

Лекция 10

10 ИЗУЧЕНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

10.1 Изучение распространения многолетнемерзлых пород

Это одна из основных задач при мерзлотной съемке, т.к. имеет большое гидрогеологическое и инженерно-геологическое значение.

В гидрогеологическом отношении наличие или отсутствие многолетнемерзлых пород определяет распространение и залегание криогенных водоупоров, обуславливающих своеобразие питания, разгрузки, динамики и химического состава подземных вод в области криолитозоны.

В инженерно-геологическом отношении многолетнемерзлое состояние пород определяет их инженерно-геологические особенности при любом виде строительства, т.е. характер оснований инженерных сооружений, несущие способности грунтов в основании, глубины заложения фундаментов и т.д.

Распространение многолетнемерзлых пород по площади определяется уровнем теплообмена на поверхности земли *и зависит:*

- 1) от поступления солнечной радиации, определяемой географической широтой местности;*
- 2) от континентальности климата, определяемой положением района исследований на континенте и удаленностью от морей и океанов;*
- 3) от условий теплообмена на поверхности почвы и в толще горных пород, определяемых географическими и геологическими факторами и условиями.*

Распространение многолетнемерзлых пород характеризуется их сплошностью (или прерывистостью) и выявляется при мерзлотной съемке через установление закономерностей формирования ξ и t_{ξ} . Поскольку сезонное промерзание имеет место на участках талых (или немерзлых) пород, а сезонное оттаивание — на участках развития криолитовононы, то карта типов сезон-

ного оттаивания и сезонного промерзания будет отражать и распространение многолетнемерзлых пород. Однако возможны случаи, когда сезонное промерзание пород наблюдается при наличии несливающейся мерзлоты. Такие участки должны дополнительно показываться на указанной карте.

В ходе мерзлотных исследований должны быть выявлены условия, при которых существует многолетнемерзлые породы и условия, при которых они отсутствуют. Особенно важно и сложно это установить вблизи южной границы криолитовоны, поскольку здесь широко распространены и мерзлые и талые породы. Да и сама южная граница криолитозоны, как известно, представляет собой зону переменной ширины (десятки, а иногда и сотни км). В самых южных частях этой зоны мерзлые породы появляются сначала в виде отдельных редко встречающихся перелетков и маломощных островов, формирующихся в особо неблагоприятных условиях теплообмена на поверхности. На равнинных территориях (Западная Сибирь, Европейский Восток РФ) такие острова мерзлых пород появляются сначала в торфяных буграх пучения (в результате сдвижки, малой мощности снега), а затем и на участках, где снег отсутствует или его мощность невелика.

В районах резко расчлененного рельефа (Приангарье) мерзлые породы в начале появляются на затененных склонах северной экспозиции и замшелых днищах долин. В районах развития температурных инверсий (Забайкалье, Приамурье) многолетнемерзлые толщи в первую очередь возникают в затененных долинах рек, сложенных оторфованными суглинками и глинами.

В горных районах (Тянь-Шань, Алтай) появление островов мерзлых пород связано, как с высотной поясностью, так и с затенением малоснежных склонов.

Таким образом к числу факторов, благоприятствующих формированию многолетнемерзлых пород следует отнести тонкодисперсный состав пород (суглинки, глины) формирующий температурную сдвижку (густая растительность, мхи и северная экспозиция склонов, препятствующие поступлению

солнечного тепла в грунт, малая мощность снега, не припятствующая интенсивному охлаждению грунтов зимой).

В северных условиях, где распространение мерзлоты повсеместно, также возникают задачи, аналогичные задачам вблизи южной границы криолитозоны. Только здесь уже выясняются причины отсутствия многолетнемерзлых пород и такие участки должны рассматриваться как азональные. Они встречаются в долинах рек, а также в районах с активной тектоникой, в местах разгрузки подземных вод.

Как уже отмечалось, многолетнемерзлые толщи находятся в тесной взаимосвязи с окружающей природной обстановкой. Каждому комплексу геолого-географических условий соответствует определенная мерзлотная обстановка.

Все это позволяет оценить в поле качественно и количественно характер мерзлотных особенностей того или иного участка по характеру геолого-географических условий. В силу этого основным методическим приемом изучения распространения мерзлых и талых пород по площади является мерзлотное микрорайонирование или в деление типов ландшафтов. В пределах выделенных микрорайонов изучаются закономерности распространения мерзлых толщ, формирования температурного режима и других мерзлотных характеристик в зависимости от каждого геолого-географического фактора.

Такое изучение проводится на ключевых участках, каждый из которых должен характеризовать один или несколько микрорайонов.

Состояние горных пород их состав и криогенное строение изучается по обнажениям, при помощи горных выработок, геофизическими методами.

Скважины и шурфы закладываются по профилям, пересекающим границы природных микрорайонов, в пределах которых предполагаются различные мерзлотные условия. При мелкомасштабной съемке, как минимум по одной выработке закладывается в наиболее типичных (выдержанных и од-

нородных) условиях микрорайона, где не сказывается влияние соседнего микрорайона. Дополнительные выработки располагаются вблизи предполагаемого контакта мерзлых и талых пород.

Обычно заложению горных выработок предшествует постановка электрометрических работ (электропрофилирование и ВЭЗ) по ряду поперечников, пересекающих границы микрорайонов. Эти работы позволяют более рационально размещать более дорогостоящие горные выработки. На опорном геофизическом профиле рекомендуется более частый шаг при профилировании большее число ВЭЗ, чем на остальных. ВЭЗы должны характеризовать каждую выделенную при профилировании геоэлектрическую зону и обязательно ставиться на месте проектируемых буровых скважин и шурфов. Эти выработки для электрометрических исследований являются параметрическими. На остальных поперечниках при наличии относительно простых условий шаг профилирования может быть более редким, чем на опорном. В зоне контактов многолетнемерзлых и талых участков рекомендуется сгущать шаг профилирования на всех поперечниках. *В определенных условиях могут применяться для установления пространственного размещения мерзлых и талых пород и другие геофизические методы (например, радиокип, микросейсмика).*

На основании исследований на ключевых участках устанавливается приуроченность талых и мерзлых пород к определенным элементам рельефа, растительным ассоциациям, литологогенетическим типам пород и т.д.; подсчитывается соотношение площадей талых и многолетнемерзлых пород; устанавливается и картируется характер мерзлых толщ по их простиранию.

В определенных районах представляется возможным составление схемы индикационных (косвенных) признаков мерзлого или талого состояния пород. Следует подчеркнуть, что индикационные признаки мерзлых и талых пород для различных районов различны. Особенно сложны они вблизи южной границы криолитозоны. Поэтому механически, переносить эти признаки из одного района в другой нельзя.

Внешними признаками наличия многолетнемерзлых горных пород служат такие проявляющиеся в рельефе криогенные образования, как полигонально-жильные формы, бугры пучения, термокарстовые формы.

Из полигонально-жильных образований на наличие многолетнемерзлых пород указывают:

а) валиковые полигоны с внутрполигонными ваннами на поймах и низких надпойменных террасах. Размер таких полигонов обычно изменяется от 6-8 м до 20-30 м; с ними связаны повторно-жильные льды:

б) полигональные формы таких же размеров в пределах шлейфа делювиально - солифлюкционных склонов.

В то же время полигонально-жильные образования с безваликовыми или выпуклыми полигонами, бугристо-западинный рельеф и др. не являются прямыми указателями на наличие в них повторно-жильных льдов и, следовательно, многолетнемерзлого состояния пород. Морфологически сходные формы могут иметь различный генезис и находиться как в мерзлом, так и в талом состоянии.

На наличие многолетнемерзлых пород указывают байджерахи, аласы, термокарстовые озера и другие эрозионно-термокарстовые формы. Это однако всегда справедливо лишь для севера. Для южных районов наличие провальных форм не обязательно предполагает сохранение мерзлых пород в их берегах, так как последние на момент исследования могут уже оттаять. С другой стороны, на юге термокарстовые озера являются показателем сквозных таликовых зон, а на севере под ними, как правило, развиты несквозные талики.

На многолетнемерзлое состояние пород могут указывать и такие формы рельефа, как «пятна-медальоны», «структурные грунты», солифлюкционные натечные формы. Однако в некоторых случаях они могут развиваться и на талых участках.

Угнетенная чахлая растительность на поверхностях, покрытых мощным моховым покровом, «пьяный лес», в ряде случаев указывают на наличие

многолетнемерзлых пород. Это относится в первую очередь к северным районам, а вблизи южной границы криолитовоны такие растительные ассоциации могут быть приурочены и к талым участкам.

Устойчивым показателем таликов являются источники и наледи в руслах рек и на склонах долин. Однако и этот показатель требует проверки по геологическим, температурным, гидрохимическим и др. данным.

10.2 Изучение состава и криогенного строения многолетнемерзлых пород

Главной отличительной особенностью мерзлых горных пород является наличие в них льда. Поэтому состав, строение и свойства мерзлых пород определяются, с одной стороны, составом, строением и свойствами минеральной части породы, а с другой - количеством и характером распределения льда.

Лед в мерзлых горных породах:

а) может залегать в виде крупных мономинеральных тел различного генезиса и формы. В этом случае лед определяет макрооблик мерзлых толщ, их криогенное строение в целом;

б) может быть распределен в виде ледяных шлиров различной формы между минеральными зернами и агрегатами и заполнять поры. Лед, рассеянные в виде небольших линз, пропластков, слоев, зерен и включений другой формы, определяет криогенную текстуру мерзлых пород. Такой лед называется текстурообразующим.

Таким образом, криогенной текстурой называются особенности строения мерзлых пород, обусловленные наличием в них льда - цемента или ледяных шлиров, их формой, размерами, условиями залегания и взаимным расположением.

Многолетнемерзлые толщи и соответственно криогенные текстуры могут образовываться как эпигенетическим путем, так и сингенетическим, а в

некоторых случаях и полигенетическим. В процессе мерзлотной съемки и составления мерзлотных карт эти типы мерзлых толщ обязательно должны быть установлены. Это устанавливается в первую очередь по характеру криогенных текстур. Потому рассмотрим особенности изучения криогенных текстур различных типов мерзлых толщ.

а) Изучение состава и криогенных текстур рыхлых эпигенетических мерзлых толщ

Эпигенетические мерзлые породы могут иметь различный состав и генезис. Характер распределения в них текстурообразующего льда обусловлен следующими основными факторами:

- 1) составом отложений и характером напластования различных литолого-генетических разновидностей по площади и в разрезе;
- 2) характером начальной влажности водоупорных и водоносных пород; взаимоотношением относительно водонепроницаемых пластов и водоносных горизонтов; составом и режимом подземных вод;
- 3) условиями промерзания.

Поэтому при изучении в процессе съемки эпигенетических рыхлых мерзлых толщ должно быть сделано следующее:

- 1) *установлен генезис пород, особенности их залегания, приуроченность геолого-генетических комплексов к определенным формам рельефа, взаимоотношение их в плане и в разрезе;*
- 2) *охарактеризован состав, текстурные и структурные особенности отложений;*
- 3) *установлен возраст встречающихся геолого-генетических комплексов отложений. По возможности определяется абсолютный возраст отложений;*

4) изучены посткриогенные образования в породах (псевдоморфозы по повторно-жильным льда, грунтовые полигонально-жильные образования: следы солифлюкционных явлений и т.д.)

Устанавливается приуроченность этих образований к отдельным литолого-генетическим типам пород. Производится сравнение изучения фауны и флоры в отложениях с наличием в них следов криогенных явлений.

Кроме этого изучаются специфические вопросы, связанные с многолетнемерзлым состоянием пород, а именно:

1) изучается характер распределения льда в различных геолого-генетических комплексах пород; то есть. их криогенное строение и особенности криогенных текстур в различных фациальных разновидностях, имеющих различный состав и различные условия залегания;

2) в пределах литологически однородной толщи описываются криогенные текстуры и фиксируются особенности их изменения и общей льдистости пород по разрезу и по площади;

3) устанавливаются, какие породы до своего промерзания могли быть водоупорами, какие водоносными; восстанавливается характер вод в водопроницаемых (в талом состоянии) отложениях;

4) при наличии в породах мономинеральных скоплений льда описывается их форма, размеры, условия залегания, текстурные и структурные особенности льда. Устанавливается их генезис (инъекционный, пещерный, повторно-жильный и др.); фиксируется характер криогенных текстур во вмещающих породах и их взаимоотношение с ледяным телом.

При описании криогенных текстур следует фиксировать форму и размеры ледяных шлиров, их ориентировку, расстояние между шлирами, положение ледяных шлиров по отношению к первичной сложности породы, характер изменения формы и размеров ледяных включений при появлении неоднородностей в породах, степень и форму заполнения пустот в крупнообломочных образованиях.

При описании структурных особенностей текстурообразующих льдов необходимо отмечать их цвет, наличие в них пузырьков воздуха или рассолов, минеральных или органических примесей, их форму, размеры. Из крупных ледяных шпиров отбираются образцы на химический анализ и кристаллографические исследования.

б) Изучение состава и криогенных текстур скальных и полускальных пород

Ледяные включения в скальных и полускальных породах выполняют трещины и пустоты в породах, существовавшие до начала промерзания и заполненные водой. Поэтому расположение льда в породе соответствует изначальной трещиноватости породы и зависит от типа породы.

В изверженных, метаморфических и других породах пустоты представляют собой трещины различного генезиса и формы. Соответственно здесь развиваются трещинные и трещинно-жильные криогенные текстуры.

В осадочных скальных и полускальных породах трещины и другие виды пустот приурочены к пластам. Для них характерны пластовые типы криогенных текстур (пластово-трещинные, пластово-поровые, пластово-карстовые и т.д.), а в зонах разрывных нарушениях - трещинно-жильные криогенные текстуры.

Таким образом как в талых водоносных породах изучается характер водопроницающих пустот, так и для мерзлых пород исследуются льдовмещающие пустоты. Поэтому изучается трещиноватость, кавернозность, пористость многолетнемерзлых пород. При этом необходимо изучать характер их криогенных текстур, их особенности в породах разного состава, изменение по площади и глубине. Нужно выделять породы, которые при оттаивании будут водоносными и те, которые будут водоупорами.

Обычно льдистость в коренных породах бывает наиболее высокой у поверхности и постепенно уменьшается с глубиной. Это связано с тем, что верхняя зона коренных пород до глубины в несколько десятков метров как правило бывает сильнее разрушена процессами выветривания.

В ряде случаев зона пород, имеющих повышенную трещиноватость, отмечается и у подошвы мерзлой толщи. Ниже последней в скальных породах отмечается повышенная трещиноватость талых пород и их значительная водообильность. Связана она с расширением трещин при неоднократном замерзании и оттаивании в процессе изменения мощности мерзлых толщ (колебаний ее нижней границы).

Таким образом при изучении криогенного строения скальных и полускальных мерзлых пород следует;

1) охарактеризовать строение толщи мерзлых пород, определить характер изменения состава пород по глубине, особенности их напластования и т.д.

2) определить характер и степень трещиноватости (кавернозности, скважности, пористости) пород, указать форму и размеры пустот, установить их генезис, выявить закономерности их размещения, определить степень их заполнения льдом (сделать зарисовки, фотографии).

3) описать структуру текстурообразующих льдов и мономинеральных залежей льдов; описать наличие в них пузырьков воздуха, минеральных примесей, пузырьков (капель) рассолов для засоленных льдов; отобрать пробы льда на химический анализ.

4) определить степень выветрелости породы, установить процесс выщелачивания, окисления и д.т.;

5) выяснить характер разрушения и размокания полускальных мерзлых пород при их оттаивании (аргиллитов, алевролитов).

в) Изучение состава и криогенного строения рыхлых сингенетических мерзлых толщ

Сингенетически промерзнуть могут различные типы четвертичных отложений: аллювиальные, склоновые, озерные, болотные, морские, флювио-гляциальные. Их накопление и промерзание происходит в определенной фациальной обстановке, когда накапливающийся осадок по мере поднятия поверхности мерзлой толщи переходит в многолетнемерзлое состояние, пройдя диагенез в слое летнего оттаивания.

При изучении сингенетически промерзающих отложений необходимо:

- 1) установить их приуроченность к определенным формам рельефа и характерным для них геолого-генетическим комплексам;
- 2) выделить фации, изучить их распространение в плане и в разрезе, установить их соотношение между собой;
- 3) описать криогенное макростроение отложений, то есть взаимоотношение мономинеральных ледяных включений с вмещающими их мерзлыми породами. При этом особое внимание должно быть обращено на пространственное расположение жильных льдов, размер их полигональной решетки, наличие захороненных ледяных жил и на изучение самих повторно-жильных льдов;
- 4) описать криогенные текстуры фациальных разновидностей сингенетических мерзлых отложений и их закономерные сочетания в определенных геолого-генетических комплексах;
- 5) изучить состав минеральной и органической части мерзлых отложений; установить характер первичной слоистости, цвет породы, окисление и ожелезнение, заторфованность и т.п.

Все эти особенности фиксируются с учетом их взаимоотношения с ледяными шпирями и мономинеральными залежами льда;

- б) в тех фациях, которые формируются в настоящее время, изучить криогенные процессы и явления, особенно повторно-жильные льды, характерные черты микрорельефа, характер осадконакопления, особенности се-

зонного оттаивания пород, криогенное строение этого слоя, в особенности его нижней части, которая переходит в многолетнемерелое состояние.

Если сингенетические мерзлые отложения не относятся к современным образованиям, а захоронены или развиты на тех элементах рельефа, где не происходит осадконакопление, например, на террасах, то всегда целесообразно искать аналоги в современных сингенетических мерзлых толщах. Сопоставление криогенного строения современных и древних отложений дает ключ к восстановлению условий их формирования.

г) Способы изучения и порядок описания состава и криогенного строения мерзлых толщ

Состав и криогенное строение многолетнемерзлых толщ изучаются в естественных обнажениях, в шурфах, штольнях, шахтах, в расчистках и в скважинах по извлеченному керну.

Лучше изучать криогенное строение пород в естественных обнажениях со свежими обрушениями: по берегам рек, в оврагах. В закрытых обнажениях делается расчистка до поверхности мерзлых толщ.

В шурфах, штольнях, шахтах изучать криогенное строение мерзлых толщ можно круглогодично. Следует только иметь в виду, что летом исследования в шурфах надо проводить непосредственно в процессе проходки во избежание их затопления надмерзлотными водами и оплывания пород в стенках. По керну буровых скважин изучать криотекстуры можно, если их проходка идет без промывки и лед не оттаивает. Наблюдения по керну желательно сопоставлять с изучением обнажений и глубоких горных выработок.

При изучении криогенного строения пород производят зарисовки и фотографирование свежезачищенных поверхностей мерзлого грунта. При этом желательно сочетать фотографии общего плана с фотографиями деталей строения.

Описание многолетнемерзлых пород производят послойно, сверху вниз, выделяя слои относительно однородных по составу и криогенному строению.

Для каждого слоя пород определяют:

1) мощность слоя и характер его распространения по площади;
2) состав породы, указывая на наличие в ней различных включений; цвет породы, ее оторфованность, ожелезненность и т.п., слоистость, сланцеватость и т.д.;

3) наличие в породе крупных мономинеральных ледяных тел, их форму, размер, условия залегания, соотношение с вмещающими породами, текстурные и структурные признаки;

4) криогенную текстуру пород: характер, форму, размер, условия залегания ледяных шпиров, цвет льда, его загрязненность минеральными и органическими примесями, наличие пузырьков воздуха и рассолов; структуру и химический состав и т.д.

В настоящее время выделяют следующие основные виды криогенных текстур рыхлых отложений:

1) массивная - лед-цемент, видимых включений льда нет, льдосодержание не превышает пористости породы в талом состоянии. Типична для песков и крупноосломочных отложение.

2) базальная - минеральные агрегаты, зерна, обломки раздвинуты текстурообразующим льдом. Льдистость больше пористости породы в талом состоянии, Характерна для песков и крупнообломочных отложений. В дисперсных отложениях подобная текстура называется базально-слоистой.

3) корковая - лёд образует корки и линзы около крупных обломков, в заполнителе лед-цемент и редкие небольшие ледяные шпирь. Встречается в крупнообломочных отложениях с песчаным и песчано-суглинистым заполнителем.

4) порфирированная - на фоне массивной текстуры включения льда в виде крупных кристаллов. Встречается в песках, супесях, суглинках и торфяниках без крупнообломочных включений;

5) линзовидная - ледяные шлиры в виде линз различной формы и размеров. Типична для всех дисперсных грунтов и торфа, реже для песков;

6) сетчатая - системы наклонно ориентированных взаимно пересекающихся ледяных шлиров создают ледяную сетку. Грунты те же.

7) слоистая - лед в виде выдержанных слоев различной толщины. Грунты те же.

8) решетчатая (ячеистая) - система горизонтально залегающих параллельных ледяных шлиров и вертикальных линз и прослоев создает пространственную ледяную решетку. Характерна для супесчано-суглинистых отложений и глин.

Кроме этих видов может существовать целый ряд переходных разновидностей. Например, между сетчатой и слоистой криотекстурами существует несколько переходных криотекстур, которые в зависимости от морфологической близости к тому или другому виду можно назвать сетчато-слоистыми или слоисто-сетчатыми.

По особенностям залегания слоев и линз льда могут выделяться горизонтальные, наклонные, косые и др. криотекстуры, а по форме шлиро-волнистые, плейчатые и др.

Криотекстуры по толщине ледяных шлиров (по В.М.Бтюрину) могут быть разделены на;

- микрошлировые (до 0.1 см)
- тонкошлировые (0.1 - 0.5 см)
- среднешлировые (0.5 - 2 см)
- толстошлировые (> 2 см)

По расстоянию между шлирами льда криотекстуры разделяется на:

- частослоистые (с расстоянием между шлирами (0.1 - 1 см)

- среднеслоистые (1 - 10 см)
- редкослоистые (>10 см)

Результаты изучения криогенного строения мерзлых толщ используются при комплексных мерзлотно-гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях следующим образом:

1. выделяются толщи осадков, промерзавшие сингенетически и эпигенетически.

2. Оценивается их суммарная льдистость, определяющая возможные осадки при оттаивании, а также другие геологические процессы и явления.

3. По характеру криогенных текстур в сочетании палеоботаническими и другими данными восстанавливаются ландшафтные и мерзлотно- геологические условия прошлого, позволяющие судить об условиях развития мерзлых толщ на соответствующих этапах.

4. В эпигенетических мерзлых толщах характер криогенного строения позволяет судить:

а) в однородных супесчано-суглинистых толщах — об условиях их промерзания за счет или периодических колебаний теплообмена на поверхности или его скачкообразном изменении при осушении водоема,

б) в неоднородных толщах, где до примечания чередовались водоупорные и водоносные пласты, можно установить палеогидрогеологические условия до промерзания;

в) в скальных или полускальных породах анализ криогенных текстур у верхней и нижней поверхностей мерзлых толщ позволяет восстановить динамику колебания ее мощности в прошлом.

Таким образом результаты изучения криогенного строения и льдистости мерзлых толщ используется при составлении мерзлотно-гидрогеологических и мерзлотно-инженерно-геологических карт и разрезов к ним, для характеристики мерзлотных и инженерно-геологических условий в настоящем, а также

для восстановления истории развития мерзлых толщ и гидрогеологических условий прошлого.

д) Изучение температурного режима горных пород

Температурный режим горных пород как многолетнемерзлых, так и талых определяется следующими характеристиками (кроме, t_{cp} и H):

а) средней годовой температурой на подошве слоя годовых ее колебаний. Эта температура формируется под влиянием современных условий теплообмена на поверхности земли в конкретных, существующих на момент исследования геолого-географических условиях,

б) распределением температур в мерзлой толще ниже слоя ее годовых колебаний. Это распределение температур обусловлено их многолетними и многовековыми колебаниями в земной коре. Для талых горных пород эта зона практически неограничивается по глубине. Для мерзлых толщ она ограничивается их подошвой;

в) распределением температур ниже подошвы мерзлых толщ.

Температурный режим горных пород должен изучаться на ключевых участках для всех основных микрорайонов, выделяемых в результате ландшафтного микрорайонирования.

Скважины, предназначенные для температурных измерений подразделяются на 3 группы:

1. Скважины, в которых изучается температурный режим в слое годовых колебаний температуры и определяются средние годовые температуры на поверхности почвы, на глубине слоя сезонного оттаивания (промерзания) и на подошве H . Глубина таких скважин задается исходя из предполагаемых значений H и обычно изменяется в пределах от 10 до 25-80 м. При этом как правило чем ниже t_{cp} , тем глубже скважина. Такие скважины бурятся во всех микрорайонах.

2. Скважины, которые вскрывают зону многолетних колебаний, температур, но не доходят до подошвы мерзлых толщ. В них кроме определения проводится изучение распределения температур в зоне ее многолетних колебаний и определяются температурные градиенты в мерзлой толще. Глубина таких скважин в зависимости от мощности мерзлоты изменяется в широких пределах от первых десятков метров до нескольких сотен метров.

3. Скважины, которые полностью проходят мерзлые толщи и вскрывают подстилающие ее талые породы. Температурой режим пород в таких скважинах изучается в зоне годовых, многолетних колебаний температур и ниже подошвы мерзлоты, а также проводится опробование подстилающих мерзлую толщу водоносных горизонтов.

Скважины для температурных измерений в сквозных таликах целесообразно делать или только для изучения годовых колебаний температур, т.е. неглубокими, или проходить на значительную глубину для определения геотермического градиента. В последнем случае их забой должен быть ниже уровня окружающих талую зону мерзлых толщ.

В несквозных таликах скважины всегда желательно задавать до углубления в мерзлую толщу.

Температура пород в скважинах изучается при помощи ртутных вытяжных инерционных (заленивленных) термометров, металлических термометров сопротивления (медных и платиновых) и термистров (терморезисторов). При помощи их производятся обычно точечные замеры температуры с точностью 0,1-0,05 °С. Рекомендуются следующие интервалы изменения температур в скважинах:

от 0 до 5 м –	через 0.5 м
5-10	1
10-25	2.5
25-50	5
50-100	10

Вбизи нижней границы мерзлой толщи, на контактах литологически различных слоев и в интервалах температурных аномалий, точки измерения надо сгущать до необходимой, величины (обычно до 1 м).

Для получения правильных температурных данных необходимо, чтобы скважины после проходки выстоялись.

Нарушения естественного температурного режима горных пород вызываются рядом причин, из которых основные следующие:

1) нарушения, возникающие при проходке. При этом наибольшие нарушения бывают при механическом бурении с промывкой, меньше - при проходке с продувкой забоя воздухом. Эти нарушения тем больше, чем дальше проходится скважина и чем сильнее температура бурового раствора или воздуха отличается от температуры горюд.

Время выстойки скважин определяется обычно опытным путем по повторным измерениям температур в скважинах. Время выстойки этих скважин в зависимости от глубины бурения и способа бурения может быть в 0.5-6 раз больше времени проходки скважины.

Наибольшие нарушения наблюдаются при проходке неглубоких скважин ручным ударно-вращательным способом, здесь время выстойки в 2-3 раза больше времени бурения;

2) Нарушения связанные с подтоком напорных вод в скважину. Эти нарушения особенно велики если скважина фонтанирует. Для ликвидации таких температурных нарушений наблюдательные скважины обсаживаются, а затрубное пространство выше водоносного горизонта цементируется или глинизируется.

3) Нарушения, связанные с конвекцией воздуха в скважине, особенно сильно проявляются в трещинных и закарстованных массивах. Обычно такие нарушения трудно избежать даже при обсадке скважин наблюдательными скважинами. Поэтому необходимо затрубное пространство тщательно заце-

ментировать или забивать глиной, а вокруг устья скважины надо сделать глинистую подушку.

Температурные измерения могут быть единовременными, многократными и режимными.

Единовременные измерения обычно проводятся в мелких скважинах ручного бурения, которые специально не оборудуются наблюдательными трубами, а после бурения и извлечения обсадных труб в них остается только кондуктор, перекрывающий талый слой и тем самым препятствующий проникновению в скважину надмерзлотных вод. В таких скважинах проводится 2-а цикла измерений через 2-3 дня, чтобы убедиться, что скважина «выстоялась». После этого кондуктор может извлекаться и использоваться в других скважинах.

Единовременные измерения проводятся также во всех старых скважинах, пригодных для температурных измерений, пробуренных при геологических и др. исследованиях до мерзлотной съемки. В некоторых таких скважинах могут проводиться многократные и режимные наблюдения.

Многократные наблюдения проводятся в наиболее глубоких скважинах на ключевых участках. Обычно проводится 5-10 измерений с интервалами от 2-3 на день до 1-3 месяцев.

В режимных стационарных наблюдательных скважинах проводится годовой цикл наблюдений. При этом в слое годовых колебаний температура измеряется через 5-10 дней, а ниже - через месяц,

С помощью температурных измерений в мелких скважинах устанавливают:

- а) глубину слоя сезонного оттаивания (промерзания);
- о) среднюю годовую температуру пород;
- в) распределение температур ниже подошвы слоя годовых колебаний температуры.

При режимных температурных измерениях определяют:

- а) динамику оттаивания и промерзания пород,
- б) среднегодовую температуру пород и ее динамику в слое Н;
- в) распределение температуры ниже слоя Н.

Результаты температурных измерений могут быть представлены в виде:

- а) таблиц измерения температуры пород,
- б) кривых распределения температур пород по глубине в различные сроки с нанесением точек измерения и указанием даты изучения,
- в) термоизоплант, характеризующих динамику температур по глубине во времени.

*е) Изучение мощности и условия залегания многолетнемерзлых
горных пород*

Одной из основных характеристик многолетнемерзлых толщ, изучаемых и картируемых при съемке является их мощность. Под мощностью многолетнемерзлых пород понимается расстояние по вертикали от их верхней поверхности до нижней. За верхнюю поверхность сливающихся многолетнемерзлых толщ принимается подошва сезонноталого слоя. Для мощных многолетнемерзлых толщ при небольшом сезонноталом слое можно мощность многолетнемерзлых толщ измерять от поверхности земли.

Для многолетнемерзлых толщ, разобщенных со слоем зимнего промерзания, за верхнюю поверхность принимается подошва талого слоя, залегающего на многолетнемерзлой толще,

Многолетнемерзлые толщи могут быть:

- а) непрерывными по вертикали;
- б) прерывистыми по вертикали, то есть содержать слои и линзы талых или немерзлых, часто водоносных пород.

В случае слоистых многолетнемерзлых толщ в мощности их включаются и талые прослойки, заключенные между мерзлыми слоями. При этом, ес-

тественно необходимо указывать интервалы глубин, где встречены немерзлые или талые прослой.

Слоистые мерзлые толщи могут содержать: 1) талые водоносные или неводоносные прослой, которые имеют нулевую или положительную температуру; 2) немерзлые прослой, содержащие высокоминерализованную воду, охлажденную ниже 0° (криопэги).

Криопэги находятся в термодинамическом равновесии с текстуробразующими льдами в горных породах.

При промерзании горных пород, содержащих высокоминерализованные воды, формируется зона отрицательных температур, состоящая как правило из 3-х подзон:

- 1) подзоны многолетнемерзлых пород непрерывных по вертикали,
- 2) подзоны слоистых многолетнемерзлых пород, в которых встречаются линзы и прослой пород с солеными межмерзлотными и внутримерзлотными водами;
- 3) подзоны охлажденных ниже 0° пород, содержащих высокоминерализованную воду.

В зависимости от гидрохимических условий и глубины промерзания указанные подзоны могут иметь различные соотношения мощностей или любая из них может полностью отсутствовать. При съемке необходимо указывать мощности каждой из этих подзон

При изучении мощностей мерзлых толщ или зоны охлажденных ниже 0° горных пород (криолитозонн) необходимо установить их зависимость от:

- 1) геологической и гидрогеологической структуры района;
- 2) величины теплопотока из недр земли, т.е. от геотермического градиента;
- 3) характера рельефа;
- 4) состава, возраста, генезиса и свойств горных пород;

5) условий и обводненности до промерзания, химического состава и степени минерализации вод;

б) истории геологического, в том числе и неотектонического развития района в четвертичный период;

7) истории развития природных условий (климата, растительности) в четвертичное время;

В пределах долин рек, где на формирование мерзлых толщ оказывают влияние поверхностные водотоки, необходимо установить связь мощностей и прерывистости мерзлых толщ по вертикали:

8) с возрастом и природными условиями различных элементов долины;

9) с их геологическим строением и гидрогеологическими условиями;

10) с историей развития долины на отрезке времени, соизмеримом с формированием мерзлых толщ;

11) с современными геологическими процессами: наледообразованием, эрозией, аккумуляцией осадков и т.д.

Во всех случаях устанавливаются современные условия теплообмена и средние годовые температуры горных пород и их связь мощностями криолизотозоны.

Мощности многолетнемерзлых пород, особенно в области их сплошного развития, существенным обрывом зависят от геологической структуры района. Например, установлено, что в платформенных районах во впадинах мощность многолетнемерзлых толщ больше, чем в поднятиях фундамента. Таким образом, при изучении мощностей мерзлых толщ скважины и ВЭЗы должны ставиться над поднятиями, во впадинах и на их крыльях.

В горноскладчатых областях, нагорьях, сильнорасчлененных плато на формирование мощностей многолетнемерзлых толщ преобладающее влияние оказывает рельеф. В этом случае мощности многолетнемерзлых толщ должны

изучаться на горных вершинах различной высоты, в днищах долин, на склонах различной крутизны и экспозиции.

В долинах рек формирование мощностей многолетнемерелых толщ имеет свои особенности. Мерзлотные условия рек как правило азональны. На это также надо обратить внимание при буровых и геофизических работах.

ж) Способы изучения мощностей многолетнемерелых гор.

Существует несколько способов изучения мощностей мерзлых пород. Первый, наиболее часто применяемый способ - изучение мощности мерзлых пород в буровых выработках. Наиболее достоверно мощность мерзлых толщ устанавливается по керну, получаемому в процессе проходки всухую, без промывки, с продувкой забоя воздухом. При этом граница мерзлых и талых пород устанавливается по исчезновению льда в породе. Однако этот способ не применим в 2-х случаях:

1) когда мерзлые породы вниз по разрезу сменяются охлажденными ниже 0° (морозными) породами, не содержащими льда, например, в скальных монолитных массивах;

2) когда мерзлые толщи сложены жирными глинами небольшой влажности. В этом случае лед в породе может отсутствовать, так как вся вода будет находиться в связанном состоянии, температура замерзания которой ниже 0° .

Способ непосредственного фиксирования мерзлоты по наличию льда в породе практически невозможен при бурении с промывкой или с подливом воды. Кроме этого и при бурении с продувкой не всегда сохраняется мерзлое состояние керна, например при бурении твердых пород или со слишком большой скоростью вращения снаряда керн разогревается и лед растаивает.

В крупнообломочных породах или в сильно трещиноватых и кавернозных породах границу мерзлоты можно фиксировать по появлению воды в

скважине (в случае проходки всухую) или по изменению режима циркуляции промывочной жидкости (при проходке с промывкой). Однако следует иметь в виду, что утечка бурового раствора может происходить и через мерзлые породы, если пустоты в них неполностью заполнены льдом. Кроме того это может быть и тогда когда вскрываются линзы внутримерзлотных и межмерзлотных вод.

В гравийно-галечниковых и песчаных отложениях граница мерзлых и талых пород нередко хорошо фиксируется по скорости проходки.

Кроме бурения нижняя граница мерзлых толщ может быть зафиксирована в шахтах, глубоких шурфах, штольнях и т.п. Лучше, конечно исследовать эти выработки в процессе их проходки. В старых же выработках мерзлотная картина может быть искажена в связи с вентиляцией, поступлением воды или по другим причинам.

Вторым способом установления мощности мерзлых толщ является способ измерения температуры грунтов в скважинах, прошедших мерзлую толщу или зону охлаждения. Границей криолитозоны считается геоизотерма 0° . Однако она не совпадает с границей мерзлых пород в 2-х случаях:

- а) когда в породе содержатся соленые воды, или сама порода засолена;
- б) когда граница мерзлых и талых пород залегает на большой глубине, где давление сильно отличается от атмосферного. В этом случае точка плавления льда повышается на $\Delta t_h = p \cdot 0.007^{\circ}\text{C}$, где p - давление на глубине h в атм.; 0.007°C - коэффициент повышения точки плавления льда при увеличении давления на 1 атм.

Мощность многолетнемерзлых пород можно установить по температурным кривым и в скважинах, не прошедших мерзлые толщи полностью. При этом экстраполяцию необходимо проводить с учетом особенностей геологического строения, конвективного теплообмена за счет подмерзлотных вод и динамики температурного поля, связанного с многовековыми колебаниями.

Удовлетворительные результаты этот метод дает при следующих условиях;

- 1) однородный состав пород, слагающих многолетнемерзлые толщи;
- 2) близкое к горизонтальному залегание пластов горных пород;
- 3) отсутствие движения вод ниже мерзлых толщ;
- 4) однородных на значительной площади поверхностных и геоморфологических условий;
- 5) отсутствие заметных по кривой колебаний температур ниже слоя их годовых колебаний;

В других условиях способ экстраполяции может давать большую ошибку,

Третьим способом определения мощности многолетнемерзлых толщ является электрометрический способ - ВЭЗ. Основан он на различии удельных (ρ) и кажущихся (ρ_k) сопротивлений мерзлых (т.е. содержащих лед) и немерзлых горных пород. Этот метод дает хорошие результаты в случае резкого различия электрических сопротивлений пород в мерзлом и талом состоянии, Электросопротивление мерзлых пород зависит от льдистости. Поэтому в глинистых слабольшедистых породах (лед-цемент), в засоленных породах разница в ρ_k мерзлых и талых пород невелика и граница мерзлоты точно не отбивается.

Изучение мощности мерзлых толщ при помощи ВЭЗ обязательно должно сопровождаться контрольным бурением, термометрическими исследованиями в скважинах и проведением в них каротажа. Только в этом случае могут быть получены достоверные данные и оценена погрешность в определении мощности методом ВЭЗ.

Известен также способ определения мощности мерзлых пород по буриванию замерзших в стволе скважины пресных подмерзлотных вод. Однако при съемке такой метод вряд ли может быть применим, так как нет уверенности, что лед в скважине образовался до уровня низшей поверхности

мерзлых толщ. Хорошие результаты могут быть только в случае, когда скважины после бурения простояли более 2-3 лет.

Следует отметить, что определение мощностей и характера залегания мерзлых толщ должно проводиться несколькими методами, а полученные результаты необходимо сопоставлять и анализировать с учетом геоморфологических, геолого-тектонических и гидрогеологических условий района.

Итак, мы рассмотрели основные приемы изучения главных характеристик многолетнемерзлых толщ, таких как распространение по площади, состав и криогенное строение, мощности, температурный режим. Все они должны быть исследованы с детальностью, соответствующей детальности комплексной мерзлотно-гидрогеологической или мерзлотно-инженерно-геологической съемки, в результате чего должны быть выявлены закономерности их развития по территории в зависимости от всего комплекса природных условий. На основании такого изучения выделяются типы мерзлых толщ.

Под типом мерзлых толщ следует понимать толщу горных пород одинакового генезиса, состава, стратиграфической принадлежности или единообразную на данном участке серию напластований пород разного генезиса, состава, стратиграфической принадлежности, находящихся в многолетнемерзлом состоянии, характеризующихся одинаковым типом промерзания и однородностью основных характеристик. Типы мерзлых толщ распространены и формируются в определенной геологической, тектонической, геоморфологической и гидрогеологической обстановке, связаны с определенным климатом и растительными зонами и характеризуются определенными условиями возникновения и развития. Только в такой связи они могут изучаться и картироваться.

Каждый из типов мерзлых толщ связан с определенным комплексом природных условий и поэтому свойствен определенным микрорайонам, вы-

деленным в соответствии с масштабом съемки в результате геолого-геоморфологического микрорайонирования.

з) Изучение истории развития мерзлых толщ

Изучение истории развития мерзлых толщ помимо самостоятельного научного значения имеет и большое практическое значение, так как помогает глубже понять закономерности формирования состава и свойства многолетнемерзлых пород. Для выяснения истории развития криолитозоны в данном районе в основном должны быть решены 3 задачи:

- 1) восстановление времени и условия эпигенетического промерзания пород;
- 2) восстановление накопления сингенетически промерзших отложений;
- 3) установление основных этапов измерения мерзлотно-геологических условий в связи с общими палеогеографическими событиями на изучаемой территории.

Важнейшим методом для решения этих задач является изучение четвертичных отложений, *их криогенного строения и палеомерзлотных индикаторов в проявивших или многолетнемерзлых отложениях, так как на мерзлотно-геологические условия прошлого прямо указывают только криогенное строение четвертичных отложений и следы криогенных явлений в них.*

Так по криогенному строению сингенетических отложений, например, можно восстановить условия их накопления и промерзания, в том числе температурный режим.

Все прочие данные, например, палеоботанические, дают лишь косвенную информацию о мерзлотной истории района. Тем не менее они также должны широко привлекаться для восстановления истории формирования и развития мерзлых толщ района.

Вопросы

1. Изучение распространения многолетнемерзлых пород
2. Изучение температурного режима многолетнемерзлых толщ.
3. Изучение состава и криогенного строения многолетнемерзлых толщ.
4. Изучение мощности и характера залегания многолетнемерзлых горных пород,
6. Изучение истории развития мерзлых толщ.