ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЛЬДОВ И КРИОГЕННОГО СТРОЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

МОСКВА - 1969

gost.e-ecolog.ru

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЛЬДОВ И КРИОГЕННОГО СТРОЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

МОСКВА - 1969

УДК 551-525.5 + 624.139

Даются рекомендации по методике полевых исследований подземных льдов, образующих как крупные скопления, так и мелкие - текстурообразующие, рекомендации по методике изучения криогенного строения многолетнемерзлых пород в целом. Приводятся рекомендации по определению макрольдистости многолетнемерзлых грунтов за счет повторножильных льдов, дается общая схема описания и отображения в материалах результатов исследований криогенного строения многолетнемерзлых грунтов.

В приложениях даны рабочие классификации: подземного льда криогенного строения и криогенных текстур, карты распространения на территории СССР повторножильного и инъекционного льдов, таблицы текстурных и структурных признаков различных типов подземного льда, образец геокриологического разреза и специальные условные обозначения к нему.

Рекомендации утверждены геокриологической секцией ученого совета Производственного и научно-исследовательского института по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя СССР.

Редакционная коллегия:

д-р геогр.наук Н.А. Гравe (председатель)
д-р геогр.наук И.Я. Баранов
канд.геол.-минерал.наук С.П. Абрамов

ПРЕДИСЛОВИЕ

В задачу инженерно-геологических изысканий в области распространения многолетнемерзлых грунтов входит определение характера и степени их льдистости. Для рациональной постановки изысканий необходимы специальные геокриологические исследования с целью выяснения происхождения льда в грунтах, так как каждый вид льда имеет свои закономерности распространения, форму, размеры и строение, знание которых существенно облегчает процесс изысканий.

Лед является именно тем компонентом мерзлого грунта, который определяет большую изменчивость его прочностных свойств при переходе температуры через ноль градусов.

В предлагаемых рекомендациях очень кратко рассматриваются вопросы изучения подземных льдов и криогенного строения многолетнемерзлых пород в поле. Они не являются строгой инструкцией по производству полевых исследований. Рекомендации - один из документов, позволяющих изыскателю правильно ориентироваться в выборе методов изучения подземных льдов и способах отражения их в материалах изысканий. Для исследователей, желающих более подробно ознакомиться с вопросами методики исследований, механизма формирования и строения подземных льдов, в соответствующих местах сделаны ссылки на специальные работы, а в конце рекомендаций приводится список основной рекомендуемой справочной и методической литературы.

Рекомендации составлены в Производственном и научно-исследовательском институте по инженерным изысканиям в строительстве Госстроя СССР Б.И. Втюриным.

I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ

I.01. Лед, содержащийся в грунте, называется п о д з е м н ы м. Основные свойства мерзлых грунтов определяются количеством и особенностями распределения в них льда. В мерзлом грунте лед содержится либо в виде прослоек, прожилок, линз, гнезд и т.п., либо в виде крупных скоплений, представляющих собой мономинеральную породу.

I.02. Подземные льды по месту и способу образования делятся на внутригрунтовые, образовавшиеся в грунте в процессе его промерзания (первичные) или после промерзания (вторичные), и первично-поверхностные - погребенные, образовавшиеся на поверхности и впоследствии захороненные (Приложение I).

I.03. Первичный внутригрунтовый лед (цементный, цементационный, инъекционный и отчасти жильный) формируется в основном в результате кристаллизации внутригрунтовых вод. Вторичный внутригрунтовый лед (жильный, повторножильный, пещерный) представляет собой продукт кристаллизации поверхностных вод и водяных паров в трещинах и пустотах мерзлых грунтов.

Погребенные льды по составу, строению и месту их образования делятся на снежный, ледниковый, наледный, озерный, речной, морской и подводный.

I.04. Первичные внутригрунтовые льды могут быть представлены как в виде породообразующего минерала полиминеральных мерзлых грунтов, так и мономинеральной горной породой в форме крупных пластовых залежей (сегрегационный и инъекционный лед). Эти льды присущи любому мерзлому грунту, рыхлому до промерзания, и составляют преобладающую часть подземного льда в природе. Они

поддаются количественному учету при полевых исследованиях.

Вторичные внутригрунтовые льды могут быть породообразующим минералом мерзлых грунтов (жильный лед) и мономинеральной горной породой (повторножильный лед), образующей обычно закономерные системы ледяных тел, поддающихся количественному учету на значительных площадях, непосредственно при полевых исследованиях.

Пещерные льды встречаются очень редко, только в специфических условиях, и представляют лишь некоторый практический интерес.

Погребенные льды встречаются спорадически преимущественно в сингенетических многолетнемерзлых грунтах в специфических условиях. Они могут образовывать наиболее крупные скопления, но составляют наименьшую часть подземного льда в природе, и практическое значение их небольшое.

I.05. Первичные и частично вторичные внутригрунтовые льды образуют специфические криогенные текстуры, поэтому называются текстурообразующими.

К р и о г е н н а я т е к с т у р а – это особое строение мерзлой породы, создаваемое взаиморасположением текстурообразующего льда и скелета породы.

I.06. Одним из основных текстурообразующих элементов является ледяной шлир. Под ледяным шлиром понимаются ледяные прослойки, линзы, прожилки и т.п. включения льда, имеющие ограниченные размеры. Максимальная толщина шлиров условно принимается равной 0,3–0,5 м; при большей толщине образования следует называть ледяными пластами или линзами, которые уже не входят в понятие криогенной текстуры.

I.07. Криогенное строение грунта возникает в результате его промерзания и характеризуется тем или иным пространственным расположением всех видов подземного льда, независимо от размеров и генезиса ледяных образований.

I.08. Решающее влияние на криогенное строение грунта оказывает способ формирования мерзлой толщи. По соотношению процессов литогенеза и промерзания различают эпигенетический и сингенетический способы.

При эпигенетическом способе формирования мерзлой толщи промерзание грунта происходит после завершения его образования и частичной литификации. При сингенетическом - промерзание грунта начинается одновременно или почти одновременно с его накоплением. Приращение мерзлой толщи идет путем последовательного перехода нижней части сезонномерзлого слоя в многолетнемерзлое состояние по мере осадконакопления.

I.09. Л ь д и с т о с т ь ю мерзлых грунтов в соответствии с СНиП П-Б. 6-66 называется отношение объема льда, содержащегося в мерзлом грунте, к объему мерзлого грунта. В соответствии с генетическими типами ледяных образований различают четыре вида льдистости: цементационная - за счет льда-цемента; шлировая - за счет шлиров текстурообразующего льда; макрольдистость - за счет залежеобразующего льда и общая льдистость - за счет всех видов подземного льда.

I.10. Под текстурой льда понимаются особенности строения ледяного тела, обусловленные составом и характером распределения инородных примесей в нем (пузырьков газа, минеральных частиц, растительных остатков). При отсутствии примесей текстура

льда называется стекловатой; при преобладании в объеме льда пузырьков газа - пузырьчатой; при неравномерном (слоистом) распределении примесей - слоистой. Слоистость является одним из важнейших признаков генезиса льда.

I.II. С т р у к т у р о й льда называют особенности строения ледяного тела, обусловленные формой, размерами и кристаллографической ориентировкой кристаллов льда. Различают: призматически-зернистую - кристаллы льда имеют правильную призматическую форму, упорядоченную кристаллографическую ориентировку (погребенные льды: озерный, речной, наледный, сегрегационный и др.); гипидиоморфно-зернистую - кристаллы льда имеют менее правильную форму и менее упорядоченную кристаллографическую ориентировку (погребенный наледный, сегрегационный и инъекционный льды); аллотриоморфнозернистую - кристаллы разнообразной формы, кристаллографическая ориентировка неупорядоченная (инфильтрационный, повторножильный и другие льды).

I.I2. По размерам кристаллов льда различают: крупнозернистый лед с поперечником кристаллов более I0 мм; среднезернистый с поперечником кристаллов 6 - I0 мм; мелкозернистый - с поперечником кристаллов - I - 5 мм и микрозернистый - менее I мм.

2. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИОГЕННЫХ ТЕКСТУР

2.0I. Изучение криогенных текстур многолетнемерзлых грунтов представляет собой одну из важнейших задач полевых исследований (см. СНиП П-Б. 6-66).

Полевые исследования начинают с тщательного изучения естественных и искусственных обнажений мерзлых грунтов. Производят расчленение мерзлой толщи на горизонты, различающиеся по криоген-

ному строению; каждый горизонт подразделяют на слои, характеризующиеся определенной криогенной текстурой. Исследование свойств грунтов производят послойно, с обязательным учетом криогенной текстуры.

2.02. В СНиП П-Б. 6-66 все криогенные текстуры разделяются на три типа: массивные, слоистые и сетчатые. Массивные текстуры образуются исключительно льдом-цементом; слоистая и сетчатая - характеризуются наличием линз и прослоек (шлиров) льда; в грунтах сетчатой текстуры шлиры расположены в виде сетки, а в грунтах слоистой текстуры - в виде шлиров (горизонтальных, косых, вертикальных), чередующихся с минеральными прослоями.

Такое упрощенное деление криогенных текстур на массивные, слоистые и сетчатые достаточно для расчета цементной и шлировой льдистости. Методика их определения дается в "Рекомендациях по методике лабораторного определения физических свойств мерзлых грунтов", 1969 г.

2.03. Для изучения в поле криогенного строения мерзлых грунтов, в дополнение к этому делению, в приложении 2 настоящих рекомендаций дается более полная общая классификация криогенных текстур, применимая при изучении многолетнемерзлых и сезонномерзлых грунтов. Основой для разделения криогенных текстур на классы послужило распределение текстурообразующего льда в грунте. По морфологическим признакам криогенные текстуры разделяются на типы, подтипы, виды и разновидности.

2.04. Массивные текстуры широко распространены в природе, однако наибольший практический интерес представляют шлировые криотекстуры, развивающиеся в рыхлых до промерзания грунтах при

сегрегационном льдообразовании. Протаивание пород с массивной, порфировидной, неполно-шлировой и шлировой с цементным типом льдообразования (в скальных и полускальных породах) криогенными текстурами не приводит к просадкам грунтов. При промерзании таких пород соответственно не происходит пучения. Ложно-шлировая криотекстура встречается редко, в исключительных условиях (переувлажненный торф).

2.05. По степени увеличения льдистости оставшиеся (основные) типы шлировых криогенных текстур располагаются в следующий ряд: слоистая, сетчато-слоистая, сетчатая и ячеистая.

Слоистая текстура образуется линзовидными шлирами льда. В зависимости от положения шлиров она подразделяется: на горизонтально-, косо- и вертикальнослоистую.

Сетчатая текстура образуется двумя взаимопересекающимися системами шлиров. Встречается в природе не менее часто, чем слоистая. Сеть шлиров может быть также ориентирована в пространстве: вертикально, косо или горизонтально.

Ячеистая криогенная текстура образуется тремя взаимопересекающимися системами шлиров. Встречается реже сетчатой, главным образом в пластичных переувлажненных суглинках и глинах.

2.06. Атакситовая текстура причисляется к классу шлировых условно. В этой текстуре лед количественно преобладает над грунтом. Грунт располагается в виде беспорядочных скоплений во льду. Мощность горизонта с атакситовой текстурой может быть от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Атакситовая текстура по механизму формирования льда сходна с базально-массивной. В отличие от базальной здесь главную роль

играет сегрегация, и если грунт с базальной текстурой нельзя приравнивать ко льду вследствие преобладания грубозернистого и крупнообломочного материала (галька, щебень и т.п.), то при определении льдистости пород с атакситовой текстурой, по-видимому, следует приравнивать их к слою льда.

2.07. Существуют сложные шлировые криогенные текстуры, образующиеся в результате наложения одних типов и видов текстур на другие. В этом случае выделяются шлиры первого порядка - наиболее крупные в разрезе; текстура собственно называется текстурой первого порядка. Текстуры подчиненные, образованные шлирами меньшей толщины, текстурами второго порядка и т.д. Например, довольно часто встречается сложная криогенная текстура трех порядков в эпигенетически промерзших ленточных глинах: крупносетчатая толстошлировая - первого порядка, среднеслоистая тонкошлировая - второго порядка и мелкосетчатая микрошлировая - третьего порядка.

2.08. В полевых условиях можно ориентировочно оценить важнейшие характеристики мерзлого грунта: объемную льдистость за счет ледяных шлиров ($Л_{ск}$), суммарную влажность (W_c) и объемный вес ($\gamma_м$). Методика определения этих характеристик дается в "Рекомендациях по методике лабораторного определения физических свойств мерзлых грунтов".

Определение суммарной влажности мерзлых грунтов, имеющих толсто- и среднешлировую слоистую, сетчатую и ячеистую криогенную текстуру, при расстоянии между соседними шлирами льда более I см, по общепринятым методикам требует отбора большого количества образцов с последующей их обработкой. Целесообразнее суммарную влажность грунтов определять путем расчета объемной

шлировой льдистости по методикам, изложенным в вышеуказанных "Рекомендациях..."

2.09. В случае отсутствия естественных или искусственных обнажений, криогенная текстура мерзлого грунта может быть ориентировочно оценена по кернам из скважин. Для грунтов со слоистой текстурой определение $Л_{вк}$, $W_ц$, W_c, $\gamma_м$ производится по указанным выше рекомендациям. Для грунтов с сетчатой и ячеистой криогенными текстурами определение "W_c" по керну всегда будет несколько занижено, в связи с невозможностью учета льдистости за счет вертикальных шлиров льда.

2.10. Предлагаемые методы определения шлировой льдистости применимы в основном к эпигенетическим мерзлым толщам и очень редко к сингенетическим. Льдистость сингенетических мерзлых толщ определяется через влажность по общепринятым методикам.

2.11. Полевое изучение криогенной текстуры состоит в детальном описании ледяных включений, их ориентировки в пространстве и морфогенетических характеристик, взаимоотношения с вмещающими минеральными грунтами.

2.12. Изучение текстурообразующего льда в поле состоит в визуальном описании текстуры и структуры льда. Способы изучения разработаны в соответствующих методиках.

Наибольшую техническую трудность представляет изучение льда-цемента. Методика полевого изучения его не разработана. При необходимости его изучения следует отбирать образцы и проводить лабораторное исследование по соответствующим методикам.

Изучение текстуры и структуры сегрегационного и жильного шлирообразующего льда не представляет особых затруднений и описано в рекомендуемых методиках.

2.I3. Лед-цемент характеризуется стекловатой текстурой и аллотриоморфной мелкозернистой структурой.

Сегрегационный лед имеет пузырчатую, иногда слоистую, реже стекловатую текстуру, гипидиоморфную мелко- и среднезернистую, реже крупнозернистую структуру. Размер зерен льда находится в прямой зависимости от размера шлира: чем больше толщина шлира, тем крупнее размер зерен.

Жильный лед имеет пузырчатую часто радиально-лучистую текстуру, гипидиоморфную разнозернистую структуру. Размер кристаллов льда также зависит от размеров жилок-шлиров.

3. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КРУПНЫХ СКОПЛЕНИЙ ПОДЗЕМНОГО ЛЬДА

3.0I. Крупные скопления подземного льда встречаются реже, чем текстурообразующие льды. Однако их значение очень велико. Большинство катастрофических деформаций сооружений в области многолетнемерзлых грунтов связано с недоучетом или неправильным толкованием генезиса и особенностей распространения крупных залежей льда. Умение правильно определить генезис льда, выяснить форму, размеры, условия залегания и распространения крупных скоплений льда позволяет прогнозировать возможные последствия его вытаивания.

3.02. Крупные скопления подземного льда по их значению в криогенном строении мерзлых толщ можно расположить в таком порядке: I) повторножильные; 2) пластовые залежи сегрегационного и инъекционного льда; 3) погребенные; 4) пещерные.

Распределение этих типов подземного льда в мерзлой толще и закономерность их географического распространения связаны с условиями и способом его образования.

3.03. П о в т о р н о ж и л ь н ы е льды - наиболее распространенный тип крупных скоплений подземного льда. Они могут встречаться в любых достаточно льдистых рыхлых и даже полускальных мерзлых грунтах, но в определенных природных условиях. Анализ распространения растущих в данное время повторножильных льдов показывает, что в континентальных условиях южная граница их распространения примерно совпадает с положением изотермы минус 3^0 для многолетнемерзлых грунтов в подошве зоны годовых теплооборотов. В зависимости от местных природных особенностей района она может отклоняться на $\pm$ I-2^0. В условиях океанического климата (север Европейской части СССР, Чукотка) эта граница примерно совпадает с положением геоизотермы - I,0^0(приложение 3).

3.04. Если морозобойному растрескиванию подвергается эпигенетическая мерзлая толща, то возникают эпигенетические ледяные жилы. Их высота обычно до 4 - 5 м, максимально до I0 м; ширина поверху I-3 м, максимально до 4-5 м.

3.05. Если морозобойное растрескивание происходит одновременно с формированием эпигенетической мерзлой толщи, то возникают как эпигенетические, так и сингенетические жилы льда. Высота последних может достигать нескольких десятков метров, а ширина поверху - I0 м. Строение сингенетических ледяных жил отличается от строения эпигенетических тем, что годовые слои в них начинаются не от горизонтального верхнего контакта жилы, как в эпигенетических, а от боковых контактов жилы (приложение 4). Большая высота ледяных жил определенно свидетельствует о сингенетическом способе их образования. Небольшие вертикальные размеры могут иметь и эпигенетические и сингенетические жи-

лы льда.

3.06. Повторножильные льды отличаются от всех других типов подземного льда своеобразными текстурными особенностями, связанными с образованием жилок льда и обилием примесей. Примеси разделяются на два вида: автогенные - соли и газы, растворенные в воде и выделившиеся при кристаллизации воды; ксеногенные - внесенные водой минеральные частицы и органические остатки, а также воздух, содержащийся в порах между кристаллами сублимационного происхождения. Состав и количество примесей во льду зависит от водного режима поверхности грунта во время формирования жилы. Внутри жил могут встречаться ксенолиты вмещающих грунтов.

Состав и количество примесей определяет цвет повторножильного льда и четкость слоистости. Лед, сильно загрязненный минеральными примесями, имеет темно-серый или бурый цвет и четкую вертикальную слоистость. Слоистость часто неправильная, извилистая и пересекающаяся; границы слоев расплывчаты вследствие переплавления контактов.

Лед, слабо загрязненный твердыми примесями, но имеющий большое количество газообразных примесей, отличается белесоватым цветом и неясной расплывчатой вертикальной слоистостью. Минеральные примеси в нем рассеяны в виде отдельных разобщенных гнезд и слоистость создается только неодинаковым содержанием газообразных включений в соседних слоях.

3.07. Если глубина залегания верхних концов ледяных жил под поверхностью почвы равна мощности слоя сезонного протаивания, то такие жилы в большинстве случаев являются растущими. Одним из характерных признаков современного роста жил является на-

личие молодых ростков, доходящих своей верхней поверхностью до подошвы слоя сезонного протаивания. Если до слоя сезонного протаивания жилы не доходят, то они находятся в стадии консервации.

3.08. Жилы могут находиться в погребенном состоянии и залегать на любой глубине. Если происходит перерыв в формировании жилы и накопление отложений, то возобновление морозобойного растрескивания и роста ледяных жил приводит к образованию двух-трех и многогрусных систем ледяных жил. Ориентировка систем в пространстве может не совпадать.

Распространение современных и древних (погребенных) ледяных жил показано на карте (приложение 3).

3.09. Сегрегационные и инъекционные льды образуют не только мелкие шлиры, но и крупные залежи. Наиболее крупные пластовые залежи возникают при эпигенетическом промерзании водоносных горизонтов. Их формирование может происходить на значительных глубинах, и тогда на поверхности они не выражены.

Более мелкие залежи сегрегационного и инъекционного льда наблюдаются в ядрах современных бугров, полос и площадей пучения.

3.I0. Крупные залежи сегрегационного и инъекционного льда по целому ряду признаков отличимы от повторножильного и погребенного льдов (приложение 5). Вместе с тем различия в строении сегрегационного и инъекционного льда пока изучены слабо.

Пластовые залежи льда являются древними образованиями. Они существуют иногда десятки тысяч лет. Современные ледяные ядра бугров, полос и площадей пучения могут быть как сезонными, так и многолетними (существующие сотни, реже тысячи лет).

3.II. Внешние признаки наличия залежей сегрегационного и инъекционного льда зависят от размеров и глубины залегания ледяного тела.

Размеры сезонных бугров пучения колеблются от нескольких десятков сантиметров до 2 - 3 м по высоте и от I0 до 40 - 50 м в поперечнике. Многолетние бугры пучения могут достигать 20-40 м высоты и сотни метров в поперечнике.

Географическое распространение крупных залежей сегрегационного и инъекционного льда показано на карте (приложение 6).

3.I2. Все погребенные льды, в соответствии с рекомендуемой классификацией (приложение I), делятся на 7 основных типов.

Снежно-фирновые и ледниковые погребенные льды имеют неравноценные по размерам залежи. Погребенный снег-фирн чаще всего обнаруживается в сильно расчлененной местности у солифлюкционных сплывных склонов. В силу неустойчивости склонов снег и фирн редко сохраняются в течение продолжительного времени. По своему строению они резко отличаются от всех других типов подземного льда (приложение 7).

Ледниковый погребенный лед образует скопления, исчисляемые тысячами кубических метров. Залежи его приурочены к районам современного оледенения (Верхоянско-Колымская складчатая страна и Корякский хребет, Камчатка, Тянь-Шань, Новая Земля и т.д.). В период деградации ледников глыбы мертвого льда погребаются основной мореной и обнаруживаются на значительном расстоянии от уступов современных ледников. К таким районам приурочены многочисленные термокарстовые котловины, озера. Генетические признаки ледникового льда изучены достаточно хорошо (приложение 7).

3.I3. Возможность погребения наледей создается в долинах горных рек на участках, где наледи располагаются у осыпных, обвальных, солифлюкционных склонов долин или при селевых потоках. При изысканиях на такие участки следует обращать особое внимание. При смещении русла погребенная присклоновая залежь наледного льда может сохраняться в мерзлой толще в течение продолжительного времени.

Наледные льды по строению отличаются от других видов подземного льда (приложение 7).

3.I4. Погребенные льды озерного, речного и морского генезиса в основном образуют небольшие по размерам скопления и, как правило, кратковременные. Для их длительного сохранения требуется сочетание исключительно благоприятных условий погребения и сохранения в погребенном состоянии, и поэтому возможность их обнаружения при изысканиях весьма ограничена. Особенности строения этих льдов отмечены в приложении 7.

3.I5. Из погребенных подводных льдов некоторый интерес представляет донный лед. Однако крупных скоплений он не образует и практического значения не имеет.

Пещерные льды представляют известный интерес в связи со строительством холодных складов, как объекты туризма и т.д. Образование его часто происходит за пределами области распространения многолетнемерзлых горных пород.

4. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРУПНЫХ СКОПЛЕНИЙ ПОДЗЕМНОГО ЛЬДА

4.0I. При изысканиях под любое строительство чрезвычайно важно установить не только наличие, размеры и распространение тех или иных залежей подземного льда, но и определить стадии их развития, так как от них будет зависеть инженерная оценка территории, выявление потенциальных возможностей развития термокарстовых образований, тепловой осадки грунта.

4.02. Подземные льды исследуются в естественных обнажениях или с помощью искусственных выработок (шурфов, скважин и т.п.). Рекомендуется следующая последовательность их изучения.

Выясняются геоморфологические условия и геологическое строение территории, которые могут служить важными признаками возможного наличия подземного льда. Определяется элемент рельефа, к которому относится изучаемая территория (пойма, речная или морская терраса, моренный холм, водно-ледниковая равнина, склон горы и т.п.), состав, строение и происхождение рыхлых грунтов, слагающих изучаемый участок. Эти исследования производятся по общепринятым методикам.

4.03. Изучение подземного льда начинают с выяснения условий его залегания: формы ледяного тела, глубины залегания, простирания и падения, размеров, характера контактов с вмещающими породами. Далее изучается строение залежи подземного льда. Устанавливаются поверхностные признаки наличия залежей льда (по аэрофотоснимкам, наличию термокарстовых образований), определяется рас-

пространение подземного льда, генезис залежей, макрольдистость отложений.

4.04. Изучение формы ледяного тела необходимо для установления его генезиса, а при подсчете макрольдистости - для выбора методов расчета. Некоторые виды подземного льда имеют форму, позволяющую с минимумом сведений по строению льда с уверенностью говорить о его генезисе. Например, повторножильный лед в поперечном разрезе всегда имеет форму клина; ядра бугров пучения, образованные сегрегационным и инъекционным льдом, всегда имеют форму линзы, сферы и т.д.

Следует учитывать, что в обнажениях мы наблюдаем форму выхода, а не истинную форму ледяного тела, которую можно установить только совместно с данными, характеризующими условия залегания и строения льда. В зависимости от ориентировки обрыва или стенки шурфа повторные ледяные жилы можно наблюдать в виде идеальных "клиньев" или "мощных пластов" (приложение 8).

Размеры ледяных тел, видимые в разрезе, могут не отражать их истинных значений. Размеры и элементы залегания ледяного тела определяются методами, принятыми при исследовании многолетнемерзлых пород.

Для практических целей большое значение имеет определение глубины залегания ледяного тела. Например, подземный лед, залегающий на глубине, превышающей глубину зоны годовых колебаний температуры или основания расчетной чаши протаивания, для некоторых сооружений не представляет большой опасности и его изучение может быть менее детальным. Для промышленных и гражданских сооружений даже такие залежи создают определенную угрозу и должны быть

изучены с особой тщательностью.

Изучение контактов ледяных тел с перекрывающим слоем грунта необходимо для выяснения условий существования подземного льда. Верхние их контакты фиксируют глубины максимального протаивания после образования ледяного тела. Ровный контакт, несогласный с текстурой и структурой льда, свидетельствует о вытаивании или оплавлении верхней части ледяного тела.

По характеру боковых контактов, соотношению слоистости льда со слоистостью вмещающих пород можно говорить о механизме формирования льда, его генезисе или об условиях погребения ледяного тела.

4.05. После выяснения условий залегания ледяных тел переходят к изучению строения ледяной залежи.

Знание строения ледяных тел, их формы, размеров, условий залегания позволяет установить их генезис. Изучение строения ледяных тел в полевых условиях сводится к установлению их текстурных и структурных признаков: I) слоистости; 2) формы и размеров зерен льда; 3) формы, размеров и характера размещения различных включений.

Для определения генезиса ледяного тела наибольшее значение имеет слоистость льда. Наличие вертикальной слоистости почти всегда будет указывать на повторножильное происхождение льда.

Горизонтальная или близкая к ней слоистость характерна для пластовых залежей сегрегационного и реже инъекционного льда, а также термокарстово-пещерного и некоторых видов погребенного льда.

Слоистость льда создается неравномерным распределением включений, поэтому наряду с описанием размеров и внешней формы слоев необходимо изучать примеси во льду. Состав и размещение примесей помогают выяснить механизм образования льда, а иногда и природную обстановку времени накопления льда, что позволяет решить вопрос об особенностях распространения изучаемого типа льда. Исследовать слоистость можно только в хорошо зачищенных обнажениях.

Изучение структуры льда в полевых условиях сводится к описанию формы, размеров, пространственного взаимоотношения зерен льда и примерной визуальной оценки ориентировки оптических осей кристаллов. В обычных условиях лед бесцветен и обнаружить в нем отдельные кристаллы можно в поляризованном свете или путем частичного таяния льда.

Знание формы и размеров кристаллов необходимо для выяснения механизма и условий льдообразования. Знание типа и состава включений, их взаимоотношение с кристаллами льда помогает восстановить тип и условия льдообразования вообще. Определение ориентировки кристаллов льда, в силу анизотропии его механических свойств, является необходимым для характеристики и оценки льда и мерзлой породы при использовании их в практических целях. Более детальные характеристики элементов структуры льда можно получить, пользуясь лабораторными методами.

4.06. Для полевого анализа крупных скоплений подземного льда важнейшее значение имеет изучение вещественного состава, первичного сложения и криогенного строения пород, вмещающих крупные залежи подземных льдов, а также изучение некоторых форм крио-

генного рельефа, связанных с определенными стадиями развития подземного льда (приложение 9).

Описание форм рельефа производится с помощью геоморфологических методов.

4.07. Стадии развития повторножильного льда выражены на поверхности специфическим полигональным рельефом. Для стадии роста ледяных жил характерны валиковые полигоны, для стадии таяния и термоэрозии ледяных жил - бугристые полигоны, а при полном протаивании многолетнемерзлых пород - остаточные бугристые полигоны.

Вытаивание систем крупных сингенетических жил льда приводит к существенному изменению морфологии поверхности террас и аллювиальных равнин, условий существования верхов мерзлой толщи, к вытаиванию подземного льда, заключенного между блоками-полигонами. В результате образуются крупные термокарстовые котловины, которые на поздней стадии развития называются "аласами".

Вытаивание ледяных жил на склонах сопровождается термоэрозией, в результате чего возникают разветвленные системы термоэрозионных оврагов.

При совместном развитии процессов эрозии, термокарста и солифлюкции, при подмыве рекою берегов, сложенных льдистыми отложениями, возникают эрозионно-термокарстовые цирки или термокары. Характерной особенностью днищ и склонов термокаров, образовавшихся за счет вытаивания повторножильного льда, являются "байджарахи" - конусообразные остатки ядер полигонов.

4.08. При использовании аэрофотосъемки в целях выявления признаков наличия повторножильных льдов следует знать пределы ее применимости.

Валиковый жильно-полигональный рельеф отлично различим на аэрофотоснимках масштаба I:25 000, особенно при заполнении полигонов водой. В зоне тундры валиковые полигоны различимы и на аэрофотоснимках масштаба I:60 000. В обводненных и необводненных валиковых полигонах центральные части полигонов на снимках оказываются более темными, чем валики, в связи с цветовым различием поверхности.

Центральные выпуклые части бугристых полигонов имеют более светлую окраску, чем термокарстовые борозды, оконтуривающие полигоны. Это связано с различными условиями увлажнения пород. По этим же признакам довольно уверенно опознается остаточно-полигональный (западинно-бугристый) рельеф, хотя при наземном осмотре остаточные полигоны не всегда удается обнаружить, так как понижения между полигонами часто оказываются незаметными. Для детальной характеристики конкретных площадок, особенно для определения макрольдистости пород, масштаб аэрофотосъемки должен быть более крупным, порядка I : 5 000, I : 7 000.

4.09. Не всякие полигональные формы рельефа являются поисковым признаком повторножильного льда. В случае, если морозобойные трещины не выходят за пределы сезонноталого слоя, а элементарные (сезонные) жилки льда летом вытаивают, то образуются сезонно-трещинные полигоны. Их морфологическими признаками являются небольшие размеры. Поперечник полигонов редко превышает 5 м. Однако встречаются полигоны, достигающие I5 - 20 м. Для них характерно отсутствие валиков, выпуклость центров полигонов и небольшие размеры межполигональных борозд. Чтобы убедиться в отсутствии повторножильных льдов, необходимо пройти шурф, ориенти-

рованный поперек трещины на глубину, превышающую мощность слоя сезонного протаивания. Сезонно-трещинные полигоны обычно наблюдаются на современных морских косах северных морей, в пределах террас рек и на склонах, сложенных песчаными и грубообломочными грунтами.

4.10. Перечисленные выше внешние морфологические признаки полигонального рельефа являются поисковыми признаками повторно-жильного льда, за исключением участков, где льды находятся в стадии длительной консервации. Эти признаки облегчают исследования, позволяют дать не только качественную, но и количественную оценку макрольдистости мерзлой толщи. Оценка макрольдистости возможна при анализе аэрофотоснимков и результатов наземного изучения льда. При наземных исследованиях следует получить данные о размерах ледяных жил: по длине, ширине поверху и высоте, с учетом глубины залегания жил. По материалам аэрофотосъемки получают сведения о густоте полигональной решетки и распространении повторно-жильного льда на интересующем участке территории. Эти исходные данные путем несложных расчетов позволяют дать оценку объемной ($Л_{об}$) и площадной ($Л_{пл}$) макрольдистости.

4.11. Объемная макрольдистость может быть вычислена для любого массива грунта. Однако имеет смысл делать расчеты только для толщи мерзлых пород до глубины залегания нижних концов ледяных жил. В случае большой высоты ледяных жил (сингенетические жилы) при расчетах учитывается мощность зоны годовых теплооборотов (15 - 20 м) или максимальная глубина расчетной чаши протаивания. Разница в расчетах будет состоять в том, что в первом случае форма жилы в поперечном сечении принимается за треугольник,

а во втором - за трапецию.

Величина $Л_{ом}$ представляет собой процентное отношение объема льда ($V_л$) к объему всей породы (V пор.) в заданных пределах:

$$Л_{ом} = \frac{V_л \cdot 100}{V_{пор.}} \quad (\%) \ .$$

4.12. Площадную макрольдистость можно вычислить для любой глубины залегания жил льда. Наиболее целесообразно подсчитать $Л_{пм}$ на уровне верхних частей ледяных жил. Это облегчит задачу общей инженерной оценки территории в целях различного вида строительства.

Величина $Л_{пм}$, характеризующая процентное отношение площади, занимаемой льдом на интересующем нас уровне ($F_л$), к площади определенного участка ($F_{уч.}$).

$$Л_{пм} = \frac{F_л \cdot 100}{F_{уч.}} \quad (\%) \ .$$

Для расчетов $Л_{ом}$ и $Л_{пм}$ (при мелко- и среднемасштабном картировании) определяют средние размеры жил и полигональной решетки для расчета и оконтуривают участки, на которых распространены жилы льда. При крупномасштабном картировании необходим более точный учет размеров жил и образуемой ими полигональной решетки.

Объемная макрольдистость за счет повторножильного льда, в зависимости от ряда условий, может колебаться в больших пределах. Известны районы, например долина р. Яны, приморские низменности севера Сибири, Новосибирские острова и др., где объемная макрольдистость за счет жильного льда до глубины 20 м достигает 50%, а площадная на уровне верхней поверхности жил - 75%.

4.13. Значительно сложнее определение объемной макрольдистости в том случае, когда ледяные жилы переживают стадию консервации и на поверхности грунта не выражены. Между тем такие жилы распространены более широко, нежели жилы, находящиеся в стадии роста или разрушения. Например, большая часть мощных сингенетических жил аллювиальных равнин севера Сибири находится в стадии консервации со времен верхнего и даже ороднего плейстоцена. Наиболее эффективно они обнаруживаются геофизическими методами. Буровые работы при этом служат для контроля и уточнения мощности, характера распространения залежей льда.

4.14. Указанная выше методика определения макрольдистости пока применима лишь к повторножильным льдам. Закономерность пространственного распространения других типов залежеобразующего льда еще неясна и определение макрольдистости пород за их счет производится путем измерения объема или площади всех обнаруженных крупных ледяных тел и сопоставлением с объемом или площадью пород, для которых необходимо определение макрольдистости.

4.15. Пластовые залежи сегрегационного и инъекционного льда часто бывают также не выражены на поверхности (за исключением бугров пучения). Для их поисков и разведки следует применять геофизические методы, в частности, электроразведку постоянным током.

Основная трудность заключается в том, что над пластовыми залежами сегрегационного и инъекционного льда иногда расположены грунты со значительной льдистостью, которая создает специфическое криогенное строение пород: по мере приближения к пластовой залежи льда толщина и частота ледяных шлиров увеличивается; формируется, как правило, сетчатая или ячеистая криогенная тек-

стура. Электроразведка пока не обеспечивает получение точных данных о глубине залегания и мощности ледяного тела, но позволяет оконтурить ледяную залежь в плане. Сведения о глубине залегания и мощности залежи более точно дает бурение или шурфование. Для успешного исследования характеристик пластовых залежей сегрегационного и инъекционного льда рекомендуется сочетание геофизических методов и бурения.

4.16. Погребенные льды выражены на поверхности только в стадии вытаивания. Поэтому обнаружить их трудно. Здесь так же, как при поисках и разведке пластовых залежей сегрегационного и инъекционного льда, наиболее эффективным будет сочетание геофизических методов и последующего бурения. Поскольку залежи льда не оказывают прямого воздействия на характер и степень шлировой льдистости вмещающих грунтов, эффект применения геофизических методов в этом случае будет более выразительным. Возможно довольно точное определение глубины залегания ледяного тела и его мощности. Это значительно удешевляет и ускоряет геокриологические исследования в районе строительства.

4.17. Полевое описание криогенного строения мерзлых пород при любом виде изысканий производится по следующей схеме.

1) Геоморфологические особенности исследуемой территории.

2) Генезис отложений, их первичный вещественный состав, генезис мерзлой толщи и ее криогенное строение.

3) Оценка льдистости за счет шлиров.

4) Генезис и условия залегания крупных образований подземного льда.

5) Текстура и структура льда этих образований.

6) Определение макрольдистости мерзлой толщи до интересующих глубин.

7) Определение суммарной льдистости пород.

Степень детальности изучения каждой из составляющих криогенного строения определяется целями и задачами изысканий.

5. КРИОГЕННОЕ СТРОЕНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

5.01. Условия и способ формирования многолетнемерзлой толщи оказывает решающее влияние на тип ее криогенного строения. В соответствии с двумя основными типами формирования мерзлой толщи-эпи- и сингенетическим-различаются два типа криогенного строения: эпигенетический и сингенетический (см. приложение 10). Они, соответственно, характеризуют эпигенетический тип мерзлой толщи или сингенетический горизонт полигенетической мерзлой толщи.

5.02. Эпигенетическому типу криогенного строения свойственны следующие черты: 1) неравномерное распределение подземного льда по глубине; 2) толстошлировые, крупносетчатые и редкослоистые криогенные текстуры; 3) наличие пластовых залежей инъекционного и сегрегационного льда, образующихся при промерзании водоносных горизонтов; 4) наличие только эпигенетических повторножильных льдов. Эпигенетический тип криогенного строения свойствен любым по генезису рыхлым отложениям.

5.03. В зависимости от первичного сложения, характера увлажнения, условий промерзания эпигенетический тип криогенного строения делится на два подтипа: простого и сложного строения.

Простое строение свойственно однородной толще отложений, не содержащей водоносных горизонтов. Для него характерны толстошлировые текстуры слоистого, сетчато-слоистого и сетчатого типов, которые встречаются в морских, ледниково-морских, озерных и ледниковых суглинках, глинах, супесях.

Сложное строение свойственно неоднородной по составу толще, содержащей водоносные горизонты, при промерзании которых в определенных условиях могут возникать пластовые залежи сегрегационного и инъекционного льда. Как правило, над пластовыми залежами объемная шлировая льдистость грунта возрастает; текстура грунта сетчатая или ячеистая, толстошлировая. Если пласт льда приурочен к горизонту песка, криогенная текстура может быть массивной.

Этот подтип свойствен глинам, суглинкам и супесям морского, ледниково-морского и ледникового генезиса, содержащим прослои водоносных песков и галечников.

5.04. Сингенетический тип криогенного строения имеют сингенетические горизонты многолетнемерзлой толщи, сложенные аллювиальными, озерными, озерно-болотными, делювиально-солифлюкционными, реже прибрежно-морскими и флювиогляциальными отложениями.

Для сингенетического типа криогенного строения характерны следующие основные признаки: I) относительно равномерное распределение льда по глубине; 2) комплекс криогенных текстур ограничивается преимущественно средне- и тонкошлировыми слоистыми и сетчато-слоистыми текстурами; крупносетчатые и крупноячеистые толстошлировые текстуры отсутствуют; 3) наличие эпи- и сингенетических повторножильных льдов; отсутствие крупных пластовых залежей сегрегационного и инъекционного льда; эпизодически встре-

чаются термокарстово-пещерные и погребенные льды.

5.05. По криогенному строению и первичным условиям осадконакопления в сингенетическом типе, так же как и в эпигенетическом выделяют простой и сложный подтипы.

Простое криогенное строение сингенетических мерзлых пород характеризуется однородными по всему разрезу условиями увлажнения, накопления и промерзания и, соответственно, одинаковой криогенной текстурой (например, массивная криогенная текстура руслового аллювия, флювиогляциальных или прибрежно-морских песков). В разрезе, как правило, отсутствуют сингенетические ледяные жилы.

Для сложного криогенного строения сингенетических мерзлых пород типичны мощные сингенетические жилы. Такие жилы формируются одновременно с накоплением и промерзанием отложений. На поверхности прослеживается полигонально-валиковый рельеф, оказывающий влияние на накопление и увлажнение осадков в понижениях полигонов. Это, в свою очередь, приводит к разнообразию криогенных текстур и, следовательно, к сложному криогенному строению. Сложное сингенетическое криогенное строение наиболее часто наблюдается в аллювиальных, старичных, озерно-болотных отложениях суглинистого и супесчаного состава.

5.06. На значительной части области многолетнемерзлых горных пород распространены мерзлые толщи, имеющие двучленное строение. В таких толщах сверху залегает горизонт сингенетически мерзлых отложений, ниже его - толща эпигенетически промерзших грунтов. Тип мерзлой толщи, при сходных климатических условиях, определяется типом и режимом накопления отложений, процессом их промерзания. В области тектонического опускания сверху обычно

накапливается довольно мощный горизонт сингенетических мерзлых отложений. В области тектонического поднятия образуется однородная эпигенетическая толща мерзлых грунтов. В областях с неустойчивым тектоническим режимом (прибрежные зоны морей) образуются сложно построенные полигенетические мерзлые толщи. Если на слож ный тектонический режим аккумуляции рыхлых отложений накладывается ледниковый процесс, криогенное строение многолетнемерзлой толщи большой мощности может быть очень сложным. В ее разрезе иногда наблюдается неоднократная смена горизонтов эпигенетически и сингенетически промерзших грунтов.

5.07. Грунты с сингенетическим типом криогенного строения представляют наибольшую опасность для строительства. Они широко распространены преимущественно в северной части территории СССР. Наличие разновидностей полигенетической мерзлой толщи с сингенетическим горизонтом сверху можно предполагать к северу от геоизотермы - 2^{0}.

5.08. На основании полевого фациального анализа многолетнемерзлой толщи составляются геокриологические разрезы, в которых синтезируются все основные сведения по ее криогенному строению. При составлении колонок совмещение литологической и криологической характеристик нежелательно, так как это сильно затрудняет чтение разреза. Составляют их отдельно и помещают рядом. В этом случае они взаимно дополняют друг друга и дают более полное представление относительно вещественного состава и криогенного строения мерзлых грунтов.

5.09. В качестве исходных методических рекомендаций по составлению геокриологических разрезов и колонок можно принять ре-

комендации, изложенные в специальных методических указаниях. Предлагается следующая форма полного геокриологического разреза (колонки): I) литологический разрез; 2) криологический разрез; 3) график суммарной влажности грунта (послойно); 4) график температуры мерзлых пород.

5.I0. Условные обозначения литологических типов пород принимаются общепринятые; обозначения различных видов подземного льда и типов криогенных текстур приведены в приложении II. В приложении I2 приведен образец полного геокриологического разреза (колонки).

5.II. При окончательной обработке данных, суммируя все сведения по различным пунктам наблюдений, составляют геокриологический профиль изучаемого участка. На нем совмещаются условные знаки, обозначающие литологию, криогенное строение и подземные льды.

На профиле, в масштабе, отражают только крупные залежи подземного льда; остальные данные указываются соответствующими условными знаками. Криогенные текстуры необходимо изобразить максимально точнее и, если позволяет масштаб, то и ледяные шлиры изображаются в масштабе.

5.I2. Для строительных площадок рекомендуется составление блок-карт, схем в масштабе геокриологической карты. Общая методика составления блок-карт, блок-схем (диаграмм) изложена в руководствах по полевым геоморфологическим исследованиям.

5.I3. Методика определения влажности и температуры мерзлых пород даны в соответствующих методических указаниях.

Л И Т Е Р А Т У Р А

Баранов И.Я. Геокриологическая карта СССР масштаба I:I0 000 000. Институт мерзлотоведения АН СССР, М., Изд-во "Знание", I956 (с пояснительной запиской, I960).

Баранов И.Я. Принципы геокриологического (мерзлотного) районирования области многолетнемерзлых горных пород. Изд-во "Наука", I965.

Ботвинкина Л.Н. Методическое руководство по изучению слоистости. Изд-во "Наука", I965.

Втюрин Б.И. Криогенное строение четвертичных отложений. Изд-во "Наука", I964.

Гасанов Ш.Ш. Морфогенетическая классификация криогенных текстур рыхлых отложений. В кн. "Формирование рельефа, рыхлых отложений и россыпей Северо-Востока СССР". Сб. I. Магадан, I963.

Доклады на международной конференции по мерзлотоведению. Изд-во АН СССР, I963.

Достовалов Б.Н. Картирование подземных льдов и толщ мерзлых пород методом постоянного тока. Изд-во АН СССР, I955.

Достовалов Б.Н. Исследование морозобойного и диагенетического растрескивания пород. В кн. "Мерзлотные исследования", вып. 2, Изд-во МГУ, I96I.

Методы изучения осадочных пород. Т.I-2. М., Госгеолтехиздат, I957.

Основы геокриологии (мерзлотоведения). Ч.I., гл. IX. Изд-во АН СССР, I959.

Пчелинцев А.М. Строение и физико-механические свойства мерзлых грунтов. Изд-во "Наука", 1964.

Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования. Изд-во АН СССР, 1961.

Попов А.И. Мерзлотная съемка и картирование. В кн. "Материалы по общему мерзлотоведению". Изд-во АН СССР, 1959.

Протасьева И.В. Аэрометоды в геокриологии. Изд-во "Наука",1967.

Савельев Б.А. Руководство по изучению свойств льда. Изд-во МГУ, 1963.

СНиП П-Б. 6-66. "Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования". М., 1967.

Шумский П.А. Основы структурного ледоведения. Изд-во АН СССР, 1955.

Шумский П.А. Строение мерзлых пород. Материалы по лабор. исслед. мерзлых грунтов. Сб. Ш., раздел I. Изд-во АН СССР, 1957.

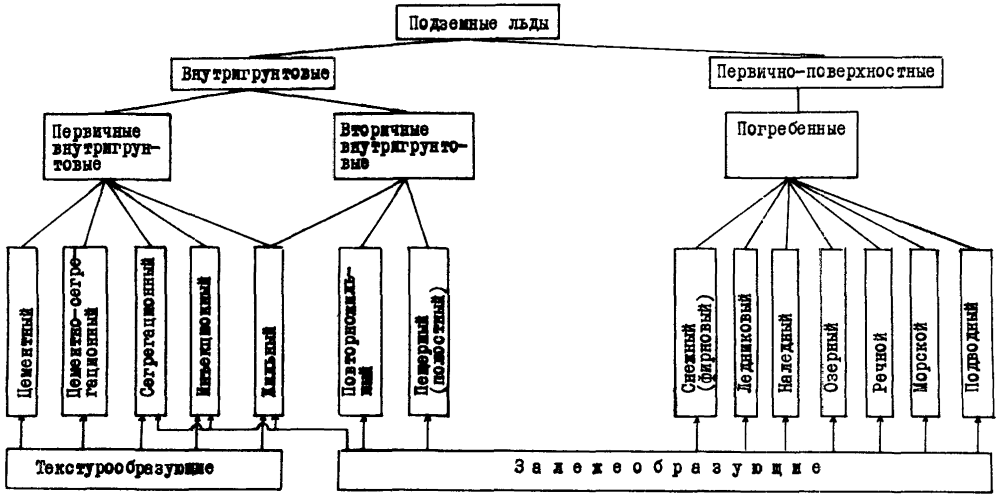
Настоящие рекомендации были направлены в следующие организации: Военная академия тыла и транспорта; Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии "ВСЕГИНГЕО"x), Всесоюзный ордена Ленина проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт им. С.Н.Жука "Гидропроект"; Дальневосточный трест инженерно-строительных изысканий "Дальтисиз"x);! Институт мерзлотоведения Сибирского отделения АН СССРx); Иркутский трест инженерно-строительных изысканий; Красноярский Промстройниипроектx); Ленморниипроект; Ленинградский филиал института "Аэропроект" "Ленаэропроект"; Ленинградский государст-

венный проектно-изыскательский институт "Ленгипротранс"[x]; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова - Геологический факультет, кафедра мерзлотоведения[x]; Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений; 2-е Гидрогеологическое управление Министерства геологии; Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт; Северное отделение Института оснований и подземных сооружений; Всесоюзный государственный дорожный научно-исследовательский институт "Союздорнии"[x]; Уральский трест инженерно-строительных изысканий "УралТИСИЗ"[x]; Государственный институт по проектированию оснований и фундаментов "Фундаментпроект"; 5-ое Геологическое управление[x]; Институт земной коры СО АН СССР[x].

Примечание. [x] Организации, от которых получены отзывы, замечания и предложения.

Приложение I

Упрощенная классификация подземных льдов (составлена Б.И. Втюриным)



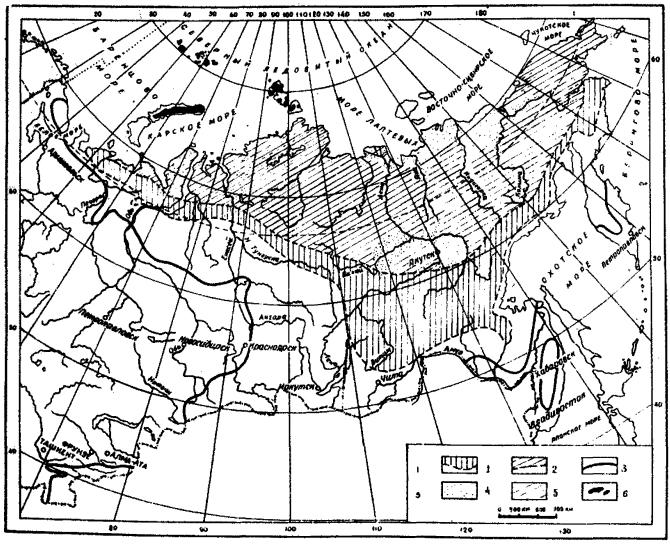
Упрощенная классификация криогенных текстур горных пород

(составлена Е.А. Вторниной и Б.И. Вторниным)

Класс (по распределению текстурообразующего льда)	Тип (по расположению шлиров и характеру ледяного цемента)	Подтип (по ориентировке шлиров льда)	Вид (по интервалу между шлирами по нормали к ним: редкослоистая, крупносетчатая – более 100 мм; среднеслоистая, среднесетчатая – 10–100 мм; частослоистая, мелкосетчатая – 1–10 мм; микрослоистая, микросетчатая – менее 1 мм)	Разновидность (по толщине ледяных шлиров: толстошлировая – более 10 мм; среднешлировая 5–10 мм; тонкошлировая 1–5 мм; микрошлировая – менее 1 мм)	Условия, необходимые для возникновения данных криогенных текстур: Порода	Количество и основная модификация воды	Средняя скорость и направление промерзания	Основной тип льдообразования
Массивная	Контактная	–	–	–	Грубодисперсные породы без мелкозема или с незначительным его содержанием, структурированные тонкодисперсные породы	Грубодисперсные – при влажности меньше капиллярной влагоемкости, тонкодисперсные – меньше макс. молек. влагоемкости; свободная вода, пар	При любом направлении и скорости промерзания	Цементный
	Пленочная							
	Поровая	–	–	–	Грубо-, тонкодисперсные породы, торф	Грубодисперсные – при полной влагоемкости, тонкодисперсные – при влажности ниже макс. молек. влагоемкости	То же	
	Гнездовая	–	–	–	Тонкодисперсные породы с наличием макропор, слаборазложившийся торф	Немного выше макс. молек. влагоемкости при наличии в макропорах слабо связанной или свободной воды; торф при полной влагоемкости	То же	
	Базальная	–	–	–	Грубодисперсные породы без мелкозема	При полной влагоемкости, свободная вода	Только при промерзании снизу, со скоростью ниже критической	Сегрегационно-цементный
Шлировая	Порфировидная	–	–	–	Тонкодисперсные породы и грубодисперсные, содержащие частицы мельче 0,02 мм более 3% по весу, чаще заторфованные, заиленный торф	Немного выше макс. молек. влагоемкости, при обязательном наличии слабо связанной воды	Не выше критической, преимущественно сверху	Сегрегационный
	Неполнослоистая	Горизонтальная, косая, вертикальная, неполнослоистая	Редкая, средняя	Тонко-, микрореже среднешлировая				
	Неполносетчатая	То же	Крупная, средняя	То же				
	Слоистая	Горизонтально-, косо-, вертикальнослоистая	Редко-, средне-, часто-, микрослоистая	Толсто-, среднетонко-, микрошлировая	Тонкодисперсные породы и грубодисперсные, содержащие частиц мельче 0,02 мм более 3% по весу; хорошо разложившийся торф. При цементном льдообразовании трещиноватые скальные и полускальные породы, реже рыхлые очень слабо влажные породы, подверженные морозному растрескиванию	При влажности выше макс. молек. влагоемкости, при обязательном содержании слабо связанной воды. При цементном льдообразовании свободная поверхностная или грунтовая вода в количестве, необходимом для заполнения трещин, водяной пар	Не выше критической для данных грунтов, при любом направлении промерзания. При цементном льдообразовании – любая скорость и направление промерзания	Сегрегационный, цементный
	Сетчатослоистая	То же	Средне-, часто-, микросетчатослоистая	То же				
	Сетчатая	Горизонтально-, косо-, вертикальносетчатая, беспорядочносетчатая	Крупно-, средне-, часто-, микросетчатая	То же				
	Ячеистая	–	Крупно-, средне-, мелкоячеистая	То же				
	Атакситовая	–	–	–	Тонкодисперсные породы, преимущественно структурированные с достаточной водостойкостью зерен	Выше предела текучести, наличие свободной воды	Только при промерзании снизу со скоростью ниже критической	Цементно-сегрегационный
	Ложношлировая (преимущ. слоистая)	Горизонтально-, косо-, вертикальнослоистая	Микро-, частослоистая	Тонко-, микрошлировая	Незаиленный слаборазложившийся торф	При увлажнении до полной влагоемкости	При любой скорости и направлении промерзания	Цементный

Приложение 3

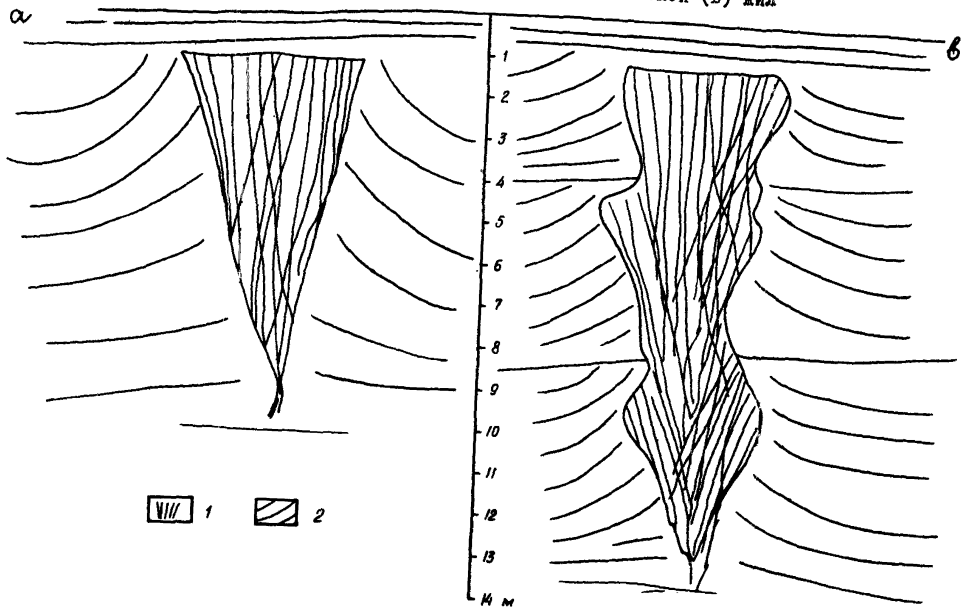
Схематическая карта распространения повторножильного льда (по П.А. Шумскому и Б.И. Втюрину)



I – область и южная граница распространения ископаемых (не растущих) повторножильных льдов; 2 – область и южная граница распространения ископаемых и современных (растущих) повторножильных льдов; 3 – южная граница распространения многолетнемерзлых пород; 4 – районы распространения толщ пылеватых пород с повторножильными льдами большой мощности; 5 – районы распространения толщ пылеватых пород с повторножильными льдами небольшой мощности; 6 – современные ледники.

Приложение 4

Схема строения эпигенетической (а) и сингенетической (в) жил



I - слоистость в ледяной жиле; 2 - слоистость вмещающего грунта

Приложение 5

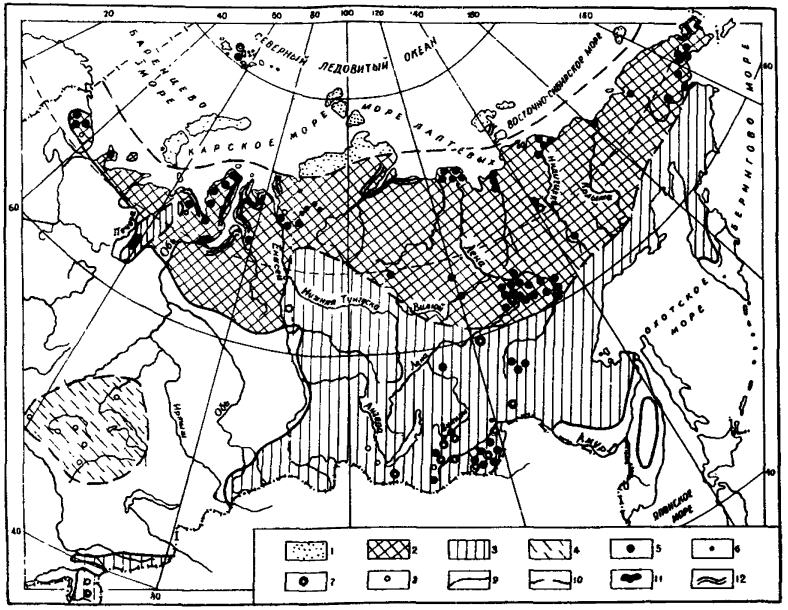
Строение крупных линзовидных и пластовых залежей сегрегационного и инъекционного льда

(автор Б.И. Втюрин)

Вид ледяной залежи	Условия залегания	Основные признаки строения		Распространение
		текстура	структура	
Сезонные линзы	Плоско-выпуклые линзы толщиной до 2-3м, поперечник до 10-15м. Залегают в слое сезонного протаивания	Горизонтальнослоистая, за счет неравномерного расположения воздушных пузырьков. Преобладают округлые, вертикальные цилиндрические пузырьки	Призматически-зернистая. При поперечнике кристаллов 3-5 см вертикальная протяженность до 40-50 см. Кристаллографич.ориентировка направленная, вертикальная	Близ южной границы области многолетнемерзлых пород и за ее пределами в слое глубокого сезонного промерзания
Многолетние линзы-ядра булгунняхов	Мощность до нескольких метров и поперечник до 100 м и более. Залегают в толще многолетнемерзлых пород на глубине 1-10 м и более от поверхности	Массивная или слоистая, пузырчатая. Выделяются 2 части линзы: апикальная - с большим количеством пузырьков газа и периферийная, чистая, но с включениями грунта	Преимущественно аллотриоморфнозернистая, особенно в периферийной части. Поперечник зерен льда в среднем 2-5 см, максимально до 90 см.	В поймах рек, на низких террасах и в термокарстовых котловинах, по всей области распространения многолетнемерзлых пород
Многолетние линзы-ядра гидролакколитов	Мощность до нескольких метров. Поперечник до нескольких десятков метров. Форма залежи часто грибовидная. Могут перекрываться не только рыхлыми, но и коренными породами	Пузырчатая. К центру ледяного тела количество воздушных пузырьков возрастает. В куполе линзы может возникнуть воздушная полость	В основном крупнозернистая. Исследована недостаточно	Главным образом по периферии области распространения многолетнемерзлых пород, на выходах источников подземных вод
Простые пласты	Мощность от 0,3 до нескольких метров, простирание от нескольких десятков до 200-300 м. Контакты обычно четкие. Залегают на различной глубине от поверхности. На поверхности не выражены	Пузырчатая, массивная или слабо выраженная слоистая, горизонтальная	Преимущественно гипидиоморфнозернистая, крупнозернистая. Кристаллографическая ориентировка направленная, вертикальная	Преимущественно в прибрежных районах, сложенных эпигенетически промерзшими морскими, водно-ледниковыми, ледниково-морскими и др. отложениями
Сложные пласты	Мощность 5-10 м и более. Простирание от нескольких десятков метров до 300 м и более. Контакты неровные и нечеткие	Чередование слоев пузырчатого льда и грунта с атекситовой криогенной текстурой. Ориентировка слоев разнообразная, иногда взаимопересекающаяся	Аллотриоморфнозернистая, реже гипидиоморфнозернистая крупнозернистая. Исследована недостаточно	В северных прибрежных районах, сложенных эпигенетически промерзшими морскими, водно-ледниковыми, ледниково-морскими и др. отложениями

Приложение 6

Схематическая карта распространения крупных линзовидных и пластовых залежей инъекционного и сегрегационного льда (по Б.И. Втюрину и П.А. Шумскому)



I - Арктическая область, бугры пучения наблюдаются редко; 2 - область развития многолетних и сезонных (реже) бугров пучения, преимущественно на промерзающих подозерных таликах ("булгунняхи"); 3 - область развития многолетних и сезонных бугров пучения, преимущественно на выходах источников ("гидролакколиты"); 4 - область развития единичных сезонных бугров пучения за пределами распространения многолетнемерзлых бугров; 5 - группа многолетних бугров пучения; 6 - единичные многолетние бугры пучения; 7 - группа сезонных бугров пучения; 8 - единичные сезонные бугры пучения; 9 - южная граница распространения многолетнемерзлых пород; I0 - границы областей; II - пластовые залежи древних инъекционных и сегрегационных льдов; I2 - предполагаемые районы распространения древних пластовых залежей.

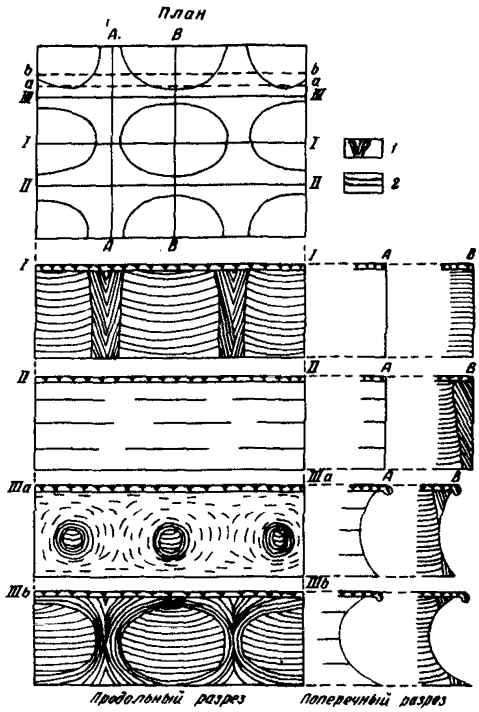
Приложение 7

Характеристика крупных залежей погребенного и термокарстово-пещерного льда (автор Б.И. Втюрин)

Тип льда	Условия залегания	Основные признаки строения		Распространение
		текстура	структура	
Наледный	Залегают в виде глыб и полей неопределенной формы. Мощность до 10 м и более. Погребается делювием	Слоистая, пузырчатая; твердых примесей мало, лишь в основании слоев	Призматически-зернистая, крупнозернистая. Кристаллографическая ориентировка вертикальная	В горных странах области распространения многолетнемерзлых пород
Лед мелких промерзших водоемов	Небольшие залежи на склонах и у подножия склонов, подвергающихся интенсивному разрушению. Кровля льда неровная	Массивная, с большим количеством разнообразных примесей, в том числе органических остатков	Призматически-зернистая, крупнозернистая	В северных районах области распространения многолетнемерзлых пород
Речной	Залегает в виде глыб неопределенной формы, мощностью до нескольких метров	Нечеткая слоистость за счет неравномерного во времени намерзания льда. Твердых и газообразных примесей мало	Призматически-зернистая, крупнозернистая (вертикально вытянутые кристаллы до 1 м и более)	Возможны находки в долинах рек и в северных районах области распространения многолетнемерзлых пород
Озерный	Залегает в виде пластов и линз различной формы и размеров	Неясно выраженная горизонтальная слоистость за счет неравномерного намерзания льда во времени. Много включений газа в виде больших скоплений пузырьков	Призматически-зернистая, крупнозернистая. Кристаллографическая ориентировка направленная, вертикальная	Возможны находки у подножия склонов с делювиально-солифлюк. отлож. в северных районах области многолетнемерзлых пород
Морской	В виде глыб неопределенной формы, мощностью до нескольких метров	Вертикально-пористая (солевые канальцы) в основной массе. Сверху часто горизонт инфильтрационного снежного льда	Аллотриоморфнозернистая, мелкозернистая, средний поперечник 2-5 мм. Кристаллографическая ориентировка хаотическая	Возможны находки у подножия склонов с подвижным делювием на арктическом побережье равнин и островов Азии
Снежный (инфильтрационный)	В виде мелких скоплений в эрозионных и термокарстовых бороздах, оврагах и т.п.	Тонкослоистая, с примесью грунта в основании слойков. Огромное количество пузырьков газа сложной формы	Аллотриоморфнозернистая, исключительно мелкозернистая, поперечник 3-1 мм и менее	По всей области распространения многолетнемерзлых пород
Ледниковый	В виде различных скоплений, от небольших глыб до обширных полей, мощностью до нескольких десятков, возможно сотен метров. Погребены обычно мореной	Слоистая или полосчатая, с большим количеством разнообразных пузырьков газа	Аллотриоморфнозернистая, преимущественно крупнозернистая, кристаллографическая ориентировка хаотическая	В горных районах, у концов современных ледников
Термокарстово-пещерный	В виде линз, жил, скоплений неопределенной формы различного размера среди подземного льда другого генезиса	Слоистая, радиальнолучистая, возможна массивная. Примесей много как газообразных, так и твердых	Разнообразная: мелкозернистая в инфильтрационном льду, крупнозернистая - в конжеляционном	Главным образом в районах распространения повторножильных льдов

Приложение 8

Схема строения залежи жильных льдов и типичных форм выхода льдов в обнажениях (по П.А. Шумскому)



I - лед; 2 - мерзлые породы.

Приложение 9

Подземные льды и обусловленные ими криогенные формы рельефа (автор Б.И. Втюрин)

Типы подземного льда	Формы рельефа, обусловленные подземным льдом	
	в стадии возникновения	в стадии разрушения
Текстурообразующие сегрегационные и инъекционные льды	Общее пучение, площади пучения	Общее понижение поверхности
Крупные залежи сегрегационного и инъекционного льда	Сезонные и многолетние бугры, гряды и площади пучения	Термокарстовые котловины (озера), западины, цирки, воронки и т.п.
Погребенные и термокарстовые - пещерные льды	Не выражены	Термокарстовые котловины, западины, цирки, воронки и т.п.
Повторножильный лед	Плоские полигоны, валиковые полигоны	Бугристые (термокарстовые) полигоны ("байджарахи"), термокарстовые котловины (аласы), остаточные полигоны

Приложение IO

Схема классификации криогенного строения многолетнемерзлых пород

(составлена Б.И. Втюриным)

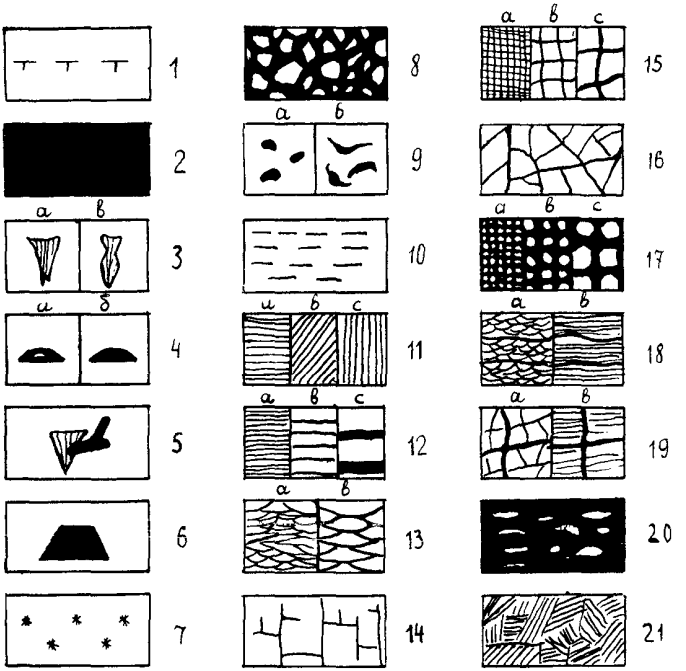
Тип	Характерные черты строения	Подтип по особенностям криогенного строения и первичным условиям осадконакопления	Литогенетические типы рыхлых отложений, имеющие данный подтип строения. Распространение
1	2	3	4
Эпигенетический	Изменение льдистости по глубине, толстошлировые криогенные текстуры, крупносетчатого и крупноячеистого редкослоистого вида; пластовые залежи сегрегационного и инъекционного льда (в сложном подтипе); эпигенетические повторные ледяные жилы	Простой (первично однородная толща без водоносных горизонтов)	Морские, ледниково-морские, озерные, ледниковые, аллювиальные: глины, суглинки, супеси, торф. Встречаются по всей области многолетнемерзлых пород
		Сложный (первично неоднородная толща с наличием водоносных горизонтов)	Морские, ледниково-морские, ледниковые, водно-ледниковые глины, суглинки и супеси с прослоями водоносных песков, галечников и валунников Встречается преимущественно на севере области многолетнемерзлых пород (северная разновидность эпигенетических мерзлых отложений)

Приложение IO (продолжение)

1	2	3	4
Сингенетический	Мало изменяющаяся льдистость по глубине, средне- и тонкошлировые текстуры, преимущественно слоистого и сетчатослоистого вида, горизонты с атакситовой криогенной текстурой, сингенетические и эпигенетические повторножильные [illegible]	Простой (первично однообразная толща, накапливающаяся при неизменных гидрогеологических и геокриологических условиях)	Аллювиальные, флювиогляциальные, прибрежно-морские пески, делювиальные суглинки и супеси Встречаются по всей области многолетнемерзлых пород
	Приращение толщи происходит через сезонноталый слой	Сложный (первично неоднородная толща, накапливающаяся в различных гидрогеологических и геокриологических условиях)	Аллювиальные, озерные, озерно-болотные, делювиальные - солифлюкционные суглинки и супеси Встречаются преимущественно на севере области многолетнемерзлых пород (северная разновидность сингенетических мерзлых отложений)

Приложение II

Условные обозначения различных типов подземного льда и криогенных текстур при составлении геокриологических разрезов и колонок (автор Б.И. Втюрин)

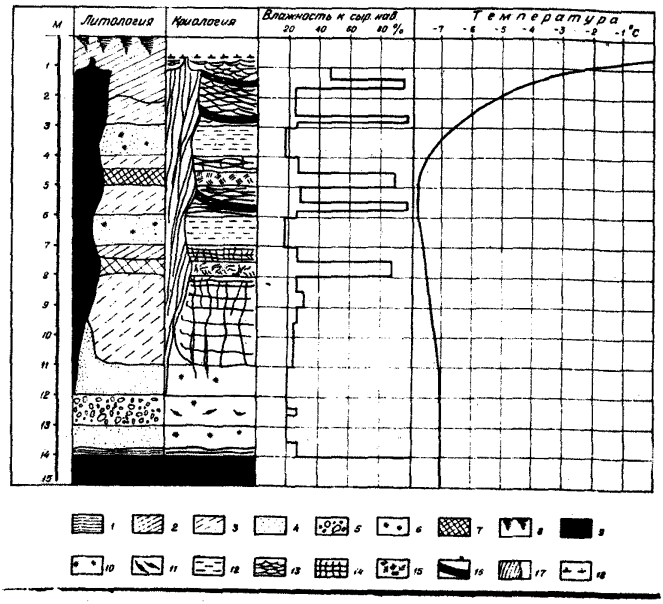


I - Граница многолетнемерзлых пород; 2 - лед; 3 - повторные ледяные жилы: а - эпигенетические, в - сингенетические; 4 - линзы инъекционного и сегрегационного льда: а - сезонные, б - многолетние; 5 - термокарстово-пещерный лед в жиле; 6 - погребенный лед (в зависимости от генезиса льда рядом ставится начальная буква, например л - ледниковый, р - речной и т.д.).

Криогенные текстуры: 7 - массивная; 8 - базально-массивная; 9 - а - гнездовая, в - порфировидная; I0 - слоистая (линзовидная); II - слоистая: а - горизонтальная, в - косая, с - вертикальная; I2 - горизонтальнослоистая: а - толстошлировая частослоистая, в - среднешлировая среднеслоистая, с - толстошлировая редкослоистая; I3 - сетчато-слоистая: а - тонкошлировая, в - среднешлировая; I4 - неполносетчатая; I5 - сетчатая: а - тонкошлировая мелкосетчатая, в - среднешлировая среднесетчатая, с - толстошлировая крупносетчатая; I6 - беспорядочносетчатая; I7 - ячеистая: а - тонкошлировая мелкоячеистая, в - среднешлировая среднеячеистая, с - толстошлировая крупноячеистая; I8 - сложная: а - горизонтальная редкослоистая среднешлировая I-го порядка и тонкошлировая сетчато-слоистая - 2-го порядка; в - толстошлировая редкослоистая I-го порядка и тонкошлировая частослоистая - 2-го порядка; I9 - сложная: а - толстошлировая крупносетчатая I-го порядка и тонкошлировая беспорядочносетчатая - 2-го порядка; в - толстошлировая крупносетчатая I-го порядка и тонкошлировая частослоистая - 2-го порядка; 20 - атакситовая; 2I - беспорядочнослоистая (ложно-шлировая).

Приложение I2

Схематический геокриологический разрез



Литология: I - глина, 2 - суглиной, 3 - супесь, 4 - песок, 5 - гравий, галька, валуны, 6 - оторфованность.
7 - торф.8 - почва.
Криология: 9 - лед.
Криогенные текстуры: I0 - массивная; II - порфировидная, I2 - слоистая; I3 - сетчато-слоистая; I4 - сетчатая; I5 - беспорядочнослоистая (ложно-шлировая); I6 - атакситовая; I7 - слоистость в ледяной жиле;I8 - граница многолетнемерзлых пород.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

Предисловие 3

I. Основные понятия, термины 4

2. Полевые исследования криогенных текстур 7

3. Особенности строения крупных скоплений подземного льда I2

4. Полевые исследования крупных скоплений подземного льда I8

5. Криогенное строение многолетнемерзлых пород 28

Литература 33

Приложение I-I2 36

Адрес редакции

Москва, Б-78, ул.Каланчевская, д. 2а

Тел. 294-26-86 Редактор Н. Бореева

Л. 50532 Подп.к печ. 21-I .....1969.

Заказ №. 98. Тираж. 800 экз. Цена I5 коп.

Отпечатано в Производственных экспериментальных мастерских ЦИНИСа Госстроя СССР

gost.e-ecolog.ru