

Лекция на 2.11.2020 г.

## 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  $0^{\circ}\text{C}$ . 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  $0^{\circ}\text{C}$ . 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 ос-

новой 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 или 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, шлиров 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 устано-

вить 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 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  $\xi$  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 распространением 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, м<sup>2</sup>/час;

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

$\tau$  – период колебаний – сутки, час;

$A_o$  и  $A_z$  – амплитуда суточных колебаний температуры соответственно на поверхности и подошве исследуемого слоя почвы  $\xi$ , °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, условиях 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 сплюснутости 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  $\xi$  является важнейшей характеристикой типов сезонного промерзания или оттаивания. Как известно она определяется четырьмя класси-

фикационными признаками, отражающими теплофизическую ( $t_{\xi}$ ,  $A_o$ ) и геологическую ( $\lambda$ ,  $Q_{\phi}$ ,  $C$ ) стороны процессов сезонного оттаивания и промерзания. Количественная связь между  $\xi$  и указанными параметрами наиболее полно выражена в известных формулах В.А. Кудрявцева.

Зависимость  $\xi$  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  $\xi$  для каждого типа. При этом необходимо определить средние и экстремальные глубины. Также следует определять средние многолетние значения глубин. Обязательно оценивается степень изменчивости  $\xi$  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  $\xi$  необходимо прогнозировать изменение  $\xi$  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 каменные 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 (мерзлотометров), 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 значени-

ям, соответствующим полному протаиванию или промерзанию, согласно зависимости

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

где  $\xi_{max}$  - максимальная глубина оттаивания (промерзания);

$\xi$ - 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  $\xi$ , полученные по данным натурных наблюдений, характеризуют процесс сезонного промерзания (оттаивания) только в год исследований и в следующем году  $\xi$  может существенно измениться. Поэтому при изучении  $\xi$  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  $\xi$  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  $\xi$  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  $\xi$  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.