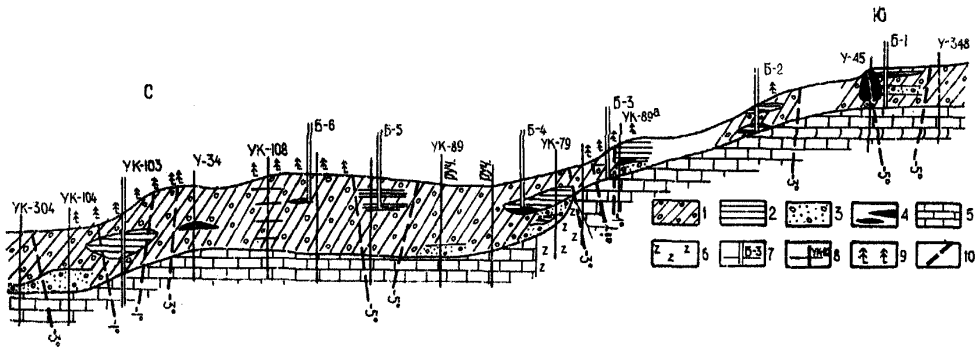


Рис.4. Геокриологический профиль карьерного поля
(см.рис.3)

I – льдистые суглинки с галькой и валунами; 2 – глины; 3 – пылеватый песок с валунами;
4 – горизонтальнослоистые залежи льда; 5 – песчаники и аргиллиты; 6 – интрузивные породы;
7 – опорные скважины; 8 – скважины, совмещенные с профилем; 9 – редкий лиственничный лес;
I0 – средние годовые геоизотермы, °С.

П. ПРИЕМЫ УЧЕТА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ТЕПЛО- И ВОДООБМЕНА

3. Способы приближенного определения количественных показателей геокриологической обстановки и последствий их изменения

3.I. Для приближенного определения количественных показателей геокриологической обстановки рекомендуется помнить об их определенной связи между собой. К основным количественным показателям геокриологической обстановки относятся:

I) температура горных пород у подошвы яруса с годовыми теплооборотами или близкая к ней средняя годовая температура почвы;

2) мощность толщи беспрестанномерзлых пород;

3) прерывистость ТМП, выраженная отношением площади без ТМП ко всей площади данного участка или района суши;

4) льдистость ТМП, особенно ЯГТО;

5) толщина СТС;

6) толщина СМС;

7) влажность СТС;

8) льдистость СМС.

Первому показателю - температуре горных пород у подошвы ЯГТО на большинстве участков сравнительно однородных по физико-географическим и геологическим условиям районов, соответствуют, как правило, второй, третий и пятый показатели; участки с пониженной температурой пород характеризуются относительно увеличенной мощностью, уменьшенной прерывистостью мерзлой толщи (рис.5) и толщиной СТС.

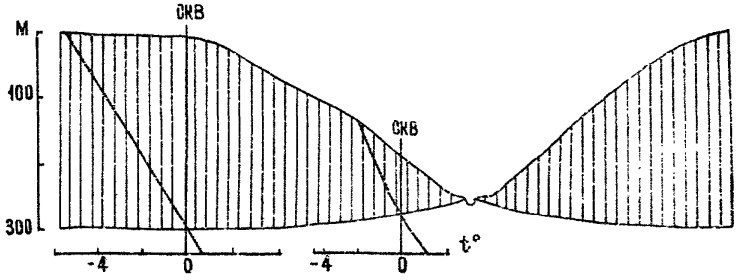


Рис.5. Максимальное распространение (заштриховано) и минимальная температура толщи мерзлых пород на Крайнем Севере свойственны водораздельным участкам, талики - долинам и озерным впадинам

На равнинах Крайнего Севера с мощным и однородным покровом из пылеватых глинистых или супесчаных образований четвертичного возраста понижению температуры ТМП по площади нередко соответствует увеличение их льдистости (см.рис.2,3). Связь льдистости с температурой ЯГТО ярко выражена, например, на Воркутском месторождении Печорского угольного бассейна.

3.2. Определяя температуру толщи мерзлых пород на конкретных участках месторождений, требуется учитывать ее изменчивость во времени и большую неоднородность по площади. Температура ТМП редко совпадает не только с зональными, но даже и с зонально-региональными геоизотермами, проведенными на мелко- и даже среднемасштабных гидрогеокриологических картах; геоизотермы на таких картах отражают, как правило, результаты осреднения небольшого количества минимальных геотемпературных данных и увязки их с зонально-поясными и региональными режимами погод (климатами).

Следует иметь в виду, что значения температуры ТМП, совпадающие с геоизотермами большинства региональных карт, близки к действительным только на небольших участках, характеризующихся влажным льдистым торфяно-глинистым ЯГТО на резковыступающих формах рельефа - вершинах возвышенностей, бровках террас и т.п.; на участках с хорошо водопроницаемым почвенно-грунтовым комплексом, например, песчано-гравийно-галечным, температура ТМП на 2-3 градуса выше указанных геоизотерм.

3.3. Существенное приближение геоизотерм, проводимых на среднемасштабных гидрогеокриологических картах, достигается не только увеличением числа измерений температуры ТМП, которых почти всегда не хватает из-за трудоемкости их производства, но и с помощью физико-географической аксиомы / I5 /. Знание и рациональное применение этой аксиомы (3.4) помогает правильно оценивать нужные параметры и детализировать картографическое отображение всех количественных показателей геокриологической обстановки, а также точнее предсказывать последствия их существенного изменения.

3.4. Физико-географическая аксиома - состояние толщи горных пород, в том числе общее количество и соотношение фаз H_2O в них на данный момент, интенсивность и длительность процессов тепло- и водообмена в системе литосфера-почва-атмосфера, а также направление и скорость движения почвенно-грунтовых и межпластовых вод, самих почв и грунтов - определяется тремя группами независимых факторов:

а) литолого-петрографическими, т.е. составом, строением, сложением и свойствами слоев, массивов и толщ горных пород данного участка;

б) морфометрическими - положением участка в мезорельефе и относительно морских бассейнов, т.е. высотой (абсолютной и относительной), углом и ориентировкой наклона поверхности, связью с водоемом и водотоками;

в) зонально-поясным энергетическим балансом деятельного слоя и режимом погоды (климатом).

Необходимо всегда помнить, что особенности местного климата (*микроклимата*), *почвы, растительного и снежного покровов и других* местных условий (элементов микроландшафта) соответствуют определенным сочетаниям названных выше трех групп факторов.

3.5. При анализе геокриологических обстановок следует учитывать, что три основные независимые группы факторов, определяющие развитие тепло- и водообменных процессов в земной коре и состояние ее (3.4), можно выразить не только качественно, но и, что особенно важно, количественно. Они могут представляться хотя и приближенными, но все-таки достаточно определенными числами. Их можно рационально использовать при вычислении теплового баланса почвенно-грунтового комплекса.

Литолого-петрографические особенности можно представить такой геотеплофизической характеристикой, как коэффициент температуропроводности

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c},$$

где a - коэффициент температуропроводности породы или почвы, $Вт \cdot м^2/Дж$; λ - коэффициент теплопроводности, $Вт/м \cdot {}^0C$; ρ - плотность, $кг/м^3$; c - теплоемкость, $Дж/кг \cdot {}^0C$.

Водообменные особенности пород характеризуются коэффициентом водопроницаемости

$$k = \frac{Q \cdot \mu \cdot n}{S \cdot \Delta p},$$

где k - коэффициент водопроницаемости, $м^2$; Q - расход инфильтрующейся воды, $м^3/с$; μ - вязкость воды, $Н \cdot с/м^2$; n - длина пути фильтрации, м; S - поперечное сечение, $м^2$; Δp - перепад давления, $Н/м^2$.

Коэффициент водопроницаемости позволяет ориентировочно определить: а) количество тепла, привносимого в литосферу инфильтрацией поверхностной воды в сезонноотаивающий слой и ЯГТО, а также б) повышение температуры пород в этом процессе.

Знание азимута и угла наклона поверхности данного участка позволяет определить, насколько продолжительно облучение деятельного слоя и отличен угол падения солнечных лучей от угла их приема на горизонтальную поверхность. Та и другая величина необходима, наряду с альбедо поверхности, для вычисления суммы поглощенной радиации. Количественное выражение зонального и поясного условий известно. Оно заключается в указании широты и высоты местности. То же самое можно сказать о количественном выражении расположения данного участка относительно моря и больших водоемов.

3.7. Существо приведенной аксиомы (3.4) вытекает из совокупности двух основных физико-географических законов:

а) закона цельности и неразрывности ландшафтной оболочки - взаимообусловленности и соответствия всех ее компонентов (литосферы, тропосферы, гидросферы, почвы, растительного покрова) и

б) закона широтной зональности и вертикальной поясности.

Этими наиболее общими и важными законами развития ландшафта следует руководствоваться при инженерно-геокриологическом изучении разведуемых месторождений. Геокриологическая обстановка соответствует, как правило, ряду различных сочетаний трех независимых факторов ее формирования.

3.7. Приближенно определить геокриологическую обстановку разведуемого месторождения можно путем сопоставления важнейших факторов, свойственных ему, с факторами уже изученного месторождения Крайнего Севера. При этом рекомендуется учитывать прежде всего расположение месторождений по широте и высоте, положение в мезорельефе, а также литолого-петрографический облик яруса земной коры с годовыми теплооборотами. Обязательно следует учитывать, что местная геокриологическая обстановка, как правило, не соответствует даже местному режиму погод (климату) и представляется более азональной, чем последний.

Пример. Минимальная температура пород в основании ЯГТО на месторождении угля Хальмер-Ю на северо-востоке Печорского бассейна приближается к $-3^{\circ}C$ и превышает среднегодовую температуру воз-

духа данной местности более чем на 4^0. ТМП распространена широко, а максимальная мощность ее достигает 200 м (см.рис.I). Эти зональные показатели температуры и распространения мерзлой толщи обычно свойственны весьма ограниченным возвышенным участкам с торфяно-глинистым почвенно-грунтовым комплексом (см.рис.2). Преобладающая часть площади месторождения характеризуется более высокими показателями температуры и меньшей мощностью мерзлой толщи. Последняя состоит преимущественно из песчано-гравийно-суглинистых отложений четвертичного возраста и местами обнажающихся угленосных слоев трещиноватых аргиллитов и песчаников перми. На участках, где четвертичных отложений нет или их мощность менее I0 м, ТМП прерывается водоносными таликами или она характеризуется чрезвычайно малой мощностью и температурой около 0^0С. На соседних месторождениях полезных ископаемых, учитывая определяющие факторы, следует ожидать соответствующие геокриологические обстановки.

3.8. Температура ТМП – основной показатель геокриологической обстановки и параметр состояния этой геосистемы, формируется и изменяется в процессе теплообмена ее с почвой и атмосферой под влиянием трех основных факторов: зонально-поясного, морфометрического и литолого-петрографического (3.4). Этому суждению лучше всего соответствует следующее аналитическое выражение ее, связывающее среднегодовую температуру почвы $T_п$ с основными составляющими уравнения теплового баланса:

$$T_п = T_в + \frac{R - LE + B}{\alpha},$$

где $T_в$ – температура приземного слоя воздуха, ^{0}С; R – радиационный баланс, Дж/м^2·с; L – теплота испарения воды, Дж/кг; E – количество испарившейся влаги, кг/м^2·с; B – поток тепла в почву из ТМП, Дж/м^2·с; α – коэффициент теплоотдачи, Дж/м^2·год·^{0}С.

Труднее всего выявить достоверные местные значения коэффициента теплоотдачи α, поскольку непосредственные наблюдения отличаются кратковременностью и проведены лишь в немногих местах Крайнего Севера / I5 /.

3.9. Для выяснения предстоящих изменений исходной геокриологической обстановки на разведуемых месторождениях необходимо учитывать изменения, произошедшие на уже освоенных месторождениях, и степень подобия обстановок сравниваемых участков месторождений.

Пример. На ряде участков Крайнего Севера с торфяно-глинистым, пылевато-глинистым и даже пылевато-супесчаным почвенно-грунтовым комплексом наинизшей температуре ТМП нередко соответствует максимальная (для данного участка) льдистость и мощность и, что самое главное, минимальная толщина СТС (3.I). Такие именно площадки на плоских вершинах холмов, у валов и бровках речных террас, а также бортов долин равнинной тундры и привлекают внимание проектировщиков зданий и других наземных сооружений, которые должны возводиться и эксплуатироваться "по принципу сохранения вечной мерзлоты". Соблюдение этого "принципа" кажется вполне реальным и легким, по крайней мере под зданием с проветриваемым зимой и наглухо закрытым в летний сезон подпольем. Действительность показывает другое, особенно если учесть последствия застройки возвышенностей в Воркутинском районе Большеземельской тундры и на Яно-Индигирской приморской низменности.

3.IO. Определяя вероятные изменения геокриологической обстановки на разведуемых месторождениях, рекомендуется иметь в виду природную нестационарность ТМП, особенно ее верхних горизонтов. Естественные короткопериодные увеличения глубины сезонного протаивания снижают устойчивость этого слоя на склонах. Условия равновесия на склонах можно примерно выразить следующим образом:

$$N = \gamma h_c \operatorname{tg} \beta < \Psi,$$

где N – сдвигающая (касательная) сила, Н; h_c – нормальная толщина СТС, м; γ – объемный вес СТС, Н/м^3; β – угол наклона поверхности скольжения к горизонтальной плоскости, град; Ψ – силы трения (пропорциональные нормальному давлению) и силы сцепления, Н.

Пример. Малая толщина СТС, низкая температура и большая льдистость ТМП в равнинной Субарктике представляют собой условие существования в теплую часть года огромного по абсолютной величине отрицательного температурного градиента и нисходящего потока тепла в СТС, направленного к ТМП. Суммарная величина этого потока за весь теплый сезон на возвышенном участке Северо-Восточной Субарктики с исключительно льдистой подпочвой, среднегодовая температура которой около -6°С, почти в два раза больше, чем под Якутском с песчаной малольдистой ТМП и температурой -3°С. Но для устойчивости СТС и стационарности ТМП важны не средние многолетние величины суммарных

потоков тепла в подпочву, а их изменения на протяжении ряда теплых сезонов. С этим связано резкое увеличение толщины СТС в течение этого времени. Увеличение толщины сезонноотаивающего слоя влечет уменьшение устойчивости этого, как правило, переувлажненного слоя на склонах.

3.II. Необходимо принять во внимание, что естественные короткопериодные увеличения толщины СТС вызываются сложными вариациями природного комплекса тепло- и водообмена толщи горных пород с атмосферой.

Пример. Как показали наблюдения, естественное увеличение толщины СТС в ходе трехлетнего потепления приземного слоя воздуха и почвы достигало в Субарктике 40-50 см,т.е. 80-100% от исходной. Среднегодовая температура воздуха при этом не повышалась, а даже понижалась в ряде мест. Это трехлетие ознаменовалось большим числом деформаций аэродромных и дорожных покрытий и фундаментов зданий, рассчитанных по всем правилам геотехнической теплофизики. Возросший по толщине СТС сполз в некоторых местах даже с пологих склонов. То же самое наблюдалось и может наблюдаться при повышении температуры деятельного слоя в ходе освоения того или иного участка тундры с низкотемпературной и льдистой подпочвой.

3.I2. Выясняя условия предстоящего изменения геокриологической обстановки при разведке месторождений, необходимо сразу изучать льдистость ТМП и расположение залежей подземного льда (2.3). В условиях Крайнего Севера особенно высокольдистыми породами с пластовыми залежами льда оказываются пылеватые суглинки, слагающие положительные резковыступающие формы рельефа, - вершины холмов или увалов, бровки склонов долин или террас рек, а нередко и сами склоны, размываемые (подрезаемые) к тому же водными потоками или водоемами. Выделение таких участков обязательно, так как изменения геокриологических обстановок именно в пределах их порождают наибольшие, даже катастрофические последствия.

Примеры. Подобные деформации местности интенсивно проявляются в самих поселках, городах и их окрестностях - Анадыре, Чокурдахе, Воркуте и т.д.

3.I3. Оценивая количественные показатели геокриологической обстановки на месторождениях, приходится учитывать большее число природных факторов, нежели те, что выделяются физико-географической

аксиомой (3.4). Факторы, сочетанию которых соответствует местная геокриологическая обстановка, следующие: I) широтный, 2) высотный, 3) литолого-петрографический, 4) морфометрический и 5) гидрографический. Таким образом, количественные показатели геокриологической обстановки формируются в значительной степени под влиянием двух зональных и трех локальных факторов. При освоении резко меняются только последние.

Разным сочетаниям этих независимых факторов соответствуют различные последствия естественного и техногенного изменения местных геокриологических обстановок. Число теоретически мыслимых сочетаний их выражается многими тысячами. В действительности же их гораздо меньше, что объясняется склонностью природы к массовому повторению геокриологических видов, как и других явлений.

3.I4. Ведущее значение литолого-петрографического и морфологического факторов для формирования местных геокриологических обстановок, последствий их естественного и техногенного изменения общеизвестно. В этом убеждает опыт освоения двух совершенно разных месторождений - Норильского и Воркутского. Даже на сходных по всем другим физико-географическим признакам участках Воркутского и Юнь-Яганского месторождений одного района Большеземельской тундры значение этих двух факторов остается в силе. В районах Субарктики, отличающихся высокой льдистостью пород (север Западно-Сибирской, а также Анадырская низменности) и максимальной льдистостью (Яно-Индигирская и Алазейско-Колымская низменности), большое значение принадлежит еще третьему азональному фактору - гидрографическому. Разрушение берегов и подмыв склонов надпойменных террас, вызывают движение СТС по склонам в результате увеличения его толщины и разрывов и приводят к значительным последствиям техногенного изменения геокриологической обстановки, каких неизвестно в других регионах Крайнего Севера.

3.I5. Однообразные литолого-петрографические и морфологические условия определяют меньшую прерывистость мерзлой толщи одного участка.

Существование таликов как водообменных систем обусловлено:

а) водопроницаемостью массива пород и наличием непромерзающих за зиму водотоков и водоемов;

б) ориентацией и уклоном поверхности;

в) широтным и высотным положением данного участка суши.

При выявлении таликов надо знать водопроводимость пластов и учитывать, что:

а) чем больше скорости и расход фильтрации в талом слое, тем интенсивнее протаивание подстилающей его толщи мерзлых пород;

б) при сравнительно больших скоростях фильтрации (больше 100 м/с) конвективный перенос тепла преобладает над кондуктивной теплопроводностью, это наблюдается в крупнообломочных образованиях на крутых склонах и в русловом аллювии;

в) с уменьшением скорости фильтрации в грунтах суглинистого, супесчаного и глинистого составов конвективный теплообмен не учитывается.

3.16. Льдистость пород - важнейший параметр, который обусловливается определяющими факторами (3.4), создающими термовлажностный градиент в породах яруса с годовыми теплооборотами. В то же время формирование подземного льда неизбежно вносит существенные коррективы в значение самих литолого-петрографических и морфометрических факторов. При этом сразу меняются состав, строение и свойства слоев и толщ горных пород, а также слагаемые ими формы рельефа (пучения, полигональные). Термокарстовые западины, нередко озера часто могут свидетельствовать о большой льдистости ТМП соседних с ними участков.

Пока не обнаружены прямые внешние признаки оценки льдистости пород, тем более пластовых залежей подземного льда. Все они имеют вероятностный характер.

Наибольшее количество подземного льда находится в широко распространенных на севере торфяных и пылевато-глинистых образованиях, частицы скелета которых обеспечивают при достаточном увлажнении интенсивную миграцию влаги к фронту промерзания. В таких отложениях встречаются крупные залежи подземного льда различного генезиса.

Льдистость обломочных пород значительно меньше. Затем следуют полускальные литологические разновидности. Минимальной льдистостью характеризуются скальные породы. Толщи сильно льдистых пылевато-глинистых отложений свойственны чаще всего террасам, днищам долин и морским побережьям, а также подножьям пологих склонов возвышенностей. Большие возвышенности слагаются в основном менее льдистыми полускальными и скальными породами / 13; 15 /.

Льдистость ТМП на разведуемом участке определяется в результате комплекса исследований при обязательном применении горно-буровых работ хотя бы минимального объема.

3.17. Необходимо помнить, что самая большая величина льдистости ТМП характерна для основания СТС. С глубиной льдистость пород, как правило, убывает. Это вызывается, с одной стороны, особенно большим сезонным возрастанием температурного градиента именно в верхней части разреза ТМП, с другой - минимальным геостатическим давлением, оказываемым на мерзлые породы только СТС. По мере увеличения глубины давление растет за счет вышележащих слоев уже мерзлой толщи, что ограничивает льдовыделение в промерзающих породах.

При прочих равных условиях максимальнольдистыми оказываются породы возвышенных наиболее низкотемпературных участков местности. Возвышенные участки, сложенные пылеватыми суглинками, которые подстилаются к тому же водоносными слоями, нередко содержат пластовые залежи льда повторносегрегационного генезиса. В депрессиях между такими возвышенностями, на заболоченных и чаще заторфованных участках находится решетка повторно-жильных льдов.

3.18. Выяснение способов образования подземного льда необходимо для определения его количества, морфологии и распространения. Генезис ледяных залежей и включений весьма разнообразен (рис.6). По происхождению они подразделяются на типы и виды.

I. Л ь д ы к о н с т и т у ц и о н н о г о т и п а - льды, кристаллизующиеся из воды, которая находится в толще горных пород.

а. Лед-цемент образуется из воды, находящейся в порах породы и на контакте частиц ее скелета без нарушения характера их взаимного расположения. Заметно изменяются лишь свойства промерзающей породы, но не ее строение. Лед-цемент обычно визуально плохо различим.

б. Сегрегационный лед выделяется внутри или на поверхности промерзающей пылевато-глинистой породы или торфа в результате кристаллизационной дифференциации с подтягиванием воды к фронту промерзания и возникновением здесь ледяного шлира. Сегрегационные прослойки льда определяют криогенную текстуру породы, раздвигая и уплотняя отдельности вмещающей породы. Образование этого вида льда нередко сопровождается пучением пород. Существенное изменение

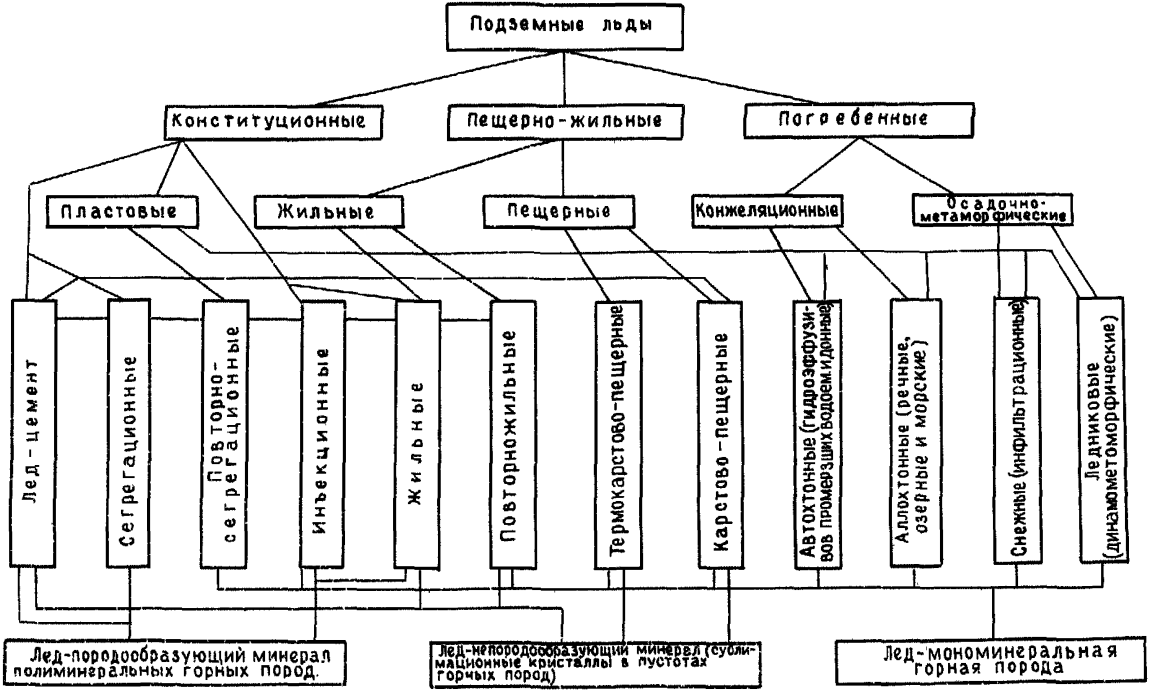


Рис.6. Морфогенетическая классификация подземных льдов

свойств породы, промерзающей таким образом, обусловлено значительным преобразованием ее состава и строения в результате появления в ней обособленных включений льда.

в. Повторносегрегационный лед выделяется так же, как и сегрегационный, но в одном месте, над водоносным горизонтом при интенсивном отводе тепла. Включение каждый раз части вмещающих пород приводит к формированию горизонтальнослоистых пластовых залежей льда. Формирование таких залежей вызывает чрезвычайно интенсивное пучение участка, в начальных стадиях до 0,5 м/год и более. Их современные формы приурочены к положительным элементам равнинного рельефа - буграм пучения, "булгунняхам". Образование таких залежей льда на севере Сибири (3.14) сопровождается значительной денудацией. Развитие их нередко приводит к вытеснению вмещающих пород. Состав, строение и свойства пород на целых участках при этом изменяются особенно значительно.

г. Инъекционный лед возникает в дисперсной (до промерзания) породе при напорном внедрении и последующем замерзании свободной воды или разжиженной породы в созданных ею самой полостях. Такие включения и залежи льда встречаются реже и отличаются меньшими размерами и влиянием, чем повторносегрегационный и тем более сегрегационный виды подземного льда.

2. Л ь д ы п е щ е р н о - ж и л ь н о г о т и п а - льды, формирующиеся при замерзании воды или конденсирующегося пара в готовых полостях.

д. Жильный лед заполняет готовые трещины, при этом заметно меняются свойства пород.

е. Повторножильный лед образуется в торфяно-пылевато-глинистых породах при заполнении морозных трещин, периодически возникающих на одном и том же месте. Эти жилы развиваются в виде объемной полигональной решетки ниже СТС и взаимосвязаны с полигональным рельефом. Формирование таких залежей льда обусловливает существенные изменения состава, строения и свойств уже мерзлых пород. На севере Сибири (3.14) подобные льды распространены на широких участках.

ж. Пещерный лед заполняет имевшиеся большие полости (пещеры, карстовы , термокарстовые, суффозионные и прочие), возникшие при выносе части вещества горных пород. Лед формируется при замерзании

воды или пара. Натечные и конденсационные виды льда в пещерах встречаются также и за пределами области с ТМП. Они не всегда целиком заполняют существовавшие полости и влияют на свойства вмещающих пород меньше, чем рассмотренные виды подземного льда.

3. Тип погребенных льдов - льды в толще пород сохраняются в результате погребения их наземных видов. По происхождению такие льды представляются кристаллизационными (конжеляционными), образующимися из воды, и метаморфическими, образующимися из снега. Льды такого генезиса развиты нешироко, крупные скопления их не встречаются, за исключением редких погребенных ледниковых массивов в горах. Последние обычно перекрываются вытаивающей из них мореной. Незначительное распространение таких льдов определяет и соответствующую практическую значимость.

А. Конжеляционные льды:

з. Наледи, промерзающие водоемы, донные льды (группа автохтонных льдов).

и. Льдины речные, озерные и морские (группа аллохтонных льдов).

Б. Метаморфические льды:

к. Снежниковые, преобразующийся в лед снежник при инфильтрации в него воды и последующей ее кристаллизации.

л. Ледниковый лед, динамометаморфический.

4. Выявление возможных естественных изменений исходной геокриологической обстановки месторождений

4.1. В инженерно-геокриологическом прогнозе при разведке месторождений полезных ископаемых необходимо учитывать естественные изменения геокриологической обстановки. Они не прекращаются с началом освоения, а лишь затушевываются им. Наибольшие последствия таких изменений наблюдаются в случае совпадения знака их с искусственно вызванными изменениями. Однако следует иметь в виду, что скорость и интенсивность проявления естественных изменений обычно значительно меньше, нежели техногенных или, иначе говоря, инженерно-геокриологических явлений.

Естественные изменения геокриологической обстановки подразделяются по площади проявления на общие (зональные) и региональные, а по времени - на периодические и эпизодические. Черты их

можно проследить по материалам многолетних метеорологических и геокриологических наблюдений, отражающим изменения температуры почвенно-грунтового комплекса, толщины СТС и СМС на протяжении того или иного ряда лет.

4.2. Инженерно-геокриологический прогноз должен включать предсказание о направлении и интенсивности развития естественных геокриологических процессов на отрезок времени, соизмеримый со сроком эксплуатации данного месторождения.

4.3. Возможные естественные изменения глубины многолетнего промерзания или протаивания, а также температуры горных пород в ЯГТО предсказываются на основе прогнозов изменения условий внешнего энергообмена земной коры. Анализ ведется с помощью величин R, $T_в$ и E (3.8), входящих в следующее уравнение:

$$T_п = T_в + \frac{R - L(E - U) - B + UC\Delta T}{\alpha},$$

где U – количество поверхностной воды, профильтровавшейся в теплый сезон через почву, породу, кг/м^2·с; C – объемная теплоемкость воды, Дж/м^3·^{0}С; ΔT – разность температуры воды и почвы, породы, ^{0}С. Остальные члены уравнения разъяснены выше (3.8).

Рекомендуется иметь в виду, что для Крайнего Севера характерны, как правило, малые величины радиационного баланса (R менее 26,5 Дж/м^2·с)при соответствующих зональных величинах расходной части солнечного тепла на испарение (0,5 R) и на турбулентный теплообмен (0,25 R). Незначительная доля оставшегося солнечного тепла идет в толщу горных пород. Отличие составляющих теплового баланса на различающихся ландшафтных участках обусловливает неоднородность геокриологических обстановок на месторождениях. При этом следует учитывать существующие энергообменные циклы в почве и подпочвенных толщах горных пород:

I) суточные; 2) годичные; 3) многолетние; 4) вековые; 5) историко-геологические.

Несмотря на одинаковые радиационные условия, геокриологическая обстановка различных областей Крайнего Севера характеризуется большим разнообразием (см.рис.I). Наибольшие показатели сплошности, мощности и льдистости ТМП, а также минимальная температура пород и толщина СТС свойственны геокриологическим областям (№ 5 и

6) срединной части Крайнего Севера Сибири (2.I). На запад и восток эти показатели убывают.

4.4. Прогнозируя инженерно-геокриологические явления, необходимо прежде всего учитывать двух-трехгодичные увеличения плотности теплопотоков в почву и горные породы. Эти довольно резкие потепления почвенно-грунтового комплекса связаны с положительными частями 5-6-летних теплообменных периодов, широко проявляющихся на Крайнем Севере. Они четко отображаются кривой изменения суммы средней месячной температуры ДС за теплые сезоны. В бесснежное время значения температуры ДС соответствуют температуре воздуха на рассматриваемых участках. В 5-6-летних энергообменных циклах средняя годовая температура воздуха повышается на 2-3^0 , по сравнению со средней многолетней. Отмечается именно повышение температуры над осью ее колебаний. Только с ним связаны наиболее вредные инженерно-геокриологические явления на Крайнем Севере. Примеры обработки материалов следующие.

Пример I. Температурный режим приземного слоя воздуха, по данным для Норильска, за 20 лет иллюстрирует такую закономерность (рис.7). На графике температуры воздуха четко прослеживаются ветви подъема, соответствующие I940-I943, I947 и I948, I952, I953, I956, и I957 гг.

Непрерывное увеличение суммы средних месячных температур воздуха и ДС за летние сезоны I940-I943 гг., совпавшее со значительным повышением средней годовой температуры в I942 и I943 гг., сопровождалось увеличением толщины СТС песчано-гравийной смеси на 0,70 м - с 2,I до 2,8 м.

Пример 2. В окрестностях г.Воркуты шестилетние циклы заметного изменения температуры и теплосодержания почвы в конце теплых сезонов соответствуют периодам изменения суммы средних месячных температур за теплый сезон и средней годовой температуры воздуха. Четыре таких цикла совершались с I937 по I958 гг. Следующий период хорошо проявляется по температуре почвы и воздуха (табл.I).

Средняя годовая температура глинистых пород на глубине 5,0 м повышается в двух-трехлетний полупериод потепления по сравнению со средней многолетней на 0,3-I,0^0 .

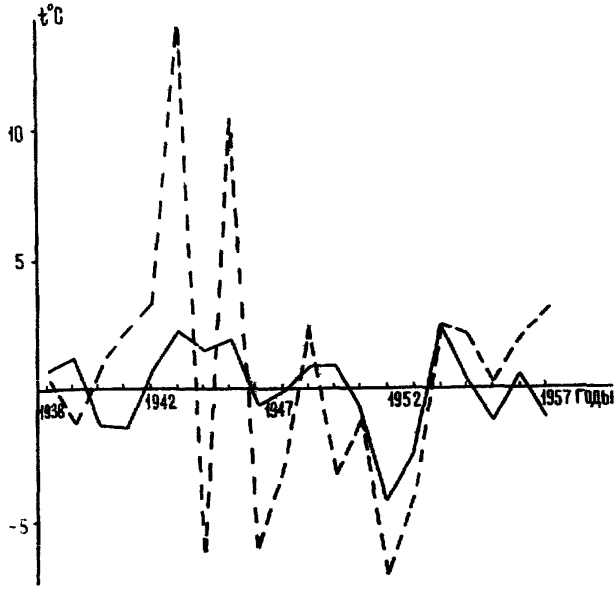


Рис.7. График средних годовых (сплошная линия) и сумма средних месячных температур воздуха (пунктир) за теплый сезон в Норильске за 20 лет (1938-1957)

Координата времени занимает положения, соответствующие оси колебаний той и другой характеристики (многолетним средним значениям их: -8,9°С и 36,3°С).

Таблица I

Изменение среднемесячной температуры почвы в конце теплого – начале холодного сезона (октябрь) на глубине 0,5 м за шестилетний обменный цикл (I960–I965 гг.) на естественной площадке (окрестности пос.Рудник, г. Воркута)

Годы	Суммы среднемесячных температур воздуха за теплые сезоны (VI–IX), °С	Сумма атмосферных осадков за теплые сезоны, м	Среднемесячные температуры в начале холодного сезона (IX) на глубине 0,5 м, °С	Среднегодовые температуры воздуха, °С	Годовые амплитуды среднемесячных температур воздуха, °С
I958	23,2	0,254	I,0	-8,I	38
I959	37,8	0,I80	4,3	-4,6	3I
I960	29,0	0,I52	3,9	-8,2	39
I96I	37,6	0,I38	4,8	-4,2	34
I962	38,4	0,279	7,6	-3,7	36
I963	33,8	0,3I0	6,0	-7,0	39
I964	33,8	0,257	4,8	-7,4	42
I965	32,3	0,286	4,4	-6,5	34

Пример 3. На востоке Крайнего Севера короткопериодные естественные колебания температуры поверхности почвы и воздуха и соответствующие им изменения толщины сезоннопротаивающего слоя выражаются весьма ярко. Повышение летней температуры почвы и воздуха в течение 2-3 лет вызывает увеличение глубины сезонного протаивания грунта на 30–45 см, что составляет 50–60% среднего многолетнего ее значения. При этом средняя годовая температура воздуха в некоторых пунктах понижается, а не повышается (табл.2).

Таблица 2

Температура воздуха и грунтов, глубина протаивания почвы в районе Северо-Восточной Субарктики на протяжении 4 лет

Годы	Среднегодовая температура воздуха, °С	Амплитуда среднемесячной температуры воздуха, °С	Сумма среднемесячных температур воздуха за теплый сезон (VI-IX), °С	Средняя температура грунта в сент. на глубине 0,8м, °С	Средняя глубина протаивания почвы в сентябре, м	Средняя годовая температура грунта на глубине 5 м, °С
I950	-5,9	30,6	27,I	-0,4	0,58	-6,7
I95I	-7,0	28,9	28,I	-0,2	0,68	6,5
I952	-7,5	38,I	28,9	+0,3	0,78	-
I953	-7,6	38,0	35,8	-	0,98	-
I954	-6,9	39,6	32,I	-	-	-5,7

Пример 4. Периодичность изменения глубины сезонного протаивания супесчано-песчаного почвенно-грунтового комплекса наблюдалась в окрестностях г.Якутска. На протяжении четырех лет (с I955 по I959 гг.) глубина непрерывно возрастала с I,85 до 2,40 м, а в последующие 5 лет непрерывно уменьшалась до I,50 м (табл.3). Такое изменение толщины СТС объясняется изменением радиационного баланса деятельного слоя и суммой атмосферных осадков в весенне-летний сезон, что указывает на большое значение инфильтрации поверхностной воды в переносе тепла к границе мерзлых песчаных образований. Так, сезонное протаивание в весенне-летний сезон I958 г., более холодный, чем такие же сезоны в предыдущие 2 года, увеличилось все же на 20 см, по сравнению с тем, которое отмечалось в I956 и I957 гг. Это связано с увеличением суммы атмосферных осадков с 96 до I95 мм. Сумма положительных среднесуточных температур не увеличилась, а уменьшилась на I60 единиц; понизилась и средняя годовая температура - с -I0,I в I957 г. до -II,5°С в I958 г. Значительный привнос тепла просочившейся в песчаную подпочву атмосферной влаги и привел к тому, что действительная глубина протаивания в весенне-летний сезон I958г.была на 25% больше расчетной.

Таблица 3

Изменение глубины протаивания супесчано-песчаного ПГК в связи с изменением температуры на глубине I м к началу протаивания, суммы положительных среднесуточных температур воздуха за теплый сезон и средней годовой температуры воздуха (по А.Л. Арэ, Р.Я. Демченко)

Годы	Среднегодовая температура воздуха, °С	Начало протаивания, дата	Температура на глубине I м к началу протаивания, °С	Сумма среднесуточных температур воздуха выше 0°С	Сумма летних осадков, м	Максимальная глубина протаивания, фактическая, м
I952	-I2,0	25,IУ	-8,0	I928	0,I75	2,90
I953	- 9,7	20.IУ	-9,0	I877	0,I80	2,I0
I954	-I0,5	6,У	-5,0	I89I	0,I49	2,25
I955	-I0,9	3.У	-4,5	I85I	0,I07	I,85
I956	-I0,9	8.У	-9,8	I860	0,I5I	I,90
I957	-I0,I	6,У	-7,5	I860	0,096	I,90
I958	-II,5	28.IУ	-7,8	I70I	0,I95	2,I0
I959	- 8,3	30.IУ	-5,0	I996	0,I97	2,40
I960	-II,4	I0.У	-6,I	I860	0,I64	2,00
I96I	- 9,8	I5.У	-4,8	I845	0,I38	I,88
I962	- 9,4	I0,У	-4,8	I840	0,I29	I,85
I963	- 8,6	I4.У	-6.7	I704	0,I3I	I,60
I964	-I0,9	I0,У	-5,2	I676	0,I25	I,50
I965	-II,5	I7.У	-4,4	I77I	0,I6I	I,85

4.5. Необходимость иметь представление о длительных природных колебаниях температуры почвенно-грунтового комплекса (ПГК), несмотря на их меньшие амплитуды, заключается в том, что такие периоды проявляются до больших глубин в ТМП. Значение продолжительных, особенно 23-25-летних энергообменных циклов в почвенно-грунтовом комплексе для инженерной геокриологии еще предстоит оценить. Существование их на Крайнем Севере установлено с несомненностью / I5 /. Амплитуда таких колебаний температуры воздуха достигает I^{o} .

Вековые колебания температуры воздуха, связанные, возможно, с изменением солнечной активности и, несомненно, с воздушной адвекцией, превышают амплитуду 2^{o}. Такие колебания температуры следует ожидать и в значительной части толщи горных пород. Особенно большие изменения геокриологических обстановок при этом будут происходить в западных и восточных регионах Крайнего Севера, где минимальная температура пород близка к величине этой амплитуды или даже выше ее.

4.6. Криогенные физико-геологические явления, выражающиеся в разрывах, сползании и течении СТС, будучи связаны с многолетними повышениями температуры почвенно-грунтового комплекса, нередко сами вызывают изменение температуры пород, распространения мерзлой толщи и других характеристик исходной геокриологической обстановки. Эти процессы четко подразделяются на 2 группы:

I) процессы с последующим повышением температуры и протаиванием льдистых толщ мерзлых пород (наиболее широко распространенная и интенсивно проявляющаяся группа процессов на Крайнем Севере);

2) процессы с последующим понижением температуры и формированием значительной льдистости промерзающих пород.

К первой группе относятся: термокарст, солифлюкция, термоэрозия и термоабразия.

Ко второй группе - криогенное пучение и растрескивание массивов горных пород.

Проявление каждой группы перечисленных процессов обусловлено общим направлением развития ТМП (4.I) и местными причинами: частичным или полным смещением СТС, а также изменением теплофизических свойств пород этого слоя на ограниченных участках местности.

4.7. Предсказание и учет вероятности естественного проявления термокарста на подлежащих освоению месторождениях совершенно необходимы. Этот процесс проявляется при увеличении протаивания избыточнольдистых глинистых, пылеватых песчаных и некоторых выветрелых полускальных пород. На горизонтальных площадках формируются западины. Большие термокарстовые западины называются аласами. Просадки сопровождаются интенсивным образованием воронок и оврагов, если протаивают избыточнольдистые породы, вмещающие крупные залежи льда. Такими считаются залежи, вертикальные размеры которых превышают толщину СТС. Следует принимать во внимание их расположение относительно основания СТС. Особенно легко нарушаются скопления льда, находящиеся непосредственно в основании сезоннопротаивающего слоя.

Между просадочными формами сохраняются узкие останцы мерзлых пород. Температура их понижается и через ряд годовых периодов становится ниже, чем она была до формирования западин.

Сведения о гранулометрическом составе, строении и особенно льдистости пород, протаивающих при естественных потеплениях, являются основанием для прогноза термокарстовых форм рельефа.

Просадочные формы криогенного микрорельефа - локальные снего- и водосборы. Они способствуют скоплению и длительной инфильтрации поверхностных вод, что наряду с большой высотой снегового покрова благоприятствует дальнейшему вытаиванию подземного льда и развитию просадок. При прогнозировании необходимо учитывать размер залежей подземного льда, вытаивание которых освобождает большое количество воды, движение которой в свою очередь способствует протаиванию вмещающих пород.

Боковые смещения потоков грунтовых вод местами приводят к вытаиванию подземного льда и протаиванию льдистых пород без просадок кровли. Последняя нередко остается мерзлой. Таким образом возникают термокарстовые полости и ниши, которые позже могут заполниться чаще всего льдом пещерного генезиса (вид льда X - см.3.18), реже - осадочными породами. Накопление этих осадков сопровождается промерзанием.

4.8. При инженерно-геокриологическом прогнозе должно быть предсказано вероятное усиление склоновых процессов, при наибольшем по сравнению со среднемноголетним протаивании пород - солифлюкции

(быстрой и медленной), оползней, осыпей, обвалов, термоэрозии. Усиление их уменьшает нормальную толщину или целиком ликвидирует СТС на склонах. При этом начинает протаивать ТМП. Интенсивность развития склоновых процессов в таком случае обусловливается льдистостью протаивающих пород и скоростью удаления их продуктов (талых сместившихся пород) с подножья склона (берега).

При прогнозе криогенных склоновых процессов учитываются прежде всего следующие факторы: состав (и льдистость) слагающих пород, крутизна откосов, их увлажнение, ширина и стабильность подножья.

4.9. В инженерно-геокриологическом прогнозе при разведке должны обязательно получить отражение термоэрозия и термоабразия. Оба процесса имеют много общего и обусловлены протаиванием льдистой мерзлой породы. Помимо механического воздействия, тепловое влияние водного потока существенно увеличивает скорость протаивания и размывания мерзлых пород, слагающих берег.

Интенсивность проявления термоэрозии и термоабразии определяется:

1) льдистостью породы, крутизной и высотой берега;

2) температурой воды, скоростью движения потока и волнового движения воды, размывающих берег.

Скорость роста оврагов в результате термоэрозии достигает десятков метров в год. Она особенно велика в районах с максимальной льдистостью суглинистых пород (2.1; 4.3). Особенно большая термоэрозия отмечается на берегах крупных рек на севере Сибири. Именно здесь максимальных значений достигает разница температур воды в потоке и мерзлой породе, слагающей берег. Льдистость пылеватоглинистых, фитогенных и супесчаных берегов на севере Сибири достигает наибольших величин, нередко в их составе находятся крупные залежи льда, занимающие свыше 70% объема породы. С удалением от основной реки в естественных условиях действие меньших потоков быстро перекрывается другими криогенными процессами.

Волновые процессы, как и термоэрозия, на подмываемых берегах обуславливают сначала образование ниш и карнизов, которые нередко приводят к обрушению блоков породы. Наиболее далеко проникающие в берег ниши, нависающие карнизы и обвалившиеся блоки мерзлых пород отмечаются на севере Сибири, где мерзлые породы отличаются низкой температурой и поэтому повышенной прочностью.

Проявление термоэрозии и термоабразии, как правило, сочетается с воздействием прочих криогенных процессов, связанных с вытаиванием подземного льда, - термокарстом и солифлюкцией (4.7; 4.8).

Прогнозирование последствий термоэрозии и термоабразии ведется путем выяснения льдистости пород, слагающих определенные формы рельефа. Развитие этих процессов свойственно преимущественно относительно низким элементам рельефа, сложенным льдистыми породами, где возможно формирование к тому же водных потоков и водоемов, способных обеспечить рассматриваемые процессы.

4.10. Прогноз криогенного пучения имеет существенное значение в особенности при выборе вариантов участков под наземный промышленный комплекс и жилой поселок. Такое пучение проявляется вследствие избыточного льдовыделения в промерзающей толще горных пород (виды льда пп. б, в, г, е - см.3.18). Оно происходит при промерзании водонасыщенных пылевато-глинистых пород и торфа. Бугры пучения ("булгунняхи") возникают лишь на ограниченных участках особенно интенсивного льдообразования в породах, подстилаемых водонасыщенными слоями. Ядра бугров пучения характеризуются значительной льдистостью. Нередко срединная часть их представлена залежами чистого льда, мощность которых соответствует высоте бугров. Высота наиболее крупных бугров на Яно-Индигиро-Колымской низменности превышает 40 м.

Скорость роста бугров достигает 0,5 м/год. При этом увеличивается их удельная поверхность теплообмена, что способствует понижению температуры слагающих пород и увеличению самих бугров. Довольно большие бугры пучения местами образуются при промерзании бывших подрусловых водоносных таликов, на оставшихся сегментах низкой поймы после меандрирования речного русла. Такие же бугры формируются, кроме того, в результате обмеления и последующего промерзания подозерных, а также подаласных таликов. Верхняя часть бугров пучения денудируется, после протаивания льдистого ядра на месте таких бугров остаются термокарстовые западины, озера.

Криогенные бугры пучения различаются:

- по льдистости ядра:
  1) с ядром чистого льда;
  2) с ядром из тонких разрозненных прослоек льда;

- по составу вмещающих лед пород:
  I) торфяные;
  2) минеральные;
  3) торфяно-минеральные;
- по сроку существования:
  I) сезонные;
  2) многолетние;
  3) вековые и более длительные, существующие до многих тысяч лет.

4.II. При выяснении возможной интенсивности криогенного пучения рекомендуется учитывать в первую очередь следующие факторы:

- состав и физико-механические свойства пород;
- характер увлажнения глинистых и пылеватых пород;
- интенсивность понижения температуры поверхности промерзающей толщи пород.

Породы в порядке убывания их склонности к криогенному пучению можно разделить следующим образом:

торф, суглинки, супеси, глины, пески мелкозернистые, щебень с глинистым заполнителем более 30%, щебень с глинистым заполнителем менее 30%.

Пылеватость придает указанным литологическим разновидностям особенно большую водоудерживающую способность и пучинистость в результате промерзания.

Влажность горных пород оказывает большое воздействие на их пучение при промерзании, с учетом ее перед промерзанием $W_{пр}$ предлагаются такие градации:

I) $W_{пр} \geq W_{кр}$ и ниже слоя сезонного промерзания существует капиллярная кайма морозоопасной зоны / 24 /, где $W_{кр}$ – критическая влажность, по М.И. Сумгину и Н.А. Цытовичу, $W_{кр} = 0,91 \times (W_п - W_н) + W_н$, при этом $W_п$ – полная влагоемкость пород, $W_н$ – количество незамерзшей воды при температуре замерзания пород / 22 /;

2) $W_{пп} < W_{пр} < W_{кр}$ и ниже слоя промерзания есть морозоопасная зона, где $W_{пп}$ – влажность порога пучинистости / 5 /, $W_{пп} = 0,5 (W_{кр} - W_н) + W_н = 0,455 W_{пп} + 0,545 W_н$;

3) $W_{пп} < W_{пр} < W_{кр}$, морозоопасная зона отсутствует;

4) $W_{пр} \leq W_{кр}$, морозоопасная зона отсутствует.

Учитывая температурный градиент в промерзающем слое, в порядке убывания интенсивности процессов пучения выделяют следующие градации:

I) q = IO-I5 град/м (градиент температуры q оптимальный);

2) q < IO град/м;

3) q > I5 град/м.

4.I2. Представление о криогенном растрескивании пород при разведке необходимо для выработки рекомендаций о способе освоения месторождений.

Криогенное в сочетании с термогенным растрескиванием наиболее интенсивно проявляется в пределах СТС на бровках крутых склонов и выступах, сложенных прочными коренными породами. От таких участков на склонах простирается шлейф обломочных продуктов выветривания. Размеры обломков по мере удаления от выходов обнаженных пород уменьшаются. Интенсивность криогенного растрескивания и смещения таких пород довольно велика. Растрескивание происходит и в песчаных массивах. Трещинообразование определяет возрастающую водопроницаемость массивов пород, что способствует повышению их температуры и увеличению толщины СТС.

Пылевато-глинистые, обычно льдистые породы, слагающие горизонтальные заболоченные участки, также подвергаются криогенному растрескиванию. Ширина трещин, как правило, не превышает I - 2 см. Часто на таких участках накапливаются повторно-жильные льды, растрескивание характерно в основном для этих залежей льда. На поверхности они выражаются в виде полигонального микрорельефа. Заполнение трещин водой, впоследствии замерзающей, вызывает накопление подземного льда, понижение температуры пород участка и, видимо, сокращение СТС.

III. УЧЕТ ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСВАИВАЕМЫХ УЧАСТКАХ МЕСТНОСТИ

5. Учет возможных форм и показателей интенсивности влияния производственной деятельности на элементы геокриологической обстановки

5.I. Для инженерно-геокриологического прогнозирования при разведке месторождений полезных ископаемых рекомендуется учитывать следующие основные пространственные формы воздействия производственной деятельности на исходную геокриологическую обстановку:

I) точечную (заглубленная часть фундамента здания, опоры моста, эстакады, забой скважины);

2) линейную:

а) вертикальную (буровая скважина, шахтный ствол);

б) горизонтальную (трубопровод, штольня);

3) площадную:

а) локальную (здание, терриkон, полоса дороги, взлетная полоса аэродрома, очистная выработка);

б) местную (поселок, шахтный комплекс, город, выработанное шахтное поле);

в) региональную (Воркутский р-н Большеземельской тундры, Норильский р-н Средне-Сибирского плоскогорья и т.п.).

5.2. Следует учитывать, что по мере усложнения пространственной формы и увеличения ее размеров усложняется вид и мера воздействия, однако интенсивность влияния результатов производственной деятельности на геокриологическую обстановку уменьшается. Первой и второй формам (5.I) соответствуют процессы прямого или непосредственного воздействия. Они сказываются немедленно, но в довольно ограниченных объемах вмещающих пород. Первым двум разновидностям (а и б) третьей формы соответствуют смешанные процессы прямого и косвенного воздействия, а третьей разновидности (в) - лишь процессы косвенного воздействия искусственно созданных факторов тепло- и водообмена толщи горных пород с приземным слоем воздуха. В этом же направлении возрастает сложность и, следовательно, уменьшается научная обоснованность прогнозов инженерно-геокриологических явлений.

Наибольших последствий при инженерно-геокриологических изменениях следует ожидать от локальной формы влияния, интенсивно проявляющейся в течение первых 3-5 лет воздействия, и местной площадной формы влияния (на значительный участок) - на протяжении 10-20 лет.

5.3. Производственные процессы и их результаты, воздействующие на естественные геокриологические системы, можно также характеризовать экстенсивными и интенсивными показателями. К экстенсивным относятся площади контактов относительно теплых или холодных искусственных объектов (стенок скважин, шахтных стволов, поверхностей очистных выработок и штолен, полов отапливаемых зданий, дорожных покрытий, подошвы породного отвала и др.) с почвенно-грунтовым комплексом и толщей породы. Температура же теплового контакта или теплоносителя (промывочного раствора, воздуха в подполье и горной выработке, поверхности трубопровода, дорожного покрытия, насыпи и др.) - интенсивный фактор.

Размеры площадок и участков (полос), с которых удалены дерново-растительный, особенно моховой, а также снежный покров и другие теплоизолирующие слои, следует отнести к числу экстенсивных факторов.

5.4. Последствия линейного и локального воздействия $\mathcal{J}$ производственных процессов и их результатов на геокриологическую систему определяются произведением трех следующих величин: фактора интенсивности - повышения или понижения температуры контакта e, фактора экстенсивности - площади теплового контакта f и времени релаксации возникшей напряженности τ. Под напряженностью здесь, как и обычно, понимается градиент потенциала, в данном случае температуры в почвенно-грунтовом комплексе. В начале появления "теплого" или "холодного" объема на поверхности градиент температуры вблизи нового контакта оказывается экстремально большим. Аналитически эта закономерность выражается следующим образом:

$$\mathcal{J} = e f \tau .$$

5.5. Местная площадная форма воздействия на геокриологическую обстановку складывается в значительной мере из линейных и локальных форм влияния. Таким образом, учитывается суммарное влияние большого числа объектов, расположенных на участках площадью от нескольких десятков гектаров до нескольких квадратных километров. Мера

концентрации - плотности (ω) объектов, созданных человеком, определяется числом их на единицу освоенной площади. В общем виде это выражается так:

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^{n} e_i f_i \tau_i}{F},$$

где F - площадь всей осваиваемой местности.

Плотность освоения (застройки) - фактор интенсивности, характеризующий меру прямого и косвенного воздействий. Установлено, что, кроме непосредственного воздействия, осваиваемый участок испытывает косвенное влияние элементов всего комплекса застройки и результатов производственной и коммунально-хозяйственной деятельности, в частности, изменения ветрового режима, высоты, плотности и загрязнения снежного и растительного покровов, а также загрязнения тропосферы на большом пространстве. Последствия всех видов воздействия в пределах большой освоенной площади (участка) с шахтами или рудниками и большим поселком или городом (например, Воркутой или Норильском) можно определить пока только эмпирически. Для этого были изучены техногенные изменения геокриологической обстановки на протяжении 40-летнего развития этих городов, вначале бывших поселками.

5.6. Сложность прогнозирования изучаемых явлений уменьшается по мере удаления от поверхности в глубь земной коры. В этом направлении сокращается влияние короткопериодных естественных энерго- и водообменных циклов на установление или нарушение гидротермического равновесия в системе результат производственной деятельности - слой или массив горных пород. Результаты воздействия производственной и коммунально-хозяйственной деятельности подразделяются на классы:

1) поверхностные;

2) приповерхностные (заглубленные части фундаментов, трубопроводы, кабели, приустьевые части шахтных стволов, штолен, скважин);

3) подземные (расположенные ниже яруса с годовыми теплооборотами).

Прямое воздействие результатов производственной и коммунально-хозяйственной деятельности усложняется их косвенным влиянием - уда-

лением и уплотнением почвенного и растительного покровов, вскрытием водоносных горизонтов и массивов, сдвижением горных пород над вырабатываемой частью шахтного поля и другими механическими или термофизическими явлениями.

5.7. Для определения количественных характеристик воздействия первой и второй форм результатов производственной деятельности (точечной и линейной), кроме теоретических основ, методики расчетов и исходных геокриологических данных (о естественном фоне), необходимы сведения о видах, размерах и гидротермическом режиме эксплуатации будущих сооружений. Такие сведения при разведке обычно отсутствуют, их можно получить лишь в процессе проектно-изыскательских работ.

Теоретические основы и методика расчетов, а также методика получения исходных данных содержатся в ряде пособий / I3; 22; 3; I6 /. В некоторых случаях ими можно пользоваться при детальной разведке месторождений.

5.8. При разведке месторождений Крайнего Севера необходимо в первую очередь собрать весь материал о действительных результатах гидротермического влияния основных способов производственной деятельности (открытой и подземной горной разработки месторождений, породных отвалов, участков со следами проездов тракторов и автомобилей и т.п.) и всего комплекса искусственных воздействий на мерзлые основания и вмещающие горные породы в данной и сходной с ней местностях. Такой материал используется в качестве первой эмпирической основы для прогноза возможных инженерно-геокриологических явлений. Рекомендуется дополнить его данными ориентировочных расчетов длительного гидротермического взаимодействия наиболее ответственных сооружений - точечных теплоисточников с наиболее льдистыми горными породами. Такие же расчеты необходимы для линейных сооружений (5.7).

5.9. Для прогноза последствий производственной деятельности в виде региональных изменений естественно сложившейся и изменяющейся геокриологической обстановки не имеется пока достаточных эмпирических данных и теоретических предпосылок. Эти изменения, видимо, пока малы и не поддаются обнаружению существующими приемами регистрации в сложной системе толща горных пород - почва - приземный слой воздуха.

6. Прогнозирование инженерно-геокриологических явлений, вызываемых производственной деятельностью

А. При любом освоении местности

6.I. Прогнозируя предстоящие изменения исходной геокриологической обстановки, следует руководствоваться тем, что воздействию производственной деятельности людей подвергаются больше всего следующие элементы ландшафта (3.4; 3.I3):

I) растительный покров;

2) снежный покров;

3) сыпучие рыхлые почвы и породы - песчаные и пылеватые;

4) сезоннопротаивающий и сезоннопромерзающий слой переувлажненных пылеватых почв и пород;

5) ярус земной коры с годовыми теплооборотами, отличающийся избыточной влажностью (льдистостью);

6) поверхностные водоемы и водотоки.

При освоении месторождений нарушаются одновременно все элементы ландшафта (не только перечисленные), но они неодинаковы в каждом регионе и даже на соседних участках. В связи с этим нарушение их вызывает неоднородные геокриологические последствия.

6.2. Учет изменения высоты и плотности снежного покрова на освоенных участках с аналогичными исходными условиями на участках разведуемых месторождений позволит рассчитать его возрастающую теплоизоляционную роль зимой, воспользовавшись эмпирической формулой

$$\Delta T_c = A_в \left(1 - \frac{1}{f}\right),$$

откуда

$$T_п = T_в + \Delta T_c ; \qquad A_п = A_в - \Delta T_c ,$$

где ΔT_c - приращение температуры, обусловленное теплоизолирующим влиянием снежного покрова, ^0C; $T_п$ - среднегодовая температура поверхности почвы, ^0C; $T_в$ - среднегодовая температура воздуха, ^0C; $\left(1-\frac{1}{f}\right)$ - величина характеристик снега, определяемая по табл.4; $A_в$ - годовая амплитуда колебаний температуры воздуха, по данным метеостанций, ^0C; $A_п$ - амплитуда колебаний температуры воздуха на поверхности почвы с учетом влияния снежного покрова, ^0C.

Таблица 4

Значение величины $(1 - \frac{1}{f})$ в зависимости от высоты h, плотности ρ_c и коэффициента температуропроводности снежного покрова a

Плотность снежного покрова ρ_c, кг/м³	Коэффициент температуропроводности a, Вт·м²/Дж	Высота снежного покрова h, м									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
75	$0{,}278 \cdot 10^{-6}$	0,094	0,181	0,259	0,329	0,398	0,451	0,508	0,551	0,597	0,632
110	$0{,}417 \cdot 10^{-6}$	0,081	0,155	0,224	0,288	0,345	0,400	0,447	0,491	0,532	0,572
150	$0{,}556 \cdot 10^{-6}$	0,071	0,136	0,197	0,258	0,306	0,350	0,400	0,442	0,482	0,518
190	$0{,}695 \cdot 10^{-6}$	0,064	0,128	0,178	0,230	0,279	0,324	0,367	0,407	0,445	0,480
225	$0{,}884 \cdot 10^{-6}$	0,058	0,113	0,164	0,218	0,259	0,302	0,343	0,381	0,416	0,450
250	$0{,}978 \cdot 10^{-6}$	0,054	0,105	0,153	0,198	0,242	0,282	0,321	0,357	0,392	0,425
300	$1{,}112 \cdot 10^{-6}$	0,051	0,098	0,148	0,186	0,227	0,303	0,338	0,371	0,371	0,403
340	$1{,}251 \cdot 10^{-6}$	0,048	0,093	0,136	0,178	0,210	0,254	0,289	0,328	0,356	0,386
380	$1{,}390 \cdot 10^{-6}$	0,045	0,088	0,130	0,169	0,206	0,242	0,277	0,309	0,341	0,371
415	$1{,}529 \cdot 10^{-6}$	0,048	0,081	0,124	0,161	0,197	0,282	0,265	0,297	0,327	0,356

Наряду с изменением высоты и плотности снежного покрова на освоенных участках, он значительно загрязняется, что меняет его альбедо и сроки схода. Эти техногенные явления также способствуют повышению температуры и протаиванию подстилающих пород. Перечисленные нарушения снежного покрова оказывают большое влияние на инженерно-геокриологические условия освоения месторождений Крайнего Севера.

На меньшей части осваиваемой территории отмечаются противоположные нарушения. На наветренных откосах карьеров и отвалов чрезвычайно низкий покров снега. Он скапливается только у их подножий, где ветер и снегоперенос заметно слабеет. На улицах городов и поселков, направление которых совпадает с направлением господствующих зимой ветров, снег не накапливается. Здесь его оказывается даже меньше, чем бывало до освоения местности. С наветренных сторон домов в пределах узкой полосы снега нет почти всю зиму. На таких участках верхние горизонты пород зимой отличаются низкой температурой и глубоким промерзанием.

Изменения снежного покрова учитываются путем снегомерной съемки на разведуемом месторождении и обработки материалов снегомерных и геокриологических наблюдений на соседних аналогичных, но осваиваемых месторождениях или их участках.

6.3. Необходимо учитывать неизбежное нарушение почвенно-растительного покрова разведуемого месторождения, что обычно и меняет характеристики снежного покрова, вызывает увеличение радиационного баланса и уменьшение высоты и уплотнение снежного покрова. Торфяно-моховой и травяной покровы снимаются, засыпаются и разрушаются на широких участках гусеничным и колесным транспортом. Все это нарушает прежние условия тепло- и водообмена. Воздушные полости, поддержанные растительным покровом под снегом при этом исчезают, меняется значение турбулентного теплообмена. Быстрее стекают поверхностные воды, уменьшается испарение и транспирация влаги. Указанные техногенные изменения приводят сначала к изменению толщины СТС, а затем к изменению температуры и распространения ТМП.

Разрушение и удаление растительного покрова (кроме мохового), как правило, ведет к понижению температуры подстилающих пород. Отепляющее влияние растительного покрова рассчитывается по соотношению

$$\frac{1}{19}\ell n\frac{A_{pc}}{A_{oc}}=\ell n\frac{A_{п}}{A_{o}},$$

где A_{pc} – амплитуда колебаний температуры под растительным покровом за сутки, °С; A_{oc} – то же на поверхности растительного покрова, °С; A_{o} – амплитуда колебаний температуры на поверхности растительного покрова за год, °С.

A_{pc} и A_{oc} получаются путем прямых измерений максимальными и минимальными термометрами на выбранных площадках разведуемого месторождения; в $A_{п}$ учитывается теплоизолирующее влияние снега (6.2):

$$A_{п}=A_{в}-\Delta T_{c}.$$

Изменения геокриологической обстановки на участках нарушения почвенно-растительного покрова необходимо также проследить непосредственными наблюдениями при съемке на месторождениях.

6.4. При разведке месторождения нужно предусмотреть изменения, которые произойдут в результате снятия верхнего слоя пород (почвы, СТС). На территории Крайнего Севера весьма широко распространены покровные суглинки – эловий, делювий, пойменная фация. Эти связные породы обычно подстилаются более грубозернистыми (аллювий террас) или трещиноватыми породами (вершины и склоны водораздельных возвышенностей). Удаление верхнего относительно водоупорного слоя обнажает нижезалегающие более водопроницаемые породы. На таких участках увеличивается инфильтрация атмосферных осадков, что сопровождается повышением температуры и протаиванием ТМП.

Ориентировочное повышение температуры и протаивание мерзлых пород в случае снятия верхнего суглинистого слоя можно рассчитать по данным о коэффициенте фильтрации и мощности ЯГТО, полученным при съемочных работах

$$\Delta T=\chi\sqrt{\Delta(км)},$$

где ΔT – разница температуры пород, °С; $\Delta(км)$ – разница водопроводимости (произведение коэффициента фильтрации на мощность яруса с годовыми теплооборотами), $м^2$/сут; χ – коэффициент пропорциональности $=\frac{T}{h}\sqrt{\tau}$.

Смысл коэффициента χ выясняется из предположения, что T – температура почвы (на глубине 3–5 см) в данный момент теплого сезона,

h – глубина до горизонта с минимальной температурой, τ – продолжительность теплого сезона в сутках от начала его до момента измерения температуры. Равенство прочих условий теплообмена литосферы с почвой и атмосферой, хотя бы самое приблизительное, обязательно.

При этом необходимо учитывать, что проходка горных выработок с применением взрывов сопровождается увеличением трещиноватости окружающих пород в 2-4 раза.

6.5. При инженерно-геокриологическом изучении месторождений полезных ископаемых требуется учитывать будущее уплотнение почв и пород СТС на участках намечаемых комплексов наземной застройки. В результате освоения таким образом нарушаются теплофизические и фильтрационные свойства самого верхнего слоя пород. Уплотнение наиболее распространенных суглинков способствует повышению температуры и протаиванию глубже залегающей ТМП. При значительной льдистости мерзлой толщи, тем более наличии здесь залежей подземного льда, это вызывает термокарстовые процессы, термоэрозию и солифлюкцию.

На участках с нарушенной плотностью почв и пород необходимо отобрать образцы для определения гранулометрического состава и влажности. По этим данным определяется температуропроводность СТС. Эти значения сравниваются с результатами, полученными на участках с ненарушенным СТС. Выяснив теплофизические характеристики уплотненных пород, температурные изменения их можно примерно оценить по номограмме (рис.8).

6.6 При разведке месторождений полезных ископаемых необходимо предусмотреть явления, связанные с отводом с их территории поверхностных водотоков и засыпкой озер. Такие мероприятия обусловливают обычно понижение температуры и промерзание таликов, находившихся под ними. Однако талики могут и сохраняться благодаря продолжающемуся питанию подруслового и подозерного потока и грунтовыми водами с окрестных возвышенностей.

Размеры таликов выясняются термометрическими и электрометрическими наблюдениями. По поперечному профилю талика необходимо пробурить ряд мелких термометрических скважин. Расход грунтовых вод определяется опытными откачками в скважинах.

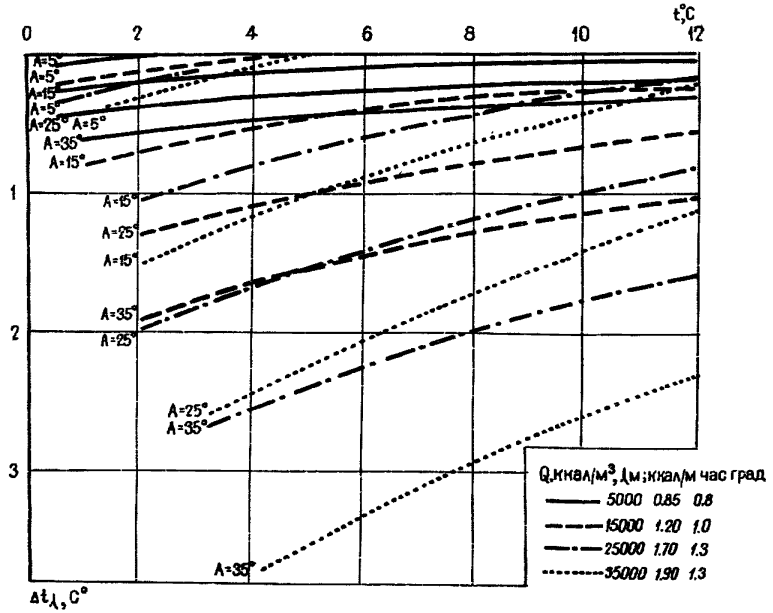


Рис.8. Номограмма для определения величины температурной сдвижки в слое сезонного протаивания (промерзания) пород

Температурное влияние мелких водоемов x) на донные отложения (для оценки воздействия намечаемых водохранилищ) вычисляется по формуле

$$T_п = k \frac{\frac{\ell - h}{\ell}\left(T_{min} + T_{max}\right)}{2},$$

где ℓ – глубина промерзания открытого водоема, м; h – глубина, на которой определяется среднегодовая температура, м; T_{min} – минимальная среднемесячная температура на ледяном покрове, °С; T_{max} – максимальная среднемесячная температура на поверхности водоема, °С; k – коэффициент перехода.

x) Глубина преобладающего количества озер на Крайнем Севере не более 3 м.

Б. При открытых горных работах

6.7. Рекомендация эксплуатации разведуемого месторождения полезных ископаемых открытым способом принимается с учетом предстоящих неизбежных и возможных изменений исходной геокриологической обстановки, которые произойдут в результате развития карьера. Современные карьеры на Крайнем Севере имеют значительные размеры. Они достигают нескольких километров в плане и сотен метров по глубине. Скорость углубления карьера в среднем составляет 15-20 м/год. Горными работами удаляются прежде всего наиболее льдистые породы с наиболее низкой среднегодовой температурой, а также сезонноотаивающие породы (рис.9).

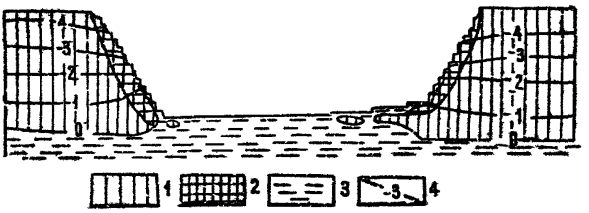


Рис.9. Инженерно-геокриологический профиль карьера, отрабатываемого в районе Крайнего Севера

I - первичномерзлая толща пород (ненарушенная); 2 - вторичномерзлая толща пород (оттаивавшая и при дальнейшей разработке карьера вновь промерзшая); 3 - талые породы; 4 - геоизотермы, °С

Прогноз изменения исходной инженерно-геокриологической обстановки при разведке должен строиться исходя из того, что при открытой разработке полезных ископаемых на месторождении особенно значительно нарушаются геологические факторы и рельеф. В связи с этим в карьерах существенно преобразуются тепловой баланс ДС и климатические условия. Все эти нарушения определяют соответствующее распространение инженерно-геокриологических процессов.

6.8. Изменения исходных параметров геокриологической обстановки в результате предстоящего строительства карьера необходимо прогнозировать на основе сопоставления их с параметрами геокриологической обстановки в естественных отрицательных формах рельефа - до-

линах, западинах и т.п. Необходимо учитывать различие главных факторов тепло- и водообмена, форму, размеры и положение будущих карьеров в естественном рельефе местности, а также геологический разрез карьерного поля и прочие условия. Те же показатели следует учитывать в первую очередь и в отношении естественных депрессий.

Пример I. Рудный карьер "Угольный ручей" на месторождении Норильск-I разрабатывался почти 30 лет в трещиноватых водопроницаемых габбро-диабазах, порфиритах и диоритах триасового возраста. В результате разработки трещиноватость пород в карьере увеличилась в 2-4 раза по сравнению с ненарушенными массивами. Карьер располагался на краю плато и имел форму чаши шириной 0,8 км, глубиной 0,2 км. В теплую часть года с днища карьера откачивалось воды от 5,6 до 6,7 млн.м^3. Поток воды в карьер заметно превышал сток воды с этой площади, который наблюдался до сооружения карьера. Разница обусловлена метелевым переносом снега в карьер. Ветровое затишье и увеличенные снежные заносы на низких уступах, наряду с возрастающим стоком воды и инфильтрацией ее, обусловили глубокое протаивание ТМП в днище карьера. В карьере проявились общие закономерности формирования геокриологической обстановки, свойственные естественным депрессиям в рельефе на Крайнем Севере.

Талик в карьере со временем рос. Благодаря ему ТМП была пройдена горными работами на 3 года раньше, нежели ожидалось на основании расчетов, базировавшихся на неизменности исходной ТМП.

Пример 2. Рудный карьер "Медвежий ручей" на том же месторождении имеет форму большой сквозной траншеи, разрезавшей гору Рудную с севера на юг. Размеры карьера в плане измеряются километрами, глубина - сотнями метров. Своеобразная форма и положение карьера в рельефе определили меньшую снегозаносимость и более сильные ветры в нем, чем в карьере "Угольный ручей". Значительные размеры карьера обусловили весьма неравномерную трещиноватость пород. Все это привело к образованию в днище карьера "Медвежий ручей" лишь разрозненных таликов, приуроченных к наиболее трещиноватым титано-авгитовым базальтам.

6.9. При прогнозировании изменения исходных геокриологических условий в карьере необходимо учитывать различие трещиноватости пород в зависимости от их состава. Скальные рудосодержащие габбро-диабазы месторождения Норильск-I в бортах карьера характеризуются

интенсивной трещиноватостью, до 30 трещин на метр. Трещины таких пород образуют сквозную систему на глубину до 10 м, что определяет их большую водопроводимость и значительные изменения в карьерах (табл.5).

Таблица 5

Изменение исходной геокриологической обстановки в глубоких карьерах в зависимости от состава пород

Элементы карьера	Температура, ^{0}C	
	Скальные рудовмещающие породы	Полускальные углевмещающие породы
Верхние уступы в бортах (выше 50 м над днищем)	-1	-0,5
Нижние уступы в бортах (ниже 50 м над днищем)	+1	+0,5
Днище	Повышение температуры, протаивание до 15 м	Понижение температуры на $0,5^{0}$, промерзание

Трещиноватость мерзлых полускальных углевмещающих пород при протаивании в карьерах проявляется по-разному, в зависимости от литологических особенностей. При протаивании песчаники и алевролиты с открытой трещиноватостью оказываются хорошо водопроводимыми. Трещины аргиллитов при протаивании и увлажнении замыкаются. Аргиллиты остаются водоупорными, существенно сокращая водопроницаемость угленосной свиты в целом. Повышение температуры и само протаивание пород в днищах угольных карьеров поэтому значительно меньше, нежели в рудных карьерах.

6.10. Прогноз температурного режима пород уступов и днища при отработке карьера необходимо рассчитывать как теплофизическую задачу на гидроинтеграторе или на счетных машинах.

Пример I. Температурный режим пород участка месторождения Норильск-I, при отработке его карьером "Медвежий ручей", определялся решением задачи на гидроинтеграторе Лукьянова (ИГЛ-I).

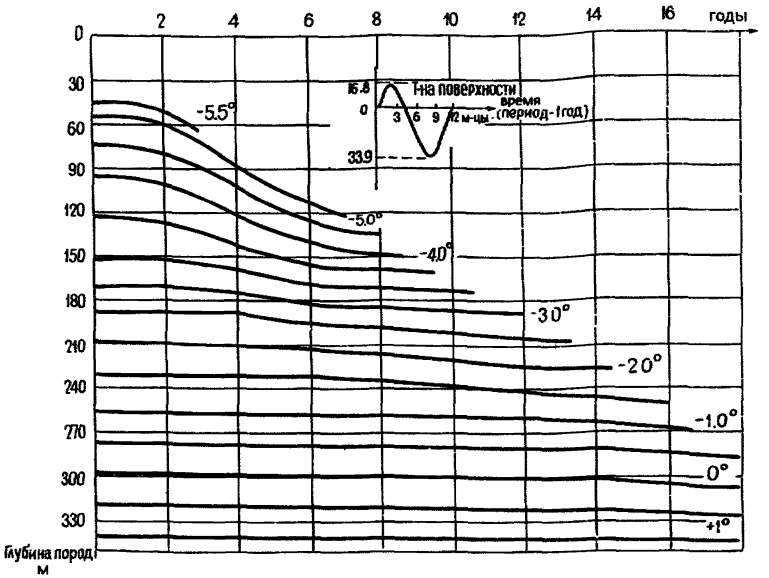


Рис.10. График изменения температуры ТМП в ^{o}C при отработке карьера без учета влияния снежного покрова

В постановке задачи учитывались:

1) геологический разрез в плоскости, перпендикулярной протяженности карьера, и теплофизические свойства пород;

2) начальное распределение температуры в мерзлой толще, соответствующее $grad\ 2{,}1^{o}$ на 100 метров;

3) температура пород на поверхности в течение года;

4) температура в подошве ЯГТО, мощность мерзлой толщи равна 350 метрам;

5) время эксплуатации месторождения открытым способом, соответствующее 18 годам.

Требовалось определить распределение температуры пород за время эксплуатации месторождения открытым способом. Скорость проходки карьера в среднем составляет 15 метров в год. Состав пород: габбро, габбро-долериты, лабрадоровые порфириты. Задача одномерная и сводится к нахождению функции $\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau}$, удовлетворяющей дифференциальному уравнению теплопроводности Фурье

$$\frac{\partial T(x,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma} \left[\frac{\partial^2 T(x,\tau)}{\partial x^2} \right],$$

начальному условию: $T(x, 0) = grad\ 2,1^0/100$ м

и граничным условиям первого рода: $T(0,\tau) = T_{пов}$; $T(\infty,\tau) = T_{пор}$,

где $T_{пов}$ – температура деятельного слоя в ^0C; $T_{пор}$ – температура пород в любой точке массива в любой момент времени, ^0C; τ – время в годах; λ – коэффициент теплопроводности пород, равен 2,2 Вт/м·^0C; c – удельная теплоемкость пород, равна 0,84 Дж/кг·^0C; γ – объемная плотность, равна 2960 Кг/м^3; x – координата в направлении теплового потока.

В первом варианте решения задачи не учитывалось влияния снегового покрова на температурный режим пород, т.е. в расчет принималась температура деятельного слоя со снятым снеговым покровом (рис.10).

Во втором варианте решения этой задачи влияние снегового покрова на температурный режим пород учитывалось (рис.11).

Судя по графикам на седьмой и восьмой годы отработки месторождения открытым способом, низкотемпературные породы (породы с температурой минус 3-5^0C) в карьере снимаются уже при отработке первой сотни метров. Остаются мерзлые породы с температурой 0 – минус 2^0C. Понижения температуры пород в днище карьера в течение ряда лет не наблюдается.

Пример 2. Характерной особенностью месторождения Норильск-I является образование таликов в днище карьера. Руды, приуроченные к интрузивной толще габбро-диабазов, залегающих на лабрадоровых порфиритах и титан-авгитовых базальтах, отрабатываются а поверхность титан-авгитовых базальтов обнажается. Базальты сильно трещиноваты (в среднем 30 трещин на пог.м). Трещины зияющие, либо заполнены льдом. Ширина их нередко более 2 мм и протяженность не ме-

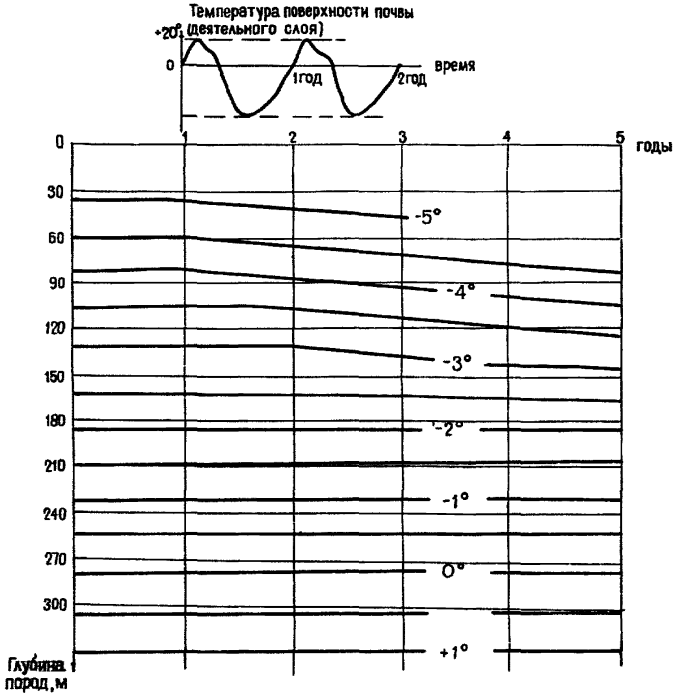


Рис.II. График изменения температуры ТМП в ^{0}C при отработке карьера с учетом влияния снежного покрова

нее I м. Воды атмосферных осадков с площади карьера устремляются в его днище, инфильтруясь через эту толщу, питают водоносный горизонт нижезалегающих песчаников тунгусской серии.

Таким образом, трещиноватые породы титан-авгитовых базальтов (верхняя толща) и песчаников тунгусской серии (нижняя толща) не промерзают вследствие интенсивной инфильтрации. Если бы эти породы представляли собой сплошной монолит с ничтожной влажностью, как показывают результаты решенной на интеграторе Лукьянова задачи (рис.I2), промерзание их за I0 лет при среднегодовой температуре приземного слоя воздуха -II,5^{0}C произошло бы на глубину 90 м.

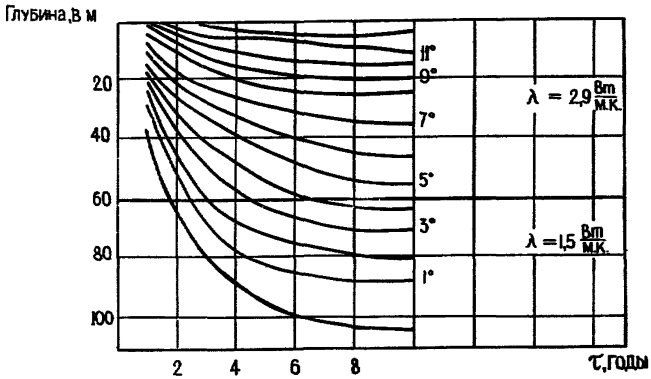


Рис.I2. Температурный режим пород при промерзании двухслойной толщи нетрещиноватых титан-авгитовых базальтов и песчаников тунгусской серии с теплопроводностью верхнего слоя 2,2 Вт/м·°С и нижнего I,4 Вт/м·°С

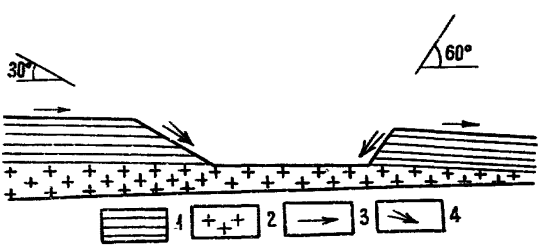


Рис.I3. Различие крутизны устойчивых откосов карьеров в льдистых породах в зависимости от рельефа (направления стока воды с прилегающих участков поля)

I - льдистые четвертичные породы; 2 - плотные дочетвертичные малольдистые породы; 3 - направление стока поверхностных вод на прилегающих к откосам участках; 4 - направление стока вод по откосам

6.II. Следует учитывать, что нагорные борта карьеров в льдистых четвертичных породах быстрее и больше выполаживаются, до 20 - 30°, по сравнению с противоположными бортами, которые сохраняют достаточную устойчивость при 50-60°. Эта особенность обусловлена большим стоком вод СТС по нагорным бортам, принимающим значительную часть стока с нагорной части окружающей местности. Водоотводные канавы работают лишь частично, так как существенная доля стока идет в основание СТС. Больший сток по нагорным бортам карьеров способствует большому теплопоступлению в слагающие их породы и ускоряет протаивание таких бортов (рис.I3.).

Учитывая величины углов заложения устойчивых откосов в аналогичных карьерах и дорожных выработках (см.рис.I3), при разведке можно рассчитать границы бровки бортов карьера, устраиваемого в льдистых отложениях. Определение максимальных углов погашения нерабочих откосов необходимо для сокращения вредных последствий их непроизвольного выполаживания при минимальном объеме планировочных работ.

Расчет положения бровки устойчивых откосов бортов намечаемого карьера на участках разведуемого месторождения, сложенных льдистыми породами, производится по следующей эмпирической формуле:

$$X = \frac{H}{1+\sqrt{1-i}} \left(ctg\alpha_2 - ctg\alpha_1\right),$$

где X - расстояние отступания бровки борта карьера при формировании устойчивого откоса после придания начального (задаваемого) угла заложения, м; α_1 - задаваемый угол откоса уступа, который не имеет СТС, град; α_2 - устойчивый угол откоса с нормальным профилем СТС по наблюдениям за склонами и старыми откосами в сходных условиях рельефа и льдистости пород, град; H - высота откоса, м; i - льдистость породы, доли единицы.

Устойчивый угол откоса с нормальным профилем СТС определяется для каждого участка карьерного поля, сложенного льдистыми породами, в зависимости от положения участка в рельефе разведуемого месторождения.

Льдистыми принимаются породы, объемное содержание льда которых превышает 30%.

Старыми считаются откосы, которые стоят не менее трех лет.

Задаваемый угол откоса должен превышать устойчивый примерно на 5^0. Такое превышение необходимо для обеспечения резерва, из которого будет формироваться СТС нормального профиля, без большого смещения оттаивающих пород на площадку нижнего уступа.

6.I2. В прогнозах для месторождений с льдистой вскрышей, которые целесообразно отрабатывать открытым способом, рекомендуется учитывать неизбежное и возможное развитие склоновых процессов сезоннопротаивающих пород на бортах карьера (4.8). По мере непроизвольного выполаживания угла заложения борта карьера, отрабатываемого в льдистых породах, сочетание процессов закономерно меняется (табл.6). Интенсивность формирования их можно оценить, учитывая не только состав (и льдистость) слагающих пород, крутизну откосов, их увлажнение, но и время существования откосов. Каждая из трех стадий развития относительно устойчивых откосов длится примерно один целый теплый сезон года. На последней стадии, т.е. через 3 года на откосах льдистых уступов формируется нормальный разрез СТС, отличающийся незначительной льдистостью по сравнению с породами подстилающей мерзлой толщи.

6.I3. Составляя инженерно-геокриологический прогноз в отношении устойчивости откосов и бортов будущих карьеров в полускальных мерзлых породах, рекомендуется принимать во внимание значительную интенсивность их выветривания. При естественном выполаживании откосов таким образом идет иногда полная сработка берм. В данных условиях большое значение имеет сезонное промерзание и протаивание пород. Проявление этих процессов следует учитывать прежде всего в связи с составом и строением пород карьерного поля, а также с ожидаемой увлажняемостью откосов.

Пример I. Породами, вмещающими кимберлитовые трубки "Мир" и "Айхал", являются мергели и сильнотрещиноватые известняки с прослоями глины. Интенсивное криогенное выветривание их ведет к быстрому непроизвольному выполаживанию увлажняемых откосов. За год угол заложения их уменьшается с 80^0 до $30-40^0$. Бермы в таких местах срабатываются целиком. При этом на откосах интенсивно формируются осыпи. По мере выполаживания откосов обломки на них становятся все более мелкими: от глыб до щебня.

Таблица 6

Стадии формирования устойчивости откосов, сложенных льдистыми связными и рыхлыми при протаивании породами

Стадия развития	Крутизна откоса, град	Основные криогенные процессы	Преобладающий состав оттаивающих пород	Доминирующий вид отоса	Относительная устойчивость откоса	Инженерно-геокриологические мероприятия
I	>60	Интенсивное протаивание обнаженной льдистой толщи мерзлых пород	Пылевато-глинистые Обломочные Разные	а) Быстрое течение б) Осыпи в) Обвалы г) Оползни	Подвижный	Искусственное выполаживание до крутизны не менее 65°, чтобы оттаивающие породы удерживались некоторое время
2	<60	Замедленное протаивание толщи мерзлых пород, перекрытой частично образовавшимся малольдистым слоем сезонного оттаивания	Пылевато-глинистые Разные	а) Оползни б) Замедленное течение в) Термоэрозия г) Смыв	Неустойчивый	Сохранение слоя сезоннопротаивающих пород (тепло- и гидроизоляция толщи мерзлых пород)
3	30-50	Оттаивание в основном ограничивается малольдистым сезонноттаивающим слоем	Пылевато-глинистые Разные	а) Смыв б) Оползни в) Эрозия	Устойчивый	Отведение стока канавами, снегоограждение для предотвращения глубокого протаивания на откосах

Пример 2. Аркозовые песчаники Кайеркanского угольного месторождения, подвергаясь процессам криогенного выветривания на откосах карьера, в течение трех лет изменили параметры трещиноватости следующим образом:

I) модуль трещиноватости (количество трещин на I пог.м) в системе горизонтальных трещин увеличился с 8 до 38, в системе вертикальных трещин - с 4 до 6;

2) средний размер элементарного блока породы уменьшился с 35xI05 см до 7x55 см;

3) коэффициент трещинной пустотности, по Л.Нейштадт, увеличился с 0,5% до 5,5%, то есть породы первоначально слаботрещиноватые за три года превратились в сильнотрещиноватые.

Пример 3. Аркозовые песчаники Кайеркanского угольного месторождения содержат тонкие (I-2 мм) прослои аргиллитоподобных глин. Наблюдения за выветриванием этих песчаников в откосах карьера показали, что подавляющее большинство образовавшихся трещин выветривания проходит по этим, подготовленным самой природой, глинистым плоскостям ослабления. Иными словами, прослои аргиллитоподобных глин, как наиболее подверженные выветриванию разновидности пород, становятся поверхностями раздела блоков массива песчаников. Образовавшиеся при этом породные пластины толщиной до 2-3 см рассекаются вертикальными трещинками.

6.I4. Рекомендуется учитывать предстоящее понижение исходной температуры пород на площадках будущих отвалов карьеров, терриконников (шахт и подземных рудников), а также дорожных насыпей. Минимальная температура их, обычно свойственная апикальной части стоянки, близка к зональным величинам геотемпературного поля ненарушенных сходных водораздельных возвышенностей (3.I; 3.2). К подножью возвышенностей температура пород повышается. Температура намечаемых отвалов примерно определяется измерением температуры пород в скважинах на подобных участках. Кроме того, прогноз следует подкрепить расчетами, принимая во внимание неоднородность снегоотложений на различных откосах насыпных возвышенностей (6.2), фильтрационные особенности их материала (6.4) и пр.

В. На участках подземных горных работ

6.I5. Для обоснования вывода при разведке о разработке месторождений подземным способом в первую очередь нужно учитывать зако-

номерности изменения исходной инженерно-геокриологической обстановки в результате нарушения естественных условий теплообмена системой подземных горных выработок. При проходке последних за пределы ТМП изменение инженерно-геокриологической обстановки вызывается в значительной мере нарушением гидрогеологического режима вследствие шахтно-рудничного отлива подземных вод. Откачка приводит к осушению горных пород, увеличению размеров инфильтрующих таликов и дополнительному промерзанию интенсивно охлаждающихся горных массивов возвышенностей. Влияние нарушения режима подземных вод вследствие отливов проявляется не только на площади или объеме горных массивов с изменяющимися гидрогеологическими параметрами, но и на величинах водопритоков в выработки, пройденные в ТМП.

Пример I. При проходке шахтных стволов на Воркутском и Воргашорском месторождениях мерзлые четвертичные отложения протаивали. В отвалы при этом прорывались воды, притоки которых достигали 30 $м^3/ч$, а просадки протаявших вокруг стволов льдистых массивов достигали значительных величин.

Мерзлые четвертичные породы представлены валунными пылеватыми суглинками с прослоями песка и гальки. ТМП на месторождении распространена на 70-80% площади. Мощность ее достигает 130 м, минимальная температура $-2^{0}C$. Вода поступала главным образом по протаивающим песчано-галечным слоям со стороны естественных таликов.

Пример 2. Месторождение Норильск-I с конца 30-х годов разрабатывалось несколькими мелкими подземными рудниками. Поскольку мощность толщи мерзлых пород на месторождении равнялась 250 м, то подземные выработки тех рудников оказывались целиком в ней. Наблюдениями установлено, что в горизонтальные эксплуатационные выработки на участках трещиноватых габбро-диабазов и титан-авгитовых базальтов со временем затекает вода (табл.7). Трещиноватость таких участков была не менее 30 трещин на I пог.м. Раскрытость трещин местами превышала 0,2 см, а протяженность I м.

6.16. Принимая во внимание влияние вентиляции подогретым воздухом в будущей системе подземных выработок, нужно ожидать повышения температуры горных пород разведуемого месторождения полезных ископаемых. Это влияние будет складываться из результатов температурного воздействия отдельных выработок. Расчет оттаивания пород

Таблица 7

Поступление воды в эксплуатируемые горные выработки, проходившиеся в ТМП

Рудники	Глубина выработки, м	Приток, $м^3/ч$	Характер притока
3/6	35	24	Инфильтрация
2/4	50	27	Инфильтрация
5/3	57	40	Прорыв

вокруг отдельной подземной выработки, проветривание которой производится десятки лет, осуществляется по формулам / I2, 3 /. Эти расчеты учитывают фазовые переходы в трещиноватых породах при их влажности не менее 20%, что характерно только для верхних горизонтов ТМП.

Изменения положения нулевой изотермы вокруг горной выработки в трещиноватой скальной ТМП с трещинами, заполненными льдом, можно представить кривой на графике (рис.I4).



Рис.I4. График зависимости положения нулевой изотермы от времени
I – положение изотермы с отдельным учетом ледяных включений (метод конечных разностей, расчет на ЭВМ), 2 – положение нулевой изотермы по формуле Стефана

$$T(0,\tau) = 10^{\circ}C, \quad T(x,0) = -2^{\circ}C,$$
$$\lambda_{эф} = 2{,}2\ Вт/м\cdot град, \quad a_{эф} = 0{,}00318\ м^2/ч,$$
$$\xi(\tau) = 0{,}0835\sqrt{\tau}$$

Для определения термического режима мерзлых скальных трещиноватых пород необходимо различать следующие расчетные схемы: I)равномерное распределение влажности по объему отдельностей (задача Стефана), 2) распределение ледяных прослоев толщиной 4 см с расстоянием между ними I,5 м и 3) распространение тепла в твердых телах без учета влажности.

6.I7. В прогнозе освоения месторождений полезных ископаемых подземным способом с зимним подогревом вентиляционного воздуха требуется учитывать протаивание пород под воздействием системы вентилируемых горных выработок, то есть необходимо изучать температурный режим пород в глубоких скважинах из подземных выработок. Используется метод аналогии.

Пример. В подземном руднике "Заполярный" месторождения Норильск-I исходная мощность ТМП равнялась 250 м. За I5 лет эксплуатации рудника с кондиционным подогревом воздуха в начале вентиляционного пути произошло поднятие нижней поверхности мерзлой толщи на 80-90 м, то есть на I/3 мощность ТМП убавилась.

Разрабатываемое рудником месторождение представлено дифференцированной толщей пикритовых, такситовых, контактных габбро-диабазов и недифференцированной толщей лабрадоровых порфиритов. Сверху эти породы перекрываются оливиновыми, безоливиновыми габбро-диабазами и мощной эффузивной толщей пород основного состава. Подстилаются рудоносные слои титан-авгитовым базальтом, залегающим в основном на песчаниках тунгусской серии. Интрузивные габбро-диабазы сильно трещиноваты. Принимаем объемную плотность этих пород 2800 кг/м^3, удельную плотность 2980 кг/м^3, коэффициент теплопроводности 2,2I Вт/м·^{0}С. Стабилизация температуры вокруг одной выработки происходит за 8 лет.

6.I8. Существенные изменения инженерно-геокриологической обстановки на эксплуатируемых месторождениях происходят вследствие посадки кровли отрабатываемых выработок. Основные закономерности этих изменений необходимо учитывать в прогнозе еще при разведке. По трещинам обрушения отработанной части поля в рабочие выработки вода затекает сверху, происходит утечка и подсос воздуха с поверхности. В большинстве случаев подобные нарушения вызывают повышение температуры пород, протаивание, а на участках, сложенных льдистыми породами, и образование термокарста. Отмечаются и противоположные яв-

ления. Подсос наружного воздуха в выработки приводит к локальному охлаждению и промерзанию окружающих пород. Отмечаются случаи промерзания магазинированной руды на глубоких горизонтах подземных рудников месторождения Норильск-I.

Прогноз результатов процессов, развивающихся при посадке кровли отработанных выработок, можно составить путем сравнения условий разведуемого месторождения со сходным эксплуатируемым.

Пример. На руднике "Заполярный" (месторождение Норильск-I) в 1956 г. воды от снеготаяния устремились через зону обрушения и на несколько дней вывели рудник из строя. Эта территория являлась практически водосборной площадью для инфильтрующихся вод через трещины обрушения. Основные водопритоки в рудник поступали, да и теперь поступают в теплый сезон года (табл.9): Зимой приток воды практически отсутствует.

Таблица 9

Водопритоки в теплую часть года по руднику "Заполярный", м³/ч

Годы	№ рудника	Месяцы				
		У	УI	УП	УШ	IX
1959	9	0	20,8	55,0	9,6	8,8
	7	103,8	126,2	48,5	20,2	-
1960	9	35,0	68,3	52,5	18,5	12,5
	7	95,8	112,5	29,2	70,7	-
1961	9	0	90,8	66,2	18,3	43,8
	7	0	166,7	291,6	56,3	91,7
1966	9	80,4	72,7	73,9	113,9	47,6
	7	319,6	297,5	117,1	245,2	52,1

Г. На участках наземной застройки

6.19. Прогноз изменения исходных инженерно-геокриологических параметров на участках, подлежащих наземной застройке, при разведке ведется на основе зависимости температуры почвы от комплекса метеорологических (4.I) и гидрогеологических факторов. Нарушение природных факторов при этом в большинстве случаев вызывает повышение температуры пород.

Следует предостеречь от расчетов для прогноза по приводимой формуле (4.3), тем более другим общим формулам, так как при этом придется подбирать значительное число новых расчетных показателей, действительные значения которых еще только будут формироваться, к тому же при разведке характер предстоящей застройки трудно определить. Более надежны в данном случае методы прогноза по аналогии.

6.20. Для прогноза инженерно-геокриологических явлений на участках, подлежащих наземной застройке, при разведке следует обязательно учитывать предстоящие изменения температуры пород в результате нарушения исходной высоты и плотности снежного покрова. В городах и поселках Крайнего Севера высота снега по сравнению с *ненарушенными участками больше:*

в г.Воркуте - на 60%; в г.Норильске - на 80%;в пос.Тикси - более I00%.

Оценка размеров показателей будущих снежных накоплений на участках, выбираемых для застройки, производится на основании сравнения результатов снегомерных работ во дворах и на пустырях существующих соседних населенных пунктов и снегомерной съемки на разведуемом месторождении. Неравномерность высоты снежного покрова на нем позволяет судить о снегозаносах при ожидаемой застройке участка.

Заснеженность застроенных участков определяется не только высотой снега и режимом ветра зимой в нетронутых условиях, но и типом населенного пункта - плотностью застройки и высотой строений, планировкой улиц. Густая застройка одноэтажными домами со сквозными улицами обусловливает большие снегозаносы. При менее частой застройке высокими домами с несквозными улицами снегозаносов меньше.

Нужно учитывать повышение температуры пород в населенных пунктах в результате увеличения высоты снежного покрова. Такое воздействие очень приближенно можно оценить расчетным путем (6.2). Следует учитывать, кроме того, в общем виде более ранние сроки схода снега из-за повышенной загрязненности, а также предусматривать увеличение запасов влаги в снежном покрове вследствие повышения его плотности.

Пример I. В г.Воркуте и промышленных площадках месторождения исходная температура ТМП выше $-2^{\circ}C$. Температура же большей части месторождения превышает $-I^{\circ}C$. Происходит преимущественное повышение температуры и протаивание исходной ТМП. В итоге большое число зданий, выстроенных по принципу использования пород в основании фундаментов в мерзлом состоянии, оказалось на протаивающих грунтах. Настоящее направление изменения исходной геокриологической обстановки обусловлено нарушением комплекса природных факторов теплообмена. Главным из них является увеличение снегоотложений. Кроме того, большое значение имеет уничтожение торфяно-мохового покрова, ликвидация заболоченности и загрязнение поверхности и т.п.

Пример 2. В районе г.Норильска исходная температура ТМП значительно ниже, чем в г.Воркуте ($-4^{\circ}C$). На участках старой застройки снег не убирается, поэтому происходит повышение температуры пород на $I-2^{\circ}$. В наиболее благоустроенной части города осуществляется интенсивная и регулярная уборка снега, что приводит к противоположному изменению геотермического режима, температура пород понижается примерно на I°.

6.2I. При изучении инженерно-геокриологических условий разработки месторождений в период их разведки необходимо учитывать влияние осушения поверхности и самого почвенно-грунтового слоя на площадке будущего населенного пункта.

Влияние осушения почв и пород на площади, отводимой под застройку, можно выяснить с помощью изучения главным образом состава и новых условий увлажнения пород площади. Для использования метода аналогии требуется провести анализ влажности представительных образцов пород СТС, отобранных в аналогичных поселках, городах и на промплощадках.

Пример. Существенные изменения геокриологической обстановки на промплощадке Норильского комбината вызваны эксплуатацией главным образом крупных промышленных комплексов (никелевый завод, ТЭЦ и пр.).

Площадка располагается на надпойменной террасе р.Норильской и в основании склона Норильского плато. Аллювиальные отложения мощностью от 20 до 80 м представлены гравийно-галечными отложениями с песчаным и пылеватым супесчаным, суглинистым и глинистым заполнителем. Коренные породы - сильно трещиноватые, выветрелые габбро-диабазы или сланцы. Уклон поверхности коренных отложений и уклон поверхности застроенной площади прослеживаются на север, в сторону р.Норильской.

Там, где гравелисто-галечные отложения перекрываются суглинками и супесью, последние, как правило, сохраняются в мерзлом состоянии. До интенсивного освоения площадки ТЭЦ характеризовалась малой мощностью и относительно низкой температурой.

Мерзлотной станцией на стадии изысканий на этой площадке выделялись участки: с толщей мерзлых пород мощностью до 6 метров с температурой $-1,0^{\circ}C$; мощностью до 10 метров с температурой до $-2,5^{\circ}C$ и мощностью 30 метров с температурой до $-3,5^{\circ}C$. Толща мерзлых пород 80 м и больше считалась мощной. Талик прослеживался вдоль русла ручья Медвежьего в гравелисто-галечных отложениях. Образование его прежде всего связано с выходом подземных вод в перегибе склона, идущих из предгорья и конуса выноса ручья Медвежьего.

На промышленной площадке после основной застройки образовался обширный талик. Породы протаяли не только на этой площадке. Приблизительно половина площади талика пришлась на территорию застройки города, располагающегося севернее промплощадки. Некоторые здания, выстроенные по принципу сохранения мерзлого состояния пород в основании, оказались в пределах этого талика и претерпели аварийные деформации.

Отмеченные изменения геокриологической обстановки вызваны нарушением многочисленных ландшафтных факторов тепло- и водообмена. Значительное воздействие оказывает ликвидация заболоченности и торфяно-мохового покрова. На площадке формируются увеличенные снегозаносы и поверхность загрязняется. Обязательно следует учитывать сброс теплых промышленных вод с заводов по уклону залегания коренных пород на север.

Образование талика и повышение температуры ТМП на промышленной площадке Норильского комбината связано также с прямым тепловым влиянием заводов (табл.IO).

Таблица IO

Температура пород под промышленными сооружениями г.Норильска

Сооружение	Срок службы, лет	Повышение температуры, °С
Электростанция-2	I2	2,8 - 4,8
Цех переработки меди	5	6,0
Цех металлоконструкций	I2	9,4

6.22. При разведке месторождений рекомендуется предусмотреть вероятные изменения температурного режима ТМП и размеров таликов в результате вертикальной планировки площади, предназначаемой под заселенный пункт. Площадь выравнивается путем засыпки пониженных участков преимущественно обломочными, малосжимаемыми и хорошофильтрующими породами. Подсыпки в г.Норильске достигают высоты 5 м, равной высоте местных холмов. Значительная водопроницаемость подсыпки способствует осушению застраиваемой площадки и тем самым благоприятствует повышению температуры ее пород. Отмеченное влияние подсыпки интенсивно проявляется из-за возрастающего объема талых снеговых вод в поселках и городах (6.I9). В значительной степени поэтому талики после застройки чаще не меняются, а нередко увеличиваются или формируются вновь.

6.23. Прогнозирование изменений условий освоения месторождений полезных ископаемых ведется с обязательным выяснением расположения и размеров залежей подземного льда. Повышение исходной температуры, тем более протаивание пород на застраиваемых участках сопровождается интенсивным вытаиванием ледяных залежей и соответствующим разрушением содержащих их участков.

При строительстве особо ответственных инженерных объектов залежи подземного льда заменяются обломочными - малопросадочными

и непучинистыми грунтами. Последние, интенсивно фильтруя поверхностные воды, определяют повышение температуры и протаивание этих пород на данном и соседних участках.

Расположение и размеры залежей льда выясняются в процессе съемки комплексом полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Б о б о в Н.Г. Зональность распространения толщи многолетнемерзлых пород и прогноз инженерно-геокриологических явлений. "Вопросы геокриологии", вып.42, М., ВСЕГИНГЕО, I97I, с.9I-I0I.

2. Д о б р о в Г.М. Прогнозирование науки и техники. М., "Наука", I969, 208 с.

3. Д я д ь к и н Ю.Д. Основы горной теплофизики для шахт и рудников Севера. М., "Недра", I968, 285 с.

4. Инструкция по производству комплексной мерзлотно-гидрогеологической съемки масштабов I:200 000 и I:500 000. М., МГУ, I969, I24 с.

5. К у д р я в ц е в В.А. О нормах глубины заложения фундаментов в связи с возможностью пучения грунтов при промерзании. В кн.: Мерзлотные исследования , вып.3. М., МГУ, I963, с.267-275.

6. Методика инженерно-геокриологических и гидрогеологических работ при разведке месторождений полезных ископаемых на Крайнем Севере.Сост. Бобов Н.Г., Швецов П.Ф. Информационное сообщение.Серия: Гидрогеология и инженерная геология, № 8, ВИЭМС, I969, I6 с.

7. Методика комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштабов I:200 000 и I:500 000. М., МГУ, I970, 354 с.

8. Методические рекомендации по прогнозу морозобойного растрескивания грунтов. Составил Гречищев С.Е. Научн.ред. Невечеря В.Л. М., ВСЕГИНГЕО, I972, 38 с.

9. Методические указания по проведению отдельных этапов геологоразведочных работ. Твердые полезные ископаемые. М., Госгеолтехиздат, I96I, I9 с.

I0. Методическое руководство по инженерно-геокриологическим и гидрогеологическим работам при разведке рудных месторождений на Крайнем Севере. М., "Недра", I972,207 с. Авт.: Швецов П.Ф., Бобов Н.Г.,Крицук Л.Н., Павлов А.В.,Петрова Р.Г., Цветкова С.Г.,Шербатян А.А.

II. Мухетдинов Н.А., Глушкова Н.И. Выбор схем расчета термического режима вечномерзлых скальных пород. "Сб.научных работ Сиб.фил.Всесоюзн.н.-и.ин-та гидротехники", Новосибирск, С.О. "Наука", 1968, вып.2, с.58-71.

I2. Новиков Ф.И. Температурный режим мерзлых пород за крепью шахтных стволов. М., Изд-во АН СССР, 1959, 98 с.

I3. Основы геокриологии (мерзлотоведения). М., Изд-во АН СССР, 1959, 825 с.

I4. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях. М., МГУ, 1974, 431 с. Авт.: Кудрявцев В.А., Гарагуля Л.С., Кондратьева К.А., Меламед В.Г.

I5. Основы методики инженерно-геокриологических прогнозов при разведке месторождений твердых полезных ископаемых. М.,"Недра", 1978, 155 с. Авт.: Швецов П.Ф., Бобов Н.Г., Порхаев Г.В., Щелоков В.К.

I6. Пособие по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. М., Изд-во литературы по строительству. 1969, 129 с.

I7. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. Редакторы Р.М. Саркисян, З.А. Нерсесова, С.С. Вялов, А.Г. Защарная, М., Изд-во литературы по строительству. 1973, 191 с.

I8. Скворцов Г.Г. Прогноз инженерно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых в различных климатических зонах и на больших глубинах. "Сб.по гидрогеологии и инженерной геологии (к 25-летию ВСЕГИНГЕО)", № 22. М., "Недра", 1969, с.153-162.

I9. Скворцов Г.Г., Романовская Л.И. Инженерно-геологические прогнозы условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1961, 83 с.

20. Скворцов Г.Г., Бобов Н.Г., Кориковская А.К. Инструкция по изучению инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке. М., "Недра", 1975, 51 с.

21. Справочник по инженерной геологии. Под общей редакцией М.В. Чуринова. М., "Недра", 1974, 407 с.

22. Строительные нормы и правила. Часть П, раздел Б, глава 6. Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования. СНиП П-Б, 6-66. М., Изд-во литературы по строительству, 1967, 31 с.

23. Х р у с т а л е в Л.Н. Температурный режим вечномерзлых грунтов на застроенной территории. М., "Наука", 1971, 167 с.

24. Ч у б а р о в а Н.П. Расчеты высоты морозоопасной зоны над уровнем грунтовых вод в различных по генезису связных грунтах. Тезисы докл.Всесоюзн.совещ.по мерзлотоведению. М., МГУ, 1970, с.178-180.

25. Ш в е ц о в П.Ф. Геоморфологические вопросы при изысканиях трасс и площадок под новостройки в районах многолетней криолитозоны. Материалы П геоморфологического совещания. М., Изд-во АН СССР, 1959, 11 с.

26. Ш в е ц о в П.Ф., Б о б о в Н.Г. Изменение геокриологических условий на участках горнопромышленного освоения в условиях Крайнего Севера и их прогноз при разведке месторождений полезных ископаемых. Сб. "Тезисы докладов Всесоюзного совещания по мерзлотоведению 1970 года". М., МГУ, 1970, с.123-124.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

В В Е Д Е Н И Е 3

I. РАЗРЕШАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ 7

1. Общие положения 7

2. Выяснение исходной геокриологической обстановки и выбор рациональных форм выражения ее особенностей . II

II. ПРИНЦИПЫ УЧЕТА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ТЕПЛО- И ВОДООБМЕНА . . I7

3. Способы приближенного определения количественных показателей геокриологической обстановки и последствий их изменения I7

4. Выявление возможных естественных изменений исходной геокриологической обстановки месторождений 29

III. УЧЕТ ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСВАИВАЕМЫХ УЧАСТКАХ МЕСТНОСТИ 42

5. Учет возможных форм и показателей интенсивности влияния производственной деятельности на элементы геокриологической обстановки 42

6. Прогнозирование инженерно-геокриологических явлений, вызываемых производственной деятельностью . . 46

А. При любом освоении местности 46

Б. При открытых горных работах 52

В. На участках подземных горных работ 62

Г. На участках наземной застройки. 67

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 7I

gost.e-ecolog.ru