

Лекция 6

6 Состав мерзлых дисперсных пород

Горные породы в мерзлом состоянии представляют собой сложные по составу и строению природные тела. Особой сложностью отличаются породы без жестких связей, являющиеся многокомпонентными и многофазными системами, в которые входят следующие основные составляющие:

- 1) скелет (минеральный, органо-минеральный и органический);
- 2) твердая фаза воды (лед и кристаллогидраты или цеолиты);
- 3) жидкая фаза воды (связанная вода и растворы солей);
- 4) газообразная составляющая (пар и газы).

6.1 Скелет мерзлых дисперсных пород

Скелет мерзлых дисперсных пород в большинстве случаев состоит из минеральных частиц (в подпочвенной части), из органо-минеральных (в почвах) и реже из органических частиц (биогенные породы - торф). Однако последние в том или ином количестве содержат минеральные примеси. Физические и физико-механические свойства мерзлых дисперсных пород в большей степени зависят от некоторых морфологических особенностей и вещественного состава скелета: 1) от степени дисперсности, т. е. от величины удельной поверхности частиц скелета; 2) от минерального и химического состава скелета, особенно коллоидной его части; 3) от формы и взаимного расположения частиц скелета, т. е. сложения.

Величина удельной поверхности частиц в первую очередь влияет на количество в мерзлых породах незамерзшей воды (w_n), а последняя, в свою очередь, во многом определяет мерзлотно-инженерно-геологические особенности мерзлых дисперсных пород.

Минеральный и химический состав породы является признаком, определяющим ее инженерно-геологические и мерзлотные особенности,, которые не в меньшей степени зависят также и от дисперсности породы. Крупнообломочные разновидности (псефиты) в большинстве своем состоят из обломков, удельная поверхность которых мала, поэтому и физико-химические процессы в этих породах малоинтенсивны. Если эти породы в природных условиях содержат воду, то она относится к категории свободной и при отрицательной температуре уже вблизи 0°С вся переходит в твердую фазу. Подгруппа песчаных пород (псаммитов) часто состоит из обломков первичных минералов, наиболее стойких к выветриванию. Обычно это кварц, реже - полевые шпаты и слюды. Мелкие пески частично содержат капиллярную воду, которая замерзает при температуре не ниже -0,2°С. Из этого можно заключить, что удельная поверхность песчаных пород весьма невелика и малоактивна; физико-химические явления, в частности адсорбция, в них выражены слабо. Поэтому в мерзлом состоянии они почти не содержат незамерзшую воду.

Влияние различных первичных и вторичных минералов на свойства пород известно из грунтоведения. Так, наибольшей пористостью из первичных минералов при прочих равных условиях (одинаковый размер частиц и др.) обладает слюда, наименьшей — окатанный кварц; большей водопроницаемостью - окатанные зерна кварца, наименьшей - пластинчатые частицы слюды; более высокое капиллярное поднятие - у слюды, у других минералов высота капиллярного поднятия почти одинакова и увеличивается с уменьшением размера гранулометрических элементов.

Тонкодисперсные породы (алевропелиты), которые содержат в своем составе значительное количество частиц меньше 0,01 мм, в основном состоят из вторичных минералов - продуктов химического выветривания первичных минералов. Вторичные нерастворимые, так называемые

глинистые минералы представляют собой водные силикаты и алюмосиликаты. Они обладают большой удельной поверхностью, большим потенциалом свободной поверхностной энергии. Обычно выделяют три основные группы глинистых минералов: каолинита, монтмориллонита и гидрослюд. Глинистые минералы обладают большой гидрофильностью, особенно группа монтмориллонита, а поэтому, имея высокий потенциал свободной поверхностной энергии, глинистые частицы на своей поверхности адсорбируют большое количество воды, которая не замерзает при довольно низких отрицательных температурах (до -10°C и ниже). По этой причине горные породы, содержащие глинистые частицы, обладают некоторой пластичностью и в мерзлом состоянии.

Форма и взаимное расположение частиц скелета существенно влияют на физические и механические свойства мерзлых дисперсных пород. От формы частиц скелета зависит величина контактных усилий между минеральными частицами, возникающих под действием внешней нагрузки. При угловатой и плоской форме минеральных частиц эти усилия будут различны. Отсюда и реологические свойства мерзлых пород, содержащих лед между частицами, будут различны. Если частицы или отдельные скелета контактируют между собой и сцементированы льдом, то показатели прочностных свойств породы будут высокими. Если же отдельные скелета раздвинуты льдом, то прочностные свойства мерзлой породы по существу будут определяться способностью льда сопротивляться воздействию внешних сил при данной температуре.

6.2 Твердая фаза воды - лед

Лед, как составляющая мерзлых осадочных пород без жестких связей, независимо от его происхождения, размеров, формы и условий залегания

называется подземным. Группа льдов, формирующихся в горных породах, состоит из четырех основных групп.

Погребенный лед образуется при погребении снежников, наледей, речных, морских и озерных льдов, глетчеров и т. д. Он встречается реже остальных видов подземного льда и обнаруживается в виде крупных залежей различной формы и мощности, достигающих десятки метров.

Повторно-жильный лед образуется при многократном заполнении водой или снегом морозобойных трещин, имеет клиновидную или столбчатую форму в поперечном разрезе. Размеры жил по вертикали составляют от десятков сантиметров до 3-5 десятков метров, реже - более, по горизонтали в верхней части - до 8-10 м и более.

Инъекционный лед образуется при замерзании грунтовой воды, внедрившейся в толщу мерзлых дисперсных пород под напором. Он встречается в виде пластов и «интрузий» на различных глубинах многолетнемерзлой толщи. Размеры залежей инъекционного льда составляют от долей метра до нескольких десятков метров.

Конституционный лед образуется при замерзании влажных дисперсных пород и может быть представлен в них в виде скрытого (латентного), невидимого невооруженным глазом льда и видимого (эвидентного), залегающего в форме включений, прослоек, линз и т. д. Нередко конституционный лед, если мощность его не превышает 0,5 м, называют обобщенным термином «текстурообразующий лед», поскольку он является основным элементом, формирующим текстуру мерзлой породы. Конституционный лед большей мощности относится к залежеобразующим.

По условиям и способу образования конституционный лед подразделяется на: а) лед-цемент, образующийся при замерзании воды в породе грунта; б) сегрегационный или миграционный лед, образующийся при замерзании воды, мигрирующей к фронту промерзания; в) десуб-

лимационный лед, образующийся в результате конденсации и кристаллизации водяных паров на охлажденных поверхностях грунта, т. е. в результате миграции воды в форме пара; г) инфильтрационный лед, образующийся в результате замерзания свободной гравитационной воды, скапливающейся на мерзлом водоупоре.

Существуют подземные льды смешанного происхождения, такие, как десублимационно-сегрегационные, инфильтрационно-сегрегационные и др.

Структура льда и воды. Лед является кристаллическим веществом. Аморфного льда в природных условиях, по-видимому, нет, а получен он был путем конденсации водяных паров при температуре ниже -120°C . С повышением температуры до -70°C этот лед переходит в обыкновенный кристаллический. В природных условиях существует лед I с плотностью $0,9168 \text{ г/см}^3$.

Несмотря на некоторую условность понятия «свободная вода», представления о ее строении позволяют объяснить особенности фазовых переходов и наблюдаемых изменений некоторых ее свойств под воздействием активной поверхности частиц породы. Иначе говоря, структура, фазовые переходы и свойства свободной воды служат как бы эталоном при установлении физических особенностей связанной воды.

Структура воды в жидкой и твердой фазах находится в полной зависимости от строения ее молекулы. В молекуле воды (H_2O) три ядра расположены в углах равнобедренного треугольника (рис. 1). В основании треугольника лежат два протона (ядра H), а в вершине — ядро кислорода (O). В молекуле водяного пара расстояния O-H и H-H равны соответственно $0,9568$ и $1,54 \text{ \AA}$, а угол HOH близок к тетраэдрическому и равен $105^{\circ}3'$. В молекуле льда указанные параметры имеют несколько иные величины: расстояние O-H равно $0,99 \text{ \AA}$, а угол HOH, по-видимому, также соответствует тетраэдрическому ($109^{\circ}5'$). Три ядра молекулы воды

окружены десятью электронами: два из них вращаются около ядра кислорода, восемь остальных движутся попарно по четырем эллиптическим орбитам.

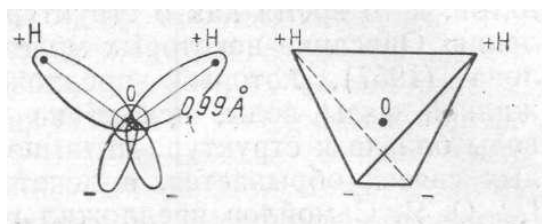


Рис. 1 Модель молекулы воды H_2O

Оси двух из них расположены вдоль связей О-Н, образуя угол $105^{\circ}3'$. Большие оси двух других эллиптических орбит лежат в плоскости, проходящей через центр тяжести треугольника НОН и ядро кислорода и перпендикулярной плоскости π np. Угол между осями указанных орбит также тетраэдрический. Электроны, движущиеся по этим орбитам, образуют так называемые уединенные (неподеленные) пары. Из этого следует, что оси четырех вытянутых эллиптических орбит направлены в вершины тетраэдра, центр которого совпадает с центром молекулы воды. Молекула воды дипольна. Она имеет в периферической части четыре заряда - два положительных и два отрицательных. Положительные заряды связаны с протонами (ядрами Н), находящимися внутри первых двух орбит. С уединенными парами электронов, расположенными в противоположной от протонов части молекулы воды, связаны два полюса отрицательных зарядов.

Структура льда и воды обусловлена природой водородных связей, существующих между их молекулами. Вода представляет собой вещество, в котором наиболее ярко проявляются водородные связи. Дело в том, что молекулы воды имеют в своем составе две неподеленные или необобщенные электронные пары и два водородных атома. Следовательно,

каждая молекула воды может образовать, по Полингу (1964), четыре водородные связи.

По современным представлениям тетраэдрические молекулы воды в структуре льда, в свою очередь, образуют агрегаты-тетраэдры. При этом каждая молекула, являясь центральной (или выбранной) по отношению к другим, окружена четырьмя ближайшими к ней молекулами, расположенными в вершинах тетраэдра. Координационное число (число атомов или молекул, непосредственно присоединенных к данному центральному атому или центральной — выбранной — молекуле) в структуре льда равно четырем. Расстояние между ближайшими центрами молекул равно 2,76 А. Структура, в которой каждая молекула окружена только четырьмя ближайшими молекулами, имеет много пустот (структурных разрежений), размеры которых даже несколько больше самих молекул. Поэтому структура льда весьма рыхлая, ажурная: пустоты в структуре льда, ограниченные шестью молекулами, представляют собой невыпуклые шестиугольники (рис. 2). Эти пустоты (или структурные разрежения) образуют каналы как результат чередующихся друг с другом колец, состоящих из шести молекул H_2O . Молекулы в кольце располагаются поочередно по обе стороны от плоскости, проходящей через центр симметрии кольца и перпендикулярной оси канала, на расстоянии 0,46 А от этой плоскости.

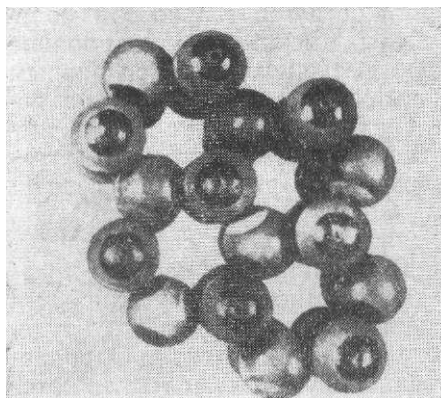


Рис. 2 Модель структуры льда, вид сверху

В структуре льда молекулы H_2O располагаются слоями: каждая молекула связана с тремя молекулами из своего ряда и с одной молекулой из соседнего ряда. Описанная структура льда является общепринятой, в то время как о структуре воды имеются различные представления. Описание некоторых моделей приведено в работе О. Я. Самойлова (1957), который предложил структурно-однородную модель жидкой фазы воды, исходя из утверждения, что структура жидкой воды близка к структуре льда, но в процессе плавления часть водородных связей обрывается, а некоторая часть из них «искривляется».

О. Я. Самойлов предложил различать в жидкой фазе воды ближнюю упорядоченность молекул. Таким образом, он допускает, что в воде молекулы расположены в непосредственной близости друг от друга, как в каркасе льда, но эта упорядоченность слегка нарушена тепловым движением частиц. При плавлении льда, когда он переходит в жидкую фазу, возникает массовое трансляционное движение молекул воды, т. е. колебания атомов или молекул около некоторого временного положения равновесия, которое во многих случаях заканчивается скачком в соседнее положение равновесия. Это вид теплового движения, в результате которого частицы жидкости, сойдя со своего положения равновесия, попадают в соседние пустоты структуры. При этом каждая из молекул известное время задерживается в пустоте, тем самым увеличивая координационное число молекул до пяти. Одновременно с этим молекула, ушедшая из своего положения равновесия, оставляет там локальное разрежение, около которого остается только три молекулы, т. е. на «прежнем» месте молекулы имеют координационное число «три». В итоге среднее координационное число остается равным четырем. Однако установлено, что с повышением температуры, в результате попадания молекул в пустоты, среднее координационное число возрастает. Это происходит, по-видимому, потому,

что часть агрегатов молекул с координационным числом «три» распадается совсем, пополняя поток транслирующих молекул.

Все сказанное дает основание объяснить аномалии свойств воды. В частности, увеличение плотности при плавлении льда связано с заполнением пустот структуры. С повышением температуры усиливается колебание молекул около своего положения равновесия в структуре, что приводит к увеличению эффективного радиуса молекул. Одновременно с этим все больше становится транслирующих молекул, которые чаще попадают в пустоты структуры. Первое обстоятельство приводит к увеличению объема, второе - к уплотнению. В пределах температуры от 0 до 4°С сочетание указанных противоположных тенденций способствует увеличению плотности воды с максимумом при 4°С. Дальнейшее повышение температуры вызывает уменьшение плотности воды.

6.3 Жидкая фаза воды в мерзлых дисперсных породах

Категории воды. Жидкая фаза воды в горных породах, в том числе и в мерзлых, является наиболее динамичным и поэтому важным компонентом, воздействующим на все их свойства. Главными факторами,, определяющими количество жидкой фазы воды в мерзлых дисперсных породах, являются: 1) природа минерального скелета (минеральный состав глинистой и коллоидной частей скелета, величина поглощающего комплекса и обменные катионы); 2) дисперсность пород и величина удельной поверхности частиц; 3) количество растворимых соединений; 4) внешние воздействия (давление и температура).

В дисперсных породах вода находится во взаимодействии с частицами скелета, обладающими свободной поверхностной энергией, или с ионами растворенных в ней солей. Взаимодействие воды с ионами и активной поверхностью частиц скелета понижает точку ее замерзания,

вследствие чего в мерзлых породах почти всегда содержится определенное количество незамерзшей воды. В большинстве случаев влага в породах представляет собой весьма слабый раствор солей, поэтому жидкое состояние воды при отрицательных температурах обусловлено главным образом физико-химическим взаимодействием молекул воды с частицами пород.

По величине энергии связи молекул воды с частицами породы и фазовому состоянию выделяются следующие категории воды в породах (Сергеев и др., 1973):

- I - вода в форме пара;
- II - связанная вода;
- III - свободная вода;
- IV - вода в твердом состоянии;
- V - кристаллизационная и химически связанная вода.

Детальному описанию каждой категории воды, содержащейся в дисперсных породах, посвящен ряд работ (А. Ф. Лебедев, 1936; В. А. Прикладной, 1955; А. А. Роде, 1965; Е. М. Сергеев и др., 1973; и др.). Здесь лишь кратко охарактеризуем категории влаги, входящие в состав жидкой фазы воды мерзлых горных пород.

Незамерзшая вода в породах представляет собой: 1) связанную- воду и 2) отчасти переохлажденную свободную (капиллярную) воду при температурах, близких к 0°. Связанная вода по вышеприведенной классификации подразделяется на прочносвязанную и рыхлосвязанную.

Прочносвязанная вода — это гигроскопическая вода, а максимальное количество ее соответствует максимальной гигроскопичности (Сергеев и др., 1973). Прочносвязанная вода адсорбируется на поверхности частиц породы в результате: а) образования водородных связей между молекулами воды и атомом кислорода, входящим в состав поверхностного слоя частиц; б) гидратации обменных катионов: поглощающего комплекса породы.

Многими исследователями утверждается, что прочносвязанная вода испытывает большое давление молекулярного силового поля, а поэтому она имеет плотность порядка 1,28—2,45 г/см³, меньшую упругость пара; диэлектрическая проницаемость ее почти в сорок раз меньше, чем свободной воды; она лишена способности растворять электролиты и т. п. Самое же главное заключается в том, что прочносвязанная вода замерзает при очень низкой температуре. Так, по данным Буюкоса, она замерзает при -78° , а по А. В. Раковскому, в тонких коллоидных пленках - лишь при -180° С. Данные Т. А. Литвиновой (1961) свидетельствуют о том, что в зависимости от минерального состава пород прочносвязанная вода замерзает при температурах от -10 до -70° . При $-193,8^{\circ}$ С вся вода в дисперсных породах находится в твердой фазе.

Рыхлосвязанная вода по своим свойствам мало отличается от свободной. Например, плотность ее близка к плотности свободной воды, однако она проявляет пониженную способность к растворению электролитов, а также имеет несколько повышенную вязкость. В пустотах и порах дисперсных пород она передвигается значительно медленнее, чем капиллярная вода. Рыхлосвязанная вода замерзает в зависимости от минерального скелета породы при температурах от $-1,5$ до -10° С. Рыхлосвязанная вода подразделяется на вторично ориентированную воду полислоев и осмотическую воду (Сергеев и др., 1973). Прочносвязанная вода и ориентированная вода полислоев в сумме дают количество влаги, удерживаемое в породе, которое соответствует влажности максимальной молекулярной влагоемкости (по А. Ф. Лебедеву) .

Свободная вода. Все природные воды по своему существу являются растворами различной степени концентрации, т. е. всегда какое-либо количество молекул воды связано с растворенными в ней ионами. Более или менее чистая свободная вода в некоторых случаях легко переохлаждается, т. е. не переходит в твердую фазу при температуре ниже

точки ее замерзания. Некоторым исследователям удавалось переохладить хорошо очищенную воду до температуры -30° , а в малых объемах (мелких капиллярах) даже до -72°C (Боженова, 1953). Это происходит потому, что на поверхности раздела двух фаз всегда имеется свободная энергия, которая задерживает фазовые переходы (Шумский, 1955). Чтобы возник зародыш новой фазы, нужно затратить работу на создание свободной поверхностной энергии зародыша, т. е. должно произойти преодоление определенного энергетического барьера. Особенно легко переохлаждается вода в малых объемах, так как в них содержится мало инородных тел - ядер кристаллизации. Кроме этого, чем меньше объем, тем больше удельная поверхность и тем больше поверхностная энергия, создающая энергетический барьер на пути возникновения центра кристаллизации.

Особенно легко переохлаждаются отдельные капли воды, причем их самопроизвольное замерзание наступает тем труднее, чем они меньше. Так, при диаметре от 1 мм до 1 мкм температура замерзания водяных капель лежит в пределах от -24 до -38°C . Поэтому облака даже при низких температурах состоят обычно из капелек воды, а не из частиц льда. Существование переохлажденной воды в атмосфере вызывает обледенение самолетов в облаках. При выпадении переохлажденных капель на холодную поверхность земли образуется гололед.

Условия кристаллизации воды в порах дисперсных образований отличаются от условий ее кристаллизации в сосудах и водоемах. Частицы дисперсных пород, являясь центрами кристаллизации, препятствуют переохлаждению содержащейся в них воды. Однако некоторое переохлаждение все же имеет место. Так, в опытах А. П. Боженовой (1953) наблюдалось переохлаждение свободной воды в песках до $-3,49$, а в суглинке до $-3,32^{\circ}$, из чего следует, что чем интенсивнее охлаждение, тем выше температура переохлаждения воды и, наоборот, при постепенном

(медленном) охлаждении температура переохлаждения ниже и вода в переохлажденном состоянии находится более длительное время.

Растворенные в воде соли вызывают температурную депрессию, степень которой зависит от концентрации раствора, т. е. чем концентрированнее раствор, тем при более низкой температуре он замерзает. В природных условиях, если почвенная и грунтовая влага представляет собой водные растворы электролитов, она входит в состав незамерзшей воды мерзлых дисперсных пород.

Влияние внешних воздействий (давления или нагрузки на мерзлую породу, температурные изменения) на количество незамерзшей воды в породах весьма существенно. Так, даже при незначительных внешних нагрузках на мерзлую дисперсную породу усилия, возникающие в точках контакта частиц, особенно угловатых, достигают величин в несколько сотен МПа. Известно, что при увеличении давления на 0,1 МПа температура плавления льда понижается на $0,0073^{\circ}\text{C}$. Таким образом, контактный лед, расположенный между частицами, испытывая колоссальные давления, превращается в жидкую фазу. Действительно, если в местах контакта давление достигнет 1000 МПа, точка плавления льда понизится примерно на 73° , т. е. при любой отрицательной температуре, наблюдаемой в природе, в местах контактов вода будет находиться в жидкой фазе.

Влияние температуры на количество незамерзшей воды проявляется в том, что фазовый состав воды в мерзлых породах находится в термодинамическом равновесии, т. е. каждой температурной ступени ниже 0°C соответствует определенное количество пара, жидкой фазы воды и льда. Однако абсолютное количество льда зависит не только от температуры, но и от исходной влажности породы. При повышении температуры в пределах ее отрицательных значений часть льда переходит в жидкость, а часть жидкости в пар. Если весь лед перейдет в жидкую фазу, то монолитномерзлая

порода может стать пластичномерзлой, т. е. без кристаллов льда при отрицательной температуре. С понижением температуры будет наблюдаться обратная зависимость: часть пара сконденсируется в жидкую фазу, а жидкая фаза частично перейдет в лед. В последнем случае пластичномерзлая порода может перейти в монолитномерзлую.

При изменении отрицательной температуры интенсивность фазовых переходов воды в породах не одинакова для различных диапазонов температуры. П. А. Цытович выделяет три области фазовых переходов воды: 1) область интенсивных фазовых переходов, в которой изменение количества незамерзшей воды на 1°C составляет 1% и более (на сухую навеску); 2) переходная область, где изменение количества незамерзшей воды с изменением температуры на 1°C колеблется в пределах от 0,1 до 1%, 3) область практически замерзшего состояния, в пределах которой количество переходящей в лед воды с изменением температуры на 1°C не превышает 0,1%.

Границы областей фазовых переходов зависят от дисперсности мерзлых пород (рис. 3).

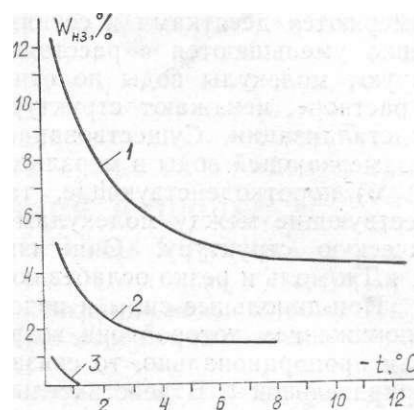


Рис. 3 Зависимость содержания незамерзшей воды от температуры: 1 — тяжелый пылеватый суглинок 2 — супесь; 3 — песок

Для супесей в первой области при t от 0 до -3° замерзает вся свободная и часть рыхлосвязанной воды; во второй области при t от -3 до

-10° замерзает вся рыхлосвязанная вода; третья область соответствует содержанию в дисперсной мерзлой породе только прочносвязанной воды. Для песчаных грунтов первая область ограничивается температурой от 0 до -0,2°, для тяжелых суглинков и глин эта область расположена в интервале температур от 0 до -7°С и ниже.

Причиной, приводящей к понижению точки замерзания связанной воды и растворов, можно считать воздействие на молекулы воды активных центров твердой поверхности частиц породы и ионов раствора, которые искажают нормальную структуру воды. Искажение структуры воды, ориентированной на поверхности частиц породы и около ионов раствора, является кинетическим препятствием для ее кристаллизации (Ананян, 1961). В системе «вода — тонкодисперсная горная порода» существуют силы, обуславливающие физическое состояние и структурные особенности воды в породе. К ним относятся:

а) дальнедействующие, или нон-дипольные, силы, возникающие между активными центрами поверхности частиц породы и ионами электролита, с одной стороны, и молекулами воды—с другой. Эти силы измеряются десятками и сотнями кДж/моль воды. Однако они постепенно уменьшаются с расстоянием. Дальнедействующие силы ориентируют молекулы воды по отношению к активным центрам и ионам в растворе, искажают структуру воды и тем самым препятствуют ее кристаллизации. Существование связанной воды в талых породах и незамерзающей воды в мерзлых обусловлено этими силами;

б) короткодействующие, так называемые водородные связи, существующие между молекулами воды и группирующие их в тетраэдрическую структуру. Они измеряются величиной не более 18,9-21 кДж/моль и резко ослабевают с расстоянием.

Ион-дипольные силы и водородные связи существенно зависят от t , с понижением которой они возрастают. Если <бы обе эти силы возрастали

пропорционально, то связанная вода не замерзала бы при любой отрицательной t . В действительности же установлено', что при понижении t водородные связи возрастают интенсивнее, чем ион-дипольные, т. е. возрастание эффекта искажения структуры воды на поверхности раздела двух сред с понижением t «отстает» от роста эффекта ее восстановления. Поэтому менее ориентированные молекулы воды выходят из-под влияния поверхности частиц породы и группируются в структуру льда. При повышении t в пределах отрицательных ее значений лед, образовавшийся из части связанной воды, вновь переходит в незамерзшую воду. Аналогичное явление наблюдается и в почвенно-грунтовых растворах, где ориентирующее влияние на молекулы воды оказывают ионы растворенных солей.

3.4 Газообразная составляющая в мерзлых дисперсных породах

Газообразная составляющая в мерзлых грунтах находится в свободном, адсорбированном и замкнутом (защемленном) состояниях и всегда имеет относительную влажность, близкую к 100%. Количество свободных газов в дисперсной породе определяется пористостью и влажностью породы. Вода и газы в почве являются антагонистами и стремятся вытеснить друг друга. Адсорбированные газы удерживаются поверхностью частиц породы. Количество их зависит от минерального состава пород, от их дисперсности и пористости, от количества содержащихся в них органических соединений. Замкнутые, или защемленные, газы заполняют микропоры дисперсных пород и удаляются из породы с большим трудом. Защемление газов может происходить в процессе литогенеза вообще, а также при выпадении атмосферных осадков, при поливе, при замерзании породы. Нередко защемление воздуха наблюдается в дорожных насыпях. Капиллярная вода снизу и гравитационно-капиллярная сверху и со стороны

откосов, вытесняя воздух, способствуют образованию больших его объемов. Прорыв воздуха в слабом месте замыкающей оболочки приводит иногда к местному разрушению дорожного полотна. Замечено, что такие разрушения наблюдаются в весенний период, после оттаивания дорожной насыпи, и что различного рода земляные - сооружения уплотняются (укатываются) лучше весной, чем в другие сезоны года.

ГОСТ Грунты классификация 25100-2016

Таблица 3 - Мерзлые грунты

Класс	Подкласс	Тип	Подтип	Вид	Подвид	Разновидности
Мерзлые	Скальные мерзлые	Природные промерзшие	Интрузивные, эффузивные, метаморфические, осадочные, вулканогенно-осадочные, элювиальные	Все виды скальных грунтов	Все подвиды скальных грунтов	Выделяют в соответствии с разделом Б.3 приложения Б
		Техногенные замороженные и мерзлые	Природные грунты, техногенно измененные в условиях естественного залегания	Все виды техногенно измененных природных скальных грунтов	Все подвиды техногенно измененных природных скальных грунтов	
	Дисперсные мерзлые	Природные промерзшие	Осадочные, вулканогенно-осадочные, элювиальные	Все виды дисперсных грунтов	Все подвиды дисперсных грунтов	
		Техногенные замороженные и мерзлые	Природные грунты, техногенно измененные в условиях естественного залегания. Техногенно перемещенные природные мерзлые грунты. Антропогенные замороженные и мерзлые грунты	Все виды техногенно измененных природных дисперсных грунтов	Все подвиды техногенно измененных природных дисперсных грунтов	
	Ледяные	Льды конституционные: внутригрунтовые, погребенные, пещерно-жильные	Сегрегационные, инъекционные, ледниковые, наледные, речные, озерные, морские, донные, инфильтрационные, жильные, повторно-жильные, пещерные	Льды. Ледогрунты	Льды разного состава. Ледогрунты разного состава	
		Техногенные - ледяные искусственные	Антропогенные замороженные льды	Все виды замороженных льдов	Все подвиды искусственных льдов разного состава	

А.12 Льдистость грунта за счет видимых ледяных включений i_i , д.е.; определяют по формуле

$$i_i = \frac{\rho_s (w_{tot} - w_m)}{\rho_i + \rho_s (w_{tot} - 0,1w_w)},$$

где w_{tot} - суммарная влажность мерзлого грунта, д.е. (см. [ГОСТ 5180](#));

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.;

ρ_s - плотность частиц грунта, г/см (см. [ГОСТ 5180](#));

ρ_i - плотность льда, принимаемая равной 0,9 г/см .

A.24 Степень заполнения пор льдом и незамерзшей водой S_r , д.е.; определяют по формуле

$$S_r = \frac{(1,1w_{ic} + w_w)\rho_s}{e_f \rho_w}, \quad (A.12)$$

где w_{ic} - влажность мерзлого грунта, рассчитанная по содержанию порового льда, цементирующего минеральные частицы (лед-цемент), д.е., определяемая по формуле $w_{ic} = w_m - w_w$;

w_w - влажность мерзлого грунта, рассчитанная по содержанию незамерзшей воды при отрицательной температуре, д.е.;

w_m - влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями, д.е.;

ρ_s - плотность частиц грунта, г/см (см. [ГОСТ 5180](#));

e_f - коэффициент пористости мерзлого грунта;

ρ_w - плотность воды, принимаемая равной 1, г/см .

A.30 Суммарная льдистость мерзлого грунта i_{tot} , д.е.; определяют по формуле

$$i_{tot} = i_i + i_{ic} = \frac{\rho_f (w_{tot} - w_w)}{\rho_i (1 + w_{tot})}, \quad (A.16)$$

где i_i - кдистость грунта за счет видимых ледяных включений ;

i_{ic} - льдистость грунта за счет льда-цемента (порового льда), д.е.;

w_{tot} - суммарная влажность мерзлого грунта, д.е. (см. [ГОСТ 5180](#));

ρ_i - плотность льда, принимаемая равной 0,9 г/см³ ;

ρ_f - плотность мерзлого грунта, г/см³ (см. [ГОСТ 5180](#));

w_w - влажность мерзлого грунта за счет незамерзшей воды, д.е.

Б.2.19 По степени морозной пучинистости (см. [ГОСТ 28622](#)) дисперсные грунты подразделяют в соответствии с таблицей Б.27*.

Таблица Б.27

Разновидность грунтов	Степень пучинистости , %
Непучинистый	$\varepsilon_{fh} < 1,0$
Слабопучинистый	$1,0 \leq \varepsilon_{fh} \leq 3,5$
Среднепучинистый	$3,5 < \varepsilon_{fh} \leq 7,0$
Сильнопучинистый	$7,0 < \varepsilon_{fh} \leq 10,0$
Чрезмерно пучинистый	$\varepsilon_{fh} > 10,0$

* Применяют также для класса мерзлых грунтов.

Б.3 Разновидности мерзлых грунтов

Б.3.1 По температуре грунты подразделяют на разновидности в соответствии с таблицей Б.28.

Таблица Б.28

Разновидность грунтов	Температура грунтов , °C
Немерзлый (талый)	0
Охлажденный	$0 > T \geq T_{bf}$
Мерзлый	$T < T_{bf}$
Морозный	0
Сыпучемерзлый*	0

* Для грунтов с суммарной влажностью $w_{tot} \leq 3\%$.

Б.3.2 По льдистости скальные, полускальные и дисперсные мерзлые грунты подразделяют на разновидности в соответствии с таблицами Б.29-Б.31.

Таблица Б.29

Разновидность скальных и полускальных мерзлых грунтов	Льдистость за счет видимых ледяных включений, д.е.
Слабольшедистый	0,01
Льдистый	$0,01 < i_i \leq 0,05$
Сильнольдистый	0,05

Таблица Б.30

Разновидность дисперсных мерзлых грунтов	Льдистость за счет видимых ледяных включений, д.е.
Нельдистый	0,03
Слабольшедистый	$0,03 < i_i \leq 0,20$
Льдистый	$0,20 < i_i \leq 0,40$
Сильнольдистый	$0,40 < i_i \leq 0,60$
Очень сильнольдистый	$0,60 < i_i \leq 0,90$

Таблица Б.31

Разновидность песчаных грунтов	Суммарная льдистость, д.е.
Слабольшедистые	0,40
Льдистые	$0,40 < i_{tot} \leq 0,60$
Сильнольдистые	0,60

3.3 По состоянию незасоленные мерзлые грунты подразделяют на разновидности в соответствии с таблицей Б.32.

Таблица Б.32

Грунты	Разновидность грунта		
	Твердомерзлый ($m_{vf} \leq 0,01$ МПа) при $T < T_h, ^\circ\text{C}$	Пластичномерзлый ($m_{vf} > 0,01$ МПа) при $T, ^\circ\text{C}$	Сыпучемерзлый при $T, ^\circ\text{C}$
Скальные и полускальные	0	-	-
Крупнообломочные	0	$T_h < T < T_{bf}$ при 0,8	При 0,15

Пески гравелистые, крупные и средней крупности	-0,1		
Пески мелкие и пылеватые	-0,3		
Глинистые грунты: - супесь - суглинок - глина	-0,6 -1,0 -1,5	$T_h < T < T_{bf}$	При 0,15
Примечание - - температурная граница твердомерзлого состояния грунта; - температура грунта.			

Б.3.4 Мерзлые грунты с континентальным типом засоления (сульфатный тип засоления) относят к засоленным при степени засоленности , %:

- для песков 0,10%;
- для супесей 0,15%;
- для суглинков 0,20%;
- для глин 0,25%.

Б.3.5 По степени засоленности , %, мерзлые грунты с морским типом засоления легкорастворимыми солями (хлоридный тип засоления) подразделяют на разновидности в соответствии с таблицей Б.33.

Таблица Б.33

Разновидность грунтов	Степень засоленности легкорастворимыми солями , %		
	Пески	Супеси	Суглинки и глины
Незасоленные	$D_{sal} < 0,05$	$D_{sal} < 0,15$	$D_{sal} < 0,20$
Слабозасоленные	$0,05 \leq D_{sal} < 0,15$	$0,15 \leq D_{sal} < 0,35$	$0,20 \leq D_{sal} < 0,40$
Среднезасоленные	$0,15 \leq D_{sal} < 0,30$	$0,35 \leq D_{sal} < 0,60$	$0,40 \leq D_{sal} < 0,80$
Сильнозасоленные	$D_{sal} \geq 0,30$	$D_{sal} \geq 0,60$	$D_{sal} \geq 0,80$

Б.3.6 По типам криогенных текстур мерзлые грунты подразделяют в соответствии с таблицей Б.34.

Таблица Б.34

Грунты	Тип криогенной текстуры
Скальные и полускальные	Трещинная, пластовая, полостная, жильная, массивная
Крупнообломочные	Массивная, порфириовидная, корковая, базальная
Песчаные	Массивная, слоистая, порфириовидная, сетчатая, базальная
Глинистые	Массивная, сетчатая, слоистая, атакситовая, порфириовидная, линзовидная
Заторфованные	Порфириовидная, слоистая, сетчатая, атакситовая, линзовидная

