

Задание на 19.01.2021 Задание на 19.01.- 20.01.2021 г.

Изучить лекционный материал. Подготовка к сдаче и сдача зачёта.
Подготовить реферат по методике геокриологических исследований для различных видов строительства и на различных этапах проектирования или по изучению криогенных процессов:

1. Пучение грунтов.
2. Наледи.
3. Полигонально-жильные образования.
4. Термокарст.
5. Термоэрозия и термоабразия.
6. Склоновые криогенные процессы и явления.

Лекция 1

1.1 Основные положения методики мерзлотной съёмки. Мерзлотная съёмка. Цель и задачи.

Мерзлотная съёмка представляет комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ, которые имеют целью изучение закономерностей формирования и развития сезонно- и многолетнемерзлых горных пород в зависимости от комплекса природных условий территории и его изменений в неоген-четвертичное время и составление на этой основе мерзлотных карт, мерзлотного прогноза и разработки мероприятий по управлению геокриологическими условиями.

Теоретической основой методики мерзлотной съёмки являются установленные закономерности процессов тепло- и влагообмена в верхних горизонтах литосферы, приводящих в определенных геологических и географических условиях к формированию сезонно- и многолетнемерзлых толщ горных пород. При изучении последних устанавливают частные и общие закономерности их формирования.

Под частными закономерностями понимаются двухсторонние зависимости между отдельными частными характеристиками мерзлотных условий и отдельными природными факторами, например зависимость между снежным покровом и температурным режимом горных пород, между составом пород и глубиной их сезонного промерзания и т.д. Частные закономерности характеризуются качественно и количественно и могут быть выражены в виде формул.

Общие закономерности являются интегральным выражением частных закономерностей и отражают влияние всего комплекса природной среды на формирование мерзлотных условий. Примером общих закономерностей является, например: 1) влияние растительности и снега на температурный режим грунтов; 2) связь различных классификационных типов сезонно- и многолетнемерзлых пород с определенным комплексом природных условий.

Региональный характер частных и общих закономерностей проявляются в их конкретном выражении и связан с ландшафтной неоднородностью различных регионов, т.е. с изменчивостью по площади комплекса природных условий. Изучение частных и общих закономерностей формирования сезонно- и многолетнемерзлых пород в пределах конкретных территорий позволяет объяснить под влиянием каких факторов формируются геокриологические условия и как будут изменяться в будущем. Количественный анализ такого влияния, выполняемый на основе натурных наблюдений, лабораторных, опытных и расчетных методов, позволяющий увязывать теплофизическую и геолого-географическую природу сезонно-многолетнемерзлых пород является важнейшей методической основой их исследования.

Исходя из системного подхода к изучению мерзлых горных пород в процессе мерзлотной съёмки должны быть изучены: состав и структура геосистемы, в пределах которой формируются, существуют и изменяются сезонно- и многолетнемерзлые породы, а также условия тепло- и

массообмена в системе атмосфера-почва-литосфера. Распространение установленных общих и частных закономерностей на территорию съемки производится путём изучения регионального проявления этих закономерностей в процессе мерзлотного картирования на основе ландшафтного районирования. «**Ландшафт** — конкретная территория, однородная по своему происхождению, истории развития и неделимая по зональным и азональным признакам. **Ландшафт** в научном понимании — генетически однородный территориальный комплекс...»

Ландшафтное районирование для целей мерзлотной съемки представляет собой выделение (типов) ландшафта по ряду природных факторов, влияющих на формирование геокриологических условий и характеризующихся определенными взаимосвязями. Факторы: климат, геологическое и геоморфологическое строение, геоботанические, гидрологические и гидрогеологические условия. Выделение элементов ландшафта (типов местности или микрорайонов) производится при последовательном подразделении территории сначала по одному, затем по второму признаку (фактору) и т.д. Конечным результатом такого подразделения является элементарный тип ландшафта, в пределах которого природные условия однородны и обеспечивают существование определенного типа сезонно- и многолетнемерзлых пород, отличных от ММП на других типах ландшафтов. Мерзлотная съёмка является наиболее полным видом мерзлотных исследований, основным её содержанием является: изучение закономерностей формирования и динамики сезонно- и многолетнемерзлых пород, возникающих и существующих в результате годовых и многолетних теплооборотов в верхних горизонтах литосферы и находящихся в причинно-следственной взаимосвязи с конкретными природными факторами и их комплексами.

Задачи мерзлотной съёмки:

1) Изучение связи мерзлотных условий с радиационно-тепловым балансом земной поверхности и его составляющими;

2) Изучение закономерностей распространения сезонно- и многолетнемерзлых толщ и их прерывистости по площади в зависимости от изменения геолого-географической среды и особенностей теплообмена на земной поверхности;

3) Изучение условий залегания и ярусности мерзлых толщ по разрезу в зависимости от динамики климата, геологического строения, неотектоники, влияния поверхностных и подземных вод;

4) Изучение особенностей состава и свойств мерзлых, промерзающих и оттаивающих пород геолого-генетических комплексов и формаций;

5) Изучение особенностей криогенного строения мерзлых толщ по разрезу, криогенных текстур, влажности, и льдистости рыхлых и коренных пород в зависимости от их состава, генезиса, возраста и тектонического развития, типа промерзания и динамики развития мерзлотного процесса;

6) Изучение закономерностей формирования температурного режима пород на поверхности почвы. На подошве слоя сезонного промерзания и слоя сезонного оттаивания пород на глубине слоя нулевых годовых амплитуд на основе анализа частных и общих закономерностей между существующими природными и мерзлотными условиями в пределах выделенных в масштабе съемки ландшафтных подразделений;

7) Изучение частных и общих закономерностей формирования глубин сезонного и многолетнего промерзания и оттаивания пород и их динамики в зависимости от комплекса факторов природной среды в пределах тех же районов;

8) Изучение особенностей изменения мощностей сезонно- и многолетнемерзлых грунтов во времени, по площади и в разрезе в связи с существующими природными условиями и историей мерзлотного развития региона;

9) Изучение особенностей формирования и развития таликов различных типов в зависимости от их генезиса, распространения и характера проявления, обусловленных особенностями мерзлотной обстановки и историей их развития;

10) Изучение закономерностей развития и распространения мерзлотно-геологических процессов и образований в зависимости от существующих геолого-геоморфологических и мерзлотно-климатических условий и истории их развития;

11) Изучение особенностей взаимодействия мерзлых толщ с поверхностными и подземными водами в зависимости от существующих природных условий и истории развития мерзлотного процесса;

12) Изучение мерзлотно-инженерно- геологических и мерзлотно-инженерно-геологическая оценка территории в зависимости от направленности и интенсивности хозяйственного освоения территории и прогноза изменения в связи с этим мерзлотных условий;

13) Изучение опыта строительства и других видов освоения территории в зависимости от типа инженерных сооружений, характера освоения территории и динамики мерзлотного процесса;

14) История развития мерзлых толщ в зависимости от динамики климата, геологической истории региона и характера освоения человеком.

Таким образом мерзлотная съемка является основным видом исследования сезонно- и многолетнемерзлых горных пород области их распространения и решает широкий круг научных и производственных задач и включает все другие виды исследования мерзлотных условий.

1.2 Основные методологические положения и общая схема производства мерзлотной съемки.

Основным положением мерзлотной съёмки является необходимость изучения мерзлотных условий в тесной взаимосвязи со всем комплексом природной обстановки и прежде всего с геолого-генетическими типами горных пород. Методологическая основа метода ландшафтного районирования заключается в том, что в пределах каждого ландшафтного типа местности отмечается однородность комплекса природных условий, а следовательно и однородность мерзлотных условий. Исследуемый район разбивается на ряд участков (микрорайонов, ландшафтных типов), в пределах которых конкретно изучаются закономерности образования и развития сезонно- и многолетнемерзлых толщ, которые характеризуются большой динамикой всех основных параметров во времени. Мерзлотная съёмка должна завершаться прогнозом изменения мерзлотных условий, составленным на основе всестороннего изучения динамики многолетнемерзлых толщ. Изучение причинной связи формирования и развития многолетнемерзлых толщ с отдельными элементами геолого-географической среды осуществляется на ключевых участках, дающих возможность распространения выявленных закономерностей на все сходные по природным условиям участки.

С появлением или исчезновением в ММП породообразующего минерала – льда- связано качественно различное состояние пород. Количество льда и характер его распределения в природе определяют криогенную текстуру и структуру, особенности протекания различных криогенных процессов.

Процесс мерзлотной съёмки включает следующие этапы: 1) микрорайонирование – расчленение территорий на ландшафтные типы с выделением литолого-генетических комплексов и определением всех остальных элементов природной обстановки; 2) изучение на ключевых участках в пределах выделенных ландшафтных типов природных условий и факторов, влияющих на формирование мерзлотной обстановки; 3) изучение и

анализ частных закономерностей формирования сезонно и многолетнемерзлых пород в зависимости от каждого элемента природного комплекса, особенно от состава, строения и залегания пород. 4) обобщение и синтез выявленных закономерностей. Последним этапом является проверка правильности прогноза и выявленных закономерностей.

Выявляемые в ходе мерзлотной съемки закономерности определяются с одной стороны термодинамическими и теплофизическими законами, с другой – геологическими и географическими особенностями изучаемого района. Так отепляющее влияние снежного покрова нельзя рассчитывать только как результат влияния теплоизолирующего слоя (снега). Влияние снега более многообразно и сложно и в значительной мере определяется годовыми теплооборотах в почве.

Общая схема мерзлотной съемки:

- 1) Проводится предварительное изучение природных и мерзлотных условий по фондовой и опубликованной литературе с использованием аэро- и космо материалов, аэровизуального изучения территории. Предварительно выделяются ландшафтные типы, намечаются ключевые участки, составляются рабочие карты (геологическая, геоморфологическая, ландшафтного микрорайонирования и др.).
- 2) В полевой период уточняются границы и характеристика типов ландшафтов, уточняется количество и местоположение ключевых участков.
- 3) Изучаются мерзлотные условия на ключевых участках.
- 4) Составляются мерзлотные карты существующих мерзлотных условий, прогнозные мерзлотные карты.
- 5) Проводится комплексное мерзлотно – инженерно-геологическое районирование с оценкой существующих и прогнозных условий и разработкой мероприятий по управлению мерзлотных условий.

- б) Все фактические материалы исследований, мерзлотные карты и текст объединяются в отчет.

Лекция 2

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАНДШАФТНО-КЛЮЧЕВОГО МЕТОДА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МЕРЗЛОТНОЙ СЪЕМКИ

2.1 Ландшафтное районирование —основа мерзлотной съемки

Методика изучения мерзлотных условий любого района должна определяться характером предмета исследования (сезонно- и многолетнемерзлых пород, сопутствующих процессов и явлений), его классификационными признаками и взаимосвязью с природной обстановкой.

Все генетические классификации исходят из трех основных групп признаков. К первой относятся природные факторы, определяющие условия формирования сезонно- и многолетнемерзлых горных пород: геологическое и геоморфологическое строение территории, гидрогеологические условия, литолого-генетические особенности промерзающих отложений, геоботанические и климатические условия. Ко второй группе относятся параметры теплообмена на верхней и нижней границах промерзающих или мерзлых отложений и в массиве пород. К третьей, группе относятся характеристики состояния, состава, строения и свойств мерзлых пород и процессов, протекающих в них.

Комплекс природных факторов, представляющий собой естественное сочетание признаков первой группы, составляет понятие тип ландшафта применительно к целям и задачам мерзлотной съемки. Мерзлотные исследования, проводимые на ключевых участках, охватывающих все

выделенные типы ландшафта и ставящие целью изучение закономерностей формирования мерзлотных условий, позволяют дать полную мерзлотную характеристику всей территории и на ландшафтной основе составить мерзлотную карту.

При выделении типов ландшафтов следует основываться на выделении и изучении геолого-структурных элементов земной коры, таких, как платформенные горно-складчатые области, предгорные прогибы и современные геосинклинали, которые характеризуются различными условиями формирования многолетнемерзлых толщ, криогенных процессов и явлений, динамикой и историей их развития. Это прежде всего предопределяется различием тектонического строения и геотермических условий, состава и генезиса пород, условиями их залегания и распространения в различных геологических структурах, что, в свою очередь, сказывается как на условиях теплообмена на поверхности земли, так и в массиве горных пород и определяет облик и характер многолетнемерзлых толщ.

Не менее важным при мерзлотной съемке является изучение геоморфологических особенностей, которые в значительной определяют характер рельефа, четвертичных отложений, влажностный режим пород и условия теплообмена на поверхности. Процессы денудация и накопления, связанные с неотектоникой, оказывают существенное влияние на формирование мощности многолетнемерзлых толщ. Поэтому изучение геоморфологического строения и неотектоники имеет непосредственный выход в определение параметров многолетнемерзлых пород и закономерностей их формирования.

Значительные коррективы в формирование многолетнемерзлых толщ вносит конвективный теплообмен в горных породах за счет динамики подземных вод. Области питания и разгрузки подземных вод, приуроченные

к таликовым зонам, и пути движения вод по талым и ,немерзлым водоносным породам в значительной мере определяются мерзлотной обстановкой, оказывая в то же время на нее сильное тепловое влияние. Подземные воды и их характер существенно корректируют геотермические условия формирования многолетнемерзлых толщ.

Самой существенной характеристикой многолетнемерзлых толщ, слоя сезонного промерзания и оттаивания являются их состав и криогенное строение, что стоит в прямой связи с литологическими и генетическими особенностями отложений. Литологический состав, генезис, стратиграфическая и фациальная принадлежность во многом определяют характер унаследованных криогенных текстур и сегрегационного льдовыделения в эпигенетических мерзлых толщах, условия формирования клиновидно-жильных льдов и тонкослоистых криогенных текстур в сингенетических мерзлых толщах. Кроме того, температурный режим и мощность многолетнемерзлых толщ, их ярусность, условия распространения и залегания также находятся в прямой зависимости от литолого-генетических особенностей отложений.

Большое значение в формировании многолетнемерзлых толщ имеют поверхностные условия: характер физико-географической обстановки, геоботанические особенности, климат, его широтная зональность и высотная поясность. Эти условия прямо сказываются на формировании структуры радиационно-теплового баланса поверхности, влажностного режима почв, в связи с которыми формируются основные параметры сезонно- и многолетнемерзлых пород. Следует отметить также необходимость всестороннего изучения производственной деятельности человека, в результате которой происходит существенное преобразование как геолого-геоморфологического строения территории, так и гидрологических,

гидрогеологических, геоботанических и климатических условий, вызывающее нарушения и изменения в мерзлотной обстановке.

Из сказанного становится ясной многофакторность процесса формирования и динамики сезонно- и многолетнемерзлых пород, что и предопределяет необходимость ландшафтного районирования для производства мерзлотной съемки любого масштаба и назначения.

При ландшафтном районировании выделяются такие территориальные единицы - ландшафты, которые в масштабе съемки характеризуются однородностью геолого-географических условий внутри микрорайона и существенным отличием таковых по сравнению с другими микрорайонами. В основе районирования лежит ландшафтный метод, позволяющий понять взаимосвязь природных факторов и мерзлотных условий.

Физико-географические и геологические условия, в которых происходит формирование мерзлотных, гидрогеологических и инженерно-геологических условий, на больших территориях обычно неоднородны и закономерно изменяются в пространстве. Устойчивые сочетания определенных элементов природного комплекса, таких, как рельеф и слагающие его породы, почвы, растительность, микрорельеф поверхности и микроклиматические особенности, в своем комплексе образуют генетически однородные ландшафтные участки земной поверхности. Наименьшие участки, выделение которых целесообразно в масштабе съемки, можно назвать типами ландшафтов, или микрорайонами.

В зависимости от масштаба мерзлотной съемки, т. е. от детальности исследований и разрешающей возможности карт, в качестве микрорайонов могут быть выделены различные по сложности и занимаемой площади геоморфологические элементы. Так, при мелкомасштабной съемке в качестве типов ландшафтов выделяются лишь крупные геоморфологические

элементы, характеризующиеся общностью геологического строения, как, например, водоразделы, разделяемые по высоте и степени расчлененности, склоны от водоразделов к речным долинам, разделяемые по 2-3 градациям крутизны, элементы речных долин с различными поверхностными условиями (залесенностью и заболоченностью). При съемках средних масштабов указанные выше геоморфологические элементы подразделяются на ряд более мелких участков в зависимости от возможности детализации состава и свойств пород, а также более детального учета остальных природных факторов, присущих выделяемому участку. При исследовании в крупных масштабах, когда весь изучаемый участок расположен в пределах одного-двух геоморфологических элементов (долины реки, одного определенного водораздела или его склона и т. д.), большое значение при ландшафтном микрорайонировании приобретают такие детали составляющих природного комплекса, которые при мелко- и среднемасштабных исследованиях учитываются весьма обобщенно.

Выделение ландшафтов, или микрорайонирование территории съемки, выполняется по следующей схеме. Сначала по геологическим и тектоническим картам определяются крупные структуры, куда входит район съемки — регионы разных (преимущественно II, III и IV) порядков (Алданский щит, северный склон Алданского щита, Чульманская наложенная мезозойская впадина и др.). Затем в их пределах по геолого-структурным и геоморфологическим признакам на топографических и геоморфологических картах и космических аэроснимках выделяются морфоструктуры и части морфоструктур более низких порядков (Алданское плоскогорье на метаморфических и интрузивных формациях архея, Центрально-Алданская область гольцового плоскогорья и плато на породах нижнего кембрия и мезозоя и др.). Дальнейшее выделение районов, характеризующихся современными морфотектоникой и рельефом, производится на топографической основе по космическим аэроснимкам и

другим аэрофотоматериалам с обязательным аэровизуальным изучением территории. В результате выделяются региональные морфоструктуры: поднятия, своды, горсты, грабены, депрессии, плато, долины крупных рек и т. д. Дальнейшее выделение элементов и участков рельефа является мелкомасштабным микрорайонированием, при котором учитываются не только признаки рельефа, но и все остальные элементы ландшафта. Микрорайонирование в средних масштабах съемки сводится к более детальному расчленению микрорайонов, выделенных при мелкомасштабной съемке, а в крупных масштабах - к более детальному расчленению микрорайонов, выделенных при среднемасштабной съемке.

Выделенные ландшафтные типы и их границы уточняются при полевых исследованиях на ключевых участках и в маршрутах, в результате чего составляется специализированная геоморфологическая карта, или карта четвертичных отложений в мелком и среднем масштабах съемки, или карта ландшафтного микрорайонирования в крупном и среднем масштабах и дается подробное описание всего комплекса природных условий для каждого типа микрорайона в специальной таблице, которая затем служит расчетной для получения среднегодовых температур пород и глубин сезонного оттаивания и сезонного промерзания. Ландшафтное микрорайонирование производится в комплексе с выбором местоположения ключевых участков и обеспечивается детальными исследованиями в пределах последних при применении комплекса всех основных методов изучения.

2.2 Метод ключевых участков и районов — наиболее рациональный прием производства мерзлотной съемки

В силу существующей однозначной связи мерзлотных условий с определенным комплексом природной среды в полевой период изучение мерзлотных условий целесообразно и экономично проводить не по всей территории съемки с одинаковой детальностью, а концентрировать на отдельных небольших ключевых участках, доступных для применения всех методов исследования. Эти участки должны характеризовать как типичные, наиболее широко распространенные, так и аномальные, локально распространенные мерзлотные условия. Выбору ключевых участков и составлению программы работ на них предшествует изучение регионального мерзлотного фона.

Применение концентрированного метода исследований на ключевых участках, в пределах которых ландшафтные типы выделяются в 3-5 раз детальнее, чем на остальной территории съемки, имеет широкое распространение при изучении различных сторон природной среды. Применительно к мерзлотным исследованиям этот метод применялся М. И. Сумгиным и его учениками уже в начале 30-х годов (Тумель, 1945; Яновский, 1947, 1954; Кудрявцев, 1960; и др.).

При мелкомасштабной съемке ключевые участки целесообразно выбирать не для каждого микрорайона отдельно, а так, чтобы он охватывал сразу несколько микрорайонов. Это позволит установить не только частные и общие закономерности для каждого микрорайона, но и выявить региональные мерзлотные закономерности района исследования.

При крупномасштабной съемке ключевые участки являются более специальными и целевыми. Поэтому их роль могут выполнять специальные площадки детальных тематических исследований, определяемых целевым направлением съемки и видом строительства.

В зависимости от задач, решаемых на ключевых участках, последние выбираются двух типов — общего и специального назначения. На ключевых участках общего назначения изучаются частные и общие закономерности формирования мерзлотных условий, характерные для типичных, широко распространенных условий района (региона). На ключевых участках специального назначения более целенаправленно решаются отдельные тематические вопросы регионального или методического характера или изучается опыт строительства.

По результатам мерзлотных исследований на ключевых участках, в целом для территории съемки должны быть определены: 1) характер теплообмена на поверхности земли в зависимости от различных факторов геолого-географической среды; 2) годовые теплообороты и глубина распространения годовых колебаний температуры в породах в различных ландшафтных условиях; 3) закономерности формирования температурного режима горных пород в зависимости от их состава, влажностного режима, снежного и растительного покровов и других факторов; 4) глубины сезонного промерзания и оттаивания пород также в зависимости от различных природных факторов; 5) мерзлотно-геологические процессы и явления в связи с различными геолого-географическими условиями; 6) закономерности распространения, условий залегания и мощности многолетнемерзлых толщ; 7) закономерности: формирования и распределения в разрезе и по простиранию различных криогенных текстур и льдистости многолетнемерзлых толщ в зависимости от их генезиса (сингенетические и эпигенетические многолетнемерзлые толщи горных пород); 8) физико-механические и теплофизические свойства мерзлых, промерзающих и оттаивающих пород и закономерности их изменчивости; 9) связь и взаимодействие многолетнемерзлых толщ с подземными водами; 10) закономерности формирования таликовых зон; 11) история развития

многолетнемерзлых толщ; 12) влияние хозяйственного освоения территории на мерзлотные условия.

Методика получения и обработки информации, анализа результатов, для изучения указанных вопросов будет рассмотрена в дальнейшем.

Количество ключевых участков определяется сложностью природных и мерзлотных условий и степенью изученности территории, в мерзлотном и других отношениях. Наибольшей сложностью и изменчивостью природных условий характеризуются районы вблизи южной границы распространения многолетнемерзлых пород. В этом случае в общем объеме исследований возрастает роль анализа влияния факторов природной среды в формировании мерзлотных условий, а чем: изменчивее толща горных пород по разрезу, тем больше возрастает роль глубинных методов исследования на ключевых участках. На эту зависимость накладываются требования целевого назначения, которые тем определеннее и направленнее, чем крупнее масштаб съемки. В целом, исходя из опыта разномасштабных мерзлотных съемок, можно сказать, что исследования на ключевых участках ведутся в 5-10 раз детальнее, чем на остальной территории съемки.

Из практики мерзлотных исследований вытекает, что размер ключевых участков общего назначения колеблется от 1 до 10 км², при мелкомасштабной съемке и от 0,2 до 1 км² при крупномасштабной; размер ключевых участков специального назначения колеблется соответственно от 0,2 до 2 км² и от 0,1 до 0,3 км². Количество ключевых участков зависит от сложности зональных и региональных условий территории съемки и количества выделенных ландшафтных типов, каждый из которых должен быть изучен не меньше, чем на двух ключевых участках. При выборе ключевых участков необходимо также принимать во внимание то, что они должны быть доступны для постановки буровых и геофизических работ и что наиболее информативными являются ключевые участки, заложенные через

долину реки с выходом на водораздел. В этом случае на ключевых участках освещается целый ряд микрорайонов и устанавливаются как частные и общие, так и региональные закономерности формирования мерзлотных условий.

В целях наиболее полного и рационального использования выработок геолого-съемочных и поисковых работ при мелко- и среднемасштабных съемках целесообразно размещать ключевые участки в районах месторождений, на площадках различных строительных объектов с густой сетью буровых, шахтных, канавных и шурфовых выработок. К тому же именно эти участки как наиболее перспективные в хозяйственном отношении должны быть изучены наиболее детально и в первую очередь. При определении количества ключевых участков должны быть учтены: сложность природных условий территории, ее размеры, характер и целевое назначение самих ключевых участков. При этом большое значение имеет применение комплекса материалов аэрофотосъемки: черно-белых, спектрзональных, инфракрасных и космических, что способствует сокращению числа ключевых участков в связи с большей обоснованностью их выбора, репрезентативностью для больших территорий и возможностью предварительного комплексного детального дешифрирования природных и мерзлотных условий. При крупномасштабной съемке количество ключевых участков (площадок) регламентируется стадией проектирования, ответственностью мерзлотных и других инженерно-геологических показателей, закладываемых в прогнозные расчеты.

Степень сложности природных условий оценивается на основании изучения имеющихся данных по геологическому строению, геоморфологическим условиям и рельефу и мерзлотным условиям, и определение степени сложности мерзлотных условий требует специального пояснения. К территориям с простыми мерзлотными условиями относятся районы

сплошного распространения низкотемпературных (ниже -3°C в подошве слоя годовых колебаний температур) многолетнемерзлых эпигенетических толщ мощностью свыше 200 м, характеристики которых хорошо выдержаны по площади (преимущественно горные районы однотипного геологического строения и рельефа). К территории со сложными мерзлотными условиями относятся районы сплошного распространения с мощными низкотемпературными толщами сингенетических многолетнемерзлых пород с повторно-жильными льдами и процессами термокарста. К территории с очень сложными мерзлотными условиями относятся: а) районы редкоостровного, прерывистого и массивно-островного распространения преимущественно эпигенетических многолетнемерзлых пород изменчивого состава, температурного режима и мощностей со сложными закономерностями формирования, зависящими от большого числа факторов, в том числе и теплового влияния подземных вод и инфильтрующихся атмосферных осадков; б) районы, интенсивно осваиваемые в результате производственной деятельности человека. Сложностью мерзлотных условий определяются также объем, виды и последовательность применения методов изучения при съемке.

Полнота исследования на ключевых участках определяется задачами каждого ключевого участка, его ролью и значением в изучении частных и общих закономерностей формирования мерзлотных условий и в получении основных мерзлотных характеристик. Глубинность исследования на опорных ключевых участках должна давать возможность понять историю геологического развития территории и получить основные классификационные характеристики сезонно- и многолетнемерзлых толщ горных пород. Установленные на ключевых участках закономерности путем анализа и экстраполяции от одного микрорайона к другому должны быть распространены на сходные по природным условиям территории. Распространение результатов детальных исследований на остальную

территорию при мелкомасштабной съемке производится на основе геологической и уточненных в поле геоморфологической карты и карты ландшафтного микрорайонирования и представляет собой собственно мерзлотное картирование. Это же положение справедливо и для мерзлотного картирования в еще более мелких - несъемочных - масштабах, например в масштабах 1:1 000 000, 1:2500000, 1:5 000 000, 1:10 000 000. В этом случае районы мерзлотных съемок выступают в качестве «ключевых районов» («Методика ...», 1970), а установленные на них закономерности распространяются на сходные территории на основании обобщенного комплексного геолого- географического районирования.

Общая схема выбора ключевых участков представляется следующей.

1. По геологической, топографической и карте ландшафтного (геолого-географического) микрорайонирования и космическим или обычным мелкомасштабным аэрофотоснимкам и обзорным мерзлотным картам регионов определяется изменчивость и сложность природных и мерзлотных условий.

2. На основании карты фактического мерзлотного материала, собранного по опубликованной и фондовой литературе, обзорным мерзлотным картам и аэрофотоматериалам оценивается репрезентативность наиболее изученных участков месторождений в случае их использования как ключевых и добавляется недостающий комплекс исследований.

3. Намечаются необходимые дополнительные ключевые участки общего и специального назначения на неисследованных участках территории съемки.

2.3 Маршрутные исследования

Между детально изученными микрорайонами экстраполяция производится с учетом изменения природных условий от одного

микрорайона к другому, путем количественной оценки изменения влияния каждого фактора на формирование мерзлотных условий. Такое изучение производится при помощи редкой сети увязочных маршрутов. Для этого до начала полевых работ при использовании топографической, геологической и других предварительно составленных карт, в том числе мерзлотных, рекомендуется проводить аэровизуальные наблюдения, с помощью которых можно уточнить предварительно составленные мерзлотные и другие рабочие карты, наметить план опорных натуральных маршрутов с обязательным пересечением сложных участков, уточнить местоположение и размеры ключевых участков, намеченных в подготовительный период.

Основными задачами, стоящими перед наземными маршрутными исследованиями, являются: 1) прослеживание геологических, геоморфологических, геоботанических границ с целью изучения характера изменения природных условий; 2) определение глубин сезонного оттаивания и промерзания и их изменения в зависимости от конкретных факторов природной среды каждого микрорайона; 3) изучение и картирование мерзлотных и других геологических образований; 4) опробование поверхностных вод и первых от поверхности водоносных горизонтов (надмерзлотных вод и верховодки); 5) опробование выходов подземных вод, а также вод сквозных и несквозных таликов и образуемых ими наледей; 6) изучение в шурфах расчистках и обнажениях рыхлого чехла горных пород; 7) изучение зон разрывных нарушений и трещиноватости горных породах в обнажениях и их проявлений на поверхности; 8) изучение мерзлотных гидрогеологических процессов и явлений; 9) изучение опыта строительства.

Решение перечисленных задач зависит прежде всего от правильного выбора маршрутов. При назначении маршрутов необходимо придерживаться следующих правил: 1) маршрутами должны быть пересечены все типы

основных участков, выделенных при предварительном микрорайонировании; 2) маршруты следует планировать по главным речным долинам с выходом на водоразделы, а также поперек речных долин; 3) густота и расстояния между точками наблюдения определяются конкретными условиями и сложностью того или иного участка или района. При этом наибольшее количество точек наблюдения на 1 км² будет иметь место на ключевых участках и площадках детальных работ; 4) в процессе съемки в план маршрутных исследований должны вноситься необходимые коррективы.

В маршрутах при мелкомасштабных съемках рекомендуется пользоваться топографической картой масштаба 1:100 000 и геологической картой того же или более крупного масштаба. При средне- и крупномасштабных съемках целесообразно пользоваться картами съемочного или более крупного масштабов.

Каждая маршрутная группа должна располагать предварительно отдешифрированными аэрофотоснимками на свой маршрут. Наряду с аэроснимками черно-белой и спектральной съемок желательно использование космических аэроснимков. Точки наблюдения располагаются на таких объектах изучения, как обнажения, источники, наледи, термокарстовые и карстовые формы, оползни и другие, а при отсутствии последних - внутри микрорайонов или на их границах. Описание точки наблюдения должно охватывать расстояние, пройденное съемщиком от предыдущей точки, и площадь вокруг точки, доступную наблюдению. Каждая точка наблюдения должна сопровождаться зарисовкой (разреза, схематического профиля с выходами слоев пород и указанием мест отбора проб, характером микрорельефа и растительности и др.), изменением высот уступов, высот террас, крутизны склонов, глубины сезонного оттаивания. Точкой наблюдения фиксируются изменения в природных условиях (в характере растительности, в смене геоморфологических элементов и их

участков, в изменении литологических особенностей пород, в дренированности поверхности), а также выходы подземных вод, озера и водотоки, из которых отбираются пробы воды, их размеры, глубина и температура воды; глубины протаивания мерзлых пород, криогенные и другие геологические явления; обнажения, старые выработки, участки развития деформаций зданий и инженерных сооружений и др.

2.4 Масштабы мерзлотной съемки и мерзлотных карт

Масштаб мерзлотной съемки определяется задачами исследования, сложностью природных условий и степенью мерзлотной изученности района, а также стадией хозяйственного освоения территории. При этом во всех масштабах съемки проявляется единство методики изучения, заключающееся в раскрытии частных, общих и региональных закономерностей формирования мерзлотных условий. По масштабам мерзлотные съемки и мерзлотные карты разделяются на: мелкомасштабные 1:500 000-1:100 000; среднемасштабные 1:50 000-1:25 000; крупномасштабные 1:10 000- 1:5 000; детальные 1:2 000 и крупнее.

Мерзлотные съемки мельче масштаба 1 : 500 000 не проводятся, так как мерзлотные исследования масштабов 1 : 1 000 000 и мельче носят в основном рекогносцировочный характер и выполняются камерально путем сбора и обобщения опубликованных и фондовых материалов мерзлотных, инженерно-геологических и других смежных исследований, увязанных с зонально-региональным мерзлотным фоном. Последний может быть получен по соответствующим мерзлотным картам масштабов 1:2 500 000— 1:10 000 000. Результаты исследований в обзорных масштабах представляются в виде мерзлотных (геокриологических) карт с объяснительной запиской, при

составлении которых результаты мерзлотных съемок более крупных масштабов используются в качестве «ключевых» районов.

Мелкомасштабная мерзлотная съемка (1:500 000—1:100 000) проводится на больших площадях и довольно детально решает вопросы мерзлотных исследований на ключевых участках и более обобщенно на остальной территории съемки. Изучение мерзлотных условий и составление мерзлотных карт при этом должны опираться на знание регионального мерзлотного фона, в качестве которого могут быть использованы обзорные мерзлотные карты масштабов 1:1 000 000— 1 : 5 000 000. Мелкомасштабная мерзлотная съемка, проводимая в комплексе с гидрогеологической и инженерно-геологической, является государственной съемкой, выполняемой территориальными геологическими управлениями страны. Она проводится с целью мерзотно-гидро- геологической и мерзотно-инженерно-геологической оценки территории на стадии перспективного планирования развития народного хозяйства на основе увязки имеющегося фактического материала и установления основных региональных закономерностей для больших территорий. Мерзлотные съемки масштабов 1 : 200 000 и 1 : 500 000 принципиального, качественного отличия между собой не имеют. Однако вследствие значительно большего охвата площади исследования и, следовательно, большей экономической эффективности мерзлотная съемка масштаба 1 :500 000, так же как и соответствующая инженерно-геологическая (Сергеев, Трофимов, 1975), имеет значительное предпочтение перед съемкой масштаба 1 200 000, особенно в малоисследованных трудно-доступных районах области распространения многолетнемерзлых пород. В районах со сложными природными и мерзлотными условиями или в районах интенсивного хозяйственного освоения целесообразно проведение комплексной мерзлотной съемки масштаба 1 : 200 000.

Мерзлотная съемка в масштабе 1 : 100 000 в настоящее время практически не проводится, так как при больших экономических затратах и при площади в 25 раз меньше, чем в масштабе 1:500 000, дает по существу региональную картину мерзлотных условий на стадии составления схемы хозяйственного использования территории. В этом случае, если съемка масштаба 1 : 500 000 уже проведена, а для решения вопросов хозяйственного освоения нужна более детальная мерзлотная информация, то целесообразно проведение последующей съемки сразу в масштабе 1:50 000, а при наличии съемки масштаба 1:200 000 - сразу в масштабе 1: 25 000—1:10 000. В таком же соотношении находятся и масштабы исследований на ключевых участках при соответствующих мелкомасштабных мерзлотных съемках.

В соответствии с масштабом мерзлотной съемки составляется комплекс мерзлотных карт того же масштаба.

Среднемасштабные (1:50 000—1:25 000) мерзлотные съемки целевые и проводятся как комплексные мерзлотно-гидрогеологические и мерзлотно-инженерно-геологические на сравнительно небольших территориях, подлежащих определенному виду хозяйственного освоения. Такие съемки проводятся на стадиях обоснования технико-экономического доклада - схемы, а в отдельных случаях и для обоснования проектного задания.

Задачей среднемасштабных съемок является более детальное, чем при мелком масштабе, изучение частных и общих закономерностей формирования мерзлотных условий по территории, целевое мерзлотно-инженерно-геологическое районирование с оценкой мерзлотных, инженерно-геологических и гидрогеологических условий на основе составления общего регионального и конкретного мерзлотного прогнозов. При проведении среднемасштабных съемок возрастает роль стационарных, инструментальных и опытных исследований на ключевых участках и в

маршрутах. Результаты среднемасштабных съемок являются оптимальными в том случае, когда они проводятся на фоне мелкомасштабных, т. е. когда установленные ранее частные и общие закономерности уточняются и детализируются не только на небольших ключевых участках, а по всей территории съемки.

Крупномасштабные съемки (1 : 5 000—1 : 10 000) в еще большей степени, чем среднемасштабные, специализированы на какой-то определенный вид освоения территории. Обычно они проводятся для обоснования проектного задания, а на территориях с простыми мерзлотно-геологическими условиями — на стадии рабочих чертежей, когда уже определялись конструктивные и технологические особенности сооружений и расположение объектов строительства. Съемки крупных масштабов всегда проводятся в пределах небольших участков, выбранных на предыдущей стадии исследования и располагающихся в сравнительно однородных морфоструктурных и геологических условиях. Поэтому при проведении таких съемок совершенно необходимо знание региональных мерзлотных закономерностей, которые были установлены при средне- или мелкомасштабных мерзлотных съемках. По материалам крупномасштабных съемок составляется серия крупномасштабных мерзлотных и мерзлотно-инженерно-геологических карт и разрезов для существующих и прогнозных мерзлотных условий.

Таким образом, масштаб съемки определяется целевой направленностью исследований, сложностью мерзлотных условий, изученностью территории и стадией ее хозяйственного освоения. Общей тенденцией производства съемочных работ является то, что при укрупнении масштаба съемки возрастает доля опытных и лабораторных работ, связанных с определением физических, теплофизических и механических свойств мерзлых и талых (в том числе промерзающих и оттаивающих) пород,

стационарных и режимных наблюдений и расчетных методов (особенно с применением быстродействующих машин). Объем последних возрастает за счет исследований, направленных на разработку инженерного мерзлотного прогноза и разработку приемов управления мерзлотным процессом в инженерных целях и в целях охраны природной среды.

2.5 Комплексность, кондиционность и качество

мерзлотных съемок и карт

Мерзлотные съемки проводятся для изучения мерзлотных условий, т. е. выяснения частных, общих, региональных и зональных закономерностей формирования и развития сезонно- и многолетнемерзлых горных пород (в том числе изучения мерзлотных геологических процессов и явлений) на больших площадях.

Распространение, температурный режим, льдистость и криогенное строение, мощность сезонно- и многолетнемерзлых пород и связанные с ними мерзлотные геологические процессы оказывают существенное влияние на формирование гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки территории и в то же время значительно зависят от теплового взаимодействия многолетнемерзлых толщ с подземными водами. В то же время и инженерно-геологические и гидрогеологические особенности территории также определяются всем комплексом ее природных условий, и в первую очередь геологическим строением, геоморфологическими, климатическими и мерзлотными условиями и современными геологическими и мерзлотными процессами. Следовательно, мерзлотные, гидрогеологические и инженерно-геологические исследования связаны между собой общим предметом съемки - горными породами, их состоянием и свойствами.

Вследствие этого мерзлотную съемку всегда целесообразно проводить в комплексе с гидрогеологическими и инженерно-геологическими исследованиями («Методика...», 1970). Такой комплекс исследований является наиболее рациональным, научно обоснованным и экономически целесообразным. Он необходим для общего перспективного планирования и размещения всех видов промышленных сооружений и других видов освоения территории, а также для разработки вопросов охраны природной среды и ее целенаправленного изменения. При этом тройное комплексирование видов исследований, способствующее более быстрому, более глубокому и более обоснованному изучению закономерностей формирования мерзлотных, гидрогеологических и инженерно-геологических условий, можно рассматривать как метод комплексного изучения природных условий при мерзлотной съемке. Совместные комплексные исследования мерзлотных, гидрогеологических и инженерно-геологических условий не ведут к существенному увеличению объемов работ, но дают максимальную экономическую эффективность, обеспечивают наибольшую полноту и глубину исследования с максимальным выходом в науку и практику.

При укрупнении масштаба съемки роль гидрогеологического и инженерно-геологического направлений в комплексных исследованиях дифференцируется и становится более конкретной, направленной на решение определенного вида хозяйственного освоения территории. С конкретным видом освоения территории связаны задачи, стоящие перед съемкой, и глубинность исследования.

Комплексность способствует повышению кондиционности («надежности», по Е. М. Сергееву, 1975) съемок и составляемых в результате их проведения карт («Методика...», 1970). Требования к кондиционности мерзлотных съемок и карт являются требованиями к их качеству и информативности, соответствующих современным требованиям и уровню

развития науки. Мерзлотная съемка должна проводиться высококвалифицированными специалистами-мерзлотоведами, которые овладели современными теоретическими разработками методологии и методики мерзлотной съемки, хорошо ориентируются в современном региональном и тематическом мерзлотном материале. Мерзлотная съемка, включающая широкий круг вопросов исследования, требует от специалиста высокого профессионализма, способности к научному и производственному обобщению получаемых результатов, знания и применения современных методов и методик исследования, обязательного понимания и применения факторного анализа, позволяющего устанавливать частные и общие закономерности формирования мерзлотных условий. В настоящее время вопросам качества уделяется огромное внимание.

Применительно к изучению области распространения многолетнемерзлых толщ качество мерзлотных съемок и мерзлотных карт формируется на следующих этапах: а) при составлении программы мерзлотной съемки, которая должна разрабатываться с учетом современного уровня развития науки в теоретическом и региональном планах, с учетом современных методик и методов исследования, обеспечивающих кондиционность и качество съемок и картирования; б) в подготовительный период изучения, предшествующий полевым исследованиям, - в период целенаправленного обобщения имеющегося мерзлотного, геоморфологического, геологического и другого фактического материала и выработки предварительных представлений - рабочей гипотезы формирования мерзлотных условий, максимально приближенной к пониманию частных, общих и региональных закономерностей исследуемой территории, устанавливаемых затем в процессе съемки; в) в полевой период съемки, более углубленного изучения и уточнения частных и общих закономерностей, предварительно выявленных при обработке фактического материала и составлении предварительных (опережающих) мерзлотных карт. По мере получения натуральных данных и

совпадения и уточнения предварительно установленных и откартированных характеристик мерзлотных условий появляется возможность значительно большей детализации исследования в полевых условиях по отдельным тематическим направлениям съемки, собирается опорный материал для составления мерзлотного прогноза и прогнозных карт; г) в камеральный период съемки, завершающий разработку качественных и количественных зависимостей мерзлотных характеристик от составляющих природной среды, проверку и доработку комплексных мерзлотных карт существующих природных условий; составление общего регионального и конкретного мерзлотного прогнозов и соответствующих прогнозных и оценочных карт; разработку рекомендаций по управлению мерзлотным процессом в целях охраны и преобразования природной среды.

В связи с таким подходом к вопросу кондиционности одно количество точек наблюдения, пробуренных скважин и других объемов работ не может служить критерием кондиционности («Методика . . .», 1970; Сергеев, 1975). Кондиционность обеспечивается и определенными объемами работ, но главным критерием съемки является качество исследований. Требования к качеству соблюдаются, если в процессе съемки вскрыты на местности и отображены на картах закономерности формирования мерзлотных условий, если мерзлотные карты удовлетворяют современным представлениям о мерзлотных условиях района и если полученная информация может служить основой мерзлотного прогноза и мерзотно-инженерно-геологической оценки территории. Иными словами, можно сказать, что если закономерности формирования мерзлотных условий установлены и подтверждаются новыми фактическими данными (скважинами и другими видами исследований), то съемки и составленные по ее результатам карты кондиционны; если закономерности не вскрыты и не объяснены с помощью мерзлотных карт и таблиц к ним, а мерзлотные условия зафиксированы в виде соответствия природным условиям на момент исследования, то никакое

количество точек фактического материала не обеспечит кондиционности выполненной работе.

Кондиционность может быть повышена (без повышения объемов полевых исследований) при рациональном сочетании съемок различных масштабов и при соответствующей ориентации на мерзлотные закономерности, присущие зонально-региональному мерзлотному фону. Так, рационально и экономически целесообразно проведение мелкомасштабных комплексных съемок на больших площадях в сочетании со средне- и крупномасштабными съемками на особо важных в хозяйственном отношении участках. В этом случае последние служат детальным мерзлотным обоснованием при первоочередном освоении этих территорий и в то же время являются ключевыми районами и участками для мелкомасштабных съемок.

В качестве регионального мерзлотного фона, ориентирующего исследователя на характер устанавливаемых при съемке региональных мерзлотных закономерностей, могут быть использованы: 1) для мелкомасштабных съемок — «Геокриологические карты СССР» масштабов 1:500000—1:2500000 и карты отдельных регионов масштабов 1:500000—1:1000000; 2) для средне- и крупномасштабных съемок — мерзлотные карты и схемы мерзлотного районирования, составленные по результатам мелкомасштабных съемок, а при отсутствии последних — мерзлотные карты регионов в указанных выше масштаб

2.6 Этапы производства мерзлотной съемки

Производство мерзлотной съемки любого масштаба подразделяется на три последовательных этапа или периода: подготовительный, полевой и камеральный.

Подготовительный период проведения мерзлотной съемки начинается с составления программы работ, отражающей научные и производственные задачи, пути реализации этих задач в конкретные, обусловленные проектом сроки. Одновременно с организационной подготовкой к полевым работам ведется научная работа, направленная на разработку предварительных представлений о мерзлотных условиях изучаемой территории и о закономерностях ее формирования и на составление предварительных ландшафтно-геоморфологических и мерзлотных карт.

С этой целью производится: 1) сбор фондового и опубликованного материала мерзлотных исследований; 2) предварительное дешифрирование аэрофотоматериалов и составление предварительных (предполевых) карт; 3) выбор ключевых участков; 4) составление предварительных легенд для частных и комплексных опережающих мерзлотных карт; 5) составление предварительных мерзлотных карт; 6) составление проекта геофизических исследований на ключевых участках; 7) составление проекта буровых и горных работ; 8) составление схемы и программы исследований.

В подготовительный период производства мерзлотных съемок во всех масштабах должна быть выяснена картина регионального мерзлотного фона, дающего возможность определения интервала изменения мерзлотных характеристик и глубинности исследования.

Полевой этап производства мерзлотной съемки выполняется в соответствии с намеченной программой. Основной задачей является изучение частных и общих закономерностей формирования мерзлотных условий. Такое изучение проводится на ключевых участках и в увязочных маршрутах, затем производится полевое уточнение предварительных мерзлотных карт, а на участках их отсутствия — составление полевых мерзлотных карт в более крупном масштабе, чем съемочный. По мере получения натуральных материалов составляются колонки по скважинам, разрезы по шурфам,

обнажениям и другим горным выработкам, обрабатываются полевые мерзлотно-геологические профили, выполняются расчеты по выявлению частных закономерностей между факторами природной среды и мерзлотными характеристиками.

Большое значение имеет изучение опыта строительства и эксплуатации сооружений, тщательно изучаются и картируются нарушения природных условий и развитие связанных с ними процессов.

В полевой период производится геокриологическое изучение и опробование всех геолого-генетических комплексов пород. Данные опытных и стационарных наблюдений и лабораторных анализов служат выяснению частных и общих закономерностей и являются исходным материалом при применении расчетных методов.

В камеральный период завершаются обработка и анализ полевых и лабораторных исследований, с помощью расчетов на ЭВМ, моделирования влияния каждого фактора природной обстановки на формирование среднегодовых температур пород и глубин сезонного промерзания и оттаивания пород, разрабатывается мерзлотный прогноз, составляются окончательные мерзлотные карты для естественных и прогнозных условий.

В заключение производится мерзлотно-инженерно-геологическая оценка территории и составляются рекомендации по направленному изменению природных условий в целях оптимального режима мерзлотных условий. Результаты исследований, их обоснование и научные выводы даются в отчете, состоящем из карт, текстовой части, графических и текстовых приложений с фактическими материалами. В тексте отчета должны содержаться также методика составления и анализ карт, мерзлотный прогноз, инженерно-геологическая оценка территории и рекомендуемые мероприятия по управлению мерзлотным процессом.

2.7 Мерзлотная съемка - основа прогноза и управления мерзлотным процессом в целях охраны и преобразования природной среды

Мерзлотными условиями определяются температурный режим почвенного слоя и подстилающей толщи пород и их мерзлое и талое состояние, влажностные условия и характер льдосодержания в породе, определяющие тепловые осадки при оттаивании или распученность при промерзании, развитие криогенных процессов и явлений. Управление развитием мерзлотного процесса есть (Кудрявцев, Ершов, 1969) управление каждым составляющим комплекса природных условий, от направленного изменения которых меняется и результат теплообмена горных пород с атмосферой, а следовательно, в нужном направлении меняются основные мерзлотные характеристики. Управление мерзлотным процессом и другими составляющими комплекса природной системы должно базироваться на мерзлотном прогнозе, завершающем съемку и обобщающем все полученные закономерности развития и конкретные данные по мерзлотным, климатическим, геологическим и другим характеристикам природной среды.

В прогнозной таблице, составляемой на основе изучения частных и общих закономерностей, должно быть показано, как изменится температурный режим пород, их состав, глубины сезонного оттаивания промерзания в зависимости от изменения каждого фактора природной среды, а это, в свою очередь, позволяет увидеть, каким образом и в каком режиме следует изменять эти природные факторы. Кроме того, в прогнозной таблице дается анализ развития мерзлотных геологических процессов в зависимости от предполагаемого изменения тех факторов природной среды.

Распространение прогнозных данных по территории и комплекс рекомендуемых мероприятий по управлению мерзлотным процессом и преобразованию окружающей среды даются на прогнозных оценочных картах во всех масштабах съемки.

Лекция 3

3.1 Отбор, упаковка, транспортировка, хранение и последовательность изучения мерзлых пород

При опробовании и отборе образцов (монолитов) мерзлых пород для последующих исследований, как правило, ставятся две основные цели: во-первых, получение классификационных показателей для всех доступных к исследованию в лабораторных условиях разновидностей пород и, во-вторых, выявление закономерностей изменения свойств пород по возможности для всех выделяемых геолого-генетических комплексов и литолого-фациальных типов мерзлых толщ по площади и глубине. При этом количество и объем отдельных отбираемых образцов (монолитов) мерзлой породы зависят от целей и задач проводимых исследований. Так, например, с укрупнением масштаба геокриологической или специальной инженерно-геокриологической съемки повышается роль лабораторных исследований и увеличивается количество определяемых показателей состава, строения, состояния и свойств мерзлых пород, что на детальном стадиях исследований необходимо для выбора наиболее точных расчетных значений характеристик физико-механических и других свойств пород, для прогноза их изменений в связи со строительством (или другими видами хозяйственного освоения) и выработки принципов и приемов управления этими свойствами.

Отбор образцов мерзлых пород может производиться из разрезов естественных (речных, озерных, морских, термоэрозионных и др.) и искусственных (стенки карьеров, котлованов, шахт, штолен и т.п.)

обнажений, а также из шурфов и кернов скважин, пройденных способом колонкового бурения.

Работам по отбору образцов из обнажения предшествуют визуальное изучение, пикетаж обнажения по простиранию и высоте, тщательная документация и расчленение вскрытого разреза мерзлых пород на отдельные горизонты, слои, линзы. Расчленение разреза производится на основе общегеологических принципов и данных (гранулометрический состав, оторфованность, цвет, наличие фаунистических остатков и т.д.), что подробно описано в [3].

Однако, учитывая специфику мерзлого состояния пород, которое обуславливает необходимость определения дополнительных, по сравнению с немерзлыми породами, показателей состава, строения и свойств — обязательных элементов инженерно-геокриологической оценки, разрез многолетнемерзлых пород дополнительно расчленяется по характеру криогенного строения и льдистости пород, в том числе по выделению горизонтов, слоев, линз, жил мономинеральных включений льда различной генетической принадлежности. При отборе образцов из обнажений следует иметь в виду, что «стенка» обнажения должна быть зачищена до многолетнемерзлых пород в их естественном состоянии, так как нередко обнажение «бронировано» с поверхности слоем оплывшей или оползшей породы, который промерз предыдущей зимой и к моменту изучения и опробования обнажения мог оттаять не полностью.

При отсутствии естественных и искусственных обнажений рекомендуется заложение выработок (шурфов и скважин) для полевого изучения разреза и отбора образцов мерзлых пород по профилям с пересечением по возможности всех выделяемых элементов рельефа и ландшафтных микрорайонов и связанных с ними геолого-генетических комплексов и литолого-фациальных типов пород. Место заложения шурфов и скважин может быть уточнено с использованием комплекса опережающих

электроразведочных работ (электропрофилирование и вертикальное электротондирование) и построенных на их основе геоэлектрических разрезов.

Точки отбора образцов назначаются в каждом горизонте или слое пород, которые отличаются своим составом, криогенной текстурой, льдистостью или свойствами от других пород разреза.

Место отбора образцов выбирается наиболее просто, если есть основание в пределах выделенных слоев предположить статистическую модель распределения значений изучаемых показателей состава, строения и свойств. При этом используется принцип равнопредставительности, означающий необходимость получения характеристик всех выделенных слоев с одинаковой достоверностью. Это предопределяет необходимость увеличения числа образцов в слоях наиболее неоднородных или важных для понимания закономерностей формирования состава, строения и свойств и соответственно уменьшения их числа в слоях, более однородных по составу, криогенному строению и льдистости или менее важных. При этом необходимо учитывать, насколько выполняемые в дальнейшем анализы важны для решения задач конкретных исследований. Так, для оценки несущей способности массива пород детальность его изучения в целом увеличивают вверх по разрезу и наиболее подробно исследуют даже небольшие по мощности слои слабых или льдонасыщенных грунтов.

Статистическая модель распределения некоторых показателей состава, строения и свойств мерзлых пород принципиально невозможна. Известно, например, о постепенном изменении с глубиной льдистости в эпикриогенных толщах мерзлых пород супесчано-суглинистого состава морского происхождения, широко распространенных на севере Западной Сибири. Для решения многих геокриологических задач, помимо среднего для слоя значения состава, строения и свойств, необходимо знать их экстремальные значения, например наиболее низкую температуру пород, наибольшую

льдистость и т.п. Это может быть достигнуто, если при размещении точек отбора образцов руководствоваться общими тенденциями изменчивости изучаемых показателей по площади и глубине.

При инженерных изысканиях, регламентирующих достоверность (точность и надежность) нормативных и расчетных характеристик, и при наличии количественной оценки неоднородности состава и свойств изучаемого массива мерзлых пород минимально необходимое и достаточное количество образцов может быть рассчитано по формуле — квадратичное отклонение среднего.

Значение коэффициента a для характеристик мерзлых грунтов при расчете как по несущей способности, так и по деформации допускается принимать равным 0,85, а для оснований фундаментов наиболее ответственных сооружений, например опор мостов, — 0,9.

Отбор образцов мерзлых пород, в особенности монолитов, по сравнению с немерзлыми породами, отличается гораздо большей сложностью и трудоемкостью, главным образом потому, что мерзлые породы могут содержать неравномерно распределенные ледяные шлиры разной толщины и ориентировки, которые создают дополнительную неоднородность породы. Кроме того, рыхлые мерзлые породы, по сравнению с рыхлыми тальми, отличаются гораздо большей прочностью и одновременно, при динамическом воздействии за счет шлировых ледяных включений, значительной хрупкостью.

В соответствии с ГОСТ 12071—84 образцы и монолиты мерзлого грунта (породы) отбирают при отрицательной температуре окружающего воздуха или в теплое время года при условии немедленной их теплоизоляции или доставки в хранилище с отрицательной температурой воздуха. Горные выработки для отбора монолитов мерзлых пород необходимо проходить без предварительного протаивания грунта и при условии предохранения места отбора монолита от протаивания и подтока надмерзлотных вод.

Из обнажений и шурфов монолиты мерзлых пород и льдов обычно отбираются с помощью топора, лопаты, пилы-ножовки и монолитного ножа. В том случае, когда отбор производится из мерзлых обломочных пород или галечников с разной степенью заполнения льдом и мелкоземом, нельзя обойтись без кайла или лома.

При отборе монолита в виде параллелепипеда или куба на свежезачищенной горизонтальной поверхности шурфа или вырубленной ступени обнажения намечают контуры монолита несколько больше требуемого размера. При этом размер стороны куба должен быть не менее 10 см для глинистых и песчаных грунтов, не менее 20 см — для дресвяных и гравийных грунтов и не менее 30 см — для щебенистых и галечниковых грунтов. Вначале удаляют грунт вокруг намеченных контуров, оставляя грунтовый столбик (целик грунта). Затем подрезают (или подрубают) нижнюю грань, отделяя монолит от массива грунта. Грани монолита зачищают, доводя его до необходимых размеров. Однако, исходя из практического опыта, следует отметить, что иногда при высокой степени льдистости и «поясковых» или толстошлировых криогенных текстурах для лабораторных исследований необходимы образцы высотой более 70—100 мм (требования ГОСТ и СНиП) с равнопредставительным количеством толстых шлиров (или «поясков») и вмещающей мерзлой породы. В таких случаях требуется отбор монолитов, где самая длинная грань параллелепипеда имеет длину не менее 30—40 см.

Технология отбора монолитов природных подземных льдов примерно такая же, как и для мерзлых тонкодисперсных пород.

Но при этом следует учитывать, что лед, в отличие от вмещающей, даже высокольдистой породы, обладает меньшей прочностью и способностью к хрупкому разрушению при ударном воздействии на него пробоотборных инструментов.

Наибольшие трудности могут возникнуть при отборе образцов и монолитов засоленных мерзлых тонкодисперсных отложений, в особенности при морском типе засоления. В засоленных осадках супесчано-суглинистого состава уже при засоленности 0,5—1% температура начала замерзания поровой влаги становится ниже $-2...-3^{\circ}\text{C}$, а при более высокой засоленности она опускается еще ниже. Таким образом, чтобы избежать таяния внутригрунтового льда и перераспределения влаги, образцы и монолиты мерзлых засоленных пород должны отбираться при гораздо более низких температурах (ниже $-3...-5^{\circ}\text{C}$), чем образцы незаселенных пород.

Для вырезания монолитов (образцов) цилиндрической формы используют тонкостенные режущие кольца. Режущее кольцо устанавливается острым торцом на поверхность грунта. Нажатием его немного вдавливают в грунт. Грунт обрезают по образующей поверхности кольца на глубину 1—1,5 см, оставляя грунтовый столбик диаметром, на 1,5—2 мм большем внутреннего диаметра кольца. Снова нажимают на кольцо, заставляя целик грунта заходить в режущее кольцо, не допуская при этом перекоса. Операцию вырезания целика грунта и насаживания на него режущего кольца выполняют до тех пор, пока целик грунта не выступит на несколько миллиметров выше его торца. Затем грунт подрезают снизу, отделяют образец с кольцом от массива грунта и срезают с торцов грунт заподлицо с гранями режущего кольца. Допускается отбор монолитов мерзлого грунта произвольной формы, но с сохранением вышеуказанных размеров как минимальных.

Довольно часто монолиты (образцы) мерзлых пород отбираются из кернов скважин, пройденных колонковым бурением, причем оптимальным считается бурение в зимний период с продувкой скважины холодным воздухом. Особенно эффективно колонковое вращательное бурение с использованием пневмоударного импульса и продувкой забоя скважины воздухом. В зимнее время при использовании данного метода даже льдистые

галечники и щебенистые породы, сцементированные льдом и мелкоземом, составляют 100% выхода керна без нарушения сплошности и естественного криогенного строения. Для отбора образцов и монолитов мерзлых пород допускается также колонковое бурение всухую (без промывки скважины водой или буровым раствором) с укороченной длиной рейса (до 0,3—0,4 м) при частоте вращения бурового инструмента не более 60 об/мин и минимальном давлении на забой. В этом случае оттаявшую и нарушенную при бурении периферийную зону керна тщательно зачищают. Диаметр мерзлых образцов дисперсных пород, отбираемых из кернов скважин, должен быть не менее 94 мм при высоте не менее одного диаметра, а диаметр кернов мерзлых крупнообломочных пород — не менее 200 мм. Ориентировочные сведения о форме, массе и размерах образцов и монолитов мерзлых пород, а также их количестве, необходимом для лабораторного исследования состава, строения и свойств этих пород, приведены в табл. 1.1.

— — —

' Для образцов цилиндрической формы: / — высота, d — диаметр.

Упаковка образцов мерзлых пород в холодные периоды года, при температуре воздуха ниже -5°C , не вызывает больших проблем и не отличается сложностью. При этом консервацию монолитов производят непосредственно на месте их отбора. На верхнюю поверхность монолита кладут помещенную в непромокаемый прозрачный полиэтиленовый пакет этикетку, на которой указывают: наименование организации, проводящей исследования; местонахождение пункта, где отобран образец; название, вид и номер горной выработки; номер образца; глубину отбора монолита;

наименование грунта по визуальным признакам; характеристику криотекстуры в месте взятия монолита; должность и фамилию лица, производившего отбор, — должны стоять его подпись и дата отбора монолита. Этикетку четко заполняют простым графитовым карандашом или шариковой ручкой. Затем монолит обматывают двумя-тремя слоями марли и

при отрицательной температуре воздуха обливают водой с температурой, близкой к 0°C, до тех пор, пока вся поверхность монолита не покроется слоем льда толщиной не менее 1 см, или парафинируют при температуре расплава не выше 60°C. Для увеличения пластичности парафина к нему можно добавить до 50% гудрона. После этого в монолит вмораживается или впарафинивается вторая этикетка, на которой указывают верх монолита.

Монолиты грунтов, отбираемые в режущие кольца, отправляют в лабораторию в тех же кольцах, проведя предварительно консервацию открытых граней монолита. Для этого торцы колец покрывают несколькими слоями марли, обливают водой до получения необходимого слоя льда и на верхнюю грань помещают этикетку.

При отборе монолитов мерзлых пород и природных льдов в теплый период года необходимо как можно быстрее, в течение до 1—2 часов, доставить их во временное хранилище с отрицательной температурой воздуха (шахту, штольню, холодильную камеру и т.п.). Для доставки монолитов в хранилище можно использовать переносные сумки-термосы с замороженными фреоновыми элементами. Внутренний объем сумки — до 40—50 дм³, внутри нее отрицательная температура может сохраняться в течение длительного времени (до суток и более). Если при доставке монолита в хранилище все-таки произошло его частичное оттаивание, то перед консервацией по описанной выше схеме оттаявший слой грунта необходимо удалить с поверхности монолита.

Законсервированные образцы (монолиты) мерзлой породы, предназначенные для транспортировки в лабораторию, находящуюся на значительном расстоянии от места отбора (или временного хранения), упаковываются в жесткую тару (деревянные, металлические, пластмассовые ящики или термосы). Масса ящиков, включая монолиты, не должна превышать 40—50 кг. При укладке монолитов в ящики их отделяют друг от друга и от стенок слоем (толщиной 3—4 см) теплоизоляционного материала

(древесные опилки, стружка, мох, пенопласт или пенопластовая крошка и т.п.). Под крышку ящика необходимо положить завернутую в непромокаемый полиэтиленовый пакет ведомость образцов (монолитов). Ящики нумеруют и снабжают надписями: «Верх», «Не бросать», «Не кантовать», а также адресами отправителя и получателя.

Транспортировка и хранение образцов мерзлых пород. Сроки транспортировки и хранения должны быть максимально сжаты ми. По возможности транспортировку монолитов и образцов мерзлых пород следует производить при отрицательной температуре. Оптимальная температура для этого, как и последующего хранения мерзлых пород, — 5...-10°C. При воздушной транспортировке ящики с монолитами желательно помещать в грузовом холодном отсеке самолета, при железнодорожных перевозках — в холодильных камерах вагонов-рефрижераторов, при автоперевозках — в автомобилях-рефрижераторах или же в автомобилях, оборудованных специальными холодильниками. При транспортировке мерзлых тонкодисперсных пород следует избегать резких колебаний температуры, которые могут вызвать перераспределение внутригрунтовой влаги и соответственно перестройку (изменение) криогенного строения.

При хранении образцов и монолитов мерзлых пород до их лабораторных исследований воздух в помещениях или камерах должен иметь относительную влажность 80—90% при температуре от -5 до -10°C. Согласно ГОСТ 12071—84, монолиты грунта, имеющие повреждения гидроизоляционного (защитного) слоя и дефекты упаковки или хранения, допускается принимать к лабораторным испытаниям только как образцы грунта нарушенного сложения. При длительном хранении монолитов два раза в месяц проверяется сохранность их изоляции и в случае обнаружения трещин их немедленно заделывают ледяным или парафиновым покрытием.

Таблица 1.2 Журнал для регистрации образцов мерзлых пород, поступивших в лабораторию Схема последовательности изучения состава, строения и свойств мерзлых горных пород.

Исследованию состава, строения и свойств образцов мерзлых пород предшествует детальное изучение и описание их макростроения, при котором отмечаются основные особенности строения (литологическая слоистость, цвет, органические и другие включения и т.п.) и распределения льда в породе с характеристикой криогенных текстур.

В зависимости от решаемых задач и технических возможностей в программу исследований может входить изучение полного комплекса свойств (вещественный состав, строение, водно-физические, теплофизические, механические, электрические, массообменные, пучинистые и другие свойства). Сокращенная программа допускает изучение, например, только состава и водно-физических свойств.

В обоих случаях в первую очередь необходимо иметь полное представление о самой мерзлой породе, т.е. о ее вещественном составе, криогенном строении, температурных условиях, являющихся следствием истории ее образования.

Образцы мерзлой породы, доставленные в лабораторию, освобождаются от слоя изоляции (льда или парафина) и регистрируются в журнале (табл. 1.2).

Рациональная схема последовательности изучения состава, строения и свойств мерзлых дисперсных пород приведена в табл. 1.3. Некоторые показатели определяются на всем объеме отобранного монолита, например в случае криогенных текстур.

Для анализа других показателей необходима только часть образца или монолита. Строго фиксированный объем породы, используемый для непосредственных определений какого-либо показателя состава, строения или свойств, называется пробой. Размер пробы и способ ее подготовки к

проведению анализа зависят от применяемой методики. Масса отобранного монолита должна быть достаточной для всего планируемого комплекса испытаний.

В процессе разделки образцов естественного сложения на отдельных пробах определяют общую плотность породы, ее суммарную влажность и плотность минеральных частиц. Одновременно берут навеску для определения гранулометрического, агрегатного, минерального и химического состава породы, состава водных, солянокислых и щелочных вытяжек. В процессе выполнения гранулометрических анализов собирают отдельные фракции для изучения минерального и петрографического (грубозернистые фракции) состава. При определении глинистых минералов желательна применение комплекса методов — термического, рентгенографического, электронно-микроскопического и др.

В первую очередь изучают криогенное строение, определяют фазовый состав воды в нужном диапазоне температур, размокаемость и размываемость грунтов, их морозостойкость, температурные деформации, температуру замерзания и оттаивания, а затем исследуют теплофизические, теплопроводные, механические, электрические и акустические свойства мерзлых пород и их пучинистость.

Таким образом, сначала выполняют те исследования, для которых необходимы пробы с естественной влажностью и ненарушенной структурой и длительное время.

Из табл. 1.1 видно, что для полного спектра исследований состава, строения и свойств мерзлых пород требуется довольно значительный объем монолитов и образцов. Для каждого типа грунта, проходящего полный комплекс лабораторных исследований, в зависимости от его плотности, а следовательно, от количества текстурообразующего льда, масса монолитов образцов может составлять от 50 до 80—100 кг, или по объему — от 30 до 50—60 дм³. Учитывая физические и технологические сложности отбора,

транспортировки и хранения мерзлых пород, в ряде случаев, Таблица 1.3 Рациональная схема последовательности изучения состава, строения и свойств мерзлых дисперсных пород видимо, можно рационально оптимизировать, а точнее, минимизировать объемы отбираемых и направляемых в лабораторию монолитов и образцов. Так, например, образцы для исследования температурных деформаций, прочностных, электрических и акустических свойств при условии сохранения их мерзлого состояния можно в дальнейшем использовать для выполнения агрегатного и микроагрегатного анализа, химического анализа, определения влажности и льдистости породы и т.п. Точно так же монолиты больших размеров для изучения криогенного строения после проведения данных исследований в определенном объеме можно разделить на мелкие образцы для других видов лабораторного изучения.

Таким образом, при рациональной минимизации объем мерзлой породы, направляемой на полный комплекс лабораторных исследований, видимо, можно сократить в 1,5—2 раза по сравнению с приведенным в табл. 1.1, а схема последовательности изучения состава, строения и свойств породы при этом может несколько измениться в сравнении со схемой, приведенной в табл. 1.3.

Многолетний практический опыт проведения комплексных геокриологических и (или) инженерно-геокриологических исследований в различных регионах России показывает, что ряд характеристик состава, строения и свойств мерзлых пород можно получить при выполнении полевых исследований непосредственно на месте. В результате объем образцов и монолитов мерзлых пород, отбираемых для последующих исследований в стационарных лабораторных условиях, может быть существенно сокращен. Это, в свою очередь, уменьшает проблемы, связанные с упаковкой, транспортировкой и хранением мерзлых образцов и монолитов, и значительно сокращает общие расходы по определению их характеристик.

При полевых исследованиях после детального описания разреза многолетнемерзлых пород можно на месте определить характеристики их состава, строения и свойств в такой последовательности:

криогенные текстуры; объемная масса; влажность и льдистость породы; содержание органического вещества; коэффициент теплопроводности (методом зонда); осадка при оттаивании (методом горячего штампа); размываемость и размокаемость.

Полевые методы определения названных характеристик подробно описаны в последующих разделах. В тех случаях, когда разрез пород (или его часть) представлен песчаными, гравийно-галечниковыми и другими грубодисперсными (дресва, щебень, глыбы) отложениями, в полевых условиях можно определить их гранулометрический состав, используя ситовый анализ и метод грохочения.

Помимо прямых полевых методов существуют методы косвенного определения свойств мерзлых пород. К ним, в частности, относятся нейтронный метод определения влажности и глубинный гамма-каротаж для определения плотности мерзлых грунтов в скважинах. Для расчленения разреза и изучения площадной изменчивости мерзлых толщ по составу и льдистости, включая оценку льдистости их массивов за счет мономинеральных залежей подземных льдов разного генезиса, их размеров и формы, широко применяется комплекс геофизических методов — электропрофилирование, вертикальные электрические зондирования, георадиолокация и др. Они позволяют определять ряд физических параметров мерзлых пород, таких как электропроводность, скорость распространения радиоволн и др.

Если на территории исследований имеются подземные горные выработки (шахты, штольни, подземные склады и т.д.) с постоянной отрицательной температурой воздуха внутри их, представляется возможность дополнительно определить на месте еще ряд характеристик

мерзлых пород. При значительной протяженности подземных выработок в различных их частях внутренняя температура воздуха может иметь постоянные отрицательные, но различные значения. Таким образом, некоторые показатели свойств мерзлых пород можно определять в спектре отрицательных температур, тем самым уменьшая количество образцов и монолитов, транспортируемых в стационарные лаборатории. К таким показателям относятся условно-мгновенная и длительная прочность породы, ее сопротивление на разрыв, сдвиг и т.д., а также электрические и акустические свойства.

При наличии подземных выработок с отрицательной температурой в них можно снимать реплики с мерзлой породы для последующего электронно-микроскопического изучения микростроения, а также изготавливать шлифы и исследовать с помощью поляридов и оптического микроскопа строение внутригрунтовых льдов разного генезиса, в том числе и текстурообразующих.

Лекция 4

Изучение физических свойств мерзлых грунтов

Характеристики основных физических свойств грунтов, как правило, определяются экспериментально в полевых и лабораторных условиях. Другие характеристики свойств, вычисляются с использованием взаимосвязи полученных значений основных физических свойств по формулам.

Мерзлые грунты являются четырехкомпонентной системой, состоящей и взаимодействующих между собой твердых минеральных частиц, пластичных – льда, жидких – незамерзшей воды и газообразных. В связи с этим для вычисления основных физических характеристик однокомпонентных (массивы скальных пород) или квазиоднокомпонентных

(сыпучие грунты) грунтов достаточно одной характеристики – плотности частиц грунта ρ_s , г/см³, для двухкомпонентной, двух: ρ_s и естественной влажности, W_e , д.ед, для трехкомпонентной, трех: - ρ_s , W_e и плотности грунта естественного сложения - ρ , г/см³, для четырехкомпонентных, четырех: ρ_s , ρ , суммарной влажности W_{tot} и количества незамерзшей воды W_w , д.ед. [32, 42].

4.1. Плотность мерзлых грунтов

Под плотностью мерзлого грунта понимают массу единицы его объема в ненарушенном сложении. Единицей измерения этого свойства в системе СИ является кг/м³, в системе СГС – г/см³, иногда используется т/м³. Плотность определяется на образцах ненарушенного сложения и при естественной влажности в единице объема грунта. Пористость может быть выражена коэффициентом пористости, равным отношению объема пор к объему минерального скелета грунта. В соответствии с различными типами пористости выделяют суммарный коэффициент пористости мерзлых грунтов, e , и коэффициент пористости минеральных агрегатов или минеральных прослоек, e_2 . В немерзлых грунтах коэффициент пористости, как правило, не превышает 2 д. е., в мерзлых грунтах он изменяется в широких пределах и в сильно льдонасыщенных грунтах может быть равен 3 и даже 5 д. е. С увеличением льдистости при постоянном значении e_2 коэффициент общей пористости возрастает в 2,7–5,0 раз при увеличении льдистости от 5 до 50 % .

Плотность минеральных частиц грунта определяется пикнометрическим методом. При определении плотности частиц засоленного грунта воздушные поры удаляются не кипячением, а вакуумированием. При отсутствии экспериментальных данных в расчетных моделях можно использовать следующие значения плотности

минеральных частиц для песков - 2,66, супесей – 2,70, суглинков – 2,72 и для глин – 2,75 г/см³ [28, 32].

В связи с многообразием криогенного строения грунтов, при определении плотности мерзлых грунтов необходимо увеличивать размеры образцов правильной формы на порядок, в сравнении с толщиной шлира льда.

В зависимости от типа криогенной текстуры для определений плотности мерзлого грунта применяются методы: 1 – режущих цилиндров (режущего кольца); 2 – обмера образцов правильной геометрической формы; 3 – взвешивания образцов в нейтральной жидкости; 4 – метод лунки; 5 – метод вытеснения нейтральной жидкости (метод Ведерникова); 6 – радиоизотопные и 7 – расчетные. При полевых исследованиях используются методы 1, 2, 4, 7, при работе в лабораторных и стационарных условиях – 3, 5, 6, 7. Различия между основными методами сводятся к способу определения объема образца: по объему вытесненной жидкости или непосредственно обмером образца заданной формы. Для практических целей минимальный объем образца мерзлого грунта с массивной текстурой при определении плотности целесообразно принимать не менее 27 см³. Отбор пробы должен сопровождаться описанием криогенного строения грунта и характеристикой его состава и влажности. Взвешивание образца при определении общей плотности грунта производят с точностью до 0,01 г на технических и с точностью до 1 г на чашечных весах. Определение плотности мерзлого грунта проводится трехкратно. Расхождение результатов параллельных определений мерзлого грунта не должно превышать 0,05 г/см³. За величину плотности грунта принимают среднее арифметическое значение результатов параллельных определений. Конечный результат выражают с точностью до 0,01 г/см³.

4.1.1. Метод взвешивания образца в нейтральной жидкости

Метод применяется для определения плотности мерзлых тонкодисперсных грунтов с тонкослоистой, мелкосетчатой криогенными текстурами при толщине минеральных прослоек не более 0,5 см. Взвешивают образец в сосуде емкостью 1000 см³ на две трети заполненном нейтральной жидкостью. В процессе работы измеряется температура жидкости и ее плотность, с коромысла технических весов снимают левую дужку с чашкой и уравнивают весы мешочком с дробью, подвешенным на крючок левой дужки. Пробу мерзлого грунта объемом не менее 50 см³ перевязывают капроновой ниткой, подвешивают к левой серьге весов и взвешивают. На подставку весов с левой стороны помещают сосуд с нейтральной жидкостью, пробу мерзлого грунта погружают в жидкость на глубину не менее 5–7 см и вновь взвешивают. Проба мерзлого грунта при взвешивании не должна соприкасаться с дном и стенками сосуда. После взвешивания мерзлого монолита в воздухе и затем в нейтральной жидкости определяют общую плотность мерзлого грунта. Точность измерения плотности этим методом составляет 0,02 г/см³. Нейтральная жидкость, используемая для определения объема грунта, должна иметь температуру замерзания ниже температуры замерзания этого грунта, не реагировать с грунтом и не растворять лед. Обычно в качестве нейтральной жидкости применяются керосин или глицерин. Плотность этих жидкостей устанавливается ареометром или определяется следующим образом. В стеклянную колбу объемом 50 см³ насыпают дробь в таком количестве, чтобы колба тонула в воде. Затем колба взвешивается в воздухе и в дистиллированной воде. Объем колбы равен разности весов колбы в воздухе и в воде, деленной на плотность воды. Таким образом, если известны объем колбы, ее вес в воздухе и нейтральной жидкости, то плотность нейтральной жидкости (при данной температуре) равна разности масс колбы в воздухе и жидкости, деленной на объем колбы.

Нередко для определения плотности методом гидростатического взвешивания образец мерзлого грунта предварительно покрывают парафиновой оболочкой, а его взвешивание проводят в воде. Предварительно образец грунта зачищают ножом для удаления острых выступающих граней и взвешивают с точностью до 0,01 г в помещении с

отрицательной температурой. После взвешивания образец несколько раз погружается в парафин. Остающиеся под парафиновой оболочкой пузырьки воздуха удаляются нагретой иглой. Определив массу запарафинированного образца в воздухе и воде, устанавливают объем парафина, объем и плотность грунта. Зная общую плотность мерзлого грунта, рассчитывают плотность скелета грунта.

4.1.2. Метод «лунки»

Метод «лунки» применяют для определения общей плотности мерзлых дисперсных пород с массивной и шлировой криогенными текстурами (рис. 4.1 а)

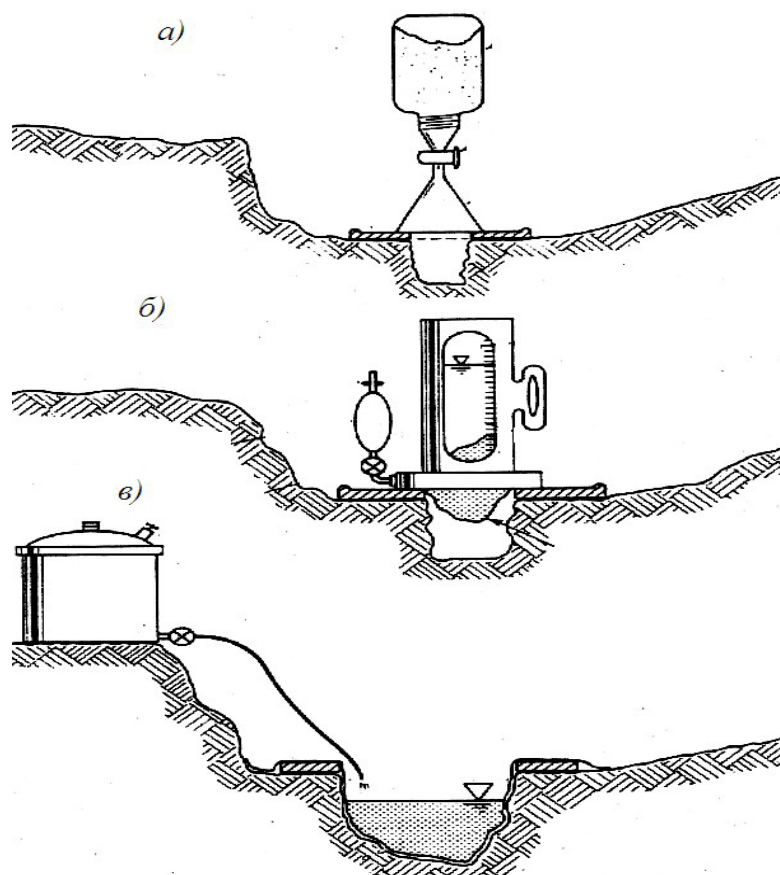


Рис. 4.1. Определение плотности грунтов методом замещения

объема:

а – с помощью пескозагрузочного аппарата, б – аппаратом с резиновым баллоном, в – с помощью полиэтилена, выстеленного в лунке.

Этим же методом устанавливается плотность крупнообломочных пород. Метод используется при работе в открытых горных выработках. Дно выработки выравнивают и зачищают. В дне шурфа делают углубление – лунку – размером не менее 30 x 30 x 30 см. Весь грунт, выбранный из лунки, собирают и взвешивают на чашечных весах с точностью до 1,0 г. После отбора грунта дно лунки выстилается синтетической пленкой (рис. 3.1, в). Затем лунку заполняют водой или засыпают сухим песком с размером зерен от 0,5 до 3,0 мм. Мерный песок должен быть не только однородным, но и чистым. Измеряют объем песка или объем воды, необходимый для заполнения лунки, и таким образом устанавливают объем грунта, извлеченного из лунки. Определив массу грунта и его объем, вычисляют общую плотность мерзлого грунта.

4.1.3. Метод режущего кольца

используется для определения плотности минеральных агрегатов грунтов с крупносетчатой или крупнослоистой криогенной текстурой, где размер минеральных агрегатов или минеральных прослоек составляет не менее 4,0 см, а также для определения плотности мерзлых грунтов с массивной криогенной текстурой. Методика определения сводится к отбору монолита грунта в стальное режущее кольцо объемом 50–100 см³. После отбора грунта в кольцо оно взвешивается. Зная объем мерзлого грунта и его массу, устанавливают плотность мерзлого грунта. Зная массу грунта после его высушивания, вычисляют плотность скелета грунта.

Метод обмера образцов правильной геометрической формы применяется для определения плотности грунтов с различными типами и

видами криогенных текстур. При отборе монолита ему придают определенную форму, позволяющую установить объем грунта в ненарушенном сложении. Отобранная проба грунта взвешивается и устанавливаются общая плотность грунта, а после его высушивания до постоянного веса – плотность скелета грунта. Обычно при определении плотности мерзлого грунта монолитам придают форму куба или параллелепипеда. Для определения приближенного значения γ по монолитам (объемом не менее 50 см^3), извлеченным из буровых скважин, измеряется их диаметр, высота (с точностью до $0,01 \text{ см}$) и масса. Этот же метод применяется для определения плотности скелета грунтов с массивной, крупнослоистой и крупносетчатой криогенными текстурами.

4.1.4. Метод вытеснения нейтральной жидкости (метод Ведерникова)

применяется для определения плотности мерзлого грунта при работе в полевых условиях. Для определения необходима емкость со сливным устройством. Керна мерзлого грунта из скважины или монолит мерзлого грунта произвольной формы, отобранный из стенки выработки, взвешивают и обвязывают капроновой ниткой. Затем монолит быстро опускают в емкость и измеряют объем вытесненной жидкости, предварительно охлажденной до 0°C . Определив массу грунта и объем вытесненной жидкости, рассчитывают общую плотность мерзлого грунта. Этот же метод используется для определения объема небольших монолитов мерзлого грунта в лабораторных условиях. Перед тем как погрузить грунт в емкость со сливным устройством, его взвешивают, затем парафинируют и вновь взвешивают. Определив массу грунта без парафина и массу грунта в парафиновой оболочке, вычисляют массу парафина. Зная, что плотность чистого парафина равна $0,9 \text{ г/см}^3$, устанавливают его объем и объем мерзлого грунта, а затем рассчитывают общую плотность.

Радиоизотопные методы применяются, в основном, для измерения плотности мерзлых грунтов в условиях естественного залегания. Существует два метода измерения плотности с использованием гамма-излучения: 1 – гаммаскопический метод; 2 – метод рассеянного гамма-излучения. В качестве источников гамма-излучения используются главным образом изотопы цезий-137 и кобальт-60.

4.1.5. Радиоизотопные методы

Для измерения плотности радиоизотопными методами отечественной промышленностью выпускались радиоизотопный влагоплотномер УР-70 и поверхностно-глубинный плотномер ППГР-1, предназначенные для скважинных измерений до глубины 30 м. Для измерения плотности верхнего слоя грунта до глубины 0,3 м используется плотномер типа ИОМР-2. Точность измерения плотности колеблется в пределах $\pm(0,02-0,04)$ г/см³ в зависимости от типа прибора. Время измерения в одной точке не превышает 3 минут [6]. В силу опасности метода для окружающих и сложности хранения радиоактивных изотопов, радиоактивные методы в настоящее время не используются.

4.2. Методы определения влажности грунтов

Суммарная влажность мерзлого грунта W_{tot} выражается в долях единицы и принимается равной отношению всех видов воды и льда, содержащихся в мерзлом грунте, к массе сухого грунта (а для засоленных грунтов — к массе сухого грунта и содержащихся в нем солей):

$$W_{tot} = W_i + W_{ic} + W_w = W_i + W_m, \quad (4.1)$$

где W_i — влажность мерзлого грунта за счет ледяных включений, т. е. линз и прослоек льда; W_{ic} - влажность за счет льда-цемента (порового льда), W_w – влажность за счет содержания незамерзшей воды при данной температуре; W_m -влажность минеральных прослоев грунта между шлирами льда принимается равной сумме содержащейся в мерзлом грунте воды за счет льда-цемента W_{ic} и незамерзшей воды W_w . Величину W_{tot} определяют опытным путем в соответствии с ГОСТ 5180–84 [13].

Обычно все входящие в выражение параметры влажности должны определяться в ходе полевых и лабораторных работ опытным путем. При затруднениях, связанных с определением, строительными нормами и правилами (СНИП) допускается вычисление части показателей. Влажность мерзлого грунта между включениями льда определяется также в соответствии с ГОСТ 5180–84[13], в случае если w_m нельзя определить опытным путем, то для глинистых грунтов принимается

$$W_m \approx W_p, \quad (4.2)$$

где w_p — влажность, соответствующая нижнему пределу пластичности (влажность на границе раскатывания), доли единицы.

Влажность мерзлого грунта за счет порового льда (льда-цемента), w_{ic} , обычно вычисляется по зависимости:

$$W_{ic} = W_m - W_w. \quad (4.3)$$

Влажность мерзлого грунта за счет ледяных включений, w_i :

$$W_i = W_{tot} - W_m. \quad (4.4)$$

Величина суммарной влажности мерзлых грунтов изменяется в широких пределах и может намного превышать их полную влагоемкость в талом состоянии. Например, влажность мелкозернистых пылеватых песков с включением органического вещества может достигать 60 %, заторфованных суглинков – 150–200 %, а торфа – 400–800 % и более. Неоднородность криогенного строения мерзлых пород по вертикальному профилю, неоднородность их механического состава предопределяют необходимость обязательного послойного определения влажности и льдистости с предварительным подразделением на неоднородные по составу и криогенной текстуре слои в каждом генетическом горизонте отложений. Определение влажности и льдистости производится с таким расчетом, чтобы учесть изменение этих величин во времени и по глубине разреза.

Выбор методики определения влажности при изучении мерзлых грунтов в полевых и лабораторных условиях обусловливается составом грунтов и их криогенной текстурой. Существуют различные методы определения влажности, которые в первом приближении могут быть подразделены на экспериментальные и расчетные. Среди экспериментальных методов наиболее широкое применение получили весовые (или прямые) методы, включающие непосредственное нахождение величины влажности мерзлого образца, извлеченного с определенной глубины, взвешиванием этого образца до и после удаления из него влаги. В последнее время для оценки влажности мерзлых грунтов используются также радиоизотопные методы, в частности нейтроннейтронный. Этот метод наиболее перспективен, поскольку позволяет определить влажность мерзлого грунта не только в момент измерения, но и проследить за изменением ее во времени. Однако применительно к мерзлым грунтам со шлировыми криогенными текстурами радиоизотопные методы находятся в стадии разработки. В расчетных

методах для определения влажности мерзлых грунтов используются различные показатели.

4.2.1. Методы отбора проб

Точечный метод применяется для определения суммарной влажности мерзлых глин, суглинков, супесей, песков, характеризующихся массивной криогенной текстурой, и для определения влажности минеральных прослоек (или минеральных агрегатов) w_m , заключенных между ледяными слоями или ограниченными перемычками льда. Точечный метод включает определение влажности в некоторой «точке» слоя грунта. Имеется в виду некоторый малый объем грунта, не превышающий нескольких сантиметров в любом направлении. Пробы грунта с массивной криогенной текстурой отбираются по глубине через определенные интервалы и помещаются в тарированные металлические бюксы. Пробу грунта высушивают до постоянной массы. Взвешивание производят с точностью до 0,01 г. После отбора пробы грунта бюкс обматывается изолентой, которую снимают при его взвешивании. Взвешивать необходимо в тот же день, когда производится отбор пробы грунта. Минимальная навеска для определения суммарной влажности тонкодисперсных или песчаных грунтов должна быть не менее 30 г. Количество проб и частота их отбора по глубине разреза определяются задачами исследования. Обычно в однородных по составу грунтах с массивной криогенной текстурой с каждого метра разреза отбираются 3–4 пробы грунта. При содержании в грунтах органических остатков менее 10 % от массы сухого грунта допускается ускоренное высушивание мерзлого грунта при температуре 200–250 градусов (первичное – в течение 1 ч, повторное – 30 мин) [6].

Метод бороздки применяется для тонкодисперсных и песчаных грунтов с тонкослоистой или мелкосетчатой криогенными текстурами, где толщина включений льда не превышает 0,5 см, а расстояние между ними

не более 1 см. На стенке выработки или по высоте образца прочерчиваются две параллельные линии. Из ограниченной линиями «бороздки» грунт тонким и ровным по толщине слоем соскабливается в бюксы. Отбор проб методом бороздки проводят непрерывно по всему массиву грунта. Каждая проба характеризует собой среднюю влажность слоя грунта (мощностью 10–15 см) с однотипной криогенной текстурой. Определение производят с трехкратной повторностью[6].

Метод средней пробы применяется для сильно льдонасыщенных грунтов с различными типами криогенных текстур, где толщина прослоек льда может изменяться в широких пределах. Пробы грунта массой от 0,2 до 2,0 кг и более помещают в полиэтиленовые мешки при этом необходимо, чтобы грунт из массива отбирался ровным по толщине слоем. После отбора пробы грунт переносят в тарированную чашку, оттаявший грунт перемешивают металлическим шпателем и доводят до состояния однородной массы с влажностью, близкой к границе текучести, добавляя к образцу дистиллированную воду или сливая избыток воды, исключая потерю грунта. Из грунтовой смеси отбирают в бюксы три параллельные пробы массой не менее 50 г для определения влажности средней пробы грунтовой массы. Для определения влажности крупнообломочных отложений применяются два метода [6]: весовой и метод Ведерникова.

4.2.2. Весовой метод

Влажность крупнообломочных пород устанавливается высушиванием образцов массой не менее 3 кг до постоянной массы при температуре 100–105 °С. Высушивание производится на металлических противнях. Перед высушиванием и после образец взвешивают на чашечных весах с точностью до 1 г. В некоторых случаях важно установить не только общую суммарную влажность крупнообломочных пород, но отдельно и влажность крупнообломочных частиц и влажность заполнителя. Влажность крупнообломочной части грунта (частиц размером более 2 мм)

принимают равной величине их водоудерживающей способности, которую определяют следующим образом. Образец грунта после его высушивания на противнях рассеивают на ситах известной массы с отверстиями диаметром 2 мм. Сито с крупными частицами взвешивают на чашечных весах с точностью до 1 г и помещают в сосуд с водой на 1 ч. Дав стечь избытку воды, сито вновь взвешивают и рассчитывают влажность.

4.2.3. Метод Ведерникова.

Методом Ведерникова методом определяют суммарную влажность гравийно-галечниковых или крупнообломочных отложений, сцементированных льдом. Глыбу мерзлого грунта массой не менее 2–3 кг взвешивают и опускают в сосуд с водой и полностью оттаивают. Затем перемешивают грунт для удаления пузырьков воздуха и доливают водой до тех пор, пока ее излишек не перельется через водослив, после чего сосуд с водой и грунтом взвешивают. Зная массу сосуда, наполненного водой, рассчитывают суммарную влажность грунта. Использован принцип пикнометрического способа определения суммарной влажности, что освобождает от необходимости высушивания грунта. Объем грунта определяется по объему вытесненной им воды, льдистость – по изменению объема системы скелет–вода после оттаивания в грунте льда. Прибор для выполнения опыта представляет собой сосуд объемом от 3 до 10 л и более со сливным устройством (шланг с зажимом), установленный на чашечные или автоматические весы. Весы устанавливают на горизонтальную плоскость, на чашку весов помещают сосуд при закрытом зажиме на сливном шланге. В сосуд наливают воду выше сливного отверстия, избыток воды сливают через шланг, затем зажим закрывают и определяют массу сосуда с водой. Все последующие операции проводят с зафиксированным положением сосуда. В сосуд с водой при закрытом зажиме помещают образец мерзлого грунта массой более 1 кг и взвешивают, получают массу сосуда с водой и грунтом-монолитом. После

взвешивания открывают зажим, сливая избыток воды выше сливного устройства, затем закрывают зажим, а сосуд с водой и грунтом снова взвешивают и получают массу сосуда с грунтом-монолитом после слива воды. После оттаивания мерзлого грунта в сосуде с водой и его размокания уровень воды в сосуде опустится ниже сливного отверстия, поэтому следует долить воды несколько выше сливного отверстия, избыток ее слить через шланг, а сосуд с водой и размокшим грунтом взвесить. Получают массу сосуда с водой и размокшим грунтом. Для ускорения оттаивания образец можно разбить ножом. Затем проводится расчет физических характеристик.

4.2.4. Расчетный метод

Расчетный метод определения суммарной влажности применяется для грунтов со слоистой и сетчатой криогенными текстурами, когда включения льда имеют четкие прямолинейные границы, толщина их превышает 2 мм, а расстояние между соседними включениями составляет более 10 мм. При изучении криотекстуры мерзлого грунта в стенках выработок или естественных обнажениях измеряют толщину включений льда в определенном интервале глубин или в горизонте. Для грунта слоистой криогенной текстуры суммарную толщину включений льда подсчитывают по глубине разреза, для грунта сетчатой криогенной текстуры – по глубине и по простиранию. Измерения производят с трехкратной повторностью, а за величину суммарной толщины включений льда принимают среднее арифметическое значение результатов параллельных измерений. Суммарная толщина включений льда, приходящаяся на единицу глубины разреза (в случае слоистой криогенной текстуры), или суммарная площадь ледяных включений на единицу площади разреза (для сетчатой криогенной текстуры), даст величину объемной льдистости мерзлого грунта за счет ледяных включений. Суммарную влажность слоев мерзлого грунта, расположенных между

измеренными включениями льда, определяют в зависимости от их криогенной текстуры точечным методом или методом бороздки. При мощности слоев 0,5 м и более влажность определяют для каждого из них, при меньшей мощности – в случае постоянства их криогенной текстуры – через каждые 0,5 м по глубине, а при изменении криогенной текстуры слоев в разрезе – для каждого слоя. В последующих расчетах используют среднее значение суммарной влажности слоев. При определении влажности мерзлого грунта крупноредкосетчатой криогенной текстуры по кернам расчетный способ дает лишь приближенное значение суммарной влажности, как правило, заниженное, так как при этом невозможно учесть крупные вертикальные включения льда. Графическое выражение влажности осуществляется путем построения профиля влажности по глубине разреза, где на одной оси координат откладывается среднее значение влажности для каждого слоя определенной мощности, а на другой – глубина отбора пробы. Используется также метод построения хроноизоплант влажности, который позволяет охарактеризовать особенности изменения влажности в грунтовом массиве любой мощности за определенный промежуток времени. Метод заключается в том, что в обычной сетке прямоугольных координат по оси абсцисс откладывают даты, а по оси ординат – глубину от поверхности. Для каждого срока наблюдений на соответствующей ему ординате выписывают величину влажности грунта. Затем на этих ординатах путем интерполяции обыскиваются точки, отвечающие величинам влажности с выбранным интервалом значений. Точки с одинаковыми влажностями соединяют линиями, которые и являются линиями с одинаковой во времени влажностью [6].

4.2.5. Метод определения содержания незамерзшей воды

Содержание незамерзшей воды W_w в грунте равно отношению массы незамерзшей при данной отрицательной температуре воды к массе сухого

грунта. Наличие W_w в грунте связано с тем, что минеральные частицы, обладая большой поверхностной энергией, взаимодействуют с водой, изменяя ее структуру, состав и свойства. Такая адсорбированная на поверхности минеральных частиц вода не замерзает при отрицательной температуре. Поровый лед в мерзлой породе также обладает значительной поверхностной энергией и гидрофильностью и становится причиной образования вблизи поверхности тонкого слоя промежуточной фазы влаги. Количество незамерзшей воды зависит от температуры, гранулометрического, химического и минерального состава грунта [8, 12].

С уменьшением размеров частиц и повышением дисперсности содержание незамерзшей воды увеличивается в связи с ростом удельной активной поверхности грунтов. Поэтому при одной и той же температуре W_w у песков значительно меньше, чем у супесей и глин.

При понижении температуры выделяют интервалы интенсивных, среднеинтенсивных, слабоинтенсивных изменений содержания незамерзшей воды. В первом случае, изменение весовой влажности (содержание незамерзшей воды) при изменении t на 1°C составляет более 5 %. Величина термоградиентного коэффициента $\delta_t = \Delta W_w / \Delta t$ составляет $0,5^\circ\text{C}^{-1}$. В этой области, расположенной вблизи 0°C , вымерзает вся слабосвязанная вода. Границы области соответствуют температуре замерзания рыхлосвязанной воды. Во втором случае термоградиентный коэффициент существенно уменьшается и колеблется в пределах $0,2 > \delta_t > 0,02^\circ\text{C}^{-1}$.

Границы приведенной выше области соответствуют температуре замерзания рыхло- и прочносвязанной воды. В третьем случае фазовые переходы практически полностью отсутствуют, $\delta_t < 0,02^\circ\text{C}^{-1}$, а температура ниже температуры замерзания прочносвязанной воды.

Критические температуры перечисленных выше зон в ряду супесь, суглинок, глина выглядят следующим образом. Температурная граница, ограничивающая первую зону: соответственно $-4,5$, $-7,5$ и $-10,0^\circ\text{C}$, вторую зону – $-7,0$, $-11,0^\circ\text{C}$, для глин она не устанавливается.

Содержание незамерзшей воды в грунтах определяется калориметрическим, криоскопическим, контактным, гигроскопическим и другими методами [19].

При отсутствии экспериментальных данных или необходимости получения экспресс информации о количестве незамерзшей воды используются расчетные методы. Один из таких методов предложен в нормативном документе [37]. Рекомендованная в нем расчетная формула имеет следующий вид:

$$w_w = k_w w_p, \quad (4,5)$$

где k_w – коэффициент, принимаемый по таблице 4.1 в зависимости от числа пластичности I_p и температуры грунта t_0 . грунта, w_p – влажность грунта на границе раскатывания, д.ед.

Таблица 4.1

Значение коэффициента k_w []

Грунты	I_p , д.ед.	Коэффициента k_w при температуре грунта t_0 °C							
		-0,3	-0,5	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-6,0	-8,0
Пески и супеси	$I_p \leq 0,02$	-0,3	-0,5	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-6,0	-8,0
Супеси	$0,02 \leq I_p \leq 0,07$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Суглинки	$0,07 \leq I_p \leq 0,13$	0,60	0,50	0,40	0,35	0,33	0,30	0,28	0,26
Суглинки	$0,13 \leq I_p \leq 0,17$	*	0,75	0,65	0,55	0,53	0,50	0,48	0,46
Глины	$I_p \leq 0,13$	*	0,95	0,90	0,65	0,63	0,63	0,58	0,56

*в порах грунта вся вода находится в незамерзшем состоянии

4.2.6. Взаимосвязь показателей физических свойств грунта

В работах Н.А. Цытовича неоднократно указывалось на существующую взаимосвязь между показателями характеристик основных физических свойств грунтов [].

Весовая льдистость – i , д. е., отношение веса воды к весу всего грунта, определяется по формуле:

$$i = \frac{W_{tot} - W_w}{W_{tot}} \quad (4.6)$$

W_{tot} – суммарная влажность мерзлого грунта, д. е.; W_w – влажность мерзлого грунта за счет содержащейся в нем при данной отрицательной температуре незамерзшей воды, д. е.

Суммарная объемная льдистость мерзлого грунта i_0 , д. е., – отношение объема содержащегося в нем льда к объему мерзлого грунта, определяется по формуле:

$$i_0 = \frac{\rho_i i}{\rho} = \frac{\rho(W_{tot} - W_w)}{\rho_i(1 + W_{tot})} \quad (4.7)$$

где ρ_i – плотность льда, принимаемая равной 0,9 г/см³; ρ – плотность мерзлого грунта, г/см³, i – весовая льдистость, д. е., Формула применима

для мерзлых грунтов с различными видами криогенных текстур, где толщина включений льда не превышает 0,5 см.

Льдистость грунта за счет видимых ледяных включений i_i , д. е., – отношение содержащегося в нем объема видимых ледяных включений к объему мерзлого грунта. Определяется по формуле [2]:

$$i_i = \frac{\rho_s(W_{tot} - W_m)}{\rho_i + \rho_s(1 + W_w)} \quad (4.8)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³; ρ_i – плотность льда, принимаемая равной 0,9 г/см³; W_{tot} – суммарная влажность мерзлого грунта, д. е.; W_m – влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями, д. е.; W_w – влажность мерзлого грунта за счет содержащейся в нем при данной отрицательной температуре незамерзшей воды, д. е.

Льдистость грунта за счет порового льда-цемента i_{ic} , д. е., определяется также из разности:

$$i_{ic} = i_{tot} - i_i \quad (4.9)$$

Экспериментально льдистость определяется на основе совмещенного метода Г.П. Мазурова.

Степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и не замерзшей водой S_r , д. е., определяется по формуле:

$$S_r = \frac{W_{tot}\rho_s}{\varphi_w} = \frac{(1,1w_{ic} + w_w)\rho_s}{\varphi_w}, \quad (4.10)$$

где w_{ic} – влажность мерзлого грунта за счет порового льда, цементирующего минеральные частицы (лед-цемент), д. е.; w_w – влажность мерзлого грунта за счет содержащейся в нем при данной отрицательной температуре незамерзшей воды, д. е.; ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³; φ_w – коэффициент пористости мерзлого грунта;

ρ_w – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³.

Коэффициент пористости, ε , д. е., определяется по формуле:

$$\varepsilon_f = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \quad (4.11)$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³; ρ_d – плотность мерзлого грунта в сухом состоянии (плотность скелета мерзлого грунта), г/см³, определяемая по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho}{\rho_d + w_{tot}} \quad (4.12)$$

где ρ – плотность грунта ненарушенного сложения и природной суммарной влажностью, г/см³;

Таблица 4.2.

Взаимосвязь между показателями характеристик основных физических свойств мерзлых грунтов

Исходные характеристики	Характеристики, вычисляемые по формулам
Плотность мерзлого грунта естественной (ненарушенной) структуры, ρ_d , г/см ²	Влажность общая $W_0 = \frac{W_{tot}}{1 + W_{tot}}$
	Относительная льдистость $i = \frac{W_{tot} - W_w}{W_{tot}}$
Плотность частиц грунта, ρ_s , г/см ³	Объемная льдистость $i_0 = \frac{\rho}{\rho_i} \frac{W_{tot} - W_w}{1 + W_{tot}}$
	Плотность сухого грунта $\rho_d = \rho(1 - W_0)$
Суммарная влажность грунта (на сухую навеску) W_{tot}	Коэффициент пористости $\varepsilon_f = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$
	Полная влагоемкость $W_{sat} = \varepsilon \frac{\rho_w}{\rho_s}$
	Коэффициент водонасыщения $S_r = \frac{W_{tot} \rho_s}{\varphi_w}$
	Объем газов в 1 см ³ грунта $V_a = \left(\frac{\varepsilon_f}{\rho_s} - \frac{W_{tot}}{\rho_w} \right) \rho_d$

Влажность за счет незамерзшей воды W_w в д. ед. от массы сухого грунта	Объем газов в 1 см ³ грунта $V_a = \left(\frac{\varepsilon_f}{\rho_s} - \frac{W_{tot}}{\rho_w} \right) \rho_d$						
	$K = \rho_d \left[\frac{1}{\rho_s} + \frac{(W_{tot} - W_w)}{\rho_i} \right]$						
	Масса компонент грунта, в см ³	<table border="1"> <tr> <td>твердых частиц</td> <td>$g_m = \rho(W_0)$</td> </tr> <tr> <td>льда</td> <td>$g_i = \rho W_0 i$</td> </tr> <tr> <td>незамерзшей воды</td> <td>$g_w = \rho W_0 (1 - i)$</td> </tr> </table>	твердых частиц	$g_m = \rho(W_0)$	льда	$g_i = \rho W_0 i$	незамерзшей воды
твердых частиц	$g_m = \rho(W_0)$						
льда	$g_i = \rho W_0 i$						
незамерзшей воды	$g_w = \rho W_0 (1 - i)$						

Примечание: K - относительное содержание частиц грунта и льда в единице объема, ρ_i, ρ_w - плотность льда и плотность воды.

4.2.7. Совмещенный метод определения физических свойств грунтов (Метод Мазурова)

Существующие методы индивидуальных экспериментальных определений основных физических характеристик мерзлых грунтов несовершенны, поскольку определение плотности, влажности и льдистости осуществляется с использованием различных образцов, т.е. практически это различные пробы. Это обуславливает снижение достоверности между физическими характеристиками вследствие неоднородности строения грунта, изменения его свойств в пространстве и во времени. Эти ошибки транслируются и на характеристики расчетных показателей свойств грунтов: плотность сухого грунта, пористость, степень влажности и др. В связи с этим был предложен метод совмещенного определения плотности, влажности и льдистости, разработан Г.П. Мазуровым на кафедре грунтоведения Ленинградского университета [18]. В совмещенном методе использован принцип пикнометрического способа определения суммарной влажности, что освобождает от необходимости высушивания грунта: объем грунта устанавливается по объему вытесненной им воды, а льдистость - по изменению объема системы скелет + вода после

растаяния в грунте льда. Совмещенный метод разработан для определения основных физических характеристик мерзлых грунтов, кроме сыпучемерзлых, однако, его можно использовать для определения плотности и влажности талых грунтов, обладающих связностью и медленно размокающих, например, для различных суглинистых грунтов.

Прибор для выполнения опыта (рис. 4.2) представляет собой сосуд вместимостью от 3 до 10 л, снабженный сливным устройством (шлангом с зажимом). Для опыта необходимы также весы чашечные или автоматические циферблатные от 5 до 10 кг.

Весы устанавливают на горизонтальную плоскость (стол, помост). На чашку (площадку) весов помещают сосуд при закрытом зажиме на сливном шланге. В сосуд наливают воду выше сливного отверстия. Избыток воды сливается через шланг, затем зажим закрывают, и сосуд с водой взвешивают, определяют массу сосуда с водой g_0 .

Все последующие операции (долив и слив воды, погружение грунта в сосуд и взвешивание грунта с водой) производят, не сдвигая и не снимая сосуда с весов до конца опыта. В сосуд с водой при закрытом зажиме помещают образец (глыбу, часть керна или несколько кусков) мерзлого или талого медленно разминаемого грунта массой более 1 кг и быстро взвешивают, получают массу сосуда с водой и грунтом-монолитом g_1 .

Сразу же после взвешивания открывают зажим, сливают избыток воды выше сливного устройства, зажим закрывают, а сосуд с водой и грунтом снова взвешивают, получают массу сосуда с грунтом-монолитом после слива воды g_2 . Грунт в сосуде с водой оттаивает; для ускорения оттаивания образец грунта рекомендуется раздробить с помощью металлического стержня, ножа и т.д.

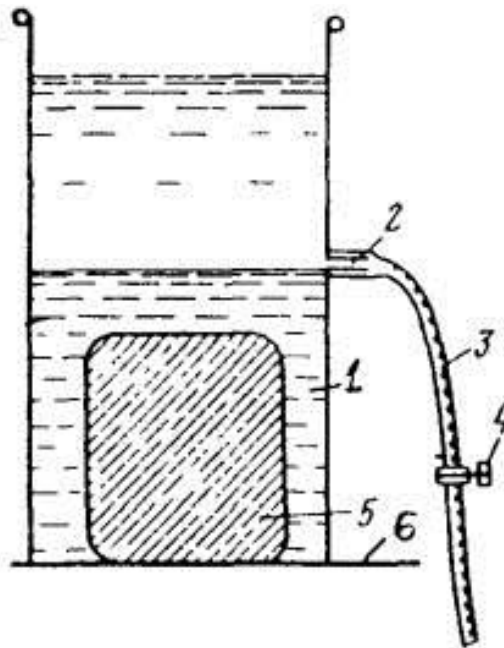


Рис. 4.2. Прибор для определения физических характеристик мерзлых грунтов:

1 - сосуд; 2 - штуцер; 3 - сливной шланг; 4 - зажим; 5 - площадка весов; 6 - грунт

После оттаивания и размокания грунта уровень воды в сосуде опустится ниже сливного отверстия, поэтому следует долить воды несколько выше сливного отверстия, избыток ее слить через шланг, а сосуд с водой и размокшим грунтом взвесить, получим массу сосуда с водой и размокшим грунтом g_3 .

Расчет физических характеристик после проведения эксперимента выполняется следующим образом.

Масса образца грунта-монолита

$$g_4 = g_1 - g_0. \quad (4.13)$$

Объем грунта-монолита

$$V_m = (g_1 - g_2) / r_w. \quad (4.14)$$

Плотность грунта (г/см^3) - отношение массы грунта к его объему

$$r = (g_1 - g_0) r_w / (g_1 - g_2). \quad (4.15)$$

При температуре грунта ниже -5°C на образце грунта может образоваться корка льда. Для учета ее следует взвесить образец после его извлечения из сосуда (перед оттаиванием) - g_5 .

Количество образовавшегося льда g_6 находят по разности

$$g_6 = g_5 - g_4. \quad (4.16)$$

Плотность грунта с поправкой на корку льда составит

$$\rho = \frac{g_4}{g_6} : (V_m - 1,09). \quad (4.17)$$

Плотность сухого грунта

$$\rho_d = (g_3 - g_0) \rho_s / (\rho_s - 1). \quad (4.18)$$

Величина плотности частиц принимается: для песков 2,66; супесей 2,70; суглинков 2,71; глин 2,74 г/см³.

Суммарная влажность - отношение массы воды к массе сухого грунта

$$w_{tot} = [(g_1 - g_0)(\rho_s - 1)] / (g_3 - g_0) \rho_s . \quad (4.19)$$

Объем льда

$$V_i = 12,5(g_3 - g_2) = (g_3 - g_2) / (\rho_w - \rho_i) . \quad (4.20)$$

Льдистость объемная - отношение объема льда к объему грунта-монолита

$$i_i = [12,5(g_3 - g_2) \rho_w] / (g_1 - g_2) . \quad (4.21)$$

Масса льда

$$g_i = 11,5(g_3 - g_2) . \quad (4.22)$$

Масса льда с поправкой на мерзлую корку g_i составит

$$g_i = g_i - g_6 . \quad (4.23)$$

Льдистость весовая - отношение массы льда к массе скелета грунта

$$i_{i-1} = \frac{11,5(g_3 - g_2)(\rho_s - 1)}{(g_3 - g_0)\rho_s}. \quad (4.24)$$

Льдистость относительная - отношение весовой льдистости к суммарной влажности

$$i_{i-2} = i_{i-1} / W_{tot}. \quad (4.25)$$

Количество незамерзшей воды в грунте

$$W_w = W_{tot} - i_{i-2}. \quad (4.26)$$

Мерзлые песчаные грунты в воде иногда размокают. В этом случае перед определением плотности мерзлого грунта образец парафинируют, а его объем определяют методом гидростатического взвешивания

4.3. Лабораторная работа. Определение плотности мерзлого грунта методом взвешивания в нейтральной жидкости

Цель работы: Научиться определять плотность мерзлого грунта методом взвешивания в нейтральной жидкости.

Задание: Определить плотность мерзлого грунта.

Необходимое оборудование: весы, керосин или лигроин, линейка, нитки, ареометр, сосуд.

Ход работы:

Плотность мерзлых грунтов определяется методом взвешивания в нейтральной жидкости. В учебных целях образцы грунта можно приготовить путем замораживания их в компрессионных кольцах с известным объемом, и тогда отпадает необходимость взвешивания в нейтральной жидкости, а плотность определится методом режущего кольца.

Образец грунта и нейтральная жидкость (керосин, лигроин и др.) должны иметь отрицательную температуру. Образец грунта отбирают округлой формы, массой около 100–150 г и обвязывают нитью. Для грунтов с сетчатой или слоистой криогенной структурой масса образца может быть увеличена.

Определяют плотность нейтральной жидкости ареометром, измеряют температуру испытания. Затем образец взвешивают, погрузив его в нейтральную жидкость. Плотность грунта ρ , г/см³ вычисляют по формуле: где m – масса образца (до погружения), г; m_1 – результат взвешивания образца в нейтральной жидкости – разность масс образца и вытесненной им жидкости, г; ρ_n – плотность нейтральной жидкости при данной температуре испытаний, г/см³ (плотность керосина $\rho_n = 0,81$ г/см³, лигроина $\rho_n = 0,78$ г/см³).

4.4. Лабораторная работа. Определение суммарной влажности мерзлых грунтов

Цель работы: Научиться определять суммарную влажность мерзлых грунтов.

Задание: Определить суммарную влажность мерзлого грунта согласно ГОСТ 5180–84 [3].

Необходимое оборудование: тара, полиэтиленовые пакеты, весы, разновесы, шпатель и дистиллированная вода.

Ход работы:

1. Заранее замораживается в морозильной камере образец грунта массой 1–3 кг (имеющий не менее трех ледяных и минеральных прослоек каждого направления).

2. Образец мерзлого грунта помещают в предварительно высушенную, взвешенную и пронумерованную тару. Допускается оттаивание образцов грунта в плотно завязанных полиэтиленовых пакетах во время транспортирования и хранения.

3. Образец грунта в таре (m_3), г взвешивают, дают ему оттаять и доводят до однородного состояния, близкого к границе текучести для пылевато-глинистых грунтов, или полного водонасыщения для песчаных грунтов, перемешивая его металлическим шпателем и добавляя дистиллированную воду или осторожно сливая избыток воды после ее осветления.

4. Грунт в таре вновь взвешивают (m_4) и отбирают из него пробы для определения влажности перемешанного грунта.

Суммарная влажность мерзлого грунта, в долях единицы, вычисляется по формуле: где m_2 – масса тары, г; m_3 – масса образца грунта (с тарой), г; m_4 – масса перемешанного грунта (с тарой), г; w – влажность перемешанного грунта, %.

Результаты опытов записывают в журнал.

Таблица 4.3.

**Данные определения суммарной влажности мерзлого грунта
точечным методом и методом бороздки**

№ п.п.	Лабораторный №	№ выработки	Глубина взятия образца в м (от-до)	№ бюкса	Вес бюкса g_2	Вес бюкса с мерзлым грунтом g_1, g	Вес бюкса с грунтом после сушки g_0, g				Вес воды $g_1 - g_0, g$	Вес сухого грунта $g_0 - g_2, g$	Суммарная влажность образца W_c	
							I взвешивание	II взвешивание	III взвешивание	принятое значение g_0			в %	в долях единицы

Таблица 4.4. (Форма)

**Определение суммарной влажности мерзлого грунта методом
средней пробы**

№ п.п.	Лабораторный №	№ выработки	Глубина взятия образца в м (от-до)	№ мешочка	Вес мешочка g_0, g	Вес мерзлого грунта с мешочком g_3, g	Вес мерзлого грунта $g_1 = g_3 - g_0, g$	Вес чашки g, g	Вес чашки с грунтовой массой g_2, g	Вес грунтовой массы $g_2 - g, g$	Влажность средней пробы * W_{cp} в долях единицы	Суммарная влажность образца грунта W_c	
												в %	в долях единицы

*Определение влажности средней пробы $W_{\text{сп}}$ производится по формуле (8); запись данных по определению $W_{\text{сп}}$ - по форме табл. 5.

Вопросы для самоконтроля

Какими методами определяется содержание незамерзшей воды в мерзлых породах?

Какими параметрами характеризуются теплофизические свойства мерзлых и талых пород?

Какими параметрами характеризуются механические свойства мерзлых и талых пород?

Какие Принципы строительства на многолетнемерзлых породах вы знаете?

Какие особенности вещественного состава грунта криолитозоны вы знаете?

Как особенности вещественного состава мерзлых грунтов влияют на физико-механические их свойства?

Лекция 5

5. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ МЕРЗЛОТНОЙ СЪЕМКЕ

5.1 Геологические исследования

Геологические исследования при мерзлотной съемке проводятся целенаправленно для выяснения влияния геолого-тектонического строения и состава пород на мерзлотные условия. При этом предполагается, что мерзлотная съемка ведется на базе ранее выполненных геологических съемок соответствующего и более крупного масштаба. Необходимым исходным материалом в этом случае должны быть геологическая и тектоническая карты и карта четвертичных отложений.

Особое внимание обращается на изучение четвертичной геологии района. В случае отсутствия необходимых данных сведения о четвертичных отложениях следует уточнять и дополнять специальными исследованиями с целью более детального изучения геолого-генетических типов отложений (гранулометрического состава и особенностей сложения рыхлых пород, их влажности, консистенции, фациальной изменчивости, минералогического состава глинистой фракции, степени разложения торфов и т. д.).

В процессе мерзлотной съемки поверхностные отложения картируются и изучаются более детально и полно, чем это имеет место при геологической съемке. С этой целью в ходе маршрутных исследований они вскрываются закопашками и мелкими шурфами на глубину 0,5—1 м, с описанием разреза и отбором проб. Общий порядок описания как рыхлых, так и коренных пород включает в себя: название породы, ее цвет; включения (форма, состав, количество); состояние (мерзлое или талое); криогенное строение; характер цементации и состав цемента; характер, размеры, размещение в пространстве пор и пустот, наличие трещин, их генезис, элементы залегания, густота, характер заполнения, состав заполнителя; сложение породы; влажность (льдистость); консистенция; поведение при переходе из мерзлого состояния в

талое; наличие криогенных и посткриогенных нарушений; общая прочность массива и прочность породы в отдельных обломках; характер изменения породы по простиранию и разрезу.

Для анализа формирования мерзлотных условий в зависимости от геологического строения территории изучаются теплофизические свойства, и прежде всего теплопроводность пород по всему разрезу, включая мерзлые и подстилающие талые отложения. Различие теплопроводностей пород оказывает влияние на величину температурного градиента в пределах мерзлой зоны и на ее мощность. Характер залегания слоев с резко различной теплопроводностью влияет на распределение и величину теплотока, идущего из недр Земли к подошве многолетнемерзлых пород, и, следовательно, мощность ММП. Так, уменьшение мощности мерзлоты отмечается над выступами кристаллического фундамента, перекрытого менее теплопроводными отложениями. В синклинальных структурах, заполненных породами с низкой теплопроводностью, наблюдается уменьшение плотности теплового потока и соответственно, увеличение мощности мерзлой зоны. Особенно резко этот эффект проявляется при наличии угольных пластов, теплопроводность которых обычно в несколько раз ниже теплопроводности вмещающих пород.

Поэтому в геологических разрезах, составляемых для целей мерзлотной съемки, следует выделять пласты и другие геологические тела, образованные породами резко различной теплопроводностью, а также синклинальные и антиклинальные структуры, сложенные породами с выраженной анизотропией теплопроводности.

При геологических исследованиях важно изучение зон разломов, по которым поступает глубинное тепло и происходит движение подземных вод, влияющих на мерзлотную обстановку. Необходимо установить, чем представлены зоны разломов, их мощность, наличие открытых трещин и

разрушенных хорошо фильтрующих пород, т.е. оценить их водопроницаемость. В некоторых случаях могут оказаться залеченными интрузиями или гидротермальными образованиями и не только не увеличивать проницаемость пород, а, наоборот, являться барьерами для потоков подземных вод.

В процессе съемки следует картировать распространение закарстованных карбонатных пород. Наличие свежих карстовых воронок с понорами, поглощающими поверхностные воды, указывает обычно на отсутствие или глубокое залегание многолетнемерзлых пород. Нередко выходы на поверхность закарстованных пород сопровождаются увеличением прерывистости и сокращением мощности ММП.

Таким образом в ходе полевых исследований должна быть уточнена геологическая основа мерзлотной карты. Обычно она состоит из двух карт: карты поверхностных отложений, слагающих сезонно мерзлый или сезонно талый слой, и карты отложений, залегающих ниже этого слоя. В случае, если коренные породы залегают не глубоко (2—5 м), первая карта является картой четвертичных отложений, а вторая — картой пород коренной основы.

5.2 Геоморфологические исследования

Рельеф является одним из ведущих факторов формирования мерзлотных условий и используется при их картировании. Поэтому при мерзлотной съёмке геоморфологическим исследованиям уделяется большое внимание.

Эти исследования должны решить две основные задачи:

Первая задача геоморфологических исследований заключается в характеристике рельефа и картографическом отображении его элементов для получения следующей информации:

1) о гипсометрии элементов рельефа с отражением их ярусности (в горных районах), об аккумулятивных и денудационных поверхностях водоразделов и речных долин (в равнинных);

2) о склонах различной крутизны и экспозиции с характеристикой развитых на них генетических типов рыхлых образований;

3) об основных мерзлотно-геологических процессах, формирующих характер поверхности рельефа.

Вторая задача геоморфологических исследований заключается в объяснении региональных взаимосвязей между мерзлыми толщами, и условиями рельефообразования, осадконакопления и промерзания. В этой связи с необходимо в ходе геоморфологических исследований получить:

1) характеристику по площади районов и участков региональной и локальной денудации и аккумуляции с указанием генезиса, возраста, состава и мощности развитых в их пределах пород;

2) характеристику и плановое расположение разрывных нарушений и новейших структур и их роль в формировании мерзлотно-гидрогеологических и мерзлотно-инженерно-геологических условий;

3) характеристику ведущих процессов рельефообразования в четвертичное время.

Геоморфологическое исследование территории целесообразно при любом масштабе съёмки проводить в следующем порядке:

1) изучение и выяснение общего геоморфологического фона (по мелкомасштабным геоморфологическим, геологическим и тектоническим картам и космическим фотоснимкам);

2) мелкомасштабное изучение территории с использованием фондовых и опубликованных работ, всех видов аэрофотоматериалов и проведением аэровизуальных и полевых исследований на больших территориях;

3) изучение мелких деталей рельефа на ключевых участках в крупном масштабе.

Геоморфологическая характеристика района должна обязательно содержать геологическое объяснение непосредственных и общих причин возникновения и истории развития различных форм рельефа. В этом направлении большую роль играет морфоструктурный анализ, позволяющий распознавать блоковые и складчатые морфоструктуры, обусловленные препаировкой или активной тектоникой, и т. д.

Морфоструктурный анализ районов горного рельефа включает изучение связи форм рельефа с элементами тектоники. Так, для каждого участка по геологическим картам должны быть установлены тектонические элементы, например складка, крыло складки, крупная интрузия, зона разлома и т. д. Особое внимание уделяется разрывной тектонике: замерам и подсчету трещин, раскрытости, заполнению их и т. д. При этом следует особое внимание уделить прослеживанию крупных зон, которые выражаются через эту трещиноватость, и сопутствующие явления: дробление, выветрелость, водопроницаемость и т. д.

Геоморфологический анализ и дешифрирование аэрокосмических снимков являются главными методами быстрого выявления разломов, которые затем более детально изучаются геологическими и геофизическими методами.

5.3 Геоботанические исследования

Известно сколь велико влияние растительного покрова на температурный режим пород и глубины сезонного промерзания и оттаивания. Поэтому изучению растительности при мерзлотной съёмке уделяется значительно больше внимания, чем при других геологических съёмках.

Большое значение приобретает растительный покров при микрорайонировании поскольку:

1) во-первых развитие определенных растительных сообществ определяется всей совокупностью условий среды. В частности, растительный покров тесно связан с климатом и микроклиматическими условиями района, с элементами мега-, мезо- и микрорельефа, с почвообразующими породами и почвами, с грунтовыми водами, с талым или мерзлым состоянием почв и горных пород;

2) во-вторых растительный покров, активно участвующий в теплообмене между почвой и воздухом, в свою очередь, является одним из факторов формирования температурного режима грунтов как собственно теплоизолирующий слой, так и через другие факторы (снег, влажность пород и др.)

Применение геоботанического метода при проведении мерзлотной съёмки должно быть специализированным. Необходимо детальное изучение индикационных признаков и установление связей типов растительного покрова с основными элементами природной среды, и в частности с мерзлотными условиями. Поэтому при проведении геоботанических

исследований должны выделяться, изучаться и картироваться такие растительные сообщества, которые существенным образом отличаются друг от друга и характеризуют различные микрорайоны.

С помощью геоботанического метода можно решать следующие задачи:

1) изучение распространения литологических особенностей и влажностного режима горных пород и почв на основе их приуроченности к определенным элементам рельефа и произрастания на них своих определенных растительных сообществ, например, под сосняками рыхлые отложения более опесчаненные и щебенистые, т.е. водопроницаемые, а под лиственничниками – суглинистые, часто оторфованные и заболоченные;

2) изучение распространения талых и мерзлых пород на основе приуроченности одних растительных сообществ к талым породам (ивачозения), других — к мерзлым (лиственница, березка Миддендорфа);

3) изучение глубин сезонного промерзания и сезонного оттаивания пород на основе приуроченности разных растительных сообществ к участкам с разными глубинами;

4) изучение температурного режима пород на основе приуроченности определенных растительных сообществ к участкам с определенными мерзлотными условиями. Например средние годовые температуры под сосняками выше, чем под лиственничниками;

5) изучение количественного влияния растительного покрова на формирование температуры и амплитуды ее колебания на поверхности почвы путем организации специальных наблюдений на основных типах растительных ассоциаций;

6) проведение микрорайонирования территории по характеру растительного покрова на основе его приуроченности к определенным геолого-геоморфологическим элементам и определенным микроклиматическим условиям;

7) картирование типов сезонного промерзания и протаивания пород на основе установленных качественных и количественных зависимостей между растительным покровом и глубинами сезонного промерзания и протаивания пород, их температурного режима, влажности и литологического состава.

Достоинство геоботанического метода - его простота и доступность в наблюдениях как непосредственно в поле, при производстве аэровизуальных и маршрутных исследований и работ на ключевых участках, так и в подготовительный и камеральный периоды путем дешифрирования аэрофотоснимков. Для этой цели наиболее успешные результаты дают цветные и спектрозональные аэрофотоснимки.

Геоботанический метод позволяет также распространить установленные на ключевых участках закономерности на большие территории.

5.4 Применение аэрометодов при мерзлотной съемке

При комплексных геокриологических съемках используются следующие основные виды аэрометодов: 1) аэровизуальные наблюдения; 2) дешифрирование плановых черно-белых, цветных и спектрозональных аэрофотоснимков; 3) дешифрирование материалов радиолокационной (радарной) съемки бокового обзора (РЛ-съемки); 4) дешифрирование

снимков инфракрасной (ИК) и радиотепловой (РТ) съемок; 5) дешифрирование космических снимков (КС).

Аэровизуальные наблюдения проводятся с самолета или вертолета с целью широкого обзора территории съемки и ознакомления с ее общей природной обстановкой.

Наблюдаемые явления и природные особенности территории должны быть отмечены условными знаками на топокарте, а их характеристика на магнитофонной ленте. Весьма эффективна при этом видеосъемка.

При аэровизуальных наблюдениях выясняются и уточняются следующие вопросы:

- 1) проводится общее ознакомление с ландшафтно-геоморфологической, геологической и мерзлотной обстановкой. При этом по маршруту облета прослеживаются соподчинение генетических поверхностей, характерные формы и уступы рельефа, фиксируются обнажения, четко выраженные зоны тектонических нарушений и отдельные нечеткие их проявления; польны, наледи, снежники; наблюдается характер распределения снежного покрова, характер залесенности и заболоченности; фиксируется различие рельефа, растительности и других, поверхностных условий на участках различного геологического строения, отмечаются участки развития различных видов мерзлотных явлений и одиночные их проявления и т. д.;

- 2) проверяются на местности основные контуры предварительной карты ландшафтного микрорайонирования или специализированной геоморфологической карты;

- 3) уточняются на местности предварительно намеченные ключевые участки и увязочные маршруты между ними;

4) изучаются проявления различных нарушений естественных условий территории.

Аэровизуальные наблюдения наиболее целесообразно проводить после предварительного дешифрирования аэроматериалов, а также несколько раз в течение полевого периода с тем, чтобы наблюдать такие процессы как формирование и сход снежного покрова, наледи, снежники, сезонное оттаивание и заболоченность и др.). Аэровизуальные наблюдения могут успешно применяются при всех масштабах мерзлотных съемок. Так при средне- и мелкомасштабных— для непосредственного изучения территории съемки, при крупномасштабных— для изучения окружающей территории с целью получения представления о региональном природном и мерзлотном фоне.

Дешифрирование аэрофотоснимков - это раскрытие на основе видимого фотоизображения объекта его внутреннего содержания. При мерзлотных съемках проводится камеральное и полевое комплексное дешифрирование, заключающееся в получении прямой и косвенной фотоинформации об изучаемом объекте. Прямая информация может быть получена о рельефе и гидросети, о растительности и заболоченности, о мерзлотных геологических явлениях, отражающихся на поверхности, об объектах строительства и сельскохозяйственного использования территории и т. д., т. е. о тех контурах и объектах, которые непосредственно отображены на снимках. О геологическом строении и мерзлотных условиях в основном может быть получена косвенная информация — по комплексу признаков и их взаимосвязи. Основой такого сложного дешифрирования служат исследования на ключевых участках. Обычно дешифрирование проводится в несколько этапов - от простого распознавания видимых элементов до раскрытия внутреннего мерзлотно-геологического содержания. При этом каждое новое рассматривание аэроснимков под определенным углом зрения

позволяет получать новое содержание, опирающееся на весь предыдущий фактический и дешифровочный материал и результаты аэровизуальных наблюдений.

Информативность аэроснимков зависит от вида аэросъемки, масштаба аэросъемки и мерзлотной изученности территории. Кроме традиционных плановых черно-белых аэрофотоматериалов целесообразно широкое применение цветных и спектральных аэрофотоснимков. Цветные аэрофотоснимки дают близкое к натурному восприятию плановое фотоизображение местности и весьма способствуют проведению полевых работ и составлению комплекса мерзлотных карт. Спектральные аэрофотоснимки, представляющие собой цветные контактные отпечатки со спектральной пленки, один из слоев которой сенсibilизирован к инфракрасной зоне спектра (0,7-0,8 мкм), дают возможность резкой дифференциации спектральных коэффициентов яркости различных видов древесной и напочвенной растительности, тесно связанной с условиями местообитания (почвой и подстилающими породами, влажностью; глубиной сезонного оттаивания).

Для получения максимальной информации необходимо использовать аэрофотоснимки как более крупного, так и более мелкого масштаба, чем масштаб мерзлотной съемки. Это позволяет изучить детали природных условий и их обобщенные характеристики.

Радиолокационная (радарная) съемка. Этот метод в отличие от аэрофотосъемки является всепогодным и по разрешаемости почти ей не уступает. Радарная съемка основана на регистрации импульсов электромагнитных волн, пришедших от передатчика и отраженных от поверхности объекта. Глубинность этого метода составляет 10-15 м и с его помощью можно зондировать ледники, подземные льды, границы мерзлых и талых пород, подземные воды и поверхностные водоёмы.

В настоящее время при мерзлотных исследованиях иногда применяется инфракрасная съемка. Точность температурных измерений ИК-аппаратуры составляет $0,5^\circ$, что обеспечивает ей широкие перспективы при изучении природной среды.

При изучении природных объектов, в том числе и геологических широко используются космические снимки масштаба 1 : 1 000 000 и мельче, охватывающие огромные участки территории земного шара. Поэтому на них отображаются главные региональные элементы глубинного структурного плана территории, которые на обычных фотоснимках не прослеживаются, затушевываются из-за большой детальности.

Дешифрирование космических снимков имеет главным образом тектонический и морфоструктурный аспекты. Эти снимки также позволяют изучать зональное и региональное распределение растительности и снежного покрова.

В дальнейшем аэрометоды при мерзлотной съёмке будут применяться в большем объеме с использованием БПЛА (беспилотных летательных аппаратов: самолётов и квадрокоптеров) которые будут оснащены соответствующей аэрофотоаппаратурой, сканерами или видеокамерами.

5.5 Применение геофизических методов при мерзлотной съемке

Под геофизическими методами понимается комплекс методов, основанных на изучении распределения естественных или искусственно создаваемых физических полей: тепловых, температурных, электрических, акустических, радиоактивных и др. Применение этих методов ведет к увеличению производительности труда, сокращению объемов

дорогостоящих и трудоемких горно-буровых работ, повышению качества исследований. Особенно велика роль геофизических методов в районах со сложными мерзлотными условиями: широким распространением таликов, резкими колебаниями мощности мерзлых толщ, наличием подземных льдов.

С помощью геофизических методов могут быть решены следующие задачи:

- 1) расчленение и корреляция разрезов;
- 2) картирование талых и мерзлых пород;
- 3) определения характера залегания и мощности ММП;
- 4) изучения геотермического поля;
- 5) полевое определение некоторых физических свойств мерзлых и талых пород: плотности, влажности (льдистости), температуропроводности.

б) Большой вклад в разработку методики применения геофизических методов при мерзлотных исследованиях внесли А. А. Петровский, А. Т. Акимов, Б. Н. Достовалов, А. Н. Боголюбов, В. С. Якупов и др.

В настоящее время различают геофизические исследования, проводящиеся в скважинах (каротаж), наземные геофизические исследования и дистанционные, проводимые с самолетов, вертолетов, космических аппаратов.

Среди методов каротажа для мерзлотных целей наибольшее значение имеет термометрия. С её помощью определяется распределение температур в мерзлой зоне и подстилающих ее талых породах, средняя годовая температура многолетнемерзлых пород (температура в подошве слоя годовых теплооборотов), их мощность (в том случае, когда она совпадает с изотермой 0°).

Кроме термометрии для мерзлотных целей применяется электрический, ядерный и акустический каротаж. Она позволяют судить о положении границ

раздела мерзлых и талых пород, а также об изменении льдистости по разрезу, а в некоторых случаях о физико-механических свойствах пород.

Наиболее полные и достоверные сведения о характере мерзлотно-геологического разреза и свойствах слагающих его пород могут быть получены при комплексном применении перечисленных геофизических методов в сочетании с визуальным описанием керна и данными его опробования.

Из наземных геофизических методов наиболее полно разработана и широко применяется электроразведка на постоянном токе. Физической сущностью этого метода являются изменение электрического сопротивления пород при переходе из талого состояния в мерзлое и обратно, а также зависимость сопротивления от льдистости пород. Электроразведка на постоянном токе осуществляется двумя методами: вертикальным электрическим зондированием (ВЭЗ) и электропрофилированием (ЭП). Метод ВЭЗ применяется для решения следующих геокриологических задач:

- 1) определение наличия или отсутствия мерзлых пород;
- 2) определение глубины залегания верхней и нижней границ многолетнемерзлых пород;
- 3) изучения изменения льдистости мерзлых пород с глубиной;
- 4) выявление в разрезе мерзлой толщи высокольдистых горизонтов, пластов подземных льдов, определение глубины их залегания и мощности;
- 5) изучения особенностей геологического строения мерзлой толщи, наличия в ней различных по литологическому составу слоев.

Кроме ВЭЗ применяется частотное зондирование (ЧЗ), в котором используется переменный ток. Считается что ЧЗ обладает большей

чувствительностью, чем ВЭЗ, однако опыт по его применению в мерзлотных исследованиях пока невелик.

Электропрофилирование применяется для решения следующих задач:

- 1) картирование границ между талыми и мерзлыми породами;
- 2) изучение характера залегания верхней границы многолетнемерзлых пород и картирование участков с различной глубиной сезонного протаивания и промерзания;
- 3) выявление и картирование полигонально- жильных льдов, а также пластовых залежей подземных льдов;
- 4) картирование участков, различающихся по льдистости и составу верхних горизонтов мерзлых пород.

Эффективность применения ВЭЗ и ЭП в значительной степени определяется выбором рационального варианта их размещения и комплексирования с другими методами исследования.

Кроме электроразведки при геокриологических исследованиях используется сейморазведка в сочетании с сейсмокаротажем. Сейморазведка может применяться в комплексе с ЭП и ВЭЗ для установления глубины залегания мерзлых пород, изучения и картирования подземных льдов, изучения физико-механических свойств пород и льдистости. В настоящее время методика сейморазведки применительно к мерзлотным исследованиям находится в стадии разработки.

Дистанционные методы. Наибольший интерес представляют методы инфракрасной (ИК) и радиотепловой (РТ) съемок, радиолокационного (РЛ) зондирования. ИК- и РТ-методы позволяют оконтуривать участки распространения мерзлых и талых пород, подземных льдов, получать данные о влажности и температуре пород. РЛ-зондирование может быть

использовано для определения глубины залегания горизонтальных границ между талыми и мерзлыми породами, картирования сильнольдистых мерзлых пород и подземных льдов.

5.6 Горно-буровые работы при мерзлотной съемке

Основные задачи этих горно-буровых работ:

- 1) изучение мерзлотно-геологического разреза;
- 2) определение параметров мерзлых толщ: температурного режима, мощности и характера залегания, криогенного строения, льдистости и др.;
- 3) отбор проб мерзлых и талых пород для лабораторного анализа;
- 4) создание условий для производства режимных наблюдений;
- 5) получение необходимых данных для обоснования интерпретации результатов наземных геофизических исследований и др.

Горно-буровые работы наиболее трудоёмкий и дорогостоящий вид работ, поэтому они намечаются на основе карты предварительного мерзлотного районирования изучаемой территории и данных о ее мерзлотных условиях, собранные в подготовительный период. Положение скважин и глубины бурения уточняются в ходе полевых работ с учетом данных геофизических исследований.

Картировочные скважины условно делятся на мелкие (до 50 м), средней глубины (до 200 м) и глубокие (до 500 м и более). Мелкие скважины применяются для изучения характера залегания верхней поверхности многолетнемерзлых пород, состава и льдистости верхней части мерзлой толщи, температурного режима горных пород в слое годовых теплооборотов, глубин сезонного протаивания и промерзания отложений. В зоне островного

распространения многолетнемерзлых пород с помощью мелких скважин в большинстве случаев удастся установить их мощность. Скважины глубокие и средней глубины носят опорный характер. Их задача пройти всю мощность многолетнемерзлой толщи и по возможности получить сведения о строении, гидрогеологических и геотермических условиях подмерзлотных горизонтов. По данным температурных измерений в глубоких скважинах судят о величине геотермических градиентов и теплового потока из недр в пределах геологических структур или крупных их частей. Это дает возможность приблизительно судить о мощности многолетнемерзлых толщ по данным температурных измерений в скважинах, не достигших нижней границы вечной мерзлоты.

К глубоким скважинам обязательно привязываются все виды наземных геофизических исследований, в задачи которых входит изучение глубоких горизонтов. При проходке скважин наиболее эффективным следует считать бурение с продувкой забоя воздухом, которое обеспечивает наименьшее нарушение естественного температурного режима горных пород и точное определение глубины вскрытия водоносного горизонта.

В ходе бурения скважин производится наблюдение за процентом выхода керна, описание керна, литологических особенностей пород, их трещиноватости и кавернозности; наблюдение за мерзлым и талым состоянием керна; описываются, фотографируются и зарисовываются криогенные текстуры пород и отдельные ледяные включения; отбор проб пород для лабораторного определения их состава, естественной влажности (льдистости), физико-механических и теплофизических свойств и других анализов; наблюдение за появлением воды в скважине и ее установившимся уровнем.

Шурфовка широко применяется для изучения различных мерзлотно-геологических явлений и связанных с ними образований: бугров пучения,

курумов, солифлюкционных форм рельефа, повторно-жильных льдов. Шурфы могут быть использованы для температурных наблюдений. Для этого в стенках и забое шурфа пробиваются (или бурятся) шпурсы глубиной 0,5—1 м, в которые затем закладываются ртутные термометры или другие датчики температуры.

Ограниченность объема специальных горно-буровых работ, выполняемых в процессе мерзлотной съемки, делает необходимым широкое использование буровых скважин и горных выработок, уже имеющихся на исследуемой территории или проходимых во время проведения мерзлотных исследований для иных целей. В ряде случаев целесообразно разбурить часть замерзших скважин, чтобы сделать их пригодными для температурных замеров. Если в скважине замерзли напорные подмерзлотные воды, то подошва ледяной пробки соответствует положению нижней границы многолетнемерзлой толщи. Следует тщательно документировать и опробовать разведочные и эксплуатационные горные выработки, а также строительные котловины и выемки, вскрывающие мерзлые породы.

Лекция 6

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ РАДИАЦИОННО-ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ОБЛАСТИ КРИОЛИТОЗОНЫ

3.1 Климатические исследования

Мерзлотные условия того или иного района в первую очередь определяются климатом этого района, но и мерзлотная обстановка, в свою очередь, влияет на климат района (Центральная Якутия была бы пустыней, если бы не наличие мерзлоты). Поэтому при геофизиологических исследованиях необходимо иметь сведения о таких основных параметрах

климата, как радиационно-тепловой баланс поверхности, количество осадков по сезонам года, влажность воздуха, средняя годовая температура и амплитуда колебаний среднемесячных температур воздуха, скорость ветра. Именно эти параметры входят во многие расчетные формулы геокриологических характеристик, некоторые из них можно найти на сайте www.pogodaiklimat.ru.

Основным исходным материалом для изучения климата являются данные наблюдений метеорологической сети РФ в виде справочников. Общее представление о климате создается на основе изучения многолетнего режима указанных метеорологических элементов.

На основании всего собранного материала составляются специальные карты климатического районирования. Каждый из выделенных районов характеризуется своим комплексом климатоформирующих факторов, структурой радиационно-теплого баланса поверхности земли, среднегодовыми температурами, амплитудами колебаний температур воздуха, влажностью воздуха, количеством атмосферных осадков, высотой и плотностью снежного покрова и закономерностями его распространения, направлениями и скоростью ветра.

При средне- и крупномасштабных геокриологических съемках сравнительно небольших по площади участков особое внимание уделяется изучению микроклиматических особенностей, вызванных главным образом изменением рельефа и свойств подстилающей поверхности.

Особое внимание при мерзлотной съемке всех масштабов уделяется изучению снежного покрова, закономерностям изменения его мощности и плотности в различных ландшафтных условиях. С этой целью в период, предшествующий началу снеготаяния, производят снегомерную съемку по профилям, пересекающим основные элементы ландшафта. Выявляется зависимость снежного покрова от характера рельефа, обводненности

подстилающей поверхности, растительного покрова. Для районов с метелевым переносом важно установить участки выдувания снега и его накопления. При средне- и крупномасштабной съемке рекомендуется составлять специальные карты мощности и плотности снега (на период максимального снегонакопления). Особо выделяются участки, где мощность снега превышает критическое значение, при котором среднегодовая температура поверхности почвы становится положительной.

Существуют некоторые простейшие приемы обработки длинных рядов наблюдений, имеющих на метеостанциях. С этой целью обычно применяют метод скользящих (перекрывающихся) средних. Например, ряд значений среднегодовых температур воздуха за n лет $t_1, t_2 \dots t_n$ с помощью этого преобразуется в ряд:

$$\frac{1}{m} \sum_1^m t_i, \frac{1}{m} \sum_1^{m+1} t_i, \dots, \frac{1}{m} \sum_{n+1-m}^n t_i,$$

полученный после осреднения по m последовательных членов исходного ряда ($m < n$). График, построенный по скользящим средним, дает возможность судить о наличии климатических периодов, длина которых превышает период осреднения m . Колебания с периодом, меньшим m , при этом сглаживаются. В климатологии обычно используется осреднение по 5, 10, 20, 35 и 80 лет. Метод скользящих средних может применяться для анализа динамики изменений различных метеорологических, мерзлотных и гидрологических параметров: температур воздуха, количества осадков, мощности снежного покрова, температуры пород, глубин сезонного промерзания или протаивания, уровней поверхностных и подземных вод, модулей поверхностного и подземного стока и т. д. Очевидно, чтобы судить о динамике климата, необходимо иметь данные метеостанций с достаточно длинным рядом наблюдений (не менее 30 лет).

В случае, если метеостанции на территории съемки отсутствуют, используются данные ближайших метеостанций. Интерполяция и экстраполяция метеорологических данных приводятся с учетом зависимости их

от широты и абсолютной высоты местности, форм рельефа, удаленности от водных артерий и бассейнов, геоботанических и других особенностей. В слабо изученных районах может возникнуть необходимость в проведении специальных метеорологических наблюдений, включающих измерение температуры и влажности воздуха, количества осадков, высоты и плотности снежного покрова.

Баланс солнечной энергии на поверхности земли за определенный отрезок времени равен

$$(Q + q)(1 - \alpha) - I = R \quad (1)$$

где Q – прямая солнечная радиация, ккал/см²;

q – рассеянная солнечная радиация, ккал/см²;

α – альbedo земной поверхности, т.е. отношение отраженной радиации к приходящей;

I – эффективное длинноволновое излучение Земли;

R – радиационный баланс.

Уравнение 1 называется уравнением радиационного баланса

Уравнение теплового баланса земной поверхности

$$R = LE + P + B \quad (2)$$

где LE - затраты тепла на суммарное испарение, ккал/см²;

P – затраты тепла на турбулентный теплообмен между земной поверхностью и атмосферой;

B – теплообмен между земной поверхностью и почвой.

Большое значение в формировании структуры радиационно-теплового баланса, кроме широты местности, имеют геолого-географические факторы, такие как различные естественные покровы (снег, растительность, вода), рельеф и экспозиция склонов, состав и влажность грунтов, гидрологические и гидрогеологические условия. Все эти факторы определяют и условия инсоляции поверхности, и величину альbedo, и все тепловые процессы, в результате чего в тех широтных зонах, где приход радиации велик, могут

формироваться и существовать мерзлые толщи, и наоборот, в зонах с небольшим количеством поступающей солнечной радиации широкое развитие получили талики. Например, г. Санкт-Петербург находится на широте 60° с.ш., а г.Чита на 59° с.ш., соответственно в г. Чите солнечной энергии поступает больше, чем в г. Санкт-Петербурге. Однако в г.Чите ММП есть, а в г. Санкт-Петербурге – нет.

Величина поглощенной радиации

$$Q_{\text{п}} = (Q + q)(1 - \alpha)$$

Определяется количеством поступающей прямой солнечной радиации Q , рассеянной q и величиной альбедо α . Практически при любом виде хозяйственного освоения территории происходят те или иные изменения Q и α . Так при выполаживании естественных откосов северной экспозиции крутизной 30° и доведения их до горизонтальной поверхности Q увеличивается на 10-20 % в пределах $60-68^{\circ}$ северной широты. При выполаживании склонов южной экспозиции наблюдается обратная картина, так как на горизонтальную поверхность поступает солнечной радиации на 20-30 % меньше, чем на южные склоны.

Ещё более существенное значение имеет изменение альбедо. Так снятие растительного покрова может привести к изменению альбедо поверхности от 7-10 до 25 %. Одно и то же изменение альбедо приводит к разному изменению $Q_{\text{п}}$. Так в условиях континентального климата, когда $Q + q$ достигают больших значений, даже самое малое изменение альбедо может привести к существенным изменениям температур пород. В условиях морского климата эти изменения будут незначительны.

Наиболее значительные изменения в температурном режиме поверхности грунта отмечаются в случае устройства искусственных покрытий, что связано с изменением количества поглощенной радиации, особенно, с резким уменьшением затрат тепла на испарение. Например

бетонное покрытие может повысить среднюю годовую температуру пород на 2-3° С, а асфальтовое на 3-4°С.

Существенное значение в структуре радиационно-теплового баланса имеют испарение и турбулентный обмен, которые также могут изменяться при хозяйственном освоении территории, и, следовательно, повлечь за собой изменение мерзлотных характеристик района.

Всё это заставляет изучать при геокриологической съёмке структуру радиационно-теплового баланса района и возможности её изменения при хозяйственном освоении территории.

3.2 Климатический расчёт составляющих радиационного баланса

Сеть специальных станций, ведущих актинометрические (за режимом солнечной, земной и атмосферной радиаций) и теплобалансовые (за режимом тепла и влаги вблизи земной поверхности и теплообменом в почве) наблюдения в настоящее время довольно редки. В Забайкальском крае из 106 метеорологических станций и 97 постов такие наблюдения проводятся лишь на 6. Поэтому при исследовании условий теплового режима земной поверхности возникает необходимость расчёта составляющих радиационно-теплового баланса. Расчёт можно сделать по средним многолетним величинам метеорологических элементов, полученных по длинному ряду наблюдений (20-30 лет и более).

На основании климатических расчётов и наблюдений актинометрических станций построены карты радиационного баланса, как для России, так и для всего земного шара. Есть такие сводки и для отдельных регионов.

На участках с горным рельефом часто возникает необходимость оценки общего прихода солнечного тепла на различно ориентированные склоны. Это обычно делается путём расчёта. Например, суточные величины суммарной радиации получают по формуле

$$\sum Q_{\text{сум.скл}} = \sum Q'_{\text{скл}} + \cos^2 \frac{\alpha}{2} \sum q_{\text{гор}} + \sin^2 \frac{\alpha}{2} \sum r_{\text{гор}}$$

где - $Q'_{\text{скл}} = Q' \cos i$

Q' - интенсивность прямой солнечной радиации на перпендикулярную лучам поверхность;

i - угол падения солнечных лучей на поверхность склона;

α - крутизна склона;

$q_{\text{гор}}$ и $r_{\text{гор}}$ – соответственно поток рассеянной и отраженной радиации на горизонтальной поверхности.

Составляющие радиационно-теплового баланса, прежде всего солнечная радиация, существенно зависят от высоты местности. Обычно с высотой количество суммарной радиации увеличивается.

Для расчёта влияния поглощенной радиации необходимо знать альbedo поверхности. Этот параметр как правило берется из таблиц. Например альbedo (α , %) некоторых поверхностей

Известняк – 56,

Гранит – 12-18,

Трава зеленая – 5-14,

Снег свежий – 85,

Снег старый – 70,

Асфальт – 10-30,

Гравийное покрытие – 13 и т.д.

3.3 Методы расчёта составляющих теплового баланса

Расчет величины испарения. Все используемые сейчас методы определения суммарного испарения с почвы и транспирации растительным покровом можно разделить на три группы:

- 1) Основанные на использовании уравнения водного баланса;
- 2) Основанные на использовании уравнения турбулентной диффузии водяного пара;

3) Основанные на уравнение теплового баланса.

Наиболее часто используется метод Тюрка (1958). Для естественных поверхностей при условии $r^2/E^2 > 0,1$ расчетная формула имеет вид:

$$E = \frac{1,054r}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,054}{E_0}\right)^2}},$$

где E - величина испарения (годовая сумма), мм;

r - годовая сумма осадков, мм;

E_0 – максимальное испарение лимитирующееся влагеёмкостью воздуха, мм.

$$E_0 = 300 + 25t + 0,05t^3 \text{ при } t \text{ – среднелетняя температура воздуха, } ^\circ\text{C}.$$

Испарение с оголенной поверхности почвы можно определить по формуле Тюрка, введя дополнительный коэффициент K , учитывающий влажность грунта, т.е.

$$E = \frac{Kr}{\sqrt{1 + \left(\frac{r}{E_0}\right)^2}}, \quad K = \frac{w - w_r}{w_n - w_r},$$

$$\text{где } E_0 = \frac{1}{16} (t + 2) \sqrt{Q_{\text{сум}}} \text{ при } t > 2 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$E_0 = 0 \text{ при } t \leq 2 \text{ } ^\circ\text{C. Место для формулы.}$$

r – сумма осадков за декаду, мм;

E_0 - максимальное испарение, мм;

$Q_{\text{сум}}$ – суммарная радиация, поступающая на поверхность за декаду ккал/см²;

w – естественная влажность грунта;

w_n – полная влагоемкость грунта;

w_2 – гигроскопическая влажность.

Расчет величины турбулентного теплообмена земной поверхности с атмосферой. Расчет турбулентного потока тепла P (кДж/м², сут), основанный

на теории турбулентности, предложен А.Р. Константиновым (1956).
 Расчетная формула имеет вид

$$P = a \cdot V_{\phi} \left(1 + b \frac{T_{\Pi} - T_{B}}{V_{\phi}^2} \right) (T_{\Pi} - T_{B}),$$

где V_{ϕ} - средняя за месяц скорость ветра на высоте флюгера, м/с;

T_{B} - средняя месячная температура воздуха, °С;

T_{Π} - средняя месячная температура поверхности почвы, °С;

Коэффициенты a и b принимаются:

1) для периода со снегом $a=4$, $b=0.1$;

2) для периода без снега $a=6$, $b=0.9$.

Сумма P за месяц получается умножением суточной величины на число дней в месяце. Применить эту формулу для сильно пересеченной местности нецелесообразно.

При производстве мерзлотной съемки и составлении мерзлотного прогноза можно пользоваться более простой зависимостью

$$P = \alpha(t_{\Pi} - t_{B}),$$

где α - коэффициент турбулентного теплообмена между почвой и атмосферой (кДж/м²•час•°С);

Величина α может быть определена при съемке из уравнения радиационно-теплового баланса, если его составляющие измерены непосредственно в поле, т.е.

$$\alpha = \frac{R - LE - B}{(t_{\Pi} - t_{B})},$$

Расчет величины теплооборота в почве и горных породах.

Теплообороты в почве за полгода, по В.А. Кудрявцеву, определяется уравнением

$$B = \xi(nA_{cp}C + Q_{\phi}) + t_{\xi} \sqrt{\frac{2\lambda TC}{\pi}},$$

где A_0 - амплитуда годовых колебаний температуры на поверхности почвы, °С;

T – период, равный году, час;

λ - теплопроводность грунта, кДж/м•час•°С;

C – объемная теплоёмкость грунта, кДж/м³•°С

Q_{ϕ} – теплота фазовых переходов воды в грунте, кДж/м³;

ξ – глубина сезонного промерзания-оттаивания грунта.

$$n \approx \sqrt{2}/$$

Из этого уравнения видно, что величина B зависит от континентальности климата (через A_0), от высотной поясности и широтной зональности (через t_{ξ}). Весьма важно также, что теплообороты большой степени зависят от теплофизических характеристик грунта и от фазовых переходов воды при промерзании и оттаивании грунта, что связано с влиянием геологических факторов.

Кроме составляющих радиационно-теплого баланса при мерзлотных исследованиях анализируются данные и о других метеоэлементах (облачность и др.).

Облачность является важным фактором, влияющим на лучистый теплообмен на поверхности земли и в атмосфере и, следовательно, влияет на формирование температурного режима воздуха и подстилающей поверхности. Данные по облачности используются при расчете суммарной радиации и эффективного излучения, а также анализа микроклиматических особенностей формирования температуры воздуха.

Увеличение облачности уменьшает приход прямой солнечной радиации к земной поверхности и в то же время уменьшает эффективное излучение Земли. Поэтому летом увеличение облачности (и влажности воздуха приводит к сокращению поглощения солнечной радиации и ослаблению нагрева воздуха и почвы. Зимой, наоборот, повышенная

облачность, препятствует сильному радиационному охлаждению поверхности и тем самым сокращает расход тепла из почвы и горных пород.

В связи со сказанным интересно изучение облачности в начале зимы и весной, когда начинается промерзание и оттаивание. Увеличение облачности приводит к замедлению темпов промерзания в этот период. Весной увеличение облачности тормозит протаивание пород.

Атмосферное давление и ветер. Годовой ход атмосферного давления позволяет судить об особенностях циркуляции атмосферы в том или ином районе, от чего в свою очередь зависит годовой ход облачности и выпадения осадков. Ветер оказывает непосредственное влияние на формирование температурного и влажностного режима воздуха и поверхности, так как 1) воздушные массы способны переносить большое количество влаги и тепла (адвекция), 2) ветер воздействует на состояние (плотность и мощность снежного покрова и распределение его. Особенно важно изучение скорости ветра в горных районах, так как адвекция в горах приводит к нарушению высотной поясности и уменьшению инверсии температур воздуха. При скорости ветра в 6 м/с адвекция практически полностью исключает инверсию температур.

Атмосферные осадки и влажность воздуха. Данные по влажности воздуха, наряду с температурными данными позволяют судить об испарении влаги с поверхности почвы.

Для анализа результатов гидрогеологических наблюдений, а также характеристики отепляющего влияния летних осадков, необходимы сведения о частоте их выпадения, интенсивности и количестве осадков, в виде дождей и ливней.

Особенно велико значение снега. Поэтому для мерзлотно-гидрогеологических целей необходимы следующие сведения: данные (подекадные) о ходе нарастания снежного покрова и изменения плотности снега в течение зимы, о максимальной его мощности а также сроках

установления и исчезновения. Эти задачи решаются с помощью снегомерной съёмки и режимных наблюдений.

Температура воздуха и поверхности Эти параметры отражают, с одной стороны, влияние радиационных факторов, которые определяют суточный и годовой ход, а с другой – адвективное влияние проходящих теплых и холодных воздушных масс. Поэтому температура воздуха и поверхности является одной из важнейших климатических характеристик и широко используется в проводящихся при мерзлотной съёмке теплофизических расчетах и при расчётах составляющих радиационно-теплового баланса. Для расчёта использую среднее годовое значение температуры, годовой ход её средних месячных (или среднедекадных) значений, суточный ход температуры, продолжительность периода с отрицательными или положительными значениями температуры.

Наблюдения за температурой почвы глубиной сезонного промерзания и оттаивания пород представляют большой интерес при мерзлотных исследованиях. В частности эти данные позволяют применять метод Тумеля для определения максимальных глубин сезонного оттаивания. Кроме этого они дают возможность определить скорости промерзания или оттаивания пород, а также рассчитывать температурное поле в слое ξ на любой момент времени и в различных условиях.

При мелкомасштабной съёмке и картировании значительную сложность представляют интерполяция полученных на метеостанциях данных, так как для этого требуется достаточно четкие представления об изменчивости метеорологических элементов в данных географических условиях.

Следует отметить, что при мелкомасштабных комплексных исследованиях нельзя ограничиваться получением данных метеостанций, а необходимо на основе изучения специальной литературы и путём дополнительных полевых наблюдений.

ИЗУЧЕНИЕ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ И СЕЗОННОГО ОТТАИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

7.1 Цель и задачи исследования

Комплексная геокриологическая съёмка предусматривает разносторонние исследования сезоннопромерзающих и сезоннопротаивающих слоёв горных пород, как для целей общей мерзлотной характеристики района, так и для выяснения особенностей режима грунтовых и надмерзлотных вод и инженерно-геологической оценки территории.

Сезонное промерзание и оттаивание пород – это различные понятия.

Сезонное промерзание – это промерзание талых пород, имеющих среднюю годовую температуру выше 0°C . Слой сезонного промерзания подстилается немерзлыми или талыми породами. Его мощность определяется теплооборотом, идущим при отрицательных температурах пород.

Сезонное оттаивание – это оттаивание мерзлых пород, имеющих среднюю годовую температуру ниже 0°C . СТС подстилается ММП и формируется за счёт теплооборотов при положительных температурах.

Мерзлотная характеристика района включает изучение закономерностей формирования СМС и СТС в зависимости от различных природных факторов (состав и генезис пород, особенностей почвенных и напочвенных покровов, грунтовых и поверхностных вод, микроклимата ит.д.). Это необходимо как для собственно мерзлотных целей, так для гидрогеологических и инженерно-геологических целей.

В геокриологическом отношении выяснение этих закономерностей имеет очень большое значение и позволяет определять верхние граничные условия

формирования и существования ММП и их распространение, а также условия и характер криогенных процессов и явлений.

Для целей *гидрогеологии* важно знать те особенности сезонного промерзания и оттаивания пород, которые определяют условия питания, разгрузки и режим первого от поверхности водоносного горизонта в условиях развития ММП. При этом изучают распространение и динамику СМС и СТС в годовом и многолетнем цикле, а также состав и воднофильтрационные свойства слагающих его пород. Детальное изучение закономерностей формирования сезонного промерзания и оттаивания пород позволяет установить природу, характер, распространение и залегание таликов и их роль в питании и разгрузке подземных вод.

В *инженерно-геологическом отношении* изучение сезонного промерзания и оттаивания имеет первостепенное значение. Так, инженерно-геологическая оценка территории невозможна без прогноза изменения мерзлотной обстановки при хозяйственном освоении района. А прогноз включает в себя, прежде всего, характеристику сезонного промерзания и оттаивания пород в измененных условиях и изучение возможности возникновения перелетков МП и новообразования мерзлоты на талых участках, а также оттаивание ММП, развитие термокарста и т.д.

Поэтому необходимо изучение особенностей теплообмена в СМС и СТС для чего изучаются состав, свойства и температурный режим пород этого слоя. Первостепенное значение для выяснения инженерно-геологических условий района имеет также исследование процессов и явлений в СТС и СМС (сегрегационное льдовыделение, пучение пород, изменение их свойств при промерзании и оттаивании, а также изучение наледей, солифлюкции и других криогенных явлений).

Все перечисленные стороны сезонного промерзания и оттаивания пород тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены. Так, формирование мощности СТС и СМС зависит в числе прочих факторов от его обводненности, в то же

время режим водоносного горизонта в этом слое зависит от хода сезонного промерзания и оттаивания пород.

Протекающие в этом слое процессы и характер криогенных явлений определяются как условиями теплообмена на поверхности пород и их составом так и гидрогеологическими особенностями участка. Эта взаимосвязь отражает единство процессов тепло- и влагопереноса в промерзающих и протаивающих породах. Поэтому всестороннее изучение рассматриваемого явления с позиций мерзлотных, гидрогеологических и инженерно-геологических исследований должно проводиться комплексно по единому плану и методике. В процессе изучения закономерностей формирования глубин сезонного промерзания и оттаивания пород должны проводиться следующие исследования:

- 1) изучение глубин сезонного оттаивания и промерзания пород на момент исследования и приведение их к средним многолетним значениям расчетными методиками;
- 2) изучение, генезиса, распространения, залегания, литологического состава пород СТС и СМС;
- 3) изучение криогенных текстур и льдистости СТС и СМС;
- 4) изучение грунтовых, надмерзлотных вод и влажностного режима пород СТС и СМС;
- 5) изучение влияния элементов геолого-географической среды (снежного и растительного покрова и т.д.) на температурный режим и глубину СТС и СМС.

Перечисленные задачи решаются на основе ландшафтного микрорайонирования территории и изучения в выделенных микрорайонах указанных выше вопросов на ключевых участках и в маршрутных исследованиях с помощью:

- 1) дешифрирования АФС и установления дешифровочных признаков для данной территории;

- 2) горнобуровых работ и опробования пород с последующими полевыми и лабораторными исследованиями их состава и свойств;
- 3) единовременных измерений глубин протаивания пород в маршрутах и режимных – на ключевых участках;
- 4) геофизических методов;
- 5) анализа связей характеристик СТС и СМС с различными геолого-географическими факторами путём исследования на специальных площадках и применения расчетных методов.

7.2. Классификация типов сезонного промерзания и оттаивания пород

Сезонное промерзание и оттаивание горных пород предполагает изучение двух основных сторон процесса: теплофизическую и геолого-географическую. Наиболее полно указанная взаимосвязь отражена в классификации В.А. Кудрявцева. Эта классификация является генетической. Согласно классификации В.А. Кудрявцева тип сезонного промерзания и сезонного оттаивания пород выделяется на основе следующих признаков:

- 1) средней годовой температуры на подошве СМС и СТС;
- 2) годовой амплитуде колебаний средних месячных температур на поверхности почвы;
- 3) состава пород и их литолого-генетических особенностей (выражающихся через такие показатели физических свойств грунтов, как объёмный вес, удельная теплоёмкость, коэффициент теплопроводности;
- 4) особенностей водного режима и водных свойств пород: их естественной влажности, полной влагоёмкости и количества незамерзшей воды.

Эта классификация типов сезонного промерзания и протаивания пород является основой для региональных исследований этого явления. При съёмке

устанавливаются классификационные признаки сезонного промерзания и оттаивания, характерные для данного района и составляется региональная классификация. Последняя, представляет собой форму обобщения закономерностей сезонного оттаивания и промерзания и является необходимой основой для составления карты типов сезонного промерзания и оттаивания пород.

7.2 Изучение состава, свойств и влажности сезонномёрзлых и сезонноталых пород

На основе выделения геолого-генетических комплексов пород производится подробное изучение состава, литологии пород, их залегания, распространения, криогенного строения, льдистости и влажности СТС и СМС. Для каждого из генетических типов указывается принадлежность пород к той ли иной гранулометрической разности (глины, суглинки, пески и т.д.). Одновременно характеризуется консистенция и влажность талых и оттаявших пород.

При документации шурфов и обнажений следует особенно тщательно отмечать такие особенности пород, которые можно наблюдать только в естественном залегании: сложение породы, её текстурные и структурные особенности, характер и содержание органических веществ, обломочного материала, заполнителя, степень выветрелости и т.д.

При исследовании криогенной текстуры изучается форма ледяных включений (прослой, линзы корки или гнёзда льда), их размеры и особенности распределения (частота, взаимное расположение, шпиров льда, их положение относительно фронта промерзания). Зарисовываются и фотографируются системы ледяных включений, отмечается их соотношение с первичной отдельностью и др., отбираются пробы для определения льдистости пород.

Состав и свойства СТС и СМС существенно зависят от типа почв. Для характеристики почвенного разреза описывается изменчивость структуры и цвет почвы, характер ожелезнения, оглееность, гумусированность сверху вниз по изучаемому слою. При наличии болотных почв необходимо тщательное описание торфа, его цвета, физических свойств, особенностей сложения и видимых растительных остатков. По этим признакам можно установить его ботанический состав и степень разложения органического вещества, определяющие теплофизические и водные свойства торфяной залежи.

Большое значение имеет правильное и полное опробование пород в полевых условиях. Поэтому необходимо отбирать пробы с нарушенной и ненарушенной структурой (монолиты) для определения влажности и объемного веса в полевых условиях и образцы пород для детальных исследований в стационарной лаборатории.

Отбор проб для определения влажности пород производится в одновременно с зондировкой СТС при маршрутных исследованиях и является массовым. Из каждой закопушки или зондировочной скважины отбирается не менее 3 проб, интервал между которыми не должен превышать 0,2-0,5 м (в однородном по составу слое). В случае неоднородности разреза на влажность отбираются из каждой литологической разновидности. Из мерзлых пород пробы для определения льдистости отбираются обычно бороздковым методом.

Поскольку влажность пород существенно изменяется во времени, то на ключевых участках организуются наблюдения за влажностным режимом пород, устанавливающие его зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков и колебаний уровней грунтовых вод. На поперечниках, пересекающих наиболее характерные микрорайоны, организуются наблюдения за ходом сезонного промерзания и оттаивания пород, Наблюдения проводятся не реже, чем 1 раз в декаду. Желательно также

привязывать сроки наблюдений к различным погодным условиям (период интенсивных осадков, бездождливый период и т.д.) При режимных наблюдениях проводится более детальное изучение распределения влаги в СТС и СМС. В этом случае пробы по влажности (льдистости) отбираются через 10 см с трехкратной повторностью.

С помощью режимных наблюдений выясняются:

- 1) продолжительность существования грунтовых вод СТС и СМС а различных природных ландшафтах;
- 2) закономерности влажностного режима отложений исследуемого слоя в зависимости от их состава и характера грунтовых вод;
- 3) особенности режима водоносных горизонтов в связи с характером атмосферного питания и динамики сезонного промерзания и оттаивания пород;
- 4) участки, где формирование глубин ξ происходит под влиянием конвективного переноса.

Результаты режимных наблюдений используются также при обработке материалов маршрутных исследований. Например, при систематизации всех данных по влажности пород, полученных при маршрутных исследованиях часто весьма разбросанных как во времени, так и по территории съёмки.

В полевых условиях желательно проводить опытные работы по определению теплопроводности и фильтрационных свойств грунтов. Теплопроводность в поле рекомендуется определять нестационарным методом цилиндрического зонда постоянной мощности. Кроме этого, коэффициент теплопроводности верхних горизонтов почвы (мохового и торфяного покровов, дернового слоя и др.) можно определять методом «температурной волны», поставив наблюдения за распространение суточных колебаний температур с помощью максимальных и минимальных термометров. Наблюдения проводятся не менее 3 суток. Коэффициент теплопроводности рассчитывается по формуле

$$K = \frac{\pi z^2}{\tau (\ln A_o - \ln A_z)^2}$$

где K – коэффициент теплопроводности, м²/час;

z – мощность слоя почвы, на кровле и подошве которого измеряются суточная амплитуда температурных колебаний, м;

τ - период колебаний – сутки, час;

A_o и A_z – амплитуда суточных колебаний температуры соответственно на поверхности и подошве исследуемого слоя почвы ξ , °С.

Для определения водно-фильтрационных свойств пород СТС и СМС применяются все виды опытно-фильтрационных и лабораторных работ.

7.4 Изучение криогенного строения пород в слое сезонного оттаивания и сезонного промерзания

Одной из важнейших характеристик мерзлых пород в СТС и СМС является их криогенное строение. Именно количество льда и его распределение в породе определяет её физические и физико-механические и прочие свойства. Этим же определяется возможность развития в СТС и СМС криогенных и посткриогенных процессов.

Текстуры мерзлых пород весьма разнообразны и определяются включениями сегрегационного, инъекционного и жильного льда или скоплений зёрен льда-цемента, их размерами, характером залегания и т.д.

Криогенное строение пород зависит от трёх факторов:

- 1) состава и генезиса пород;
- 2) влажности пород и гидрогеологических условий;
- 3) скорости промерзания.

В соответствии с этим криогенные текстуры в СТС и СМС по площади изменяются со сменой генетических типов четвертичных отложений, их

фаций и литологии, а также изменением характера верховодки и надмерзлотных вод, влажности и температурного режима пород.

Поэтому при мерзлотной съёмке изучение криогенного строения пород производится в соответствии с выделенными типами и разновидностями СТС и СМС.

В подготовительный период съёмки оценка криогенного строения СТС и СМС даётся на основе предварительной карты микрорайонирования и сведений об особенностях динамики сезонного промерзания и оттаивания пород, а также режима грунтовых вод. Для этого изучаются данные наблюдений метеостанций за глубиной сезонного промерзания и оттаивания пород, которые дополняются расчётными данными. На основе анализа всех этих материалов определяются участки, где вероятно интенсивное сегрегационные или инъекционное льдовыделение при сезонном промерзании отложений.

В полевой период криогенное строение СТС и СМС изучаются как в ходе маршрутов, так и путём специального изучения и опробования мёрзлых пород в горных пород выработках.

При изучении криогенного строения в шурфах, канавах или по керну фиксируются следующее. Выделяются горизонты с различным характером включений льда. Определяются мощности каждого горизонта, его распространение по простиранию, характер контактов в кровле и подошве. Отмечается наличие в разрезе криогенных текстур различных порядков, а также крупных мономинеральных ледяных тел (форма, размеры, условия залегания). Анализируется связь этих горизонтов с первичной неоднородностью состава и строения пород и с возможными особенностями режима промерзания. Затем определяются типы криогенных текстур для чего

- 1) в каждом горизонте фиксируется наличие или отсутствие ледяных включений;

2) указывается ориентация этих включений относительно фронта промерзания;

3) определяется толщина ледяных включений, интервал между ними, положение относительно дневной поверхности (горизонтальное, наклонное и т.д.)

4) описывается рисунок криотекстуры (форма ледяных включений, условий их залегания, взаимное расположение и соотношение с минеральной частью породы).

Одновременно описываются особенности текстурообразующего льда: цвет, загрязненность, органические или минеральные примеси, наличие сортировки последних, наличие пузырьков воздуха, их форма, направление вытянутости или сплюсненности и другие текстурные особенности льда.

Структуру льда обычно изучают в лабораторных условиях с помощью микроскопа. При просмотре шлифа льда определяется форма и размер зерен льда, интенсивность их интерференционной окраски, а также размер включений грунта и пузырьков воздуха и их расположение. Структура льда зарисовывается.

Одним из основных количественных показателей криогенного строения пород является их льдистость. Поэтому все разновидности пород должны быть этим параметром охарактеризованы. Параллельно с отбором проб на льдистость должны отбираться образцы мерзлых пород для определения их объемного веса, а также дальнейшего изучения микростроения пород и льда лабораторных условиях.

В весенне-летний период, когда СТС или СМС уже частично растаял, следует обращать внимание на характер посткриогенной структуры пород, образованной полостями и макропорами, оставшимися после вытаявания содержащихся в них льда. Это позволяет не только восстановить облик криотекстуры, но и оценить величину осадки при оттаивании, а также характер развития процессов термокарста, термоэрозии, солифлюкции и др.

Одной из основных задач режимных наблюдений является изучение влияния динамики сезонного промерзания на характер образующихся криогенных текстур и льдистости отложений, дающее возможность определить скорость промерзания, оптимальную для льдовыделения и пучения грунтов различного состава при различном режиме грунтовых и надмерзлотных вод. Эта задача решается обычно в лабораторных условиях, а результаты используются для прогноза изменения льдистости и разработки способов борьбы с пучением.

7.5 Изучение глубин сезонного промерзания и оттаивания пород

Глубина ξ является важнейшей характеристикой типов сезонного промерзания или оттаивания. Как известно она определяется четырьмя классификационными признаками, отражающими теплофизическую (t_{ξ}, A_o) и геологическую (λ, Q_{ϕ}, C) стороны процессов сезонного оттаивания и промерзания. Количественная связь между ξ и указанными параметрами наиболее полно выражена в известных формулах В.А. Кудрявцева.

Зависимость ξ от большого числа факторов приводит к тому, что в одних и тех же грунтах могут формироваться различные глубины оттаивания (промерзания), а в разных по составу грунтах – одинаковые.

На основе выделенных при геокриологической съемке типов ландшафтов определяются классификационные типы сезонного оттаивания (промерзания) и пределы возможного изменения глубин ξ для каждого типа. При этом необходимо определить средние и экстремальные глубины. Также следует определять средние многолетние значения глубин. Обязательно оценивается степень изменчивости ξ по площади, обусловленная неоднородностью природных условий. Необходимо оценить динамику глубин во времени, причём в первую очередь в связи скороткопериодными колебаниями климатических характеристик (средней годовой температуры

воздуха, высотой и плотностью снежного покрова, количества летних осадков), изменчивости геоботанических, гидрологических, условий и влажностного режима пород, а также техногенными факторами.

Учитывая изменчивость ξ необходимо прогнозировать изменение ξ в связи с хозяйственным освоением территории съемки.

7.6 Методы определения глубин сезонного оттаивания промерзания пород в полевых условиях

Глубины сезонного промерзания и оттаивания пород в полевых условиях изучаются путём непосредственных измерений глубин и температур пород в шурфах и зондировочных скважинах, а также геофизическими и расчетными методами.

В процессе бурения наличие мерзлых пород устанавливается по появлению в керне кристаллов и прослоев льда, а также по пустотности породы, её цвету (мёрзлые породы обычно светлее талых) и по изменению этих признаков при таянии образцов.

В шурфах помимо глубины оттаивания на момент проходки, иногда удаётся фиксировать максимальную глубину оттаивания по льдистости пород. Как правило, на границе ММП наблюдается максимальная льдистость СТС. При определении глубин протаивания, не превышающих 1,5 м можно использовать щуп – стальной заостренный прут диаметром 6-8 мм, снабжённый рукояткой. Щуп обычно не углубляется в мёрзлые породы больше чем на 1-2 см, а звук удара о мёрзлую породу отличается от удара о каменистые или растительные включения.

Для определения мощности СТС в ряде случаев могут быть использованы данные ВЭЗ, особенно при мощности СТС превышающей 1 м или при его обводненности.

Существует целая серия специальных приспособлений (мерзлотомеров), позволяющих проводить режимные наблюдения за ходом промерзания (оттаивания) грунтов на стационарных площадках.

Все натурные данные по глубинам сезонного оттаивания или промерзания пород, полученные в ходе съёмки на различные моменты времени, должны быть приведены к максимальной глубине по методике В.Ф. Тумеля. С этой целью на ключевых участках организуются режимные наблюдения за ходом сезонного оттаивания или промерзания пород.

На характерных поперечниках, захватывающих различные микрорайоны фиксируются не реже 1 раза в декаду глубины сезонного оттаивания или промерзания. Такие данные могут быть получены и по метеостанциям, расположенным на территории съёмки.

По данным наблюдений за ходом оттаивания (промерзания) строятся кривые интенсивности оттаивания (промерзания) для типичных микрорайонов. По этим кривым определяемые в поле глубины приводятся к значениям, соответствующим полному протаиванию или промерзанию, согласно зависимости

$$\xi_{max} = \frac{\xi}{n} \cdot 100,$$

где ξ_{max} - максимальная глубина оттаивания (промерзания);

ξ - глубина оттаивания (промерзания) на определенный момент времени;

n – процент оттаивания (промерзания) на кривой интенсивности оттаивания (промерзания) на момент измерения.

При изучении глубин сезонного оттаивания и промерзания пород необходимо иметь ввиду возможность промерзания СТС и оттаивания СМС снизу. Это явление наблюдается при отличии средних годовых температур пород от 0 более чем на 1°С.

Значения ξ , полученные по данным натурных наблюдений, характеризуют процесс сезонного промерзания (оттаивания) только в год

исследований и в следующем году ξ может существенно измениться. Поэтому при изучении ξ нельзя ограничиваться только сбором фактических данных, так как это не позволяет анализировать закономерности формирования глубин и предвидеть их изменения при освоении территории.

Для выявления закономерностей необходимо привести расчеты средних и экстремальных значений ξ для всех выделенных микрорайонов в зависимости от свойственного им комплекса природных условий. Наиболее приемлемой для этого является формула В.А. Кудрявцева, так как в неё входят параметры, непосредственно характеризующие классификационные признаки типов сезонного оттаивания и сезонного промерзания. Все исходные данные определяются доступными методами в процессе мерзлотной съёмки. Номограммы, составленные по этой формуле позволяют быстро определять ξ для различных условий.

Полученные расчетные величины должны быть увязаны с данными натурных наблюдений. Это позволит наиболее полно использовать фактические данные и проконтролировать правильность расчетов. В случае неувязки расчетных и натурных данных должны быть проанализированы причины этого. Как правило, это: 1) ошибки в определении исходных параметров; 2) неполный учет процессов теплообмена в расчетных формулах (например конвективного теплообмена), 3) большие расхождения между средней многолетней нормой ξ и глубинами наблюдаемыми в год исследования. Причины неувязки должны быть выяснены в поле и ошибки исправлены.

В результате изучения закономерностей формирования сезонного оттаивания и промерзания пород на территории съёмки должна быть составлена региональная карта типов сезонного промерзания (оттаивания).

7.7 Изучение перелетков и несливающейся мерзлоты

Перелетки и несливающаяся мерзлота возникают в результате кратковременных изменений теплообмена на поверхности почвы, либо под влиянием естественной динамики природных факторов, либо под влиянием хозяйственной деятельности человека. Эти явления могут значительно осложнять условия строительства и разработку полезных ископаемых. Поэтому в процессе мерзлотной съёмки необходимо определить условия образования и мощности перелетков мерзлых пород или прослоев талых пород на участках несливающейся мерзлоты.

Перелетки формируются при условии, когда средняя годовая температура на поверхности почвы понизится на величину превышающую значение средней годовой температуры пород на подошве СМС, то есть

$$t_{nn} - t_{nn\text{ пер}} > t_{\xi}$$

Соответственно образование талого прослоя разобшающего слой зимнего промерзания и многолетнемерзлых пород определяется условием

$$t_{nn} - t_{o\text{ пер}} < t_{\xi}$$

Наиболее часто указанные условия возникают в случае переходных и полупереходных типов сезонного оттаивания и промерзания.

Мощность перелетка или талого прослоя пород в ходе полевых работ определяется путем бурения скважин, проходки шурфов и расчётными методами. Мощность перелетка или талого прослоя, сформировавшегося за 1 год может быть получен путём расчета потенциального сезонного промерзания или протаивания. Если аномальные температурные условия на поверхности почвы существуют в течение ряда лет, то мощность перелетка или талика следует рассчитывать на ЭВМ или с помощью режимных наблюдений в скважинах.

Лекция 8

8 ТЕРМОМЕТРИЯ

8.1 Общие положения

Согласно ГОСТ 25358-2012 Грунты. Метод полевого определения температуры, Измерения температуры грунтов должны проводиться в заранее подготовленных и выстоянных термометрических скважинах переносными или стационарными термоизмерительными комплектами, представляющими собой гирлянды электрических датчиков температуры с соответствующей измерительной аппаратурой, устройствами для накопления информации (логгеры) в автоматическом режиме и дистанционной передачи данных или гирлянды "заленивленных" ртутных термометров; допускается применение отдельных датчиков, в том числе малоинерционных.

Многоканальные термоизмерительные системы с центральным пультом измерений или персональным компьютером (ПК), предназначенные для проведения длительных (режимных) наблюдений за температурой грунтов в термометрических скважинах на групповых опытных площадках или в основаниях зданий и сооружений, должны изготавливаться по проектам, разработанным с учетом инженерно-геологических и климатических условий района работ.

Температуру мерзлых, промерзающих и протаивающих грунтов следует выражать в градусах Цельсия с округлением до 0,1 °С.

Инструментальная погрешность приборов для полевых измерений температуры грунтов не должна превышать:

±0,1 °С	-	в диапазоне температур	±3°С;
±0,2 °С	"	"	св. ±3 °С до ±10 °С включ.;
±0,3 °С	"	"	св. ±10 °С.

Аппаратура и приборы для измерения температуры перед началом и после окончания полевого сезона, а также после выявления и устранения неисправностей должны поверяться сопоставлением их с образцовыми мерами и иметь аттестаты поверок, содержащие величины поправок.

Многоканальные термоизмерительные системы должны содержать устройства для калибровки и периодически поверяться по всем каналам (согласно инструкции по эксплуатации, выдаваемой предприятием - изготовителем оборудования).

8.2 Оборудование и приборы

Комплект для полевого измерения температуры грунтов в скважинах представляет собой гирлянду ртутных "заленивленных" термометров или электрических датчиков температуры с прибором для измерения температуры (см. 6.8).

Число ртутных "заленивленных" термометров в одной гирлянде не должно превышать 5 шт. При большем числе точек измерения термометры следует группировать по 5 шт. в самостоятельные гирлянды, устанавливаемые в скважину одновременно. Число электрических датчиков температуры в одной гирлянде не лимитируется.

В качестве электрических датчиков температуры грунтов следует применять чувствительные элементы промышленных мерных термометров сопротивления с номиналом 100 Ом, допускается использовать электрические датчики с другим номиналом при обеспечении требований к инструментальной погрешности приборов.

В качестве измерительных приборов к электрическим датчикам следует применять специальные термометрические многопредельные неравновесные мосты или потенциометры постоянного тока, отградуированные в градусах Цельсия, при цене деления шкалы не более 0,1 °С, либо лабораторные мосты сопротивлений класса точности 0,05%-0,1%, подключаемые к гирлянде через узел коммутации.

При измерении температуры грунтов в скважинах ртутными термометрами следует применять ртутные метеорологические термометры

ценой деления не более 0,2 °С по ГОСТ 2045 и ГОСТ 112, предварительно вмонтировав их в специальные "затенивающие" оправы для повышения тепловой инерции.

Тепловая инерция "затенивленного" термометра характеризуется двумя параметрами, которые должны ежегодно проверяться:

- время задержки - время, за которое показание исходной температуры изменится на 0,1 °С при переносе термометра в среду, температура которой отличается на ± 20 °С от исходной. Время задержки "затенивленного" термометра должно составлять (60 ± 10) с, что ориентировочно лимитирует суммарное время снятия отсчетов со всех термометров гирлянды;

- показатель тепловой инерции - время, за которое температура изменится на 63% от задаваемого при поверке перепада температуры. По показателю тепловой инерции при измерении температуры грунтов определяют время выдержки гирлянды термометров в скважине (см. 7.3).

Тарировка и поверка электрических датчиков температуры и измерительных приборов к ним, а также ртутных термометров должны проводиться в лабораторных условиях на измерительных приборах более высокого класса точности, чем рабочие приборы.

8.3 Подготовка к измерениям

Для измерения температуры грунтов следует использовать инженерно-геологические скважины диаметром не более 160 мм и целевые термометрические скважины диаметром не более 90 мм, пробуренные колонковым способом без промывки на малых оборотах бурового инструмента или ручным буровым комплектом.

Использовать для измерения температуры грунтов скважины, заполненные водой, рассолом или другой жидкостью, не допускается.

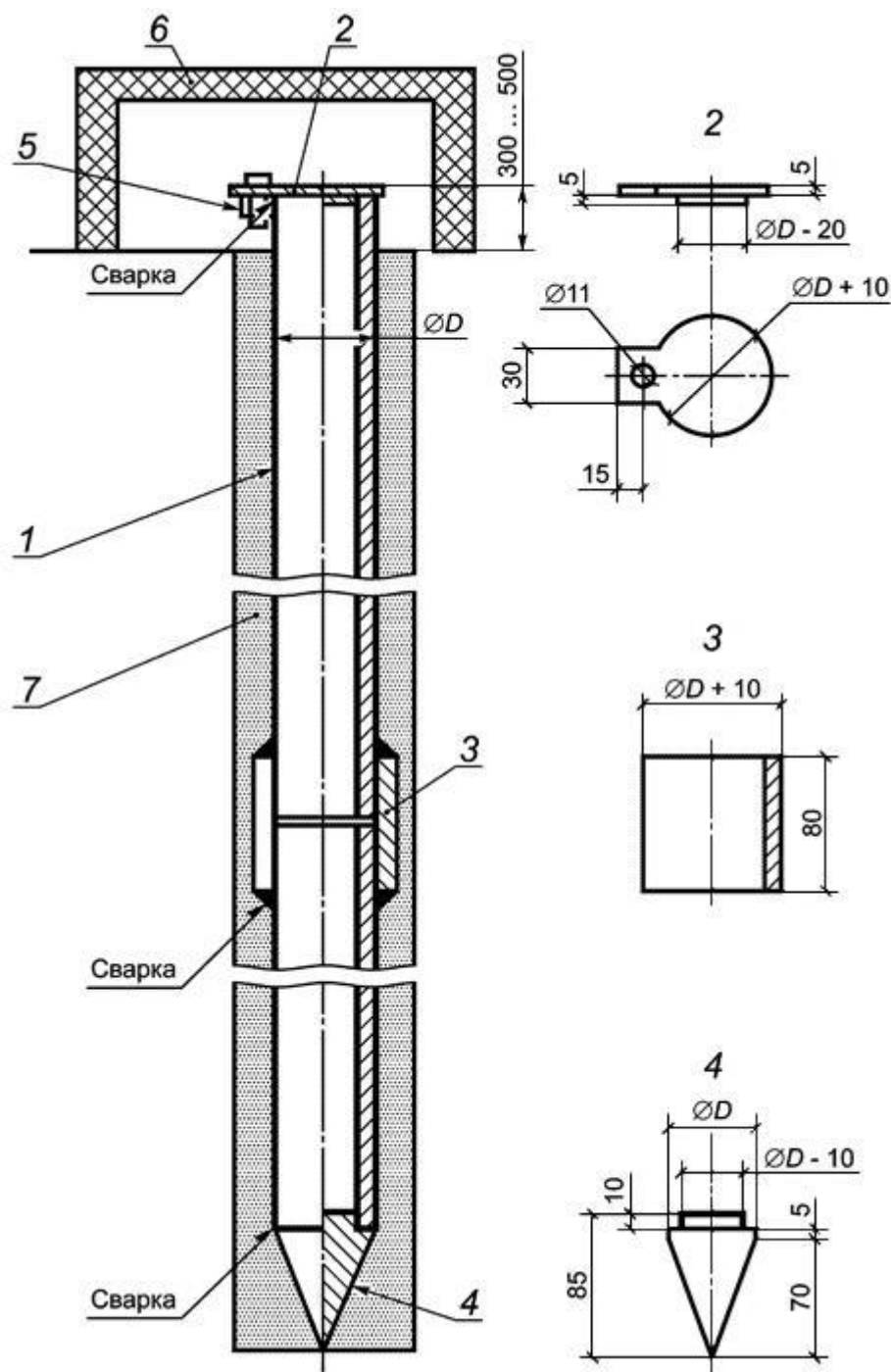
Скважина в пределах протаивающего слоя грунта должна быть защищена обсадной трубой-кондуктором, заглубленным в многолетнемерзлый грунт не менее чем на 0,5 м. При наличии межмерзлотных или подмерзлотных вод и осыпанию стенок скважины на всю ее глубину следует устанавливать защитную пластмассовую или стальную трубу, герметизированную снизу и в соединениях, диаметр которой должен обеспечивать свободный спуск и подъем гирлянды. Термометрические скважины рекомендуется выполнять в соответствии со схемой, представленной на рисунке 8.1

Без обсадки разрешается использовать только сухие скважины с устойчивыми стенками.

Кондуктор или защитная труба должны выступать над поверхностью грунта на 0,3-0,5 м.

На строительных площадках и в зонах проезда транспортных средств верхняя часть обсадных и защитных труб должна быть заглублена на 0,1-0,3 м и закрыта металлическим колпаком, предохраняющим скважину от повреждения транспортными средствами и строительными механизмами.

Выступающая над поверхностью грунта часть кондуктора или защитной трубы должна быть теплоизолирована коробом с крышкой, заполненным мхом, торфом или другим теплоизоляционным материалом. Входное отверстие скважины (трубы) после бурения и в промежутках между наблюдениями должно плотно закрываться пробкой, предупреждающей возможность попадания в скважину атмосферных осадков и образование в ней конденсата или снежной шубы.



1 - обсадная труба; 2 - защитная крышка; 3 - обойма; 4 - наконечник; 5 - приваренная к трубе гайка М10; 6 - теплоизолированный короб; 7 - грунт обратной засыпки

Рисунок 8.1 - Схема термометрической скважины

При режимных (длительных) наблюдениях в скважинах диаметром более 100 мм затрубное пространство защитных труб следует засыпать сухим песком или мелким гравием, либо местным сухим измельченным грунтом.

Значительно большее влияние оказывает нарушение температурного режима пород вокруг скважины в процессе бурения, которое может достигать 4-5° и более. Необходимо некоторое время (время выстойки скважины), чтобы температурный режим пород восстановился. Оно зависит от продолжительности, режима и способа бурения, температуры и льдистости пород. По данным В. Н. Девяткина, в скважинах глубиной 500-3000 м, пройденных с промывкой, восстановление температур (до $\pm 0,1^\circ$) может достигать 2-10 лет, в то время как при проходке с продувкой до глубины 300-600 м время восстановления составляет всего 10-30 сут после окончания бурения. Обычно в скважинах средней (до 200 м) глубины, проходимых с промывкой, температурный режим восстанавливается через 2-3 мес. Время выстойки мелких скважин, проходимых всухую, измеряется сутками. Удостовериться в том, что скважина выстоялась, можно, проводя повторные температурные замеры в ней и сравнивая полученные результаты.

Подготовка к измерению температуры грунтов в свежепробуренных скважинах включает опытную оценку времени "выстойки" скважины после бурения и величины дополнительной погрешности измерения, вызванной нарушением естественного температурного режима грунтов при бурении и обсадке скважины. Для этого:

- на участке с типичными для данной площадки мерзлотно-грунтовыми условиями проходят и оборудуют опытную скважину на планируемую глубину измерения температуры, но не менее 10 м, способ, режим бурения и конструкция которой должны быть аналогичными применяемым в данных условиях;

- по окончании бурения и обустройства скважины проводят измерение температуры грунтов на глубине 5 м и более в следующие сроки: в течение первых трех суток - через каждые 12 ч; далее - через сутки (до момента, когда за трехсуточный период изменение температуры на одних и тех же глубинах составит $\pm 0,1^\circ\text{C}$).

Время "выстойки" определяется максимальным периодом стабилизации температур, измеренных на разных горизонтах.

Оценку дополнительной погрешности измерения, возникающей от сокращения времени "выстойки" скважин после бурения, проводят по кривым стабилизации температуры в опытной скважине.

При наличии в районе работ старых законсервированных скважин, пригодных для термометрии, в них проводят параллельные измерения температуры, в соответствии с результатами которых коррелируются результаты измерения температуры в опытной скважине.

При измерении температуры грунтов на глубине 1 м и более и при диаметре буровых скважин не более 100 мм допускается пренебрегать погрешностью от конвекции воздуха в скважине.

В скважинах диаметром более 100 мм до глубины 5 м следует применять легкие разделительные диски-диафрагмы, закрепляемые на гирлянде через 1 м.

Каждая гирлянда электрических датчиков температуры (или ртутных термометров) должна иметь метку, совмещаемую при установке гирлянды с горизонтом устья скважины. Расстояние от этой метки до середины датчика или центра ртутного резервуара термометра определяет глубину измерения температуры.

Погрешность установки термодатчиков или термометров в скважине по глубине не должна превышать $\pm 0,05$ м.

Для инженерно-геокриологических исследований глубины измерения температуры в скважинах следует принимать: в пределах первых 5 м - кратными 0,5 м; затем, до глубины 10 м - кратными 1 м, свыше 10 м - кратными 2 м, а также на забое скважины.

Ранее рекомендуемые интервалы измерения температур в скважинах (Методы..., 1979) составляли

Глубина от устья скважины, ы	0-5	5-10	10-25	25-50	50-100	Глубже 10м
Интервалы между замерами, м	0,5	1,0	2,5	5,0	10	20

В случае аномального распределения температуры грунтов по глубине (при наличии таликов, заглубленных источников тепла и т.п.) и для специальных исследований (для устройства свайных оснований, береговых сооружений и т.п.) допускается изменять глубины измерения температуры в соответствии с конкретными местными условиями и целями термоизмерительных работ.

Для режимных наблюдений за температурой верхних горизонтов грунта, проводимых на опытных площадках или вблизи фундаментов, дистанционные датчики температуры следует устанавливать непосредственно в грунт, для чего:

- в углу шурфа на выбранных горизонтах делают шпурсы 0,20-0,25 м и в них закладывают датчики;
- отводят провода восходящей змейкой или в резиновых трубках для снижения механических усилий в них при пучении и осадках грунта;
- выполняют обратную засыпку шурфа ранее вынутым грунтом с послойным его уплотнением;
- на поверхности восстанавливают нарушенный растительный и снежный покров.

Время выстойки шурфа после засыпки - от 10 до 20 дней (уточняется опытным путем).

8.3 Проведение измерений

Измерение температуры грунтов следует проводить в следующем порядке:

- перед спуском термоизмерительной гирлянды в скважину проверяют рабочую глубину скважины, отсутствие в ней воды или снежной шубы посредством грузового лота, диаметр которого обеспечивает проход гирлянды;

- в скважину или защитную трубу опускают гирлянду на заданную глубину, закрепляют во входном отверстии скважины пробкой и оставляют на период выдержки;

- после установки гирлянды в скважину в полевом журнале, записывают номер скважины, дату ее проходки и обустройства, номер гирлянды, дату и время ее установки, температуру наружного воздуха, измеренную с помощью термометра-праща;

- оценивают период выдержки гирлянды в скважине;

- по истечении периода выдержки гирлянды в скважине проводят измерения и регистрацию температуры грунта. При проведении измерений с использованием гирлянды дистанционных датчиков ее разъем подключают к измерительному прибору, после настройки которого и выбора диапазона измерений последовательно по всем каналам гирлянды снимают и записывают в журнал показания температуры. При использовании автоматических приборов с запоминающими устройствами для снятия результатов измерений к данным приборам подключают компьютер и записывают показания. При проведении измерений с использованием ртутных «заленивленных» термометров их извлекают (по одному) из скважины, не допуская попадания на термометр прямых солнечных лучей, и записывают отсчеты по шкале температур;

- непосредственно после записи отсчетов проводят оценку значений температуры сопоставлением их между собой или с данными предыдущих

измерений. При наличии аномальных отклонений измерения следует повторить;

- по окончании измерений переносную гирлянду извлекают из скважины, скважину закрывают пробкой, а короб крышкой. Если гирлянда стационарная, то наружную ее часть следует уложить под крышку короба, накрыть непромокаемой пленкой.

Неисправности, обусловленные коррозией контактов, обрывом или замыканием проводов, замачиванием электрических датчиков гирлянды атмосферными осадками, должны регистрироваться в журнале.

До исправления повреждений использовать гирлянду для измерений температуры грунтов не допускается.

Время выдержки τ_{Δ} , ч, гирлянды датчиков температуры в скважине следует определять по формуле

$$\tau_{\Delta} = \tau_0 \ln [t_e - t_s] / \Delta t, \quad (7.1)$$

где τ_0 - показатель тепловой инерции, ч;

t_e - исходная температура (температура наружного воздуха во время измерения), °С;

t_s - ожидаемая температура грунта в скважине (принимается ориентировочно с погрешностью до ± 2 °С), °С;

Δt - допускаемая погрешность за счет ограничения времени выдержки, 0,05 °С.

Время выдержки гирлянды датчиков температуры следует определять для разностей температур, равных 10 °С, 20 °С, 30 °С и 40 °С, и для разности $t_e - t_s$ следует использовать ближайшее большее значение времени выдержки.

При режимных наблюдениях на опытных площадках необходимо не нарушать растительный и снежный покров около скважины и на площадке в целом.

8.4 Обработка результатов измерений

В отсчеты температуры грунтов, зафиксированные в полевом журнале, следует ввести инструментальные поправки, выявленные в результате поверки термодатчиков и измерительных приборов или термометров, включая поправку на "место нуля", полученную в результате последней поверки, и шкаловую поправку, определяемую по паспорту (аттестату) конкретного измерительного прибора или термометра, с учетом положения "места нуля".

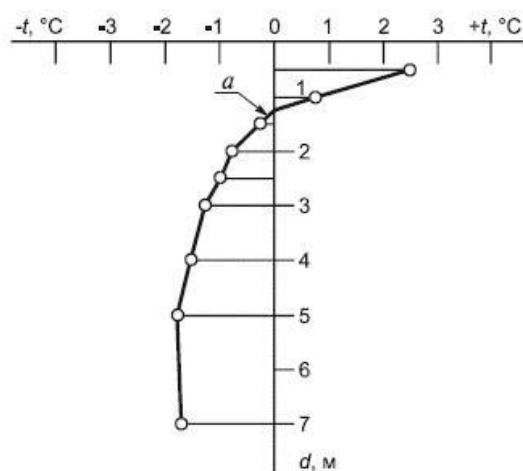
Дополнительные погрешности измерения должны оцениваться расчетом или опытным путем и учитываться по мере их проявления в конкретных условиях измерения температуры грунтов.

Результаты наблюдений за температурой грунтов следует оформлять в виде:

- сводной ведомости значений температуры грунтов, скорректированных с учетом инструментальных и дополнительных поправок;

- графика распределения температуры по глубине для одноразовых измерений температуры или графика термоизоплет - для длительных (режимных) наблюдений.

Объект _____
Планшет № _____
Скважина № _____
Отметка устья _____
Дата измерений _____



Примечание - В переходной зоне точку сопряжения находят встречной экстраполяцией прямых, продолженных из смежных зон до их пересечения.

Рисунок 8.2 - График распределения температуры, °С, грунта по глубине, м, для одноразовых измерений температуры

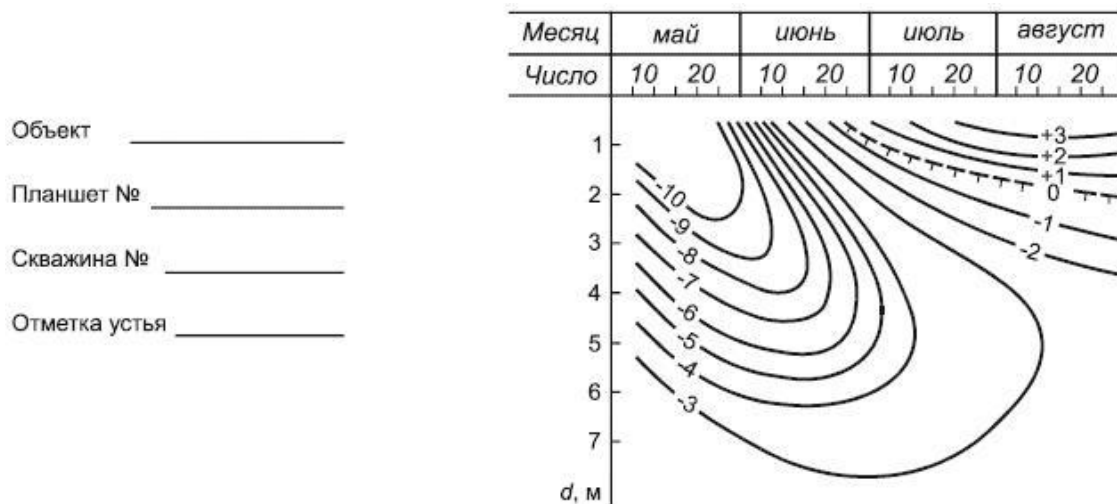


Рисунок 8.3 - График термоизоплет по скважине по данным режимных (длительных) температурных наблюдений

Графики изотерм следует, как правило, совмещать с геологическим разрезом, на котором показываются также границы раздела талых и мерзлых грунтов, полученные средствами инженерно-геологической и геофизической разведки, с указанием даты проведения этих работ.

По результатам измерений температуры грунтов составляют технический отчет, который должен включать:

- техническое задание и программу проведения термоизмерительных работ;
- примененную методику измерений;
- оценку инструментальных и дополнительных погрешностей;
- акты поверок измерительной аппаратуры;
- ситуационный план площадки с указанием плановой и высотной привязки скважин;
- сводную ведомость температуры грунтов;
- графические материалы;
- выводы о результатах термоизмерительных работ

Программа термоизмерительных работ должна быть составлена с учетом:

- имеющихся результатов ранее проводившихся исследований инженерно-геокриологических (мерзлотных) условий района;
- конкретных условий площадки (инженерно-геологических, геоморфологических, гидрогеологических);
- климатических характеристик района проведения измерений;
- характера проектируемых зданий и сооружений, типа и глубины заложения их фундаментов;
- инженерной подготовки и обустройства осваиваемой территории;
- возможности проявления неблагоприятных мерзлотных процессов и явлений в результате освоения территории;
- обеспеченности термоизмерительной аппаратурой и приборами;
- резерва на выполнение дополнительных работ на аномальных участках, выявленных в ходе инженерно-геологической и геофизической разведки.

В программе должны быть предусмотрены:

- цели и задачи проводимых измерений;
- места расположения, глубины и конструкции термометрических скважин, способы и режимы их проходки;
- сроки и периодичность проведения измерений, число и типы опытных площадок;
- состав исполнителей и сроки проведения работ, включая монтаж и поверку аппаратуры и приборов.

Причины погрешностей измерения	Мероприятия по снижению погрешностей
Недостаточная "выстойка" скважины после бурения и обустройства	Увеличение времени "выстойки", бурение скважин без промывки на малых оборотах бурового инструмента (см. 6.1); использование скважин меньшего диаметра; учет поправок по измерениям в опытной скважине (см. 6.5)
Конвекция воздуха в скважине	Использование скважин малого диаметра;

	установка термоизолирующих коробов над устьем скважин (см. 6.4) и разделительных дисков-диафрагм до глубины 5 м (см. 6.6); засыпка скважин сухим песком, мелким гравием или местным сухим измельченным грунтом (см. 6.4)
Конденсация влаги на стенках скважин	Тщательная заглушка скважин пробками (см. 6.4)
Недостаточная выдержка переносных гирлянд в скважине	Увеличение времени выдержки; снижение теплоемкости гирлянды за счет рациональной конструкции; уменьшение показателя тепловой инерции "заленивленных" ртутных термометров
Недостаточное время задержки "заленивленных" термометров	Уменьшение числа термометров в гирлянде; увеличение времени задержки; повышение скорости извлечения термометров из скважины и отсчета показаний температуры
Неточность установки термометров по глубине скважины	Повышение точности установки термометров и контроль глубин установки
Неточность определения момента фиксации температуры грунта	Использование для верхних горизонтов грунта дистанционных датчиков измерения температуры с установкой их непосредственно в грунт
Недостаточная изоляция проводов линий связи дистанционных датчиков температуры	Применение проводов с более надежной изоляцией; измерение величин сопротивлений "утечек" и их учет при расчете температур
Разогрев датчиков измерительным током	Уменьшение силы тока; сокращение времени включения прибора при снятии отсчета
Неравенство температур монтажных проводов гирлянды	Продольная свивка проводов; применение проводов большего сечения; увеличение чувствительности датчика

Лекция 9

9 ИЗУЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОРОД В СЛОЕ ГОДОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУР

9.1 Общие положения

Одной из важнейших задач при мерзлотных исследованиях является изучение закономерностей формирования температурного режима горных пород в слое годовых колебаний температур.

Температурный режим горных пород в верхних горизонтах земной коры определяется структурой радиационно-теплового баланса поверхности, тепловым влиянием наземных покровов (снег, растительность, вода), теплотокотом из недр Земли, а также теплообменом в массиве пород.

Основными параметрами, характеризующими температурный режим пород, являются средняя годовая температура и амплитуда годовых колебаний температуры. В связи с зависимостью температурного режима пород от большого числа природных факторов целесообразно рассматривать закономерности его формирования на следующих уровнях:

- 1) на границе с атмосферой (t_0, A_0);
- 2) на поверхности почвы под снежным, растительным и водным покровом (t_{nn}, A_{nn});
- 3) на подошве СТС и СМС (t_{ξ}, A_{ξ});
- 4) на подошве слоя годовых колебаний температуры (t_{cp} или t_h).

На каждом уровне в процессе формирования температуры пород ведущую роль играют различные факторы, как климатические, так и геологические. Различна и динамика этих факторов, приводящая к изменению температурного режима пород. Наибольшей изменчивостью отличаются климатические факторы, такие как: составляющая радиационного баланса, температура и влажность воздуха, летние и зимние осадки. Климатические изменения имеют периодичность. Большой динамичностью характеризуются и геологические факторы, такие, как состав и влажность пород, режим грунтовых и надмерзлотных вод, а в отдельных районах и рельеф. Поэтому методика изучения закономерностей температурного режима пород должна исходить из динамики постоянного развития природных факторов.

Существенно природные условия могут изменяться под влиянием производственной деятельности человека. Эти изменения приводят к столь же значительным изменениям температурного режима пород.

В связи с этим необходимо знать количественные закономерные связи природных факторов с температурным режимом для того, чтобы прогнозировать его изменения в связи с динамикой природной обстановки и её изменением в ходе хозяйственного освоения территории.

9.2 изучение температурного режима земной поверхности на границе с атмосферой

Температурный режим земной поверхности определяется с помощью непосредственного круглогодичного измерения температуры и с помощью расчетных методов.

Основной исходной характеристикой при таких расчётах является температура воздуха и задача сводится к нахождению так называемой радиационной поправки, т.е. разности между температурой поверхности (t_0) и температурой воздуха (t_a)

$$\Delta t_R = t_0 - t_a$$

Величину Δt_R определяют обычно из уравнения

$$P = \alpha \Delta t_R,$$

где P - турбулентный теплообмен между поверхностью земли и атмосферой, кДж/см²•ч;

α - коэффициент теплоотдачи с поверхности, кДж/м²•ч•°С.

Методика получения P и α рассмотрена ранее.

Таким образом, средняя годовая температура поверхности земли на границе с атмосферой рассчитывается по формуле

$$t_0 = t_a + \Delta t_R$$

Радиационная поправка Δt_R рассчитывается как среднее арифметическое либо из средних месячных значений Δt_R , либо их среднего летнего и среднего зимнего её значения.

Амплитуда годовых колебаний температуры земной поверхности определяется как сумма средних месячных значений температуры земной поверхности в самый холодный и самый теплый месяцы

$$A_{\text{о мет}} = |t_{\text{ох}}| + t_t$$
$$A_{\text{о физ}} = \frac{A_{\text{о мет}}}{2} = \frac{|t_{\text{ох}}| + t_t}{2}$$

9.3 Изучение температурного режима поверхности почвы под растительным, снежным и водным покровами

Основным методом изучения закономерностей формирования температурного режима поверхности почвы является расчётный метод, так как метод непосредственного измерения температуры требует постановки круглогодичных стационарных наблюдений.

Применяемые в настоящее время расчётные методы могут быть разделены на две группы:

1) приближённые методы расчёта, основанные на оценке двусторонних зависимостей между характеристиками покровов и средней годовой температурой и амплитудой годовых колебаний температуры поверхности почвы;

2) методы решения на ЭВМ задач теплопроводности в промерзающих и оттаивающих породах в периодически установившемся режиме с заданными характеристиками покровов, изменяющимися во времени.

Первая группа методов может рассматриваться как экспресс-метод и должен применяться в полевых исследованиях, а вторая должна применяться в камеральный период для уточнения результатов приближенных расчётов.

Экспресс методы разработаны В,А, Кудрявцевым и представляют собой серию эмпирических уравнений для количественной оценки влияния каэдого в отдельности природного фактора на температурный режим поверхности почвы. При этом средняя годовая температура поверхности

почвы t_{nn} и амплитуда годовых колебаний температуры A_{nn} получается путём введения соответствующих поправок к t_0 и A_0 на границе с атмосферой. В начале определяется влияние снега ($\Delta t_{сн}$, $\Delta A_{сн}$), затем растительного покрова ($\Delta t_{раст}$, $\Delta A_{раст}$) или водного ($\Delta t_{вод}$, $\Delta A_{вод}$). Значения t_{nn} и A_{nn} получаются суммированием

$$t_{пп} = t_0 + \Delta t_{сн} \mp \Delta t_{раст} + \Delta t_{вод} = t_0 + \Delta t_R + \Delta t_{сн} \mp \Delta t_{раст} + \Delta t_{вод};$$

$$A_{пп} = A_0 - \Delta A_{сн} - \Delta A_{раст} - \Delta A_{вод} = A_0 + \Delta A_R - \Delta A_{сн} - \Delta A_{раст} - \Delta A_{вод}$$

Полученные таким образом расчетные данные не только помогают установить особенности формирования температурного режима пород, но даже возможность прогнозирования его изменения и целенаправленно изменять мерзлотную обстановку.

9.4 Изучение температурного режима на подошве СТС и СМС

В связи с тепловыми процессами в слое СТС(СМС) температурный режим на его верхней и нижней границе различаются между собой. Основными процессами, изменяющими температуру пород по глубине ξ является во-первых теплоперенос при инфильтрации атмосферных осадков и циркуляция надмерзлотных или грунтовых вод, во-вторых кондуктивная теплопередача в слое ξ при переменных значениях теплофизических свойств пород в талом и мёрзлом состояниях, приводящее к возникновению температурной сдвижки.

Формирование температурной сдвижки, а также инфильтрация осадков определяются главным образом литологией и влажностью пород. Поэтому температурный режим на глубине ξ зависит как от географических, так и от геологических факторов и может меняться даже на небольших участках.

Таким образом, t_ξ определяется по формуле

$$t_\xi = t_{пп} \pm \Delta t_\lambda + \Delta t_{oc}$$

Методика определения влияния инфильтрации осадков на температуру пород основывается либо на натуральных наблюдениях за температурой пород и режимом выпадения осадков, либо на анализе и сопоставлении средней годовой температур пород, измеренных в скважине на участках, где происходит инфильтрация осадков и на участках, где она отсутствует; либо с помощью расчётных методов, которые рассмотрены на лабораторных занятиях.

Величина температурной сдвижки также может быть определена как с помощью круглогодичных натуральных измерений температуры, так и расчётными методами. Определение Δt_{λ} по методу В.А. Кудрявцева нами рассмотрена ранее.

Амплитуда годовых колебаний температуры на подошве СТС и СМС A_{ξ} может быть определена путём непосредственных измерений температуры в течение года на стационарных площадках или по приближенной формуле В.А. Кудрявцева

$$A_{\xi} = A'_{\xi} \sqrt{1 - \left[\frac{\xi}{\xi_{\text{п}}} \left(1 - \frac{t_{\xi}}{A_{\text{пп}} + t_{\xi}} \right) \right]^2},$$

где A'_{ξ} определяется из уравнения Фурье для глубины ξ

$$A'_{\xi} = A_{\text{пп}} e^{-\xi \sqrt{\frac{\pi}{KT}}}$$

$\xi_{\text{п}}$ - глубина потенциального оттаивания или промерзания.

9.5 Измерение средних годовых температур на подошве слоя годовых колебаний

Известно, что слой годовых колебаний температур ограничивается снизу глубиной на которой температуры в течение года практически остаётся постоянной, изменяясь не более чем на $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Эта глубина называется глубиной нулевой годовой амплитуды. Вполне очевидно, что значение

температуры на этой глубине соответствует средней годовой температуре пород и она может быть получена путём непосредственных одноразовых измерений температуры в любое время года. Необходимо только, чтобы глубина картировочной скважины была больше глубины нулевой амплитуды на 2-5 м. Таким образом для каждого типа местности в ходе съёмки должны быть определены глубины распространения годовых колебаний температур.

Глубина нулевых годовых амплитуд и средняя годовая температура на ней может быть определена с помощью режимных круглогодичных наблюдений или 2-х кратных измерений через полгода.

С помощью расчётных методов H и t_h могут быть получены и по результатам единовременного измерения температуры в скважине.

Средняя температура на подошве слоя её годовых колебаний (t_{cp}) отличается от средней температуры на подошве СТС(СМС) (t_{ξ}) на величину, соответствующую геотермическому градиенту в этом слое.

Если геотермический градиент ниже или соответствует нормальному (3°C на 100 м), то t_{cp} можно принять равной t_{ξ} , так как ошибка не превышает точности измерения температуры ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$).

Если же геотермический градиент выше указанного значения, то соотношение между t_{cp} и t_{ξ} определяют по формуле В.А. Кудрявцева

$$t_{\xi} = t_1 - (t_1 - t_{cp}) \frac{z_1 - \xi}{z_1 - z},$$

где ξ – мощность СТС или СМС;

z – глубина распространения годовых колебаний температуры;

z_1 и t_1 – произвольная глубина (но ниже подошвы слоя годовых колебаний температур) и соответствующая ей температура, которые берутся по температурной кривой, полученной по единовременным замерам температуры.

Таким образом, существующие методы изучения температурного режима поров в слое годовых колебаний температуры ($t_0, t_{\xi}, t_{п}, A_0, A_{\xi}$)

позволяют в ходе мерзлотной съёмки изучать закономерности его формирования, определять роль различных геологических и географических факторов, оценить динамику средних годовых температур. Естественно, что ограничиваться одними расчётами не следует.

При изучении динамики температурного режима пород во времени важно установить закономерные и случайные изменения температур пород, определить средние и экстремальные значения характеристик. Для анализа влияния климата, растительности, состава и влажности пород, изменяющимся по разным законам и незакономерно, на динамику температурного режима пород целесообразно использовать методы решения задачи Стефана на ЭВМ с применением вероятностных методов определения исходных данных.

Лекция 10

10 ИЗУЧЕНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

10.1 Изучение распространения многолетнемерзлых пород

Это одна из основных задач при мерзлотной съёмке, 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 криолитовоны, то карта типов сезонного 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 в затененных склонах северной экспозиции и замшелых днищах долин. В районах развития температурных инверсий (Забайкалье, Приамурье) многолетнемерзлые толщи в первую очередь возникают в залесенных 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 препятствующая 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 однородных) условиях микрорайона, где не сказывается влияние соседнего микрорайона. Дополнительно 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 внутриполигонными 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 зёрнами 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 специфичные 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 расолов, минеральных или органических примесей, их форму, размеры. Из крупных ледяных шлиров 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 промерзать могут различные типы четвертичных отложений: аллювиальные, склоновые, озерные, болотные, морские, флювиогляциальные. Их накопление и промерзание происходит в определенный

фациальной обстановке, когда накапливающийся осадок по мере поднятия поверхности мерзлой толщи переходит в многолетнемерзлое состояние, пройдя диагенез в слое летнего оттаивания.

При изучении синтетически 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 отложение; установить характер первичной слоистости, цвет породы, оглеение и ожелезнение, заторфованность и т.п.

Все эти особенности фиксируются с учетом их взаимоотношения с ледяными шлирами 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

сезонного оттаивания пород, криогенное строение этого слоя, в особенности его нижней части, которая переходит в многолетнемерзлое 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 шлиров, 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 шлиры. Встречается в крупнообломочных отложениях с песчаным и песчано-суглинистым заполнителем.

4) порфировидная - на фоне массивной текстуры вкрапления 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 шпиро-волнистые, плейчатые и др.

Криотекстуры по толщине ледяных шпиров (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 шпирями льда криотекстуры разделяется на:

- частослоистые (с расстоянием между шпирями (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-геологических 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 (терморезистров). 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

50-10	10
глубже 100	20

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 дольше проходится скважина и чем сильнее температура бурового раствора или воздуха отличается от температуры город.

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 гориюнта 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 зацементировать 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);
- б) 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, естественно необходимо указывать интервалы глубин, где встречены немерзлые или талые прослойки.

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

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

При промерзании горных пород, содержащих высокоминерализованную воду, 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 прослои 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;
- 6) 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 криолитозоны.

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 слабольшдистых породах (лед-цемент), в засоленных породах разница в ρ_k мерзлых и талых пород невелика и граница мерз лоты точно ни 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 разбуриванию 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 напластования 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, выделенным 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.

Лекция 11

11 Изучение таликов и взаимодействия подземных вод с многолетнемерзлыми породами

11.1 Особенности изучения таликов

Под таликами понимают талые или немерзлые массивы горных пород, залегающих среди многолетнемерзлых толщ и имеющих положительную среднегодовую температуру в течение ряда лет.

Важнейшей задачей мерзлотной съемки является выяснение причин образования таликов, условий их существования и динамики, так как это позволяет не только дать правильную инженерно-геологическую и гидрогеологическую оценку территории, но также определить направления поиска таликовых зон и рациональную методику их изучения.

Основой для организации изучения таликов при мерзлотной съемке должна быть генетическая классификация таликов, разработанная Н.Н.Романовским. Согласно этой классификации все типы и подтипы таликов охарактеризованы с точки зрения условий и факторов, обеспечивающих их существование в различных мерзлотно-температурных условиях. Типы таликов в классификации Н.Н.Романовского выделены по основным причинам их образования; в подтипах эти причины детализированы и уточнены; классы таликов выделены по их гидрогеологическим особенностям;

подклассы - по температурным особенностям подземных вод, а виды - по отношению таликов к мерзлой толще.

На основе классификации уже на первых этапах съёмочных работ устанавливаются основные типы и подтипы таликов, распространение которых возможно в пределах исследуемой территории. В зависимости от региональных особенностей, зонального и высотно-поясного положения района и климата, на основе анализа предыдущих исследований, дешифрирования аэрофотоснимков, с учетом известных об них закономерностей мерзлотных и гидрогеологических условий намечаются места возможного распространения таликов, затем разрабатывается программа изучения различных типов таликов на ключевых участках и определяется необходимый комплекс методов. В результате исследований должны быть изучены:

- 1) природные, геологические и мерзлотные условия участков развития таликов;
- d) гидрогеологические особенности таликов.

Рассмотрим особенности изучения различных типов таликов

Радиационно-тепловые талики в области криолитозоны формируются под влиянием особых условий теплообмена на поверхности земли. Причинами формирования *радиационных* таликов являются: 1) увеличение интенсивности прямой солнечной радиации, приходящей на поверхность; 2) уменьшение доли отраженной радиации (уменьшение альбедо поверхности) и 3) уменьшение эффективного излучения. *Тепловые* талики связаны с особенностями испарения и турбулентного теплообмена земной поверхности, с влиянием снежного и растительного покровов, заболоченности. К радиационно-тепловым таликам относятся также радиационно-инфильтрационные талики, связанные с благоприятными

условиями теплообмена на поверхности почвы и отепляющим влиянием инфильтрации теплых атмосферных осадков.

Радиационно-тепловые талики широко распространены в пределах первых двух мерзлотно-температурных зонах, которые характеризуются предельными граничными условиями существования многолетнемерзлых толщ (t_{cp} от 0 до -1° и от -1 до -3°C) здесь самые незначительные изменения в структуре радиационно-теплого баланса поверхности могут привести или к образованию таликов или к их промерзанию.

Поиск и изучение радиационных и тепловых таликов основан на изучении закономерностей формирования среднегодовых температур пород на исследуемой территории по методике рассмотренной ранее. Оценивая влияние на температуру пород каждого природного фактора в отдельности и в комплексе с другими можно выделить те из них, которые приводят к формированию положительных среднегодовых температур пород. В соответствии с этим могут быть выделены типы ландшафта, где существуют благоприятные условия для радиационных и тепловых таликов, затем эти ландшафты детально изучаются на ключевых участках для определения параметров таликов таких, как границы распространения, условия залегания, геологическое строение, температурный режим и др. Для этой цели применяются геофизические методы, бурение скважин, термометрия, гидрогеологические наблюдения и т.д. В дальнейшем для изучения динамики таликов надо определить изменчивость природных факторов в зависимости от известных природных ритмов (как короткопериодных, так и длиннопериодных). Одновременно с этим необходимо установить связь изменения радиационно-теплого баланса и его составляющих с изменениями природной среды под влиянием производственной деятельности человека.

Динамика таликов радиационно-теплого типа связана главным образом с изменением условий теплообмена на поверхности земли. Количественная оценка факторов, влияющих на температурный режим, сезонное промерзание (оттаивание) пород позволяют установить причины появления или промерзания таликов как в связи с потеплениями или похолоданиями, так и с изменением ландшафтных условий (вырубкой леса, пожарами, изменением мощности снега и т.п.). Приемы расчетов возможности существования таликов рассматривались на лабораторных занятиях.

При мерзлотной съемке необходимо фиксировать признаки расширения площади радиационно-тепловых таликов или их промерзания. Так расширение таких таликов может устанавливаться по появлению «несливающейся» мерзлоты. На возможное уменьшение площади таликов может указывать появление по его периферии маломощного «карниза» многолетнемерзлых пород или перелетков и линз маломощных многолетнемерзлых толщ в контурах самого талика.

Подводно-тепловые талики встречаются в донных отложениях морского шельфа, под озерами и руслами рек и формируются в результате отепляющего влияния водного покрова. Они распространены во всех мерзлотно-тепературных зонах.

Шельфовые подводно-тепловые талики могут иметь положительную среднегодовую температуру только вблизи устьев крупных рек, впадающих в Северный Ледовитый океан. На остальной территории шельфа, окаймляющего с севера криолитовону, температура воды практически в течение всего года остается отрицательной и поэтому донные отложения имеют температуру ниже 0° . Однако в связи с большой засоленностью они могут не содержать льда и образовывать своеобразные криогидрогалинные талики с достаточно активным водообменом в течение всего года.

Подозерные подводно-тепловые талики в области вечной мерзлоты формируются вод пресными оеерами определенной мощности. В зависимости от глубины водоема донные отложения могут находиться либо в талом состоянии постоянно, либо сезонно промерзать, либо сезонно оттаивать. В первых 2-х случаях под озерами будут существовать талики. Мощность талика зависит от размеров водоема, температурного режима на поверхности донных отложений, мощности и температурного режима многолетнемерзлых пород в береговом массиве, а также возраста озера.

Если ширина озера больше чем в 2 раза превышает мощность мерзлой толщи, то под озером с течением времени должен сформироваться сквозной талик, даже если в донных отложениях отсутствует конвективный теплообмен.

Особенности строения таликов изучаются с помощью буровых, геофизических и расчетных методов. Температурный режим на поверхности дна может быть получен по методике Б.А.Кудрявцева, рассмотренной нами на лабораторных занятиях. Конфигурация и мощность талика под озером могут быть приближенно определены по методу Д.В.Редозубова, приведенного в "Основах мерзлотного прогноза..."

Приближенно мощность талика и время его формирования можно определить по формуле Стефана:

$$H = \sqrt{\frac{2\lambda t\tau}{Q_{\phi}}}$$

где H - мощность талика, м;

λ - теплопроводность донных отложений в талом состоянии, кДж/м·час $^{\circ}$ C

Q_{ϕ} - теплота фазовых переходов льда при оттаивании породы, кДж/м³;

t - средняя годовая температура на поверхности дна, приближенно принимаемая равной средней многолетней за период τ ;

τ - продолжительность оттаивания, час.

В соответствии с изложенным в ходе полевых работ должны быть получены следующие данные: глубина, размеры, температурный режим водоемов, температурный режим и мощность мерзлых толщ в береговых массивах, состав, свойства и условия залегания пород в таликовой зоне. Эти данные могут быть получены с помощью бурения, отбора проб пород и их лабораторного изучения, термометрии и геофизических методов. Для изучения закономерностей формирования таликов, в частности для выяснения причин их существования и динамики, полевые методы необходимо комплексировать с расчетными.

Подрусловые подводно-тепловые талики существуют вследствие отепляющего влияния руслового потока воды и инфильтрации поверхностных вод. В связи с этим закономерности их формирования и методика их изучения во многом сходны с таковыми для подозерных таликов.

Строение подрусловых таликов определяется глубиной, шириной, режимом, динамикой русла и историей развития долины.

В долинах крупных рек песчано-галечниковые отложения русловой фации нередко имеют широкое распространение в пределах низкой поймы. К этим отложениям может быть приурочен аллювиальный поток, тесно связанный с русловым. За счет движения аллювиального потока и весеннего паводка русловых вод образуются пойменные талики смешанного генезиса.

Обнаружение подрусловых и пойменных таликов возможно на базе анализа ландшафтно-геоморфологической и геологической обстановки, но-

вейщих структур, мерзлотных и гидрогеологических условий. Благоприятными геологическими условиями существования таких таликов являются:

- 1) широкое распространение руслового аллювия;
- 2) выходы в днище долины трещиноватых, закарстованных, тектонических раздробленных хорошо водопроницаемых пород;
- 3) современные тектонические блоковые движения с большой относительной амплитудой смещения блоков;
- 4) наличие зон растяжения;
- 5) существование переуглубленных участков долин по опущенным блокам, заполненным крупнообломочными отложениями и т.д.

Водно-тепловые талики образуются в связи с конвективным теплообменом в массиве пород за счет движения подъемных вод. В зависимости от типа вод выделяют 3 подтипа таликов:

Грунтово-фильтрационные, в которых поток грунтовых вод движется по уклону в хорошо фильтрующих песчаных, гравийно-галечных и щебнисто-дресвяных отложениях.

Нередко образование таких таликов происходит в результате совместного отепляющего влияния грунтовых вод и других природных факторов (радиационно-тепловых).

При съемке следует установить наличие и контуры грунтово-фильтрационных таликов, изменение по площади мощности талика и мощности водоносных и водоупорных талых отложений. Необходимо выполнить весь объем исследований, связанный с изучением температурного режима горных пород в зависимости от природных условий. Особое внимание должно быть уделено изучению режима грунтовых вод и влияющих на них атмосферных,

по- верхностных и надмерзлотных вод, поскольку именно этим в основном определяется динамика грунтово-фильтрационных таликов.

Напорно-фильтрационные талики формируются за счет восходящих потоков подмерзлотных вод и обычно приурочены к очагам разгрузки их по зонам тектонической трещиноватости. К выходам напорных подмерзлотных вод приурочены зоны распространения больших и гигантских наледей - тарынов, которые нередко предохраняют от промерзания подстилающие горные породы и способствуют сохранению мощных таликовых зон.

При мерзлотной съемке выход источника напорных вод в поймах и руслах рек можно установить по наледям, полыньям или гидрохимическим аномалиям.

Для изучения напорно-фильтрационных таликов необходимо:

1) установить связь в распределении таликов по территории с ее геологическим строением, новейшими или омоложенными тектоническими нарушениями, а также определить положение этих таликов в гидрогеологических структурах;

2) установить принадлежность разгружающихся вод с определенным водоносным горизонтом, комплексам или трещинным зонам, изучить их химический состав и температурный режим, изменение расходов во времени в течение года;

3) изучить положение напорно-фильтрационного талика в талой зоне. В южных районах криолитозоны такие талики обычно окружены радиационно-тепловыми таликами или сквозными грунтово-фильтрационными таликами. В суровых мерзлотных условиях к ним чаще всего приурочены несквозные грунтово-фильтрационные талики.

Инфильтрационные или инфлюационные талики, в которых подъемные воды имеют нисходящее, часто близкое к вертикальному направлению движения по водопроницаемым пластам, трещиноватым зонам, разрывным тектоническим нарушениям, раскарстованным зонам. Такие талики являются во-допоглощающими и по ним происходит питание подземных вод глубокой циркуляции. По этому при мерзлотно-гидрогеологических исследованиях они также тщательно исследуются. Методика их изучения практически такая же как и напорно-фильтрационных.

Остальные типы таликов распространены значительно меньше и изучаются редко.

11.2. Особенности изучения подземных вод в области криолитозоны

В области криолитозоны подземные воды и мерзлые горные породы находятся в тесном взаимодействии. Мерзлые породы влияют на характер залегания и распространение водоносных горизонтов, их мощность, температурные режим и динамику подземных вод, условия питания и разгрузки, величину естественных ресурсов, химический состав, многолетнее промерзание пород осложняет условия водообмена, затрудняет взаимосвязь поверхностных и подъемных вод. Подземные воды, в свою очередь, влияют на злегание, распространение и мощность многолетнемерелых пород их температурный режим и динамику, криогенное строение. Взаимодействие мерзлых пород и подземных вод влияет на развитие криогенных процессов и явлений, таких, как наледообразование, пучение, термокарст и др.

Поэтому при мерзлотных исследованиях большое внимание уделяется изучению гидрогеологической обстановки в районе взаимодействия под-

земных вод и мерзлых пород. Рассмотрим основные особенности этого изучения.

Изучение и картирование подземных вод в зоне вечной мерзлоты в основном производится по общепринятой методике. Однако мерзлотные условия накладывают определенную специфику, которую необходимо учитывать при гидрогеологических исследованиях в области развития многолетнемерзлых пород.

Основные специфические особенности гидрогеологических условий области криолитоеоны определяются тем, что многолетнемерзлые толщи являются криогенными водоупорами, которые наряду с литологическими водоупорами определяют условия питания, транзита и разгрузки подземных вод, их режим и химический состав. В отличие от литологических водоупоров криогенные водоупоры являются динамичными водоупорами, способными в короткие отрезки геологического времени изменять свои условия залегания и водно-фильтрационные свойства. Наложение криогенных водоупоров на первичную гидрогеологическую обстановку может существенно ее изменить. В частности, промерзание верхних горизонтов земной коры исключает из водообмена значительные массы воды.

При изучении подземных вод области многолетнемерзлых пород:

1) производится стратификация гидрогеологического разреза, т.е. устанавливается приуроченность вод к определенным литолого-стратиграфическим комплексам, горизонтам, трещиноватым зонам;

2) устанавливаются основные типы вод (пластовые, трещинные, карстовые, трещинно-жильные);

3) выявляются условия залегания водоносных горизонтов, водообильность, наличие напора вод и вызывающие его причины;

4) устанавливается пространственная взаимосвязь подземных вод и многолетнемерзлых толщ, т.е. подземные воды подразделяются по их отношению к мерзлым толщам;

5) изучается химический состав вод, их гидрохимическая (зональность и поясность, устанавливаются нарушения, вызванные многолетним промерзанием (частичное или полное промерзание зоны пресных вод, иногда и солоноватых вод, изменение химического состава и степени минерализации вод в связи с частичным их промерзанием);

6) исследуются условия питания, транзита и разгрузки вод, их режим в разных частях водоносных горизонтов, в том числе и обусловленном наличием мерзлых толщ, сезонным промерзанием и оттаиванием пород; выделяются гидродинамические зоны;

7) выясняется возможность использования подземных вод в народном хозяйстве; выясняется характер существующего водоснабжения населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных объектов;

8) выясняется характер обводненности месторождений полезных ископаемых в связи с особенностями их геологического и мерзлотного строения и условия борьбы с подземными водами при их промышленной разработке.

Основной единицей, которая картируется и изучается при мерзлотно-гидрогеологической съемке, является водоносный горизонт, водоносный комплекс или водоносная зона.

Для выделенных водоносных комплексов, горизонтов или обводненных зон:

1) дается общая характеристика их залегания;

2) указывается площадь их распространения, мощность, литологический состав водовмещающих и водоупорных пород, в том числе и криогенных водоупоров;

3) оценивается степень промороженности водопроницаемых пород; определяется отношение подземных вод к толще многолетнемерзлых пород в зоне их питания, стока и разгрузки; устанавливается местоположение и характер талых зон, через которые происходит питание и разгрузка; источники питания, режим вод в зонах питания;

4) устанавливается наличие напоров в зоне транзита и разгрузки, причины их появления, в том числе и за счет криогенных водоупоров, их величина и изменение по площади; наличие аномально низких или аномально высоких напоров, обусловленных криогенными факторами;

5) оценивается их водосбильность, определяется химический состав подземных вод, его измерение по площади, качество подземных вод, возможность их хозяйственного использования.

Характер напора подземных вод, их режим, химический состав и отношение к таликам многолетнемерзлых пород изменяются от области питания через область их транзита к области их разгрузки. Так, очень часто в области питания водоносного комплекса воды имеют грунтовый характер, резко меняющийся в году уровень и температуру, и приурочены к таликовым зонам. В области транзита они приобретают напорный характер, уменьшаются колебания их уровня и температуры, по отношению к мерзлым толщам, они становятся подмерзлотными. На участках разгрузки воды имеют напорный характер, восходящее направление движения и связаны с таликовыми зонами. Соответствующим образом меняется и химический состав подземных вод.

Поэтому при характеристике выделенных в районе съемки комплексов, горизонтов и зон подземных вод необходимо давать их отдельную оценку по указанным областям (питания, транзита, разгрузки)

При изучении напора вод надо установить причину его возникновения, т.е. изучить, какие породы лежат в кровле водопроницаемого пласта (талые или мерзлые), и как изменяется напор при оттаивании мерзлых толщ. Т.е. надо выделять воды, напор которых создан криогенными факторами.

Итак в области криолитозоны гидрогеологические особенности территории в значительной степени определяются соотношением в пространстве многолетнемерзлых и талых горных пород.

Талые и немерзлые горные породы могут пространственно занимать различное положение по отношению к мерзлым толщам:

- залегать с поверхности (ниже слоя сезонного промерзания),
- проходить через всю мерзлую толщу насквозь или подстилаться на некоторой глубине многолетнемерзлыми породами,
- быть ограниченными мерзлыми толщами сверху и снизу,
- со всех сторон,
- находиться ниже мерзлой толщи.

Различными может быть и соотношение мерзлых и талых пород по площади. Все это определяет их различное гидрогеологическое значение.

Особое гидрогеологическое значение в области криолитозоны имеют талики, развитые с поверхности, через них осуществляется питание и разгрузка вод глубокой (подмерзлотной и межмерзлотной) циркуляции. С генезисом таликов и характером их распространения связана интенсивность водообмена поверхностных и атмосферных вод с подземными. Поэтому

изучению и картирование таликов, выяснению их генезиса, устойчивости во времени, гидрогеологическим особенностям при мерзлотно-гидрогеологической съемке должно уделяться особое внимание.

Рассмотрим Особенности изучения подземных вод при мерзлотно-гидро геологических исследованиях.

а) Изучение надмерзлотных год сезонноталого слоя

Воды сезонноталого слоя обычнош не имеют существенного значения для водоснабжения в силу их маломощности, короткого периода существования и санитарной неблагонадежности. В этом отношении их изучение часто и не производится. Только в южных районах криолитозоны в отдельных случаях воды сезонноталого слоя могут быть использованы для целей водоснабжения Однако несмотря на это их изучение при мерзлотных исследованиях является весьма важным, потому что:

1) они определяют влажностный режим этого слоя и его льдистость при промерзании, влияют на тепловой баланс поверхности земли, на температурный режим и глубины летнего протаивания пород, что весьма важно при изучении мерзлотных условий;

2) они влияют на развитие ряда криогенных процессов таких, как наледообразование, пучение грунтов, солифлюкция и др. Кроме того они часто бывают агрессивными. Поэтому воды сезонноталого слоя имеют большое значение при инженерно-геологической оценке территории.

3) они влияют на питание подземных вод в таликах, а через них на воды глубокой циркуляции.

Водоносной горизонт в сезонноталом слое возникает весной с началом его сезонного протаивания и исчезает зимой при его полном промерзании. Отсюда следует, что исследование этих вод необходимо вести одновременно с изучением динамики сезонного оттаивания и промерзания пород.

Надмерзлотные воды по времени их существования в сезонноталом слое подразделяются на 3 разновидности.

1. Периодически появляющиеся надмерзлотные воды. Встречаются в том случае, когда сезонноталый слой, сложенный хорошо фильтрующими породами, на протяжении большей части лета остается необводненными. Надмерзлотные воды появляются и существуют только после выпадения дождей, выпадающие осадки, инфильтруясь, доходят до мерзлого водоугора, и быстро стекают вниз по склону. Поэтому такие воды оказывают сильное тепляющее влияние на температурный режим горных пород и увеличивают слой сезонного оттаивания (промерзания). К началу зимнего промерзания этот водоносный горизонт полностью срабатывается.

2) Периодически исчезающие надмерзлотные воды. К ним относятся воды сезонноталого слоя, существующие в течение большей части лета и исчезающие в период длительного отсутствия дождей и в период зимнего промерзания. В этом случае инфильтрующиеся атмосферные осадки оказывают на породы слоя сезонного оттаивания меньшее тепляющее влияние, чем в первом случае.

Предзимняя влажность на таких участках оказывается большей, чем в первом случае. Приурочены такие воды к выложенным частям склонов, относительно плоским водоразделам и т.п.

3) Постоянно существующие (в период наличия сезонноталого слоя) надмерзлотные воды. Возникают с начала протаивания слоя и развиты до конца промерзания. Инфильтрующиеся атмосферные осадки в этом случае

всегда попадают на слои воды и не имеют непосредственного соприкосновения с поверхностью мерзлых толщ. Их тепляющее влияние поэтому наименьшее. Воды этого слоя обуславливают высокую влажность отложения в летний период и высокую их льдистость зимой. При промерзании сезонноталого слоя такие воды приобретают напор.

Поэтому на участках развития этих вод часто образуются грунтовые наледи, происходит интенсивное пучение пород, иногда развивается солифлюкция. Такие воды приурочены к нижним частям склонов, плоским днищам долин, к понижениям на водоразделах: и т.п.

Существенной характеристикой вод сезонноталого слоя является их распространение по площади. Выделяются и картируются отложения сезонноталого слоя:

- 1) равномерно обводненные по площади,
- 2) неравномерно обводненные по площади,
- 3) спорадически обводненные по площади.

Путем разделения вод сезонноталого слоя по их режиму и характеру распространения производится увязка этих вод с влажностным режимом отложения сезонноталого слоя и типами глубин сезонного оттаивания (по влажности).

В процессе изучения вод сезонноталого слоя производятся наблюдения за источниками этих вод. Последние обычно приурочены к перегибам склонов, к прирусловой части днищ и ручьев и т.д. На наиболее типичных их них устанавливаются водосливы. Одновременно ведутся наблюдения за этими водами в шурфах, а также производятся режимные наблюдения.

Для этого обычно в пределах ключевых участков в типичных условиях выбирается несколько поперечников от водораздела до днища долин. По поперечникам проходятся шурфы, которые и оборудуются для наблюдений

за уровнем воды. Наблюдения обычно проводятся с интервалом 5-7 дней, а в периоды дождей 1-3 дня. Вблизи шурфов в это же время ведется наблюдения за ходом оттаивания и влажностью пород.

Данные режимных наблюдений за водами сезонноталого слоя и результаты маршрутных исследований сопоставляются между собой. Это позволяет выявить общие закономерности развития вод сезонноталого слоя по территории, охваченной съемкой.

б) Изучение надмерзлотных вод несквозных многолетних таликов

Воды несквозных многолетних таликов разделяются на 4 типа:

- 1) радиационно-тепловых несквозных таликов;
- 2) подводно-тепловых (гидрогенных) несквозных таликов,
- с) водно-тепловых (гидрогеогенных) напорно-фильтрационных несквозных таликов;
- 4) хемогенных несквозных таликов.

Не все из указанных типов имеют одинаково важное значение при проведении комплексной съемки. Наибольший интерес представляет изучение вод радиационно-тепловых, подоцерных, подрусловых и пойменных таликов в силу их широкого развития, возможности их использования для водоснабжения и др.

Несквозные радиационно-тепловые талики находятся всегда выше базиса эрозии, на водоразделах, склонах, речных террасах и т.д. и возникают в результате многолетнего оттаивания верхних горизонтов пород при повышении уровня теплообмена на поверхности земли.

Воды таких таликов по характеру питания, режима, обводнения талого слоя по площади могут быть различными.

Когда питание этих вод только атмосферное, тогда они по своему режиму, условиям движения и др. параметрам очень близки к водам сезонноталого слоя и обычно изучаются совместно.

В другом случае воды в талике формируют грунтово-фильтрационный поток, образующийся вне контуров талика. Такие воды развиваются в несквозных таликах, приуроченных к конусам выноса и надпойменным террасам. Режим их во времени достаточно устойчив, водообильность горизонта часто бывает значительной. Поэтому такие воды могут быть использованы для водоснабжения.

Изучение грунтовых вод радиационно-тепловых таликов ведется так же, как и обычных грунтовых вод вне области мерзлоты с использованием горнобуровых работ и проведения опытно-фильтрационных исследований.

Кроме того, в пределах площадей развития этих вод важно выделить участки, где сезонномерзлый слой:

- 1) не достигает кровли водоносного горизонта.
- 2) где верхняя часть водоносного горизонта сезонно промерзает

В последнем случае образуются бугры пучения, а при строительстве на таких участках возможен прорыв вод в подвальные помещения, если здания отапливаются.

Воды подозерных несквозных таликов обычно тесно связаны с озерными водами, которые являются их основным источником питания.

При оценке вод подозерных несквозных таликов следует установить:

- 1) размеры, глубину и генезис озера;

- 2) характер пород талой зоны, их фильтрационные свойства;
- 3) размеры и форму несквозного талика под озером;
- 4) химический состав и степень минерализации озерных вод и вод подозерного талика; наличие в этих водах органики;
- 5) динамику развития самого озера;
- 6) направление развития подозерного талика; промерзает ли талик сверху или со стороны массива мерзлых пород или, наоборот, увеличивается, или на момент исследований находится в квазистационарном состоянии.

На увеличение размеров озер могут указывать подмывание и разрушение берегов, наличие затопленных деревьев.

На сокращение размеров - появление бечевника или полосы осушения, зарастание озера с берегов и появление островов.

Форма и размер таликовой части под озером устанавливается при помощи бурения или электрометрических работ. Бурение и опробование подозерных вод обычно производятся зимой, со льда, а геофизические работы могут проводиться как в зимнее (лучше весеннее), так и в летнее время (с воды).

Воды подрусовых и пойменных несквозных таликов обычно тесно связаны между собой и изучаются совместно. Они представляют собой движущийся в аллювии и нижележащих проницаемых породах грунтовый поток. При съемке необходимо установить особенности изменения размеров несквозных таликов и их водоносности сверху вниз по долине. Важно выявить, разбивается ли несквозной талик зимой при глубоком сезонном промерзании на отдельные, разобщенные «ванны» и бассейны с ограниченными запасами воды, или он прослеживается в виде непрерывного «желоба» по всей долине. Желательно также установить взаимные переходы

несквозных подрусловых таликов в сквозные в зависимости от геологической обстановки и др. факторов (например, наличие разломов, закарстованных зон, особенностей мерзлотных условий и т.д.).

Водно-тепловые (гидрогеогенные) напорно-фильтрационные сквозные талики и связанные с ними воды встречаются редко и приурочены обычно к артезианским бассейнам платформенного типа с мощной криолитозоной, но относительно высокими среднегодовыми температурами (до -3- -5 °С). Они связаны с выходами источников напорных вод межмерзлотной циркуляции, которые дают начало водотокам. Это или артезианские межмерзлотные криогидрогалинные воды, или пресные трещинно-жильные и трещинно-карстовые воды, движущиеся по мерзлотным каналам. Источники этих вод обычно хорошо фиксируются на аэрофотоснимках и в маршрутах, т.к. к ним бывает приурочено образование наледей. Такие источники легко могут быть оборудованы водосливами для летних режимных наблюдений. Зимой на них желательно вести наблюдения за образованием наледей, которые позволят судить о дебитах источников в воднокритический период.

в) Изучение подземных вод сквозных таликов

Воды сквозных таликов подразделяются на 5 типов.:

- 1) воды радиационно-тепловых сквозных таликов;
- 2) воды подводно-тепловых (гидрогенных) сквозных таликов;
- 3) воды водно-тепловых (гидрогеогенных) напорно-фильтрационных сквозных таликов;
- 4) воды хемогенных сквозных таликов

5) воды вулканогенных таликов.

По особенностям существования и движения воды в таликах могут быть:

- 1) застойными,
- 2) образовывать грунтовый поток (грунтово-фильтрационные воды) ,
- 3) иметь нисходящее направление движения (инфильтрационные или инфлюационные воды),
- 4) иметь восходящее движение (напорно-фильтрационные воды).

При съемке важно установить закономерности распространения таликов в районе, их генезис, связь с определенной геолого-структурной, геоморфологической , мерзлотной обстановкой и положением их в гидро-геологической структуре района.

На типичных и наиболее значимых в гидрогеологическом отношении таликах желательно проводить более детальные исследования (делать ключевые участки).

Для таких таликов следует установить тип, класс, вид талика, условия его образования и изучить характер подземных вод в талике, для этого нужно:

- 1) определить форму и размер талика, его положение в рельефе,
- 2) изучить геологическое строение участка, в том числе условия залегания пород в талике, их состав и водно-фильтрационные свойства,
- 3) изучить условия залегания, мощности и температурный режим монолетнемерзлых пород, окружающих талик, а также температурный режим и обводненность пород в талике,

4) установить связь сквозных и несквозных таликов с геологическими, мерзлотными и гидрогеологическими условиями;

5) установить принадлежность вод талика к определенным водоносным горизонтам, комплексам, зонам, а также тип вод по характеру водовмещающих пород (пластовые, поровые, трещинные, трещинно-жильные, карстовые и т.д.);

6) определить направление движения вод и наличие в них напора;

7) изучить химический состав вод;

8) изучить, если возможно, режим вод в течение года (изменение уровней напора при сезонном промерзании и оттаивании и их химического состава, направления движения и расходов воды);

9) выявить основные источники питания подземных вод талика и установить особенности взаимосвязи вод талика с поверхностными и надмерзлотными водами и с подземными водами более глубокой циркуляции;

10) оценить возможности использования вод талика для целей водоснабжения.

При съемке нужно собрать материалы позволяющие судить о динамике развития талика.

г) Изучение подмерзлотных вод

Эти воды имеют большое значение для решения вопросов водоснабжения в области многолетней мерзлоты. В тоже время они определяют особенности формирования мощностей и криогенного строения мерзлых толщ, их температурного режима.

По отношению к мерзлым толщам подмерзлотные воды делятся на 2 группы:

- 1) контактирующие, т.е. находящиеся непосредственно у нижней поверхности мерзлых толщ,
- 2) неконтактирующие, т.е. отделенные от мерзлых толщ талым слоем пород.

Контактирующие подмерзлотные воды делятся на:

- 1) воды, имеющие положительную температуру, обычно пресные;
- 2) воды, имеющие отрицательную температуру и высокую минерализацию (криогидрогалинные воды или криопэги).

Неконтактирующие подмерзлотные воды подразделяются на:

- 1) воды глубинные, залегающие на большой глубине по отношению к подошве мерзлых толщ, имеют температуру вмещающих пород при нормальном температурном поле и не оказывают на мерзлые толщи теплового воздействия,
- 2) воды, отдаленные от мерзлых толщ слоем водонепроницаемых талых пород. Эти воды имеют напор;
- 3) воды, отделенные от мерзлых толщ слоем водопроницаемых пород. Эти воды имеют свободный уровень.

Изучение при съемке подмерзлотных вод является сложной задачей в связи с относительно малым числом скважин, которыми они могут быть вскрыты и опробованы. Правильное размещение скважин само по себе является сложной задачей и возможно только на базе предварительного изучения мерзлотно-геологического строения района. Поэтому для изучения подмерзлотных и др. вод важно:

1) установить характер гидрогеологических структур на основе использования гидрогеологической карты масштаба 1:2.5 млн.; анализа геолого-тектонического строения территории и особенностей распространения и условий залегания многолетнемерзлых толщ;

2) выделить на основе изучения геологического строения района основные водоносные горизонты, комплексы, зоны и литологические водоупоры, установить особенности их залегания;

3) предварительно установить особенности и распространение таликов и мерзлых толщ, взаимоотношение последних с водоносными горизонтами, комплексами, зонами.

На базе анализа геологического и геоморфологического строения территории, особенностей проявления неотектоники; мерзлотных условий территории должны быть составлены предварительные представления об особенностях питания и разгрузки вод глубокой (подмерзлотной, и межмерзлотной) циркуляции. И только на этой основе следует проводить размещение скважин, предназначенных для изучения подмерзлотных, межмерзлотных и внутримерзлотных вод.

При изучении подмерзлотных вод устанавливаются:

1) принадлежность подмерзлотных вод к определенному водоносному горизонту или комплексу;

2) особенности водовмещающих пород, их возраст, генезис, характер водопроводящих пустот. Устанавливается тип вод по характеру вмещающих пород (пластовый, поровый, трещинный и т.д.);

3) химический состав вод и их минерализация;

4) особенности залегания подмерзлотных вод по их отношению к подошве мерзлых толщ;

- 5) температурный режим подмерзлотных вод, его изменение во времени и в пространстве,
- 6) напор подмерзлотных вод;
- 7) особенности связи подмерзлотных вод с другими категориями вод мерзлой зоны и поверхностными водами; особенности питания и разгрузки подмерзлотных вод;
- 8) основные направления движения подмерзлотных вод;
- 9) режим подмерзлотных вод в течение года;
- 10) особенности теплового воздействия потока подмерзлотных вод на мерзлые толщи;
- 11) особенности подмерзлотных вод, связанные с динамикой развития мерзлых толщ: изменение напора, условий движения, питания, разгрузки, химического состава и т.д.

д) Изучение межмерзлотных и внутримерзлотных вод

Межмерзлотными водами называются воды, находящиеся в незамкнутых талых или немерзлых слоях, линзах и т.п., ограниченных сверху и снизу многолетнемерзлыми толщами.

Внутримерзлотные воды, заключенные в талых линзах, слоях, трещиноватых зонах и т.д. ограничены мерзлыми породами со всех сторон и не имеют водообмена.

Меж- и внутримерзлотные воды разделяются на 2 большие группы.

В первую группу входят воды, имеющие высокую минерализацию и замерзающие при низких температурах (криогидрогалинные воды или криопзги).

Ко второй группе относятся воды с невысокой минерализацией и нулевой и положительной температурами.

При изучении межмерзлотных и внутримерзлотных вод в процессе съемки должны быть установлены характер межмерзлотных и внутримерзлотных таликов и особенности подземных вод, заключенных в них. Для этого изучаются:

1) условия их залегания, форма, размеры межмерзлотного или внутримерзлотного талика, приуроченность их к определенным геологическим структурам, формам рельефа и т.д.;

2) причины и условия образования талика;

3) состав, генезис пород в пределах водоносных и безводных межмерзлотных и внутримерзлотных таликов; их соотношение с многолетнемерзлыми породами, окружающими талые слои, линзы и т.д.;

4) соотношения безводных и водоносных напластований в пределах межмерзлотного талика и их взаимоотношения с многолетнемерзлыми толщами;

5) принадлежность вод к определенному водоносному горизонту, комплексу, зоне и тип вод по составу водовмещающих пород (пластовые, поровые, трещинные, карстовые, трещинно-жильные и др. воды);

6) температурный режим пород;

7) химический состав и минерализация вод;

8) наличие у них напора;

9) тип вод по отношению к мерзлым толщам (межмерзлотные или внутримерзлотные воды);

10) взаимоотношения вод со слоями многолетнемерзлых пород (контактирующие или неконтактирующие воды).

Кроме этого для межмерзлотных вод устанавливаются:

11) взаимосвязь вод с другими категориями вод мерзлой зоны в пределах того же или других водоносных горизонтов, комплексов, зон с поверхностными, надмерзлотными, межмерзлотными, подмерзлотными водами или водами сквозных таликов;

12) условия питания вод, интенсивность водообмена;

13) основное направление и скорость их движения;

14) режим вод (изменение уровня, напора, температуры вод, их химического состава, направления и скорости движения вод).

При съемке собираются материалы свидетельствующие о динамике развития межмерзлотных и внутримерзлотных таликов в естественных условиях; на основании их оценивается возможность изменения их формы, величины водообильности в случае эксплуатации подмерзлотных вод, а также условия взаимоперехода межмерзлотных во внутримерзлотные воды, и изменения их во взаимосвязи с другими категориями вод.

При изучении межмерзлотных и внутримерзлотных вод обращается особое внимание на их положение в мерзлотно-гидрогеологическом разрезе района, на изменение характера их залегания, состава, напора по глубине и т.д., в связи с общим гидрогеологическим строением района, историей и динамикой развития мерзлых толщ.

Вопросы

1. Особенности изучения таликов.
2. Особенности изучения подземных вод области криолитозоны:
 - а) Изучение надмерзлотных вод сезонного слоя,
 - б) Изучение надмерзлотных вод несквозных многолетних таликов.
 - в) Изучение подземных вод сквозных таликов.
 - г) Изучение подмерзлотных вод.
 - д) Изучение межмерзлотных и внутриммерзлотных вод.
 - е) Изучение подмерзлотных вод.

Литература:

1. Методика мерзлотной съемки

Фотиев С.М, Гидрогеотермические особенности криогенной области СССР. М., "Наука", 1978.

Вельмина Н.А. особенности гидрогеологии мерзлой зоны литосферы., М., "Недра", 1970.

4. Толстихин Н.И. Подземные воды мерзлой зоны литосферы. М.-Л., Госгеолгиздат, 1941.

Лекция 12

12 Изучение криогенных процессов и явлений

В области криолитозоны и глубокого сезонного промерзания грантов ряд экзогенных геологических процессов и явлений связан с изменением теплового состояния пород и с переходами воды в лед и обратно, Эти процессы и явления называются криогенными (мерзлотными).

Изучению криогенных процессов и явлений при проведении комплексных мерзлотно-гидрогеологических и инженерно-геологических исследований должно быть уделено особое внимание, поскольку именно криогенные процессы, особенно их изменение в ходе хозяйственного освоения территории, причиняют массу неприятностей при строительстве и эксплуатации различных народно-хозяйственных объектов в северных и восточных районах.

Характерной особенностью криогенных явлений является их зависимость от теплообмена на поверхности земли и тесная связь со слоем сезонного промерзания и оттаивания пород, с их составом и температурным режимом в слое годовых колебаний температур. Изменение перечисленных условий приводит к изменению хода развития криогенных процессов и явлений, в силу чего изучение последних должно быть направлено на изучение динамики и прогноза этих явлений в связи с общим изменением мерзлотных условий.

Условия и причины образования криогенных явлений достаточно полно изучались в курсе "Общее мерзлотоведение?". Поэтому здесь рассмотрим в основном методику их изучения,

К числу основных криогенных процессов и явлений относятся солифлюкция, выпучивание твердых тел из рыхлых отложений, бугры пучения, полигонально-жильные структуры, термокарст, наледи.

1. Изучение солифлюкции.

Солифлюкция, представляющая собой медленное течение почв и горных пород, широко развита в области многолетнемерзлых породах и меньше в области глубокого сезонного промерзания. Она является мощным агентом денудации и рельефообразования в районах с перечисленным рельефом, с широким распространением пылевато-илистых сильно увлажненных отложений. При комплексной мерзлотно-геологической и инженерно-геологической съемке основная оценка этого процесса должна проводиться в следующих отношениях:

- 1) как фактора, влияющего на образование криогенных форм рельефа, причем как денудационных, так и аккумулятивных;
- 2) как процесса, приводящего к формированию солифлюкционных отложений, часто промерзающих сингенетически, а поэтому сильнольдистых;
- 3) как процесса, определяющего условия хозяйственного освоения территории и влияющего на устойчивость инженерных сооружений.

Солифлюкция обычно сочетается с другими склоновыми процессами, в особенности с делювиальными и коллювиальными. В результате часто формируются формы рельефа и отложения смешанного происхождения: делювиально-солифлюкционные, коллювиально-солифлюкционные.

Таким образом, в процессе исследований важно выяснить приуроченность того или иного механизма перемещения склоновых отложений к определенным формам рельефа, а также охарактеризовать мерзлотно-фациальные особенности накапливающихся отложений. Это необходимо также еще и потому, что склоновые процессы в области криолитозоны проходят очень интенсивно и накладывают свой отпечаток на формирование других генетических типов пород: пролювиальных, аллювиальных и т.д. С другой стороны, интенсивность склоновых процессов и характер

формирующихся отложений зависят от интенсивности неотектонических движений и изменения мерзлотных условий в районе. Следовательно, изучение условий залегания и мерзлотно-фациальных особенностей склоновых отложений в разрезе четвертичных пород позволяет судить об изменениях мерзлотно-геологических условий района в историческом аспекте.

При изучении солифлюкции устанавливается:

- 1) при какой морфологии поверхности и на каких элементах рельефа развит этот процесс;
- 2) какие породы подвергаются этому процессу, их состав, генезис, возраст;
- 3) где находятся области преимущественного сноса, движения и накопления отложений;
- 4) особенности, свойственные солифлюкционным отложениям (состав, слоистость, увлажнение, распределение крупнообломочного материала по площади и в разрезе, наличие погребенных почвенных горизонтов, криогенная текстура отложений, наличие и особенности повторно-жильных льдов и т. д.); изменения состава и свойств в связи с изменением характера материнских пород;
- 5) на каком основании (многолетне- или сезонномерзлом) происходит солифлюкция;
- 6) тип сезонного оттаивания или промерзания отложений (по В.А. Кудрявцеву);
- 7) особенности вод в слое, подверженном солифлюкции (время их существования, характер обводнения по площади и т.д.);

8) сочетание и причинная связь солифлюкции с другими склоновыми процессами: коллювиальным и делювиальным. Изменение механизма перемещения рыхлых отложений на склонах в зависимости от их морфологии, характера отложения, растительности и т.д.;

9) сочетание и причинная связь солифлюкции на склонах с другими криогенными процессами и явлениями (морозобойным трещинообразованием, пучением, термокарстом, «пятнами-медальонами» и др.);

10) морфология форм мезо- и микрорельефа, обусловленных процессом солифлюкции и др. склоновыми процессами: сплывы, полосы смещения с буграми и валами, солифлюкционные террасы и т.д.;

11) изменение интенсивности процесса и связанных с ними (форм рельефа при изменении геологического строения, рельефа, климатических и мерзлотных особенностей территории;

12) влияние солифлюкции на устойчивость инженерных сооружений к прогнозу изменения солифлюкции в связи с хозяйственным освоением территории.

Участки развития солифлюкции и связанные с этим процессом формы рельефа хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках по характерным полосам, направленным от водоразделов к подножиям склонов. Эти полосы обусловлены дифференциацией по площади различной крупности материала в солифлюкционных отложениях, растительности на поверхности и др. проявлениями.

Участки наиболее интенсивного развития солифлюкции обычно оконтуриваются на картах или показываются внемасштабными знаками.

2. Изучение морозного выпучивания каменного материала

Морозное выпучивание каменного материала приводит к концентрации на поверхности крупнообломочного материала, образованию каменных полей, полос, россыпей, курумов и т.д.

При этом происходит уменьшение количества крупных включений в подстилающих слоях, обогащение их супесчаным и суглинистым материалом - формирование горизонта льдистых дисперсных отложений.

Это явление может быть развито как на рыхлых отложениях, обогащенных крупнообломочным материалом, так и на скальных породах, выходящих на поверхность. В последнем случае могут выпучиваться огромные глыбы пород, создавая видимость скальных развалов, переходящих вниз по разрезу в монолитный массив, находящийся в коренном залегании. По таким образованиям часто проводят геологическое картирование, считая их благоприятными для строительства без учета их мерзлого состояния. На самом деле наличие дисперсных льдистых пород ниже слоя крупнообломочных выпученных образований требует учета мерзлого состояния пород, т.к. при их оттаивании возможны значительные осадки, смещения сооружений по склону и т.д.

На склонах выпученный материал может смещаться вниз от мест своего коренного залегания на значительные расстояния, и это необходимо учитывать при геологическом картировании.

I Выпучивание каменного материала обычно сочетается с другими мерзлотными процессами (солифлюкцией, морозобойным растрескиванием и т.д.), что приводит к разнообразию форм его проявления.

При изучении морозного выпучивания каменного материала должны быть охарактеризованы:

1) литолого-генетические особенности пород подверженных этому процессу, условия их залегания и выхода на поверхность. При этом следует обращать внимание на особенности состава, сложения пород, мощность слоев, криогенные текстуры и др.;

2) условия, при которых протекает этот процесс, т.е. морфология поверхности, тип и глубины сезонного протаивания или промерзания, обводненности этого слоя и т.д.;

3) сочетание с другими процессами, например, с солифлюкцией, морозобойным трещинообразованием и др.;

4) интенсивность и направленность процесса на момент исследования и прогноз его изменения в связи со строительством. Устанавливаются закономерности распространения участков, на которых морозное выпучивание идет интенсивно, или прекратилось, и где идет захоронение каменных россыпей.

Участки интенсивного развития мороеного выпучивания обычно хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках крупного масштаба.

На картах такие участки показываются или внемасштабными знаками, или оконтуриваются площади их распространения.

3. Изучение «структурных грунтов» и мелкобугристых форм.

К числу и относятся такие микрофрмы, как «каменные круги» и . «кольца», «пятна-медальоны» и т.п. Эти формы возникают в результате сочетания таких процессов, как растрескивание породл в результате усыха-

ния, морозобойное растрескивание, дифференциальное пучение, морозное выпучивание каменного материала.

При изучении этих форм микрорельефа в поле необходимо установить:

1) вид образований, их размеры, форму, особенности распространения на поверхности, взаимосочетание отдельных образований;

2) характер сортировки каменного материала на поверхности,

3) особенности распространения растительного покрова, наличие оголенных участков;

4) строение в разрезе (по обнажениям или горным выработкам), влажность талых и криогенная текстура и льдистость мерзлых пород;

5) глубина сезонного оттаивания и промерзания отложений и характер их обводнения;

6) связь различных образований с геологическим комплексом пород;

7) приуроченность их к определенным элементам рельефа и характерным для них поверхностным условиям;

8) сочетание их с другими криогенными процессами и формами, например, солифлюкцией, пучением, морозобойным трещинообразованием;

9) связь их с определенными мерзлотными, главным образом с типом сезонного оттаивания и промерзания отложений, мощностью этих слоев, составом, строением, характером обводненности.

Рассматриваемые образования хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках масштаба 1:25000 и крупнее и нередко являются устойчивыми привнами определенных мерзлотных условий. в этом случае они могут использоваться при мелкомасштабном мерзлотном картировании. На мел-

комасштабных картах эти образования обычно показываются внемасштабными знаками.

4 Изучение бугров пучения.

Бугры пучения (пучины) могут быть связаны с промерзанием сезонноталого слоя и сезонномерзлого слоя (первая группа) и с многолетним промерзанием талых зон (вторая группа).

В сезонноталых слоях пучение существенно связано и определяется степенью увлажнения этого слоя и наличия в нем надмерзлотного водоносного горизонта. В этих условиях пучение отмечается повсеместно и носит характер морозной пульсации поверхности земли, когда зимнее поднятие поверхности земли сменяется летними тепловыми просадками. При неравномерном промерзании сезонноталого слоя создаются локальные замкнутые объемы надмерзлотных вод, которые замерзая образуют бугры пучения. Такие бугры обычно приурочены к подножьям склонов, периферии «полос стока», окраинной части озерных котловин и болот.

Бугры пучения в слое сезонного промерзания обычно бывают однолетними, реже образуются «летующие» бугры, существующие 2-3 года.

Многолетние бугры, возникающие при промерзании талых зон, образуются при следующих обстоятельствах.

Во-первых, при многолетнем похолодании климата и широком новообразовании мерзлых толщ.

Во-вторых, при локальном изменении поверхностных условий, например, при высыхании или спуске воды или озер.

В-третьих, при изменении влажности пород в слое сезонного промерзания и в связи с этим увеличение температурной сдвижки.

В ходе маршрутных исследований и дешифрирования аэрофотоснимков выявляются площади развития бугров пучения, приуроченность их к определенным микрорайонам.

Детальные исследования бугров пучения производятся на наиболее типичных буграх с проходкой горных выработок.

При изучении бугров пучения фиксируются:

1) размеры, форма, приуроченность к определенным элементам рельефа;

2) состав отложений, на которых развиты бугры, их влажность и наличие вод в талом состоянии, льдистость и криогенная текстура в мерзлом;

3) особенности растительности на буграх и окружающей их территории (наличие искривленных деревьев, их примерный возраст, разрывы в наземном растительном покрове и т.д.);

4) особенности строения бугров: литологические особенности и криогенное строение, форма и размер ледяного тела, текстурные особенности льда. Из льда следует отобрать образцы на химический анализ;

5) тип сезонного промерзания или оттаивания пород (по В.А.Кудрявцеву) на буграх и окружающей их поверхности;

6) связь бугров пучения с другими криогенными процессами (трещинообразованием, солифлюкцией, термокарстом и т.д.), а также геологическими процессами (эрозией, осадконакоплением и т.п.)

При изучении сезонных бугров пучения по полевым исследованиям и опросу местных жителей устанавливаются сроки их появления и разрушения.

В результате изучения бугров пучения необходимо установить:

а) типы бугров пучения (сезонные или многолетние); среди многолетних бугров пучения надо выделить бугры, возникающие в сезонноталом слое и при промерзании сквозных и несквозных таликов;

б) особенности распространения, строения, морфологии многолетних бугров пучения и стадии их развития (растущие, находящиеся в стадии консервации или разрушающиеся).

Особое внимание следует уделять изучению пучин на дорогах, аэродромах, участках промышленной и гражданской застройки и устанавливать их вредные воздействия на инженерные сооружения. Исследуются причины возникновения пучения, дается прогноз их изменения в связи с освоением территории.

Бугры пучения на картах обычно показываются внемасштабными знаком. В случае широкого развития этого явления участки их распространения оконтуриваются.

5 Изучение морозобойного растрескивания, полигонально-жильных ледяных и грунтовых образований.

Морозобойное трещинообразование - один из самых распространенных процессов в области многолетнемерзлых пород и глубокого сезонного

промерзания. Оно широко развито на севере Евразии, Северной Америке, в Антарктиде.

Масштабы проявления этого процесса и его геологические результаты были особенно велики в наиболее холодные этапы плейстоцена.

Морозобойное растрескивание пород, вызываемое колебаниями температур в верхних горизонтах мерзлых пород, является фактором, существенно воздействующим на криолитогенез четвертичных отложений.

Морозобойные трещины могут заполняться конжеляционным льдом или минеральной породой.

При многократном повторении процесса по морозобойным трещинам образуются полигонально-жильные структуры (ПЖС), к числу которых относятся грунтовые жилы, повторно-жильные льды и возникающие при их оттаивании псевдоморфозы.

Полигонально-жильные структуры в одних случаях образуются в уже сформировавшихся породах и являются эпигенетическими. В других случаях полигонально-жильные структуры формируются одновременно с накоплением отложений и относятся к сингенетическим.

Полигонально-жильные структуры имеют большое значение для мерзотно-фациального анализа, стратиграфии четвертичных отложений и для палеомерзлотных реконструкций: восстановления площадей бывшего распространения сезонно- и многолетнемерзлых пород, оценки суровости их температурного режима, установления периодичности их образования и деградации или непрерывности существования мерзлого состояния пород и т.д.

Велико значение полигонально-жильных структур для инженерно-геологической оценки территории. Современные жильные структуры являются не только следствием морозобойного растрескивания, но и показателем

развития этого процесса. В частности, по жильным структурам можно оценить глубины проникновения морозобойных трещин, влияющих на кабельные линии связи, Фундаменты зданий, покрытия дорог, аэродромов и т.д. Повторно-жильные льды - это основа для возникновения термокарста, термоэрозионных форм. Правильная инженерно-геологическая характеристика территории не возможна без изучения жильных структур.

Все это определяет большой интерес к этому процессу мерзловедов, инженер-геологов, геологов-четвертичников, географов, инженеров и ученых других специальностей.

Полигонально-жильные структуры стали изучаться относительно недавно. Большой вклад в их изучение внесли советские ученые Б.Н.Достовалов, А.И.Попов, П.Л.Шумский Н.Н.Романовский и др.

Морозобойное растрескивание и полигонально-жильные образования особенно тесно связаны с теплообменом на поверхности земли, с типом сезонного промерзания и оттаивания пород, а также составом, свойствами и температурным режимом пород. Поэтому при изучении этих явлений необходимо особое внимание обращать на динамику и прогноз изменения этих явлений как в связи с естественным ходом развития мерзлотного процесса, так и в связи со строительством.

Морозобойное трещинообразование возникает в результате неравномерного по глубине охлаждения верхней части монолитного массива горных пород. Теория этого процесса разработана в основном Б.Н.Достоваловым, который установил, что для проявления морозобойного трещинообразования необходимы условия:

- а) мерзлое состояние пород, обуславливающее сплошность массива;
- б) большие температурные градиенты в сезонноталом слое и сезонномерзлом слое, обуславливающие возникновение объемно-градиентных

напряжений, которые бы превышали сопротивление пород на разрыв. Дальнейшее развитие этой теории осуществил Н.Н.Романовский.

При изучении морозобойного трещинообразования и обусловленных им полигональных форм микрорельефа необходимо:

1. Изучить и описать размеры и форму сети морозобойных трещин и полигонов. При этом фиксируется форма полигонов (выпуклая или вогнутая), наличие валиков или борозд по периферии полигонов, наличие «раскрытых» морозобойных трещин, их ширина и глубина, особенности распределения растительности на полигонах и т.д.

2. Установить приуроченность морозобойного трещинообразования и полигональных форм к определенным элементам рельефа и геолого-генетическим комплексам пород. При этом изучается состав пород, состояние (сезонное или многолетнемерзлое), их влажность в талом, криотекстура и льдистость в мерзлом состоянии.

3. Установить связь морозобойного трещинообразования и полигональных форм с типами сезонного промерзания и оттаивания и температурным режимом пород.

4. Установить связь морозобойного трещинообразования и полигонального микрорельефа с нормированием ледяных и грунтовых жил.

При наличии повторно-жильных льдов следует выделять стадии развития полигонального микрорельефа (по Б.И.Бтюрину):

- а) возникновения и роста ледяных жил;
- б) планации поверхности и консервации ледяных жил;
- в) вытаивания ледяных жил и разрушения полигонов;
- г) остаточного трещинно-полигонального рельефа.

5) Установить, происходит ли на поверхности, где наблюдается морозное растрескивание пород, денудация или идет осадконакопление.

б) Выявить связь морозобойного растрескивания с другими геологическими, в том числе и криогенными процессами.

Например, по морозобойным трещинам может закладываться овражная сеть, образовываться понижения, связанные с более интенсивным делювиально-солифлюкционным сносом материала на склонах. По повторно-жильным льдом может развиваться термокарст. В пределах полигонов может идти морозная дифференциация каменного материала и концентрация его по периферии полигонов.

С помощью непосредственных полевых наблюдений учета опыта строительства, опроса местных жителей и т.д. необходимо изучить влияние морозобойного процесса на инженерные сооружения и коммуникации. При этом надо установить:

а) наличие морозобойных трещин на дорогах, улицах, в местах прокладки коммуникаций, около отапливаемых и неотапливаемых зданий;

б) степень их вредного влияния и применяемые способы борьбы с ними;

в) влияние хозяйственного освоения территории (удаление снега, планировка территории) на направление развития морозобойного трещинообразования.

Изучение повторно-жильных льдов и грунтовых жил.

Если морозобойные трещины проникают в многолетнемерзлые толщи, а весной заполняются водой, которая в них и замерзает, то в мерзлой толще образуются повторно-жильные льды, а над ними в слое сезонного оттаивания - грунтовые жилы. Натурными наблюдениями установлено, что

повторно-жильные льды возникают при температурах пород на подошве сезонного слоя не выше $-2, -3^{\circ}$. При более высоких температурах образуются только грунтовые жилы.

При изучении повторно-жильных льдов в обнажениях и шурфах устанавливается и описываются:

1) состав и криогенное строение пород, вмещающих ледяные жилы, их генетическая принадлежность, приуроченность к определенным элементам рельефа;

2) форма и размер ледяных жил по ширине и по вертикали, изменение формы жил льда в зависимости от изменения состава и криогенного строения пород, как в пределах одной ледяной жилы по вертикали, так и для равных жил при изменении состава по площади;

3) характер контакта ледяных жил и вмещающих пород, т.е. наличие изгибаний слоев минеральной породы и ледяных шпиров на контакте с жилами;

4) соотношение «голов» ледяных жил с подошвой слоя сезонного оттаивания; наличие многолетнемерзлых пород над ледяными жилами (признак захоронения их), состав этих многолетнемерзлых пород и криогенное строение; наличие свежих трещин (зимой) или не оттаявших «головок» элементарных ледяных жилок в непротаявшей части сезонного слоя (летом) являющихся признаком роста ледяных жил;

5) характер грунтовых жильных образований над ледяными жилами (их размер, форма), состав слагающих и вмещающих отложений, характер слоистости, деформации на контактах и т.д.;

б) текстурные особенности льда, наличие в нем примесей (органических или минеральных), пувырьков воздуха, их пространственная ориентировка, наличие льда равного цвета и т.п.

В результате проведенных исследований должен быть установлен тип (сингенетические или эпигенетический) отдельных ледяных жил и полигонально-жильной системы в целом.

Полигональные формы рельефа хорошо фиксируются на аэрофотоснимках. На картах эти формы могут показываться внемасштабными знаками или в случае широкого развития их по площади - оконтуриваться.

6. Изучение термокарста и связанных с ним образований

Термокарст и обусловленные им формы рельефа широко развиты как в области криолитозоны, так и за ее пределами (реликтовые формы). Возникновение термокарста возможно при наличии в горных породах скоплений льда, в результате вытаивания которого порода может оседать, уплотняться и образовывать отрицательные формы рельефа. В связи с этим, чем ближе к поверхности залегают сильно льдистые породы, тем вероятнее возникновение термокарста. Даже небольшие изменения теплообмена на поверхности земли, приводящие к увеличению летнего оттаивания, способны вызвать термокарст, если льды непосредственно подстилают этот слой.

При исследовании термокарста устанавливаются и фиксируются:

1) форма, размер, морфология термокарставых образований. Признаки, свидетельствующие о термокарстовом происхождении понижений в рельефе, например, залегание льда в берегах озер, особенности растительности, типичные для термокарста («пьяный» лес и др.);

2) форма, размер, условия залегания льда, его происхождение. Литолого-генетические особенности отложений, с которыми льды связаны, их состав, свойства, льдистость, криогенное строение, приуроченность к определенным элементам рельефа;

3) приуроченность термокарстовых форм к определенным морфологическим ступеням, характерным ландшафтам, склонам различной крутизны и экспозиции и т.д.;

4) характер сезонного оттаивания - промерзания в пределах сходных участков, но еще не захваченных термокарстом, а также в пределах термокарстовых форм;

5) в термокарстовых озерах - глубина воды, ее температура. С помощью буровых или геофизических работ устанавливаются форма, размер, глубина части оттаивания под типичными озерами, находящимися на равных стадиях своего развития;

6) взаимосвязь термокарстовых процессов с другими процессами и явлениями (например, с новообразованием мерзлоты, пучением и т.п.);

7) причины, которые привели к возникновению термокарста;

8) стадия развития термокарстового процесса. Выделяются формы прогрессирующего, затухающего или реликтового термокарста.

При проведении съемки изучается влияние термокарста на хозяйственную деятельность человека, применяемые способы борьбы с ним.

При оценке инженерно-геологических условий следует особое внимание обращать на возможность активизации термокарста при освоении территории; дается прогноз возникновения этого процесса и рекомендации по его предотвращению.

При картировании термокарста широко применяются аэрофотоснимки. На картах показываются участки развития термокарста или отдельные термокарстовые образования (внемасштабными значками).

7. Изучение наледей

Наледи являются весьма характерными мерзлотно-гидрогеологическими образованиями, дормирующимися как в области криолитозоны, так и вне ее, в условиях континентального климата. Наледями называются ледяные тела различной формы и размеров, формирующиеся в результате последовательного излияния и замерзания поверхностных и подземных вод на поверхности земли, речного, озерного или морского льда.

По генезису различают наледи, образующиеся:

- а) за счет поверхностных вод;
- б) за счет подземных вод;
- в) за счет смешанных источников питания, т.е. как поверхностных, так и подземных вод.

Практическое значение наледей.

Для изучения наледей в полевых условиях весной или в самом начале лета (на момент схода снега) обычно проводят рекогносцировочные аэровизуальные обследования территории работ и определяют площади развития наледей. Хорошие результаты дает дешифрирование аэрофотоснимков.

Изучение наледей проводится как в процессе маршрутных исследований, так и на ключевых участках, которые ставятся на наиболее типичных

площадках наледеобразования и должны охватывать если не все, то главные типы наледей, развитые в изученном районе.

При изучении наледей в процессе маршрутных работ:

1) устанавливаются и описываются участки, где развиты наледи; их геологическое строение, признаки наличия тектонических нарушений, рельеф территории, характер русел рек, геоботанические условия и т.д.

2) устанавливается тип наледи по ее положению в рельефе и ее влияние на формирование особенностей последнего (наледные долины, поляны);

3) на основании глазомерной, а лучше инструментальной съемки, устанавливается и описывается размер наледи и подсчитывается ее примерный объем. По косвенным признакам, т.е. по особенностям рельефа, геоботаническим признакам (по сухостоинам или угнетенным деревьям, налетам солей на их стволах, изменениям и повреждениям коры и т.д.) устанавливается максимальная площадь и максимальная мощность наледи.

4) описываются текстурные особенности наледного льда, его слоистость, плотность, цвет, размеры кристаллов льда, наличие солей на поверхности наледей; отбираются послойно образцы льда на химический анализ, устанавливается роль снега в формировании тела наледи;

5) описывается характер источников вод, питающих наледь, их дебит, форма выхода, температура воды, ее вкус, цвет, газовый состав и т.д. Отбираются пробы на химический анализ. Выясняется принадлежность источников воды к определенному водоносному горизонту, комплексу. Фиксируется положение источника по отношению к наледи. Устанавливается происхождение наледи по источнику питания;

б) для наледей поверхностных вод и смешанного питания выясняются причины перемерзания поверхностного или грунтового потока: наличие в руслах перекатов, порогов, смены состава породы, сужение русла и изменение формы русла и т.д.

7) описываются все мерзлотные явления на участке развития наледей: бугры пучения, формы морозного выпучивания каменного материала, морозобойные трещины, термокарстовые формы;

8) проводятся наблюдения за глубинами оттаивания как в пределах участков наледной поляны, так и на прилегающей территории;

9) если вблизи наледи имеются инженерные сооружения, то на основании личных наблюдений и опроса местных жителей, устанавливаются особенности воздействия наледей на сооружения.

В конце лета - начале осени на участках выбранных наледей ставится сеть рек по которым можно судить о динамике нарастания и разрушения льда. В дальнейшем наблюдения следует вести в районе населенных пунктов 1-2 раз в месяц, а на удаленных от жилья участках 2-3 раза за весь период формирования наледи.

Желательно иметь по крайней мере годичный цикл наблюдений за водами, питающими, наледь, их дебитами, химическим составом, условиями выхода, а также наблюдения за химическим составом наледного льда.

На наиболее важных наледях подземных вод или наледях смешанного питания проводится комплекс гидрогеологических и мерзлотных исследований с постановкой буровых и геофизических работ, в результате которых устанавливается распространение и условия залегания ММП и талых пород, водоносность последних; тип подземных вод и их полная характеристика. Производится оценка этих вод как возможного источника водоснабжения

Вопросы

1. Изучение солифлюкции.
2. Изучение морозного выпучивания каменного материала.
3. Изучение «структурных грунтов» и мелкобугристых форм.
4. Изучение бугров пучения.
5. Изучение морозобойного растрескивания, полигонально-жильных ледяных и грунтовых образований.
6. Изучение термокарста и связанных с ним образований.
7. Изучение наледей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Методика мерзлотной съемки ...
2. Б.И. Втюрин Подземные льды СССР. "Наука", 1975.
3. Н.Н. Романовский. Формирование полигонально-жильных структур. Новосибирск, "Наука", 1977.
4. В.Л. Суходровский. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М., "Наука", 1979.
5. Криогенные процессы. , "Наука" 1976.
5. Шур Ю.Л. Термокарст, К., "Недра", 1977.

Лекция 13а

13а МЕРЗЛОТНЫЕ КАРТЫ

13а .1 Принципиальные положения составления мерзлотных карт

Мерзлотные карты (МК) должны составляться в соответствии со следующими принципиальными положениями:

1. МК являются основными документами мерзлотной съёмки (МС), характеризующими мерзлотные условия (МУ) регионов, областей, районов, участков и площадок, расположенных в криолитозоне.

2. Основу мерзлотного картирования составляют принципы генетических классификаций ММГП и генетическая классификация типов сезонного промерзания и оттаивания пород.

3. Все МК в соответствии с масштабом съёмки подразделяются на мелкомасштабные (1 : 500 000 - 1 : 100 000), среднемасштабные (1 : 50 000 - 1 : 25 000), крупномасштабные (1 : 10 000 - 1:5 000) и детальные - планы (1 : 2000 и крупнее). Все кондиционные МК масштаба 1 : 500 000 и крупнее составляются только на основе МС.

4. МК мельче масштаба 1 : 500 000 не требуют проведения полевых съёмочных работ и составляются на основе обобщения опубликованных и фондовых материалов мерзлотного, геологического, геоморфологического, гидро- и инженерно-геологического содержания и материалов аэро- и космосъёмки.

5. Все МК по способу отображения МУ подразделяются на аналитические и синтетические.

Аналитические карты составляются как:

а) частные, содержащие одну или несколько отдельных характеристик;

б) общие - карты мерзлотных условий, содержащие все основные характеристики мерзлотных и природных условий, показанные отдельно и выступающие во взаимосвязи и взаимообусловленности.

Синтетические карты являются картами комплексного мерзлотного районирования с характеристикой мерзлотных условий по выделенным таксономическим единицам в таблице к карте. Такие карты могут составляться как:

а) частные, на которых районирование производится по 1-2 мерзлотным характеристикам;

б) общие, на которых производится комплексное мерзлотное районирование на геолого-структурной и ландшафтно-климатической основах.

6. Методика составления общих МК базируется на анализе частных и общих закономерностей формирования и развития МУ в зависимости от комплекса факторов природной среды и отражении этих закономерностей на карте.

7. Анализ формирования МУ ведётся по ландшафтными подразделениям, выделяемым при ландшафтном районировании, в соответствии с масштабом съёмки, при типизации природных условий (климатических, геоботанических, геоморфологических и других географических условий на поверхности земли, геологических, гидрогеологических, геотермических и других условий), определяющих распространение, строение, мощность и другие характеристики мёрзлых толщ.

8. Карта ландшафтного микрорайонирования в крупных масштабах может составляться непосредственно по аэрофотоснимкам. В среднем и мелком масштабах съёмки по аэро- и космоснимкам составляется специализированная ландшафтно-геоморфологическая карта. На этих картах типизируются участки с однородными условиями теплообмена на поверхности и в толще горных пород.

9. Основным принципиальным методом показа мерзлотных условий на картах является раздельное отображение мерзлотных характеристик и факторов природной среды, что позволяет не только получить по карте мерзлотную информацию, но и понять закономерности изменения её по территории.

10. Содержание МК всех масштабов определяется раздельным отображением закономерно связанных между собой характеристик природных и мерзлотных условий:

- а) распространение сезонно- и многолетнемерзлых горных пород;
- б) генезис и возраст горных пород;
- в) состав, сложение и свойства мерзлых и талых пород;
- г) криогенное строение и льдистость мерзлых горных пород;
- д) генетический тип развитых с поверхности мёрзлых пород;
- е) среднегодовая температура горных пород и амплитуда температур на поверхности почвы;
- ж) тип и соответствующие ему глубины сезонного промерзания и оттаивания пород;
- з) мощность мерзлых толщ и их прерывистость по вертикали;

и) распространение, глубина залегания и мощность зон пород с криопэгами;

к) талики.

11. Все МК должны быть комплексными мерзлотно-геологическими картами, т.к. изучаются и картируются мёрзлые горные породы и развитые в них мерзлотно-геологические процессы и образования. Составление всех МК должно производиться на геологической основе с показом состава, генезиса, возраста, условий залегания и трещиноватости пород.

12. Детальность картирования мерзлотных характеристик определяется масштабом съёмки, мерзлотной изученностью района. При этом градация мерзлотных характеристик возрастает с укрупнением масштаба карты.

13. На МК основные изобразительные средства (фоновая окраска, её интенсивность, штриховка различного вида и цвета) отдаются показу главных мерзлотных характеристик: сезонно- и многолетнемёрзлые, геолого-генетические комплексы и формации горных пород, средние годовые температуры и мощности сезонно- и многолетнемёрзлых толщ, а талики, криогенные явления и другие характеристики могут показываться различного вида и цвета границами, цифрами, индексами, немасштабными знаками и т.п.

14. К МК обязательно составляются мерзлотно-геологические разрезы, на которых показываются те же мерзлотные и геологические характеристики, что и на МК с добавлением тех, которые можно показать только на разрезах. Мерзлотные границы на разрезах имеют преимущественно вертикальный характер, что обусловлено процессами теплопередачи в массиве горных пород.

15. В районах со сложными мерзлотными условиями при мелко- и среднемасштабных съёмках показ всех мерзлотных характеристик на одной МК практически не возможен. Поэтому целесообразно составление двух мерзлотных карт: карты сезонно-мёрзлых и сезонно-талых пород и карту многолетнемёрзлых толщ.

16. К МК прикладывается таблица расчётных значений средней годовой температуры пород и глубин их сезонного промерзания и оттаивания по ландшафтным подразделениям, выделенным на карте.

17. В ходе мерзлотной съёмки составляются рабочие карты: фактического материала, геоморфологическая, четвертичных отложений, геоботаническая и др., или используются имеющиеся, которые уточняются и дополняются. По материалам этих карт составляется карта районирования территории по условиям формирования мерзлотных условий (карта ландшафтного районирования), являющаяся основой мерзлотного картирования. Границы районов (участков) с определённым комплексом геолого-географических условий являются границами распространения определённых типов мёрзлых толщ, отличающихся друг от друга мерзлотными характеристиками.

18. Составление отчётных мерзлотных карт целесообразно выполнять последовательно: сначала составляется предварительная МК, которая проверяется, уточняется и детализируется в полевых условиях и в камеральный период.

19. При комплексной мерзлотной съёмке рекомендуется составлять:
- а) карту типов сезонного промерзания и оттаивания пород, либо такую же, совмещённую с картой грунтовых и надмерзлотных вод;
 - б) мерзлотно-геологическую карту;

- в) мерзлотно-гидрогеологическую;
- г) мерзлотно-инженерно-геологическую (инженерно-геокриологическую) карту.
- д) прогнозную мерзлотную карту;
- е) прогнозно-оценочную мерзлотную карту.

13а .2 Принципы составления карты ландшафтного микрорайонирования - основы мерзлотных карт

Карта ландшафтного микрорайонирования составляется для выделения участков с одинаковым геологическим и тектоническим строением, геоморфологическими и ландшафтно-климатическими условиями, в пределах которых обеспечиваются однородные для данного масштаба исследований условия формирования и существования сезонно- и многолетнемёрзлых толщ горных пород.

Основой ландшафтного микрорайонирования для целей мерзлотной съёмки являются геологическая, тектоническая и геоморфологическая карты, а также аэро- и космоснимки.

Лекция 13б

136 МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ МЕРЗЛОТНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И МЕРЗЛОТНО-ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

13.1 Общие положения и содержание карт

Мелкомасштабные исследования в области криолитозоны, проводимые дают возможность предварительного планирования определенных видов освоения и выбора перспективных площадей. Основным материалом при этом являются мерзлотные карты, которые дают региональную характеристику мерзлотных условий и являются базовой основой для составления мерзлотно-инженерно-геологических и мерзлотно-гидрогеологических карт криолитозоны.

Составление мерзлотных карт той или иной детальности и направленности в настоящее время получило чрезвычайно широкое развитие. Однако, далеко не всегда мерзлотные карты являются достаточно качественными, объективно отражающими соответствующие мерзлотные условия. Часто на одну и ту же территорию различными организациями составляются карты одного масштаба, не только плохо сопоставимые по детальности картирования, но и по существу содержания. Такое положение связано не столько с различием применяемых методов отображения мерзлотной нагрузки, сколько с широко распространенным методом картирования – методом соответствия определенных мерзлотных условий определенным геолого-географическим условиям. На основании таких исследований нельзя дать мерзлотную и инженерно-геологическую оценку территории и тем более составить прогноз их изменения в связи с освоением.

Мерзлотная карта должна давать не только информацию от тех или иных мерзлотных характеристиках изучаемой территории, но и обязательно отражать общие и региональные закономерности формирования мерзлотных условий. Последние должны, в свою очередь, базироваться на анализе частных закономерностей, составляющих основу съёмки и прогнозирования.

Подход к составлению карт с позиций отражения существующих в природе мерзлотных закономерностей, по сравнению с подходом констатации мерзлотной обстановки, является перспективным и на такой путь геокриологического картирования, в связи с возрастающей ролью геокриологического прогноза неизбежно переходя все специализированные организации.

Таким образом, зависимость мерзлотной карты и многоплановость её использования существенно возрастают при высоком качестве карты, определяемом её детальностью, достоверностью и возможностью с её помощью анализа формирования мерзлотных условий и их прогнозирования.

Качество мерзлотных съёмок и мерзлотных карт формируется на всех этапах исследований, а именно:

а) при составлении программы работ, которая должна разрабатываться с учётом современного уровня развития науки в теоретическом и региональном планах;

б) в подготовительный период изучения, предшествующий полевым исследованиям, - в период целенаправленного обобщения имеющегося мерзлотного, геоморфологического, геологического и другого фактического материала и выработки предварительных представлений о частных, общих и региональных закономерностях формирования мерзлотных условий территории. Необходимым условием эффективности предполевых исследований является аэровизуальный осмотр территории и анализ её

природных особенностей с привлечением черно-белых, цветных, спектрзональных космических и аэрофотоснимков.

в) в полевой период мерзлотной съёмки, направленной на:

1) изучение частных и общих закономерностей формирования мерзлотных условий на ключевых участках, предварительно установленных при обработке собранного фактического материала;

2) составление мерзлотных карт, проверку достоверности и корректировку детальности этих карт;

3) в камеральный период обработки полевых материалов и лабораторных анализов, при написании отчёта и корректировке кондиционности карт.

Мерзлотная карта только тогда кондиционна, когда её научная информация отвечает современному уровню развития науки, то есть отражает закономерности формирования мерзлотных условий.

Все составленные при съёмке карты могут быть разделены на вспомогательные (рабочие) и отчетные. Рабочие карты необходимы для составления отчётных карт и могут составляться как в масштабе съёмки, так и в более крупном. К ним относятся:

- карта фактического материала,

- геоморфологическая,

- карта поверхностных рыхлых отложений,

- карта отдельных характеристик сезонно- и многолетнемерзлых толщ и подземных вод (например, температурв горных пород, химического состава подземных вод и т.п.).

Все указанные карты составляются на геологической основе соответствующего масштаба. Если в районе исследования отсутствуют геологические карты, то надо в полевой период провести необходимые исследования, а также собрать данные геологических съёмки различных масштабов.

Составление отчётных карт целесообразно проводить последовательно:

- 1) рабочая мерзлотная карта,
- 2) мерзотно-гидрогеологическая карта,
- 3) мерзотно-инженерно-геологическая карта.

В районах сложного геологического, тектонического и геоморфологического строения показ всех характеристик мерзлотной обстановки на одной мерзлотной карте практически невозможен. Поэтому с целью увеличения наглядности, читаемости и более детального показа характеристик сезонномерзлых и многолетнемерзлых пород целесообразно составлять две мерзлотные карты:

- а) карту типов сезонного оттаивания и промерзания пород,
- б) карту типов многолетнемерзлых толщ (мерзотно-геологическая или мерзлотная карта).

В сложных природных условиях также невозможен показ на одной карте первого от поверхности водоносного комплекса и основного водоносного комплекса, залегающего ниже многолетнемерзлых пород. Поэтому, учитывая тесную связь сезонного промерзания и протаивания пород с надмерзлотными водами, а подмерзлотных вод с ММТ, целесообразно сопоставление двух карт:

- 1) карта типов сезонного оттаивания и промерзания пород и соответствующих им надмерзлотных вод и верховодки,

2) мерзлотно-гидрогеологической карты (карта ММП и поверхностных вод).

При составлении комплексной мерзлотно-гидрогеологической карты основные изобразительные средства отдаются какой-либо одной группе признаков – либо мерзлотной, либо гидрогеологической.

Итак, к отчёту по комплексным мелкомасштабным мерзлотно-гидрогеологическим и мерзлотно-инженерно-геологическим исследованиям составляются следующие карты:

1) карта типов сезонного промерзания и оттаивания пород, грунтовых и надмерзлотных вод,

2) мерзлотно-гидрогеологическая карта,

3) мерзлотно-инженерно-геологическая карта.

В сложных мерзлотно-гидрогеологических условиях составляется геокриологическая карта.

136.2 Содержание карт

136.2.1 Карта типов сезонного оттаивания и промерзания пород, грунтовых и надмерзлотных вод

Эта карта должна характеризовать:

1) состав, сложение, влажностной режим и криогенное строение СТС и СМС,

- 2) температурный режим пород в слое его годовых колебаний,
- 3) условия распространения талых и ММП по площади; наличие перелетков и несливающейся мерзлоты,
- 4) типы сезонного промерзания и протаивания пород и соответствующие им глубины для естественных и (для наиболее типичных микрорайонов) и измененных условий,
- 5) распространение водоносных комплексов и типов надмерзлотных и грунтовых вод (поровые и пластово-поровые и др.),
- 6) минерализацию и водообильность надмерзлотных и грунтовых вод и их температуры,
- 7) наличие и характер криогенных процессов и явлений.

В основу составления этой карты должны быть положены следующие материалы:

- а) геологическая карта,
- б) геоморфологическая карта и карта рыхлых отложений,
- в) дешифрованные в поле аэрофотоснимки,
- г) карта фактического материала,
- д) данные геофизики,
- е) данные горно-буровых работ с геологической документацией и описанием криогенных текстур пород,
- ж) данные режимных наблюдений за средней годовой температурой пород,

з) данные полевых и лабораторных определений влажности, объёмного веса, гранулометрического состава и теплофизических свойств пород,

и) данные наблюдений за глубиной сезонного оттаивания и промерзания грунтов,

к) данные наблюдений на температурных площадках за сокращением температур воздуха и их амплитуд под растительным покровом,

л) данные снегомерной съёмки,

м) данные по источникам надмерзлотных и грунтовых вод, их водобильности, режиму, температуре, химическому составу,

н) описание точек наблюдения.

Основные требования к карте типов сезонного промерзания и оттаивания пород и грунтовых и надмерзлотных вод является отражением зависимости их от литолого-генетических особенностей поверхностных отложений.

Таким образом, в соответствии с содержанием карты, легенда к ней должна строиться с учетом следующих требований.

1) подразделение водоносных комплексов поверхностных отложений необходимо производить по их отношению к СТС и СМС,

2) градации по минерализации, химическому составу и водобильности показываются в соответствии с инструкцией о гидрогеологической съёмке,

3) распространение мёрзлых и талых пород необходимо показывать в соответствии с классификацией (островная мерзлота, массивно-островная, роерывистая, сплошная),

4) средние годовые температуры пород в подошве слоя её годовых колебаний следует показывать в интервалах от 0 °С до $\pm 1^\circ\text{C}$; от $\pm 1^\circ\text{C}$ до $\pm 3^\circ\text{C}$; от -3°C до -5°C ; от -5°C до -7°C ; от -7°C до -10°C и ниже;

5) криогенную текстуру СТС и СМС показывать в соответствии с классификацией;

6) влажность отложений и амплитуда температур на поверхности пород следует подразделять в соответствии с классификацией В.А. Кудрявцева;

7) типы сезонного оттаивания и типы сезонного промерзания определяются в соответствии с классификацией, а соответствующие им глубины рассчитываются по формулам и номограммам.

136.2.2 Мерзлотно-гидрогеологическая карта

Она должна характеризовать:

1) условия залегания талых ММП, то есть распространение их по площади, мощности и прерывистости, строение по вертикали;

2) температурный режим пород в слое годовых колебаний, характер температур в мерзлой толще и в подстилающих талых породах;

3) состав, криогенное строение и льдистость ММП, состав, влажностной режим и водоносность талых пород;

4) глубина залегания и водообильность водоносных комплексов;

5) минерализация подземных вод;

6) области питания и разгрузки подземных вод, пути фильтрации;

- 7) температура вод источников и фонтанирующих скважин;
- 8) появление и установление уровня подземных вод при бурении и их температуры;
- 9) наличие и характер криогенных явлений;
- 10) мерзлотно-гидрогеологическое районирование.

В случае отдельного составления мерзлотно-гидрогеологической карты содержание каждой из них определяются не всеми перечисленными вопросами, а только теми, которые непосредственно связаны с картируемым объектом.

В основу мерзлотно-гидрогеологической карты должны быть положены следующие материалы:

- а) геологическая карта;
- б) геотектоническая карта;
- в) геоморфологическая карта;
- г) мерзлотная карта;
- д) дешифрованные в поле аэрофотоснимки;
- е) карта фактического материала и результатов гидрогеохимического опробования;
- ж) колонки буровых скважин с данными температурных измерений, наливов, откачек и материалами геофизического каротажа;
- з) данные электропрофилирования и ВЭЗ;

и) данные режимных наблюдений за уровнем и температурой воды в скважинах, за дебитом и температурой источников, за режимом роста наледей и динамикой развития полыней;

к) данные химических анализов воды и спектральных анализов сухих остатков;

л) гидрографы рек по гидрометеостанциям и гидропостам;

м) данные расчётов по консервации воды наледями, по водопроницаемости пород и модулю подземного стока.

Легенда мерзлотно-гидрогеологической карты должна строиться с учётом следующих требований:

1) распространение многолетнемерзлых толщ (ММТ) по площади должно отражаться в соответствии с их классификацией;

2) тип и характер сквозных и несквозных таликов надо отражать по их отношению к ММТ;

3) криогенное строение ММТ следует отражать в легенде в соответствии с принятой классификацией;

4) средние годовые температуры в подошве слоя годовых колебаний следует показывать в интервалах: от 0 °С до ± 1°С; от ±1°С до ± 3°С; от –3 °С до – 5°С; от –5°С до – 7°С; от –7°С до – 10°С и ниже;

5) мощности ММТ необходимо показывать в интервалах: до 50 м, от 50 до 100 м, от 100 до 200 м, от 200 до 300 м, от 300 до 500 м, больше 500 м;

6) водоносные комплексы пород необходимо показывать по их отношению к ММП;

7) градации по минерализации, химическому составу и водообильности необходимо выделять в соответствии с инструкцией о проведении гидрогеологической съёмки;

8) их криогенных и геологических процессов и образований должны быть показаны те, которые связаны с подземными водами и ММП (наледи, многолетние бугры пучения, полигонально-жильные льды и т.д.).

Составление мерзлотно-гидрогеологической карты в связи с её комплексностью, а следовательно и большой нагрузкой представляет значительную трудность.

13б.2.3 Мерзлотно-инженерно-гидрогеологическая карта

Карта должна отражать:

1) площади распространения формаций и геолого-генетических комплексов коренных пород и поверхностных отложений;

2) особенности залегания пород, разрывные нарушения и зоны повышенной тектонической раздробленности пород;

3) литологические особенности различных геолого-генетических комплексов пород;

4) распространение талых и мёрзлых пород;

5) инженерно-геологическую характеристику этих пород;

6) мощность и температурный режим;

7) глубина сезонного промерзания и оттаивания пород;

- 8) криогенные и другие геологические процессы и явления;
- 9) мерзлотно-инженерно-геологическое районирование.

Основным материалом для составления указанных карт являются:

- а) данные, полученные в результате сбора и обобщения материалов предыдущих исследований этой территории,
- в) данные, полученные при полевых съёмочных работах;
- г) данные лабораторных исследований образцов пород и воды;
- д) данные расчетов по соответствующим формулам, в том числе и на ЭВМ.

Отчет о мерзлотной съемке включает следующие разделы и карты:

Введение

Методика мерзлотной съемки

Геолого-географические условия

- Климат
- Геоморфологические условия
- Гидрологические условия
- Геоботанические условия
- Геологические условия
- Гидрогеологические условия
- Ландшафтное районирование территории для целей мерзлотной

съемки

Мерзлотные условия

- Закономерности формирования температурного режима горных пород
- Сезонное оттаивание и сезонное промерзание горных пород
- Распространение, условия залегания, мощность, состав, свойства и криогенное строение многолетнемерзлых горных пород
- Распространение, условия залегания, мощность, состав, свойства и генезис таликов
- Криогенные процессы и явления
- Мерзлотное районирование территории по степени благоприятности для хозяйственного освоения

Заключение

Литература

Приложения

- Карта ландшафтного районирования территории
- Карта типов сезонного промерзания и сезонного оттаивания пород
- Мерзлотная карта
- Карта мерзлотного районирования территории по степени благоприятности для хозяйственного освоения.

Вопросы:

1. Принципиальные положения составления мерзлотных карт.
2. Принципы составления карты ландшафтного микрорайонирования - основы мерзлотных карт.
3. Особенности содержания и составления мелкомасштабных мерзлотных карт.
 - 3.1. Карта типов сезонного промерзания и оттаивания пород.
 - 3.2. Мерзотно-геологическая карта.
 - 3.3. Мерзотно-гидрогеологическая карта.
 - 3.4. Мерзотно-инженерно-геологическая карта.
 - 3.5. Прогнозная мерзлотная карта.
 - 3.6. Прогнозно-оценочная карта.
4. Особенности содержания и составления среднемасштабных мерзлотных карт.
5. Особенности содержания и составления крупномасштабных мерзлотных карт.

