

А. И. ПОПОВ

**АЛЬБОМ
КРИОГЕННЫХ
ОБРАЗОВАНИЙ
В ЗЕМНОЙ КОРЕ
И РЕЛЬЕФЕ**



Дорожному Георгию Казимировичу
Шушанскому
— с любовью
20/XI-73 А. И. Попов

А. И. ПОПОВ

**АЛЬБОМ КРИОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ
В ЗЕМНОЙ КОРЕ И РЕЛЬЕФЕ**

(учебное пособие)



ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА 1973

УДК 551.340

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Московского университета

2-9-2
160—72

© Издательство МГУ, 1973

Предисловие

Для наилучшего усвоения студентами материала по курсам, читаемым на географических и геологических факультетах университетов, таким, как «Общее мерзлотоведение», «Криолитология», «Геология и геоморфология полярных стран», необходимы наглядные учебные пособия. Однако их нет. «Альбом криогенных образований в земной коре и рельефе» хотя бы отчасти восполнит имеющийся в этом отношении пробел.

Структура альбома, сама схема расположения материала в нем соответствуют генетической системе криогенных образований, предложенной ранее автором (Попов, 1967). Произведенная систематизация материала, как кажется нам, в наибольшей степени отражает генетическую сущность, сопряженность и соподчиненность криогенных явлений в земной коре, обуславливающих главнейшие морфогенетические признаки криогенных образований как явления зонального.

Структурное построение альбома отвечает содержанию и плану названных выше учебных курсов, читаемых на географическом факультете Московского университета.

Мы понимаем, что первый опыт составления такого альбома, отсутствовавшего как у нас, так и за рубежом, содержит в себе ошибки и недостатки. Все критические замечания по этому поводу автор примет с благодарностью.

Введение в криолитологию

Криогенные образования — это результат промерзания земной коры, обуславливающий ее специфическое строение, нередко они проявляются в рельефе земной поверхности. Следовательно, криогенные явления должны изучаться в аспекте геологическом и геоморфологическом. Лед — главнейший и определяющий элемент криогенного процесса — самый поверхностный, самый низкотемпературный и легкий минерал в земной коре и его физическое состояние зависит от изменчивости физико-географической обстановки.

Процессы промерзания — протаивания в земной коре следует рассматривать как процессы криолитогенеза, в результате которых возникают криогенные горные породы и образуемые ими комплексы.

Изучение мерзлотных явлений в земной коре, т. е. мерзлотного литогенеза, или криолитогенеза, выделяется в самостоятельную дисциплину — криолитологию. Термин этот предложен в 1954 г. Е. М. Катасоновым.

Криолитология — раздел мерзловедения и литологии. Это дисциплина, пограничная между геологией и физической географией. Объектом изучения криолитологии являются криогенные горные породы и слагаемый ими рельеф — компоненты ландшафтной оболочки. Поэтому вполне очевидна необходимость изучения всех стадий формирования криогенных пород, включая и докриогенные стадии.

Вправе ли мы толщи мерзлых и ледяных пород рассматривать в качестве объекта литологии, т. е. учения об осадочных породах? Да. Для этого есть следующие серьезные основания.

Наиболее значительные проявления мерзлотного процесса и формирование подземных льдов наблюдается только в осадочных породах. Воздействие мерзлотных процессов на кристаллические и метаморфические плотные породы всегда в итоге проявляется как разрушающий фактор, сколь бы длительным ни было мерзлое состояние такой породы. Мерзлые, промерзающие и оттаивающие кристаллические плотные породы не должны выпадать из поля зрения криолитолога, так как известно, что литологическое изучение осадочных пород начинается с момента разрушения пород исходных, т. е. коренных, с момента подготовки рыхлого материала для последующего перемещения и осаждения в водоемах или отложения на суше. Следовательно, мерзлые коренные породы должны рассматриваться как находящиеся в начальной стадии криогенного выветривания. Для того чтобы систематизировать криогенные горные породы и классифицировать их, следует определить, что представляет собой криолитогенез с геологической точки зрения. Мы пришли к заключению, что в геологическом отношении его следует понимать в двух аспектах: 1) как процесс элювиальный (выветривания) и 2) как процесс диагенеза. Оба процесса одного ранга, но каждый дает различный литологический эффект (Понов, 1967).

Криоэлювиальный процесс представляет собой ряд сменяющих друг друга стадий разрушения кристаллических, метаморфических и уплотненных осадочных (известняк, алевролит, аргиллит) пород, а также изменения рыхлых пород в сторону уменьшения крупности ми-

неральных частиц до пылевой фракции. Замерзание воды в первичных трещинах плотных пород нужно рассматривать как первую стадию криогенного выветривания, за которой последуют стадии более значительного разрушения и глубокого изменения механического состава пород.

Криоэлювиальные образования, формирование которых начинается с однократного промерзания кристаллической, метаморфической и уплотненной осадочной (известняк, алевролит, аргиллит) пород, в своем наиболее завершенном виде есть результат многократного чередования промерзания и протаивания любой исходной породы. В стадии наиболее полного развития они подвержены влиянию обратимых систематически возникающих, но кратковременных процессов льдообразования. В данном случае лед представляется как временный, активно действующий минерал, который часто не сохраняется в уже сформировавшейся криоэлювиальной породе.

Криоэлювиальный процесс изучается криолитологией как процесс подготовки материала выветривания для последующего переноса и отложения в виде осадочной породы и как процесс, формирующий кору выветривания, характеризующуюся специфическими чертами. Таковы, например, некоторые виды лёссовых образований.

Криогенный диагенез (или криодиагенез) — процесс длительного необратимого льдообразования, а также преобразования самого минерального субстрата (уплотнения, обезвоживания и т. д.) как в свежотложенных осадках, так и в рыхлых, ранее относительно литифицированных породах. Лед в этом случае представляет собой аутигенный минерал — долговременно существующий компонент криогенной горной породы.

Криодиагенез выступает в качестве ведущего диагенетического процесса в том случае, когда промерзание сопутствует седиментации или когда накопившийся до промерзания осадок не претерпел заметных диагенетических преобразований обычного типа (например, на поймах рек, в некоторых озерах и на морских мелководьях при низких температурах и т. д.) и, лишь промерзнув, превратился в породу.

Во всех таких случаях мерзлотный диагенез является ведущим, главным фактором литификации и, конечно, должен рассматриваться литологией.

Криодиагенез выступает в качестве вторичного, или побочного, диагенетического процесса в том случае, когда промерзание происходит после того как осадок претерпел то или иное диагенетическое преобразование обычного типа и превратился в рыхлую породу. В этом случае промерзание следует рассматривать как стадию последующего, продолжающегося диагенетического изменения ранее сформировавшейся породы, т. е. как вторичный диагенез, наложившийся на осадок, первично уже преобразованный в породу. Это стадия продолжающейся именно диагенетизации рыхлой породы, а не какого-либо более глубокого ее преобразования, так как промерзание (при отсутствии периодического оттаивания) сопровождается дальнейшим внутриобъемным сжатием и обезвоживанием минеральных агрегатов в тонкодисперсных породах и выделением аутигенного минерала — льда в любых осадочных породах. Последнее — есть свидетельство установления в данной системе относительного термодинамического равновесия, соответствующего климатическим и прочим физико-географическим условиям зоны устойчивого охлаждения. Лед — минерал, простой по химическому составу и самый низкотемпературный, соответствует, конечно, условиям лишь

диагенетизации, а не более глубокого изменения пород в сторону метаморфизации.

Стадию вторичной, или побочной, мерзлотной диагенетизации следует выделять на основании еще не утраченной способности рыхлосвязанной воды мигрировать к фронту промерзания в тонкодисперсных средах (глины, алевроиты и т. п. породы). Подвижность рыхлосвязанной воды — важнейший показатель еще не столь глубокого преобразования породы.

Именно поэтому в данную стадию несмотря на имеющуюся общую диагенетизацию в тонкодисперсных средах формируются наложенные слоистые и сетчатые криогенные текстуры, образованные сегрегационным льдом.

Осадочные породы, прошедшие стадии катагенеза и особенно метаморфизма, а также кристаллические изверженные породы при промерзании характеризуются совершенно иными процессами. В этих породах вода, как правило, свободная, может замерзнуть лишь в трещинах, возникающих ранее, т. е. до промерзания. Миграции связанной воды, за ее отсутствием, при этом нет и потому новой наложенной криогенной текстуры тут не возникает и никакой текстурной перестройки при установлении отрицательной температуры не происходит. Поэтому-то промерзание плотных пород всегда есть первая стадия их разрушения, о чем уже говорилось.

Наиболее общая схема рассмотренного выше криогенного диагенеза трехстадийна. При этом следует иметь в виду, что стадии эти могут во времени практически почти накладываться друг на друга.

Первая стадия — промерзание, включающее дегидратацию ниже фронта промерзания (в тонкодисперсных осадках) или сопровождающееся отжатием воды от фронта промерзания (в грубодисперсных осадках);

2*

аутигенное льдовыделение — формирование криогенных текстур; внутриобъемное сжатие агрегатов скелета грунта.

Вторая стадия — развитие растягивающих, при благоприятных условиях, напряжений, возникновение морозобойных трещин и полигонально-жильного льда.

Третья стадия — перекристаллизация и иные преобразования в структуре подземных льдов, связанные с температурными изменениями и динамическими напряжениями.

Выяснение геологической сущности мерзлотного процесса предопределяет возможность классификации криогенных горных пород. Так, в качестве продуктов мерзлотного диагенеза выделяется группа криолитов (ледяных мономинеральных пород) и группа криолититов (льдистых полиминеральных пород). В качестве продуктов мерзлотного выветривания выделяется группа криозлювиитов, подверженных различным деформациям в пределах деятельного слоя: пучению, течению, механической дифференциации материала и т. п.

Типы криолитогенеза

Процессы льдообразования в земной коре очень разнообразны и зависят от степени охлаждения горных пород, значений зимних температурных градиентов, режима замерзания, а также от многообразия геологических условий, влажности пород, физико-географического разнообразия земной поверхности и т. д. Однако в наибо-

лее обобщенном виде все многообразие процессов криолитогенеза представляется в виде двух основных комплексов, или типов: эпигенетического (промерзание, наложенное на ранее образовавшийся субстрат) и сингенетического (промерзание, сопутствующее накоплению осадков). Мерзлые и криозлювиальные немерзлые толщи горных пород каждого из этих типов характеризуются определенным строением, обусловленным специфичностью протекания процессов криолитогенеза.

Эпигенетический тип мерзлых толщ, представленный скальными — кристаллическими, метаморфическими и другими уплотненными породами (прошедшими стадию катагенеза), сверху характеризуется горизонтом прерывистого криогипергенеза — деятельный слой, в котором происходит промерзание — протаивание, криогенное выветривание (криогипергенез), сортировка механического состава, пучение и течение вторичного продукта выветривания и другие процессы. Весьма часто процессы, происходящие здесь, проявляются в рельефе земной поверхности.

В области вечной мерзлоты ниже выделяется горизонт мерзлой скальной породы, представляющий собой трещиноватый криогенный массив (жильный лед в трещинах плотных пород). Мощность его может достигать нескольких сот метров.

В мерзлых толщах эпигенетического типа, представленных осадочными породами, не достигшими стадии катагенеза, выделяются по вертикали три горизонта, отличных друг от друга по морфоструктурным признакам: 1 — горизонт прерывистого (сезонного) криогипергенеза; 2 — горизонт активного криодиагенеза; 3 — горизонт пассивного криодиагенеза.

Горизонт прерывистого криогипергенеза — деятельный слой, в котором происходят процессы, уже указан-

ные для предыдущего случая. Они также обнаруживают себя в рельефе земной поверхности в виде то сезонно существующих, то многолетних форм рельефа. Мощность этого горизонта от 20—30 см в Арктике до нескольких метров у южной границы вечной мерзлоты и за пределами ее области, где имеется лишь глубокое сезонное промерзание — протаивание.

Горизонт активного криодиагенеза соответствует верхней части вечномерзлой толщи, где происходит резкое зимнее выхолаживание. В его пределах возникают большие зимние температурные градиенты, вызывающие интенсивную миграцию воды и формирование тонкодисперсных крилититов с мелкосетчатой и мелкослойистой криогенной текстурой, а также высокольдистых инъекционных криолититов и криолитов в виде крупных ядер бугров пучения (первая стадия криодиагенеза). Большими температурными градиентами обусловлено и развитие значительных механических напряжений, при определенных условиях разрешающихся морозобойными трещинами (вторая стадия криодиагенеза). Последние проходят через мерзлый деятельный слой и развешивают горизонт активного криодиагенеза до глубины 3—5 м от дневной поверхности.

Морозобойные трещины предопределяют образование решеток полигонально-жильных льдов (криолитов), которые «просвечивают» сквозь деятельный слой в виде валиковых полигональных систем в рельефе.

Процессы, свойственные горизонту активного криодиагенеза, как современные, так и имевшие место в прошлом, обычно обнаруживаются на земной поверхности в виде многолетних форм рельефа. Это горизонт высокой динамичности горных пород при их промерзании, высокой активности мерзлотных процессов, обусловленной импульсами ежегодного зимнего охлажде-

ния. Структурные черты этого горизонта обусловлены как современными процессами (главным образом во второй стадии криодиагенеза), зависящими от систематических сезонных температурных изменений, так и высокоактивными процессами обеих стадий криодиагенеза еще в период формирования эпигенетической мерзлой толщи. Мощность горизонта активного криодиагенеза 6—12 м.

Горизонт пассивного криодиагенеза, расположенный ниже предыдущего, по мощности часто превосходит его во много раз. В нем, вследствие весьма малого изменения температуры в году, структурные черты определяются еще в процессе длительного эпигенетического формирования вечной мерзлоты, замедленного промерзания. Здесь вялы процессы миграции воды, относительно слабы инъекционные процессы, полностью отсутствует морозобойное трещинообразование.

Таким образом, криогенная литификация тут соответствует лишь первой стадии криодиагенеза. Процессы, здесь протекающие, не проявляются в рельефе земной поверхности. Итак, это горизонт слабой динамичности, пассивного промерзания, обусловленного общим уровнем теплообмена в земной коре, но непосредственно не связанного с ежегодными импульсами зимнего выхолаживания.

Горизонт этот может быть подразделен на два подгоризонта. Верхний подгоризонт характеризуется тем, что в глинисто-алевритистых породах при температурном градиенте $1^{\circ}/1$ м могли и могут идти процессы миграции влаги, хотя и медленные. Они приводят к образованию крупносетчатых или крупнослоистых криолититов. Нижний подгоризонт характеризуется тем, что на некоторой глубине, где температурный градиент менее $0,2^{\circ}/1$ м, миграция влаги и, таким образом, льдовы-

деление полностью прекращаются, и порода представлена лишь массивной криогенной текстурой. Правда, изредка наблюдаются отступления от этого правила в связи с неравномерностью увлажнения толщи и домерзлотной трещиноватостью, и тогда могут возникнуть льдистые прослои, иногда довольно мощные.

Замерзание водоносных песков и других грубодисперсных пород здесь приводит к образованию пластовых инъекционных криолитов и криолититов, которые не дают каких-либо оснований для подразделения горизонта пассивного криодиагенеза.

Сингенетический тип криолитогенеза предполагает нестационарность земной поверхности, т. е. накопление осадков и их промерзание. Сингенетический процесс заключается в льдообразовании в деятельном слое с систематическим последовательным переходом его сезонномерзлого (обычно льдистого) основания в вечномерзлое состояние по мере накопления осадков.

По мере осадконакопления слой осадка, первоначально бывший в деятельном слое, затем ставший вечномерзлым в условиях горизонта активного криодиагенеза, наконец выходит за его пределы и переходит в состояние относительной консервации, где никаких новых резких воздействий он не испытывает и где может происходить лишь перекристаллизация льда под влиянием температурных изменений и динамических напряжений.

Следовательно, в сингенетических толщах выделяются также три горизонта, однако существенно отличных от трех горизонтов эпигенетических толщ: 1 — горизонт прерывистого (сезонного) криодиагенеза; 2 — горизонт активного криодиагенеза; 3 — горизонт относительной консервации.

Горизонт прерывистого криодиагенеза также представляет собой деятельный слой, в котором чередуются

промерзание и протаивание, со многими чертами, присущими ему в эпигенетическом типе. Но он существенно отличен от горизонта криогипергенеза, свойственного эпигенетическим толщам, в том отношении, что именно гипергенез здесь практически не проявляется вследствие сравнительно быстрого накопления осадков, малой мощности деятельного слоя, а потому сравнительно быстрого перехода свежего осадка в вечномерзлое состояние. Это положение особенно справедливо в отношении алевритистых осадков, как известно, не подверженных дальнейшей криогенной диспергации. Процессы же криодиагенеза, хоть и прерываемого летним протаиванием, тут очевидны. Первая стадия криогенной литификации при сингенезе почти завершается при переходе ранее сезонно промерзавшего осадка в вечномерзлое состояние. Своеобразие сингенеза как процесса диагенетического состоит также в том, что промерзание деятельного слоя часто происходит снизу, когда волна охлаждения сверху еще не успевает охватить его целиком. Это обстоятельство является причиной часто высокой льдистости осадков в основании деятельного слоя, переходящего на положение горизонта активного криодиагенеза. В этом особое значение горизонта прерывистого криодиагенеза в сингенетическом типе как потенциального горизонта активного криодиагенеза. Таким образом, наименование: горизонт прерывистого криодиагенеза (а не криогипергенеза) вполне оправдано.

Горизонт активного криодиагенеза также не подобен горизонту с таким же названием в мерзлой толще эпигенетического типа. Как видим, этот горизонт наследует черты прерывистого криодиагенеза и испытывает воздействие накладывающихся процессов полигонально-жильного льдообразования.

Несходство заключается в том, что активная крио-

генная диагенетизация в эпигенетическом типе, по мере промерзания в глубину, идет непрерывно. Криогенная диагенетизация в сингенетическом типе, в условиях деятельного слоя, прерывна, еще более активна и в какой-то степени может сопровождаться диспергацией фракций крупнее пылевой и укрупнением агрегатов глинистой фракции, т. е. некоторыми, правда, слабыми, признаками элювиирования, что не противоречит в основном диагенетической сущности происходящих здесь процессов. Несходство еще и в том, что нарастание горизонта активного криодиагенеза при эпигенезе происходит сверху вниз, а при сингенезе — снизу вверх.

Имеется и другое принципиальное отличие. При сингенезе криодиагенез всегда выступает в качестве ведущего, главного фактора литификации, когда формирование породы уже произошло под влиянием диагенеза обычного типа.

Горизонт относительной консервации в свою очередь наследует все черты горизонта активного криодиагенеза и сохраняет их более или менее неизменными. Таким образом, горизонт относительной консервации не имеет ничего общего с горизонтом пассивного криодиагенеза толщ эпигенетического типа.

Следовательно, три горизонта мерзлых толщ сингенетического типа генетически и морфологически не сходны с тремя горизонтами мерзлых толщ эпигенетического типа.

При отсутствии вечной мерзлоты, когда имеет место лишь сезонномерзлотный процесс, при стационарности земной поверхности (при эпигенезе) формируется только горизонт криогипергенеза, в условиях которого образуются криоэлювииты.

В случае аккумуляции осадков формируется горизонт криогипергенеза, ниже которого, по мере осадкона-

копления, остается постоянноталый горизонт. Последний несет следы бывшего воздействия сезонного промерзания и испытывает воздействие процессов посткриогенной стадии — деятельности подземных вод, химического выветривания и т. д.

Влияние морозобоя при отсутствии вечномерзлого субстрата сказывается на формировании грунтовых полигональных жил, приуроченных к деятельному слою достаточно большой мощности (более 1,5—2 м). Грунтовые жилы могут быть свойственны как эпи-, так и сингенетическому типам, т. е. наблюдаются как в пределах горизонта криогипергенеза, так и посткриогипергенеза.

О термокарсте. Формы термокарста обычно унаследованы от морфологии ледяных образований разного генезиса, а также от рельефа земной поверхности и поэтому нет надобности выделять самостоятельную генетическую группу термокарстовых явлений. Термокарст следует рассматривать как процесс нисходящего развития ледяных и льдистых пород, и в зависимости от того, какой из видов этих пород подвергается деградации, таянию, к тому и относить соответствующие регрессивные (термокарстовые) формы. Поэтому мы выше их не касались.

Краткий обзор криогенных образований по типам криолитогенеза и соответствующим им генетическим горизонтам следующий:

1. Эпигенетический тип

А. На скальных породах

1. Горизонт криогипергенеза

а. Криозлювишты

1) Криокластопелиты: а) несортированные стационарные покровы из мелкозема, с обломками плотных пород на плато, солифлюкционные натечные фестоны и

террасы на склонах; могут быть сезонномерзлыми, с массивной, слоистой или сетчатой текстурой; б) сортированные — ячеистые на плато (в рельефе каменные многоугольники, кольца), солифлюкционные линейные на склонах (в рельефе — сортированные полосы). Могут быть сезонномерзлыми, с массивной, слоистой или сетчатой текстурой.

2) Криокластиты — развалы, россыпи на плато, кумулы на склонах из глыб кристаллических, метаморфических и тому подобных пород. Могут быть сезонномерзлыми, с массивной текстурой.

б. *Сезонные криолиты*, имеющие подчиненное значение как неконечный продукт криогипергенеза

1) Ледяные ядра инъекционного пучения гидролакколиты. Встречаются редко. В рельефе сезонные бугры пучения.

2) Ледяные пластовые тела — подземные наледы. Встречаются редко. В рельефе почти не проявляются.

2. Горизонт — трещиноватый криогенный массив

а. Криозлювишты

1) Мерзлые (с жильным льдом) трещиноватые кристаллические, метаморфические и т. п. породы.

Б. На осадочных породах (не достигших стадии катагенеза)

1. Горизонт криогипергенеза

а. Криозлювишты

1) Криопелиты: а) несортированные облессованные покровы мелкозема на плато и склонах; покровные суглинки (самостоятельных форм рельефа не образуют); б) сортированные частично облессованные ячеистые на плато (в рельефе — пятна-медальоны), солифлюкционные линейные на склонах (рельефе — полосы). Могут

быть сезонномерзлыми, с массивной, слоистой или сетчатой текстурой.

б. *Сезонные криолиты*, имеющие подчиненное значение, как неконечный продукт криогипергенеза

1) Ледяные ядра инъекционного пучения — гидролакколиты. Встречаются часто. В рельефе — сезонные бугры пучения.

2) Ледяные пластовые тела, подземные наледы. Встречаются часто. В рельефе почти не проявляются.

2. Горизонт активного криодиагенеза

а. *Криолититы*

1) Мерзлые глины, суглинки, алевриты, торф с мелкосетчатой, мелкослоистой, реже массивной и базально-параллелепипедальной криогенной текстурой. В рельефе — многолетние бугры пучения вследствие миграции воды к фронту промерзания (чаще торфяные).

2) Мерзлые пески и галечники с массивной текстурой. В рельефе обычно не проявляются.

б. *Криолиты*

1) Инъекционные: а) ледяные ядра, в рельефе бугры многолетнего пучения — булгуннях; б) пластовые тела, обычно не выраженные в рельефе.

2) Полигонально-жильные. В рельефе — валиковые полигоны.

3. Горизонт пассивного криодиагенеза
а. *Криолититы*

1) Мерзлые глины, суглинки, алевриты, торф с крупносетчатой, крупнослоистой, массивной криогенной текстурой. В рельефе обычно не проявляются.

2) Мерзлые пески и галечники с массивной криогенной текстурой. В рельефе не проявляются.

б. *Криолиты только инъекционные*

Замерзание водоносных горизонтов — пластовые тела. В рельефе не проявляются.

II. **Сингенетический тип**

1. Горизонт прерывистого криодиагенеза

а. *Сезонно промерзающие песчано-глинистые породы* с зимним льдообразованием и соответствующими криогенными текстурами — сетчатыми, слоистыми, массивными: реже базально-параллелепипедальными — криолититы. В рельефе обычно не проявляются.

б. *Сезонные инъекционные ледяные тела* (крайне редки) — *криолиты*. В рельефе проявляются слабо — бугры пучения.

2. Горизонт активного криодиагенеза

а. *Криолититы*

1) Мерзлые глины, суглинки, алевриты, торф с мелкосетчатой, мелкослоистой, реже массивной текстурой. В рельефе почти не проявляются.

2) Мерзлые пески и галечники (массивная текстура). В рельефе не проявляются.

б. *Криолиты*

1) Полигонально-жильный лед. В рельефе валиковые полигоны.

2) Инъекционные пластовые тела (редко), ледяные ядра (редко). В рельефе многолетние бугры пучения — булгуннях.

3) Погребенный лед (очень редко) наледный, речной, озерный, морской, фирновый, глетчерный. В рельефе не проявляется.

3. Горизонт относительной консервации

Все элементы, свойственные двум предыдущим горизонтам. В рельефе не обнаруживаются.

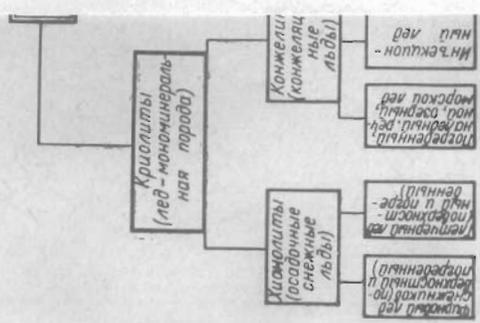
плотный
льдооб-
разова-
ние

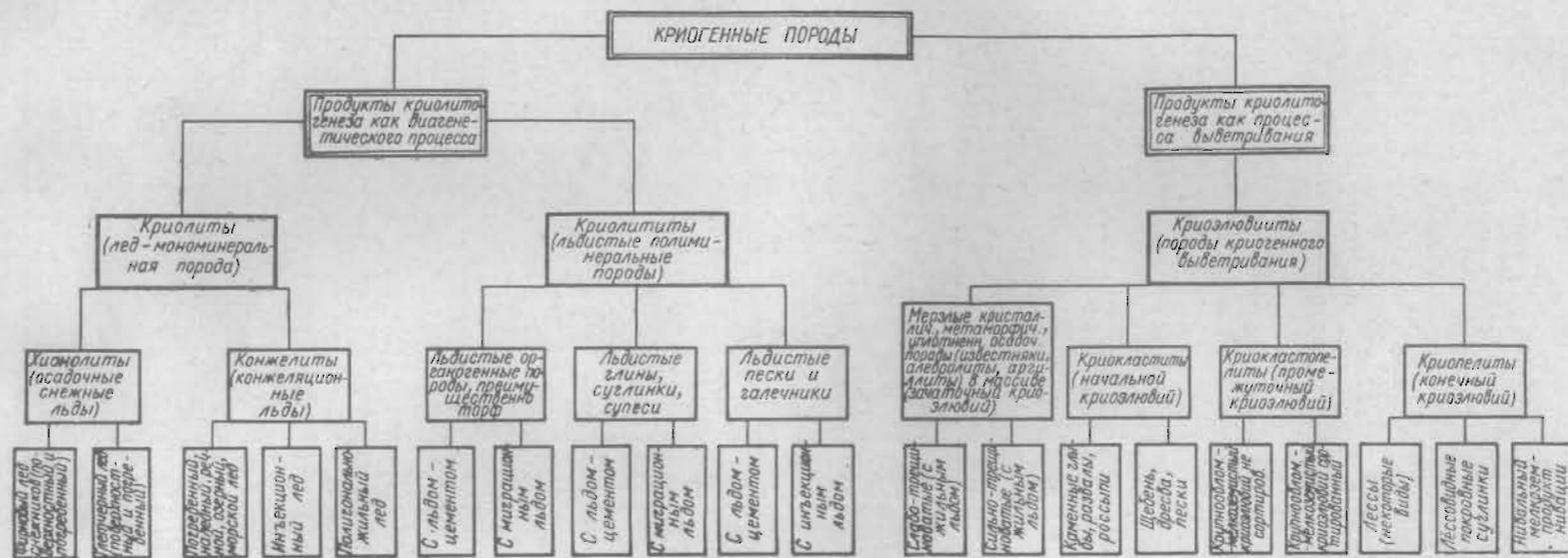
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

к схематической карте на стр. 15

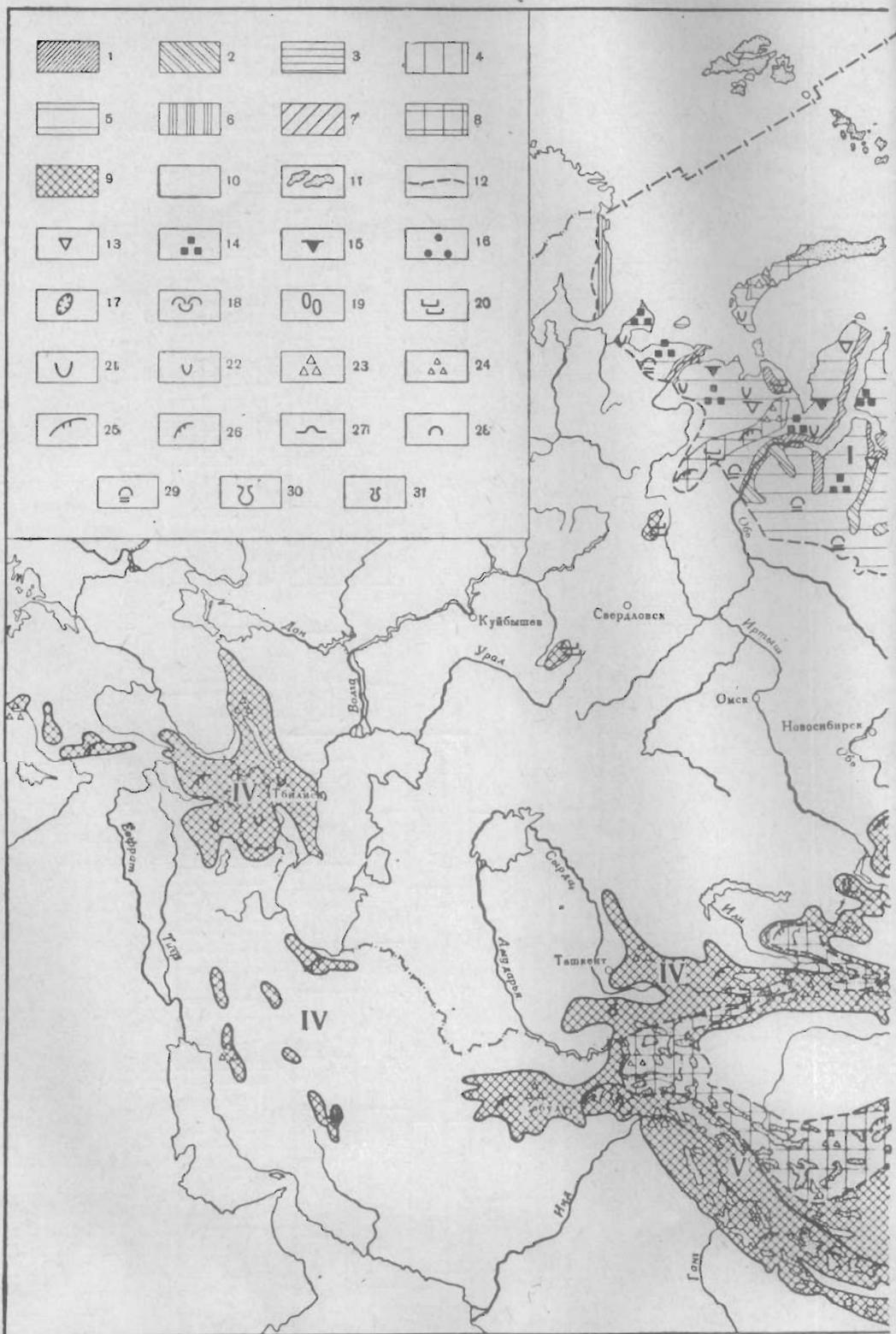
1 — области осадконакопления с сингенетическим промерзанием, образованием вечной мерзлоты и трещинным льдообразованием; 2 — то же, с талым, лишь сезоннопромерзающим основанием; 3 — области относительной стабилизации осадконакопления и сноса в прошлом с сингенетическим промерзанием и трещинным льдообразованием; 4 — то же, с эпигенетическим промерзанием — возвышенные области; 5 — то же, с эпигенетическим промерзанием — низменные области; 6 — то же, с талым, лишь сезоннопромерзающим основанием — возвышенные области; 7 — то же, с талым, лишь сезоннопромерзающим основанием — низменные области; 8 — области денудации с эпигенетическим промерзанием; 9 — то же, с талым, лишь сезоннопромерзающим основанием; 10 — области, не подверженные мерзлотному морфогенезу; 11 — ледники; 12 — южная граница вечной мерзлоты; 13 — полигоны с жильным льдом; 14 — плоскобугристые торфяники; 15 — редуцированные полигоны с грунтовыми жилами — блоки с покровным суглинком; 16 — байджарахи; 17 — аласы; 18 — бугристо-западинные образования; 19 — бугры-могильники; 20 — нагорные террасы; 21 — крупные пятна-медальоны (1,5—4 м); 22 — мелкие пятна-медальоны (15—30 см); 23 — крупные каменные многоугольники (1,5—5 м); 24 — мелкие каменные многоугольники (15—30 см); 25 — крупные солифлюкционные полосы на склонах (1,5—5 м шириной); 26 — мелкие солифлюкционные полосы на склонах (15—30 см шириной); 27 — бугры пучения напорные сезонные; 28 — бугры пучения напорные многолетние; 29 — бугры пучения миграционные; 30 — крупные натечные солифлюкционные формы — террасы, гирлянды и т. п.; 31 — мелкие натечные солифлюкционные формы — гирлянды, дерновые валики и т. п.

Провинция: I—Урало-Сибирская; II—Северо-Сибирская; III—Монголо-Байкальская; IV—Кавказско-Тибетская; V—Гималайско-Манчжурская

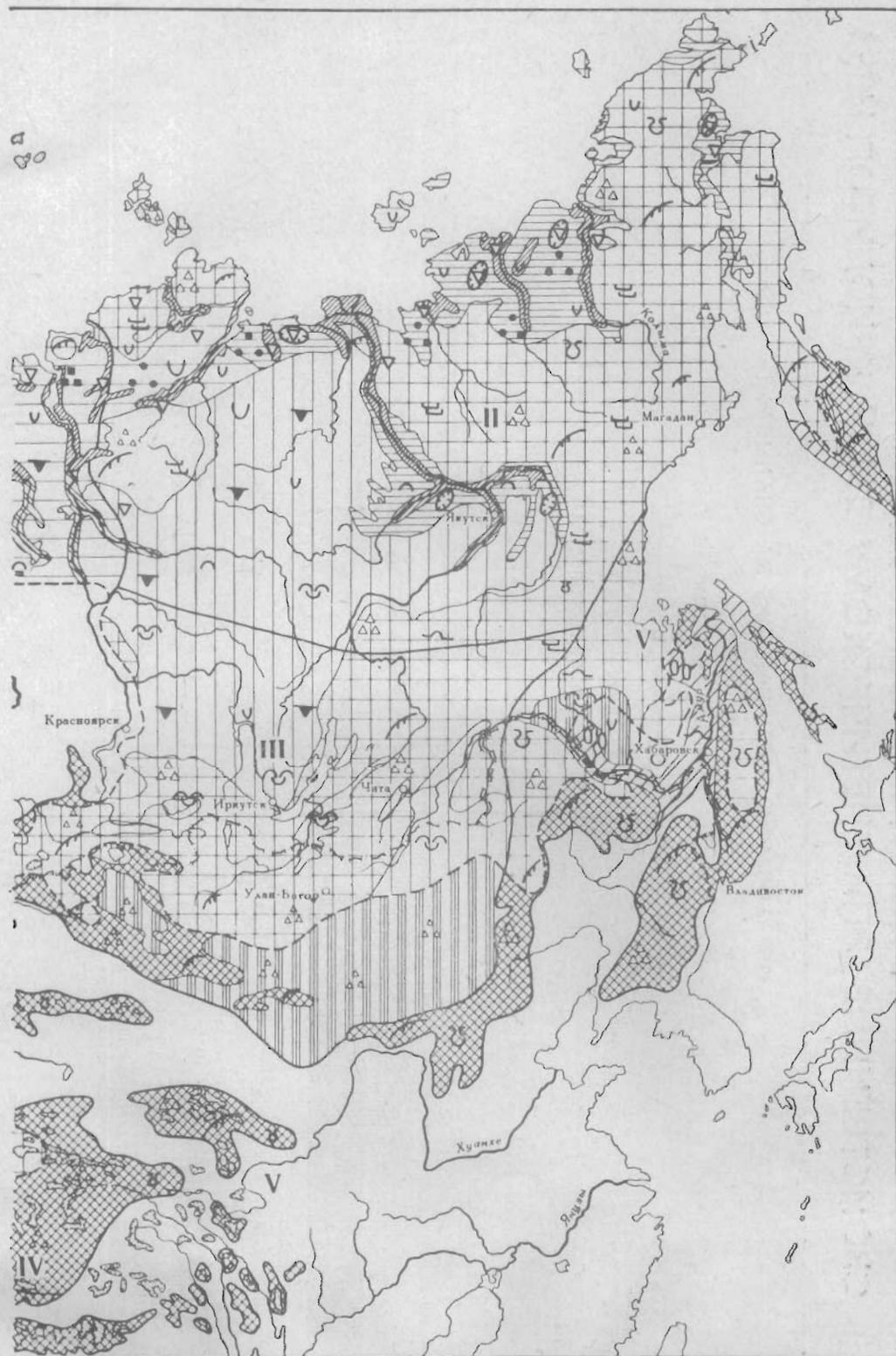




Генетическая система криогенных горных пород (по А. И. Попову, 1967)



Схематическая карта верхнеголоценовых и современных



перигляциальных образований Азии

КРИОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ, СВОЙСТВЕННЫЕ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОМУ ТИПУ КРИОЛИТОГЕНЕЗА

А. ОБРАЗОВАНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ НА СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ



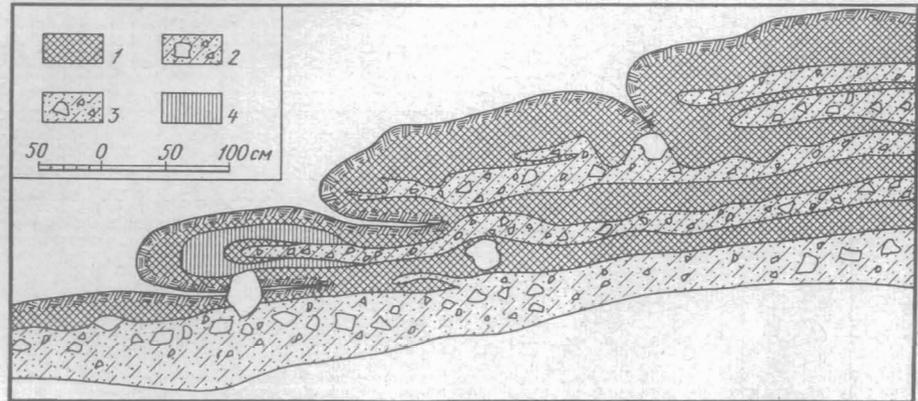
Несортированный криокластопелит — мелкозем с обломками глинистых сланцев. Хр. Кулар.
Фото автора

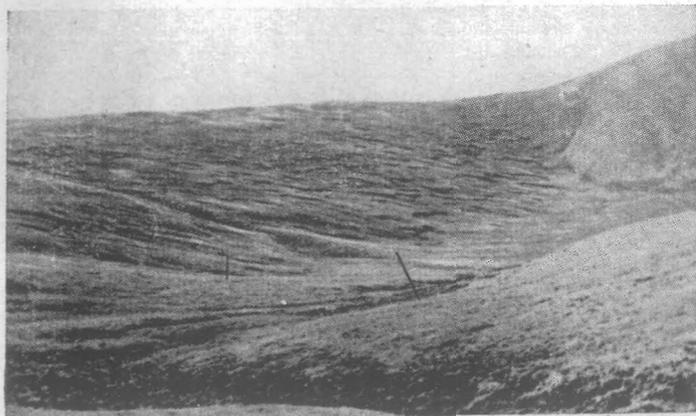
Строение солифлюкционного натёка в Усть-Бельских горах (рис. В. С. Савельева, из книги Т. Н. Каплиной, 1965): 1 — торфяно-дерновый слой и погребенные гумусовые горизонты; 2 — суглинок с дресвой и щебнем; 3 — суглинок с щебнем, песчаный; 4 — крупнопесчаный грунт →

1. ВОЗНИКАЮЩИЕ В УСЛОВИЯХ ГОРИЗОНТА КРИОГИПЕРГЕНЕЗА

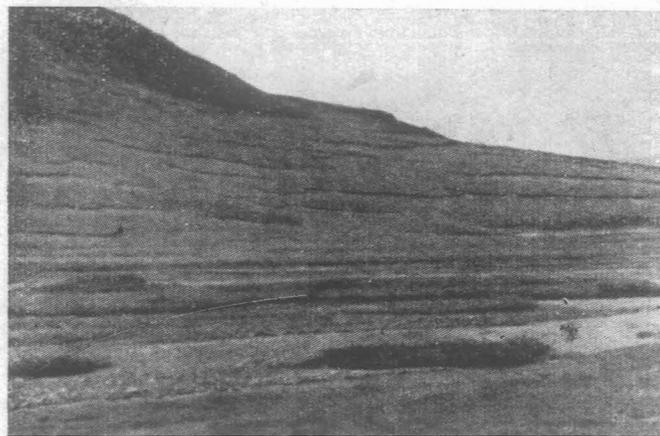
а. Криоэлювииты

1) Криокластопелиты

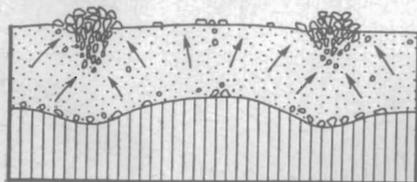




Солифлюкционные натечные террасы и фестоны на склоне.
Тянь-Шань (3600—3700). Фото А. П. Горбунова



↑



Солифлюкционные (натечные) террасы на склоне. Полярный Урал. Фото Л. Ф. Куницына

Одна из начальных стадий сортировки обломочного материала при формировании каменного многоугольника.
Хр. Кулар. Фото автора

→

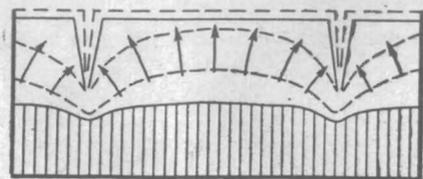
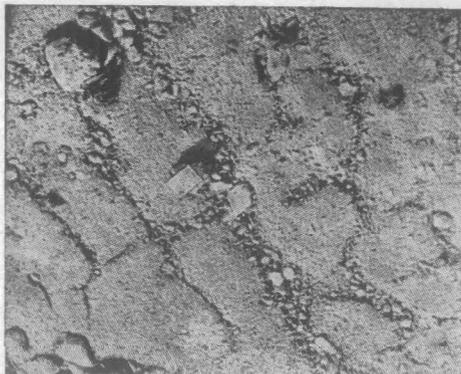


Схема строения сортированного щебнисто-суглинистого криокластопелита (по А. К. Орвину, 1942)





Сортированные каменные много-
угольники. Занлийский Алатау, вы-
сота 3600 м. Фото А. П. Горбунова

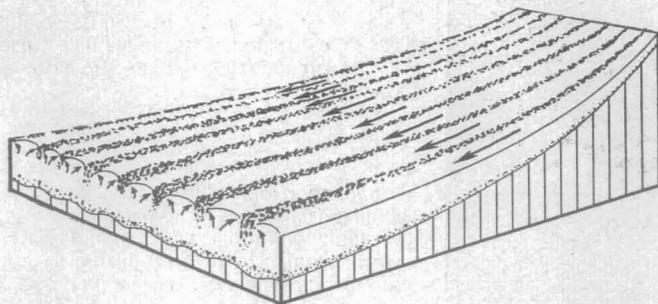
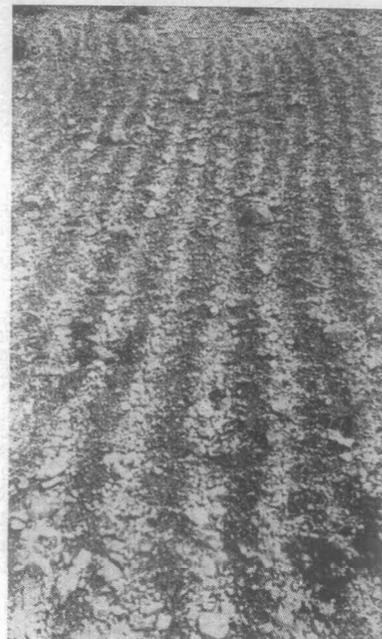


Схема строения сортированного
(на склоне) материала криокла-
стопелита, образующего соли-
флюкционные полосы (по
А. К. Орвину, 1942)

Сортированные солифлюкционные
полосы щебнисто-суглинистого
материала на пологом склоне
(3—5°). Нагорье Сангилен, Тува.
Фото Ю. В. Мудрова

Сортированные каменные много-
угольники. Северная Земля. Фото
В. Г. Чигира





Солифлюкционное течение (сортированные полосы) на склонах, сложенных кристаллическими известняками

Солифлюкционные (сортированные полосы). Фото автора

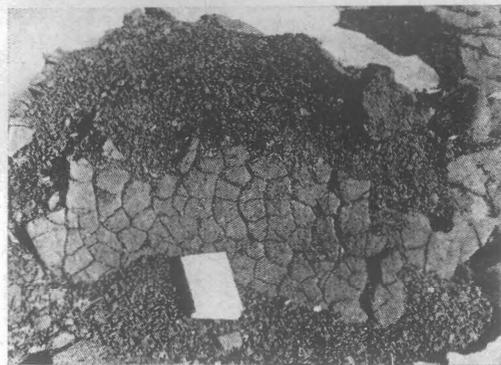


2)* Криокластиты



Курум (каменный поток). Саяны, нагорье Сангилен
(2300—2500 м). Фото Ю. В. Мудрова

← Россыпь гранитов на плато. Северный Таймыр,
Бырранга. Фото автора



Разрушение глыбы базальта. Земля Франца Иосифа;
о. Земля Александры. Фото
← В. Г. Чигира

Детали строения курума.
Саяны, нагорье Сангилен
(2300—2500 м). Фото Ю. В.
Мудрова →



2. ВОЗНИКАЮЩИЕ В УСЛОВИЯХ ТРЕЩИНОВАТО-КРИОГЕННОГО МАССИВА

а. Криоэлювииты

1) Мерзлые трещиноватые кристаллические, метаморфические и другие плотные породы с жильным льдом в трещинах



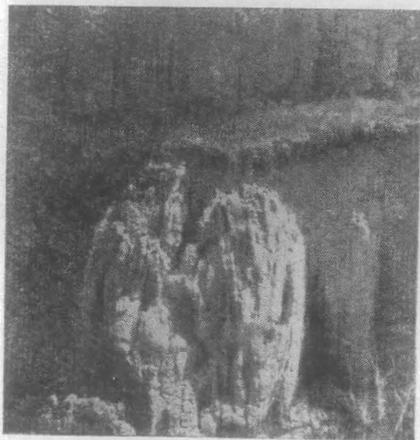
Мерзлый трещиноватый глинистый сланец. Хр. Кулар.
Фото автора

Б. ОБРАЗОВАНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ НА ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ (НЕ ДОСТИГШИХ СТАДИИ КАТАГЕНЕЗА)

1. ВОЗНИКАЮЩИЕ В УСЛОВИЯХ ГОРИЗОНТА КРИОГИПЕРГЕНЕЗА

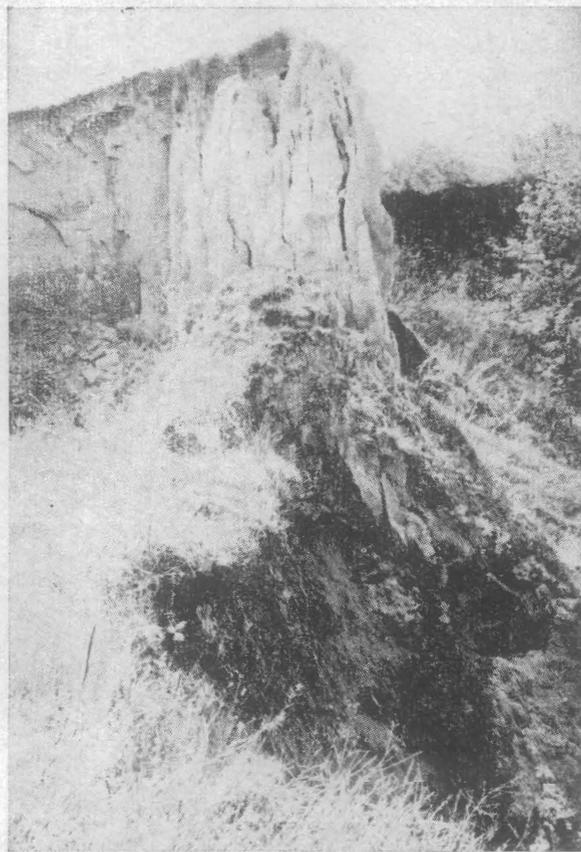
а. Кривоэлювииты

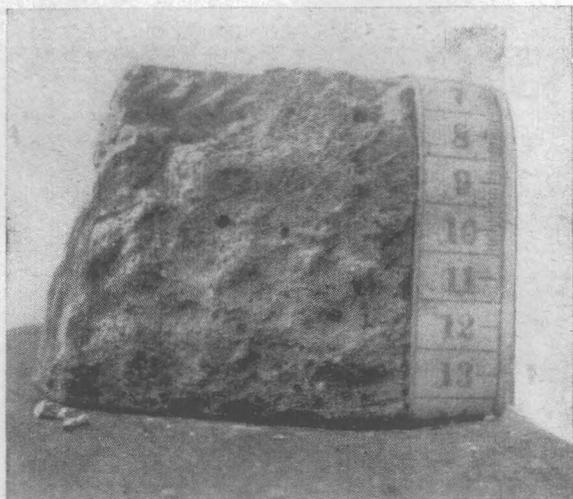
1) Криопелиты



Облессованный мелкозем-криопелит (образует вертикальные стенки, крупнопористый, имеет призматическую отдельность).
Днепр, Канев. *Фото автора*

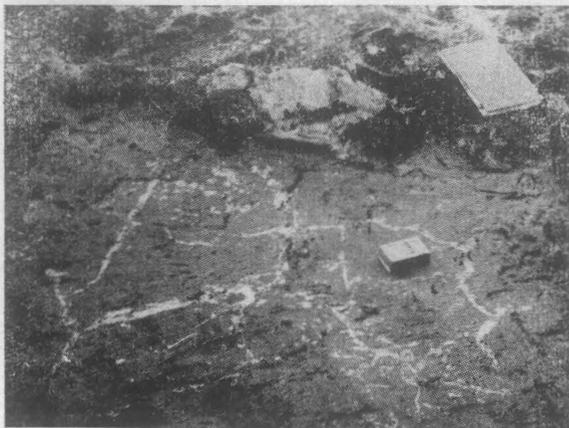
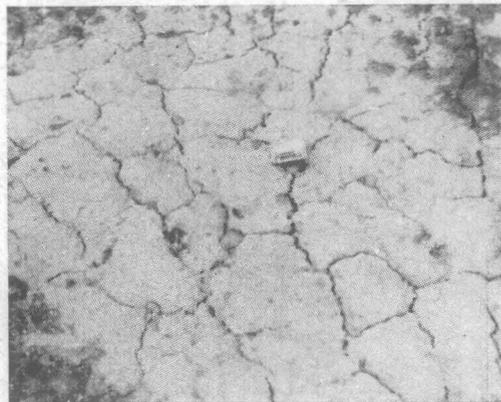
Облессованный мелкозем-криопелит. Видна вертикальная призматическая отдельность. Днепр. Канев. *Фото Г. С. Константиновой*





Крупная пористость в облессованном покровном суглинке-криопелите (из пятна-медальона). Западная Сибирь, водораздельное плато в бассейне р. Полуй.
Фото автора

Первичная трещиноватость от усыхания на поверхности, сложенной пылеватым криопелитом, предопределяющая возникновение пятен-медальонов.
Воркута. Фото автора

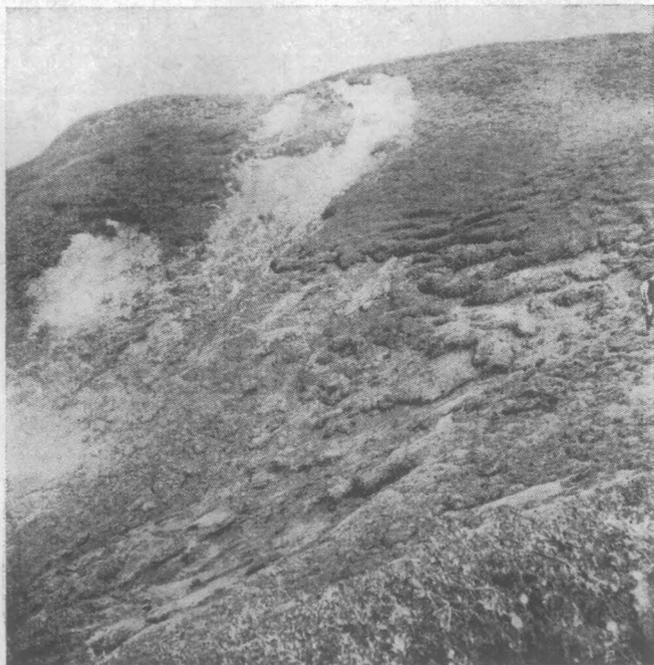


Жилки льда, заполняющие микрополигональные трещины усыхания в плане (гл. 5 см). Земля Франца Иосифа. Фото В. Л. Суходровского

Пятна-медальоны на криопелите. Бырранга.
Фото автора

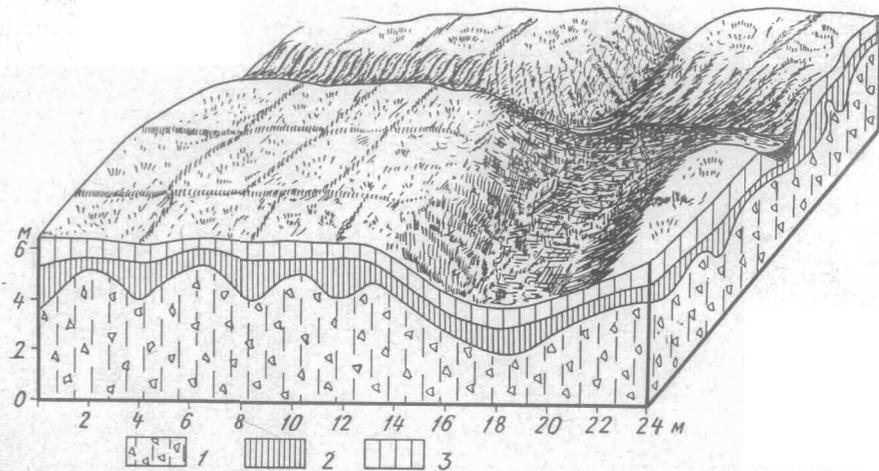


Разрез пятен-медальонов на песчано-пылеватом
криопелите. Видны деформированные глеевые и
гумусовые натеки и разводы. Гыданский полу-
остров. *Фото автора*

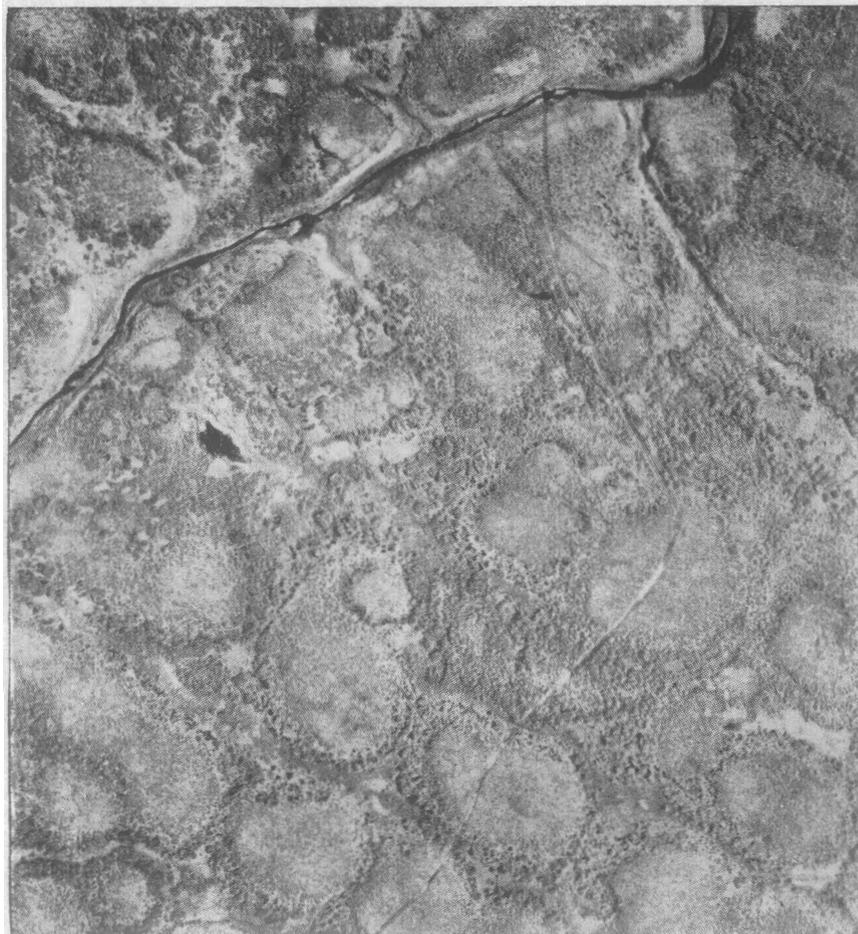


Солифлюкция облессованного покровного суглинка на крутом склоне. Гыданский полуостров. Фото автора

Схема строения блочного рельефа: 1 — суглинок с галькой; 2 — суглинок покровный пестроцветный (криопелит); 3 — суглинок покровный палевый (криопелит)

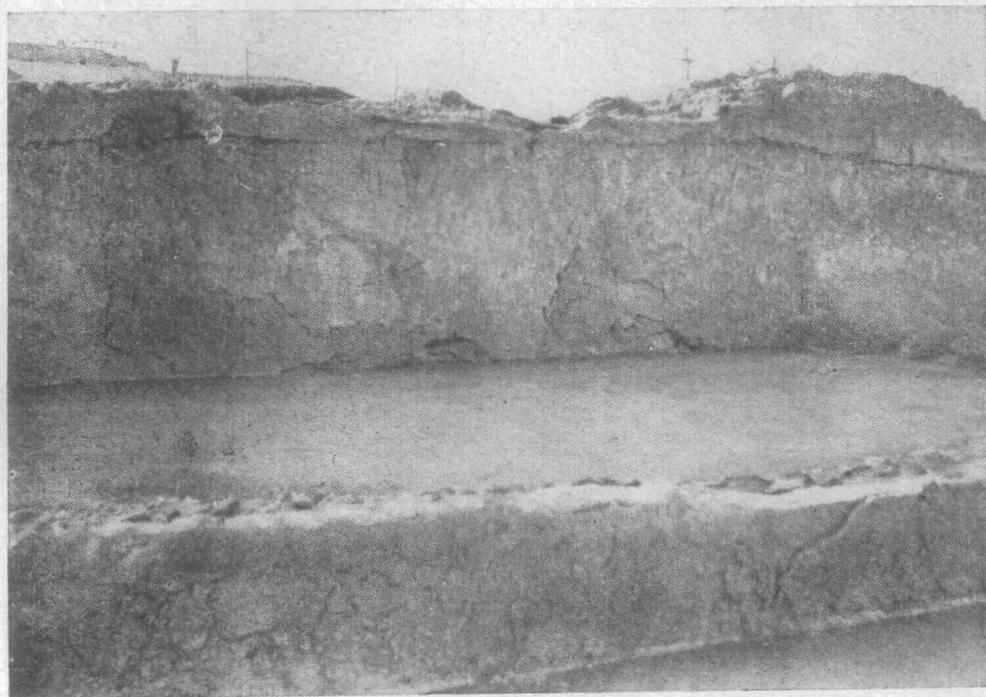


Блочный рельеф на криопелите
Фото Б. А. Тихомирова



Редуцированный блочный рельеф на покровном суглинке (криопелит)

Клиновидная грунтовая жила (покровный суглинок валдайского возраста).
Московская обл., Одинцово. *Фото автора*





Разрушающийся сезонный бугор-гидролакколит. Видно ледяное ядро (инъекционный лед-криолит). Пойма г. Ныды, близ впадения в Обскую губу.
Фото. С. Калесникова



Разрушающийся сезонный бугор-гидролакколит. Видно ледяное ядро. Южная Якутия, руч. Сивагли, приток р. Алдана.
Фото А. П. Тыртикова

б. Сезонные криолиты

- 1) Ледяные ядра инъекционного пучения
- 2) Ледяные пластовые тела

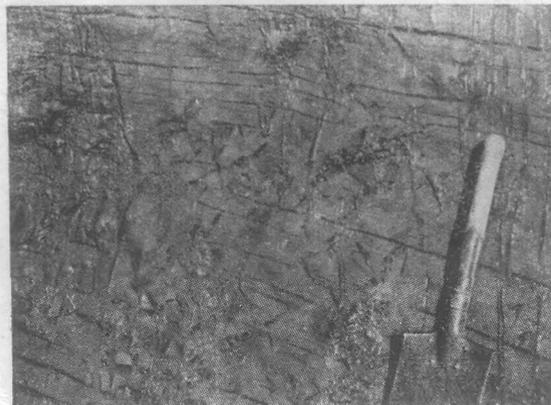
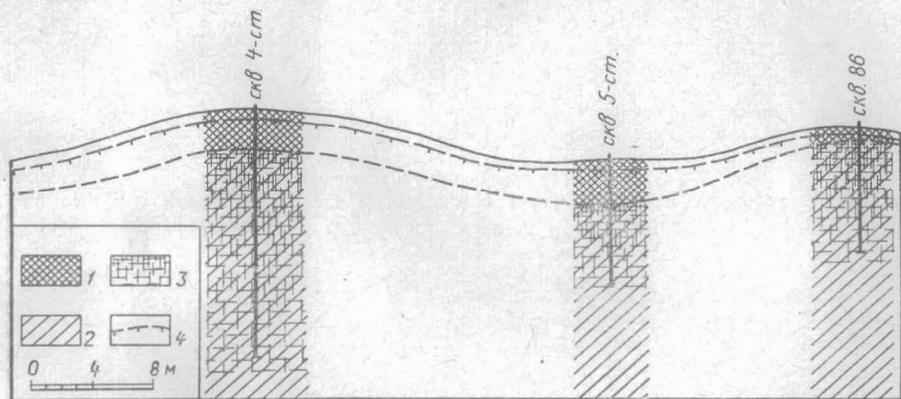


Инъекционное пластовое тело-криолит под слоем супеси. Подземная наледь.
Р. Ионгра, Якутия. *Фото С. Ф. Хруцкого*

2. ВОЗНИКАЮЩИЕ В УСЛОВИЯХ ГОРИЗОНТА АКТИВНОГО КРИОДИАГЕНЕЗА

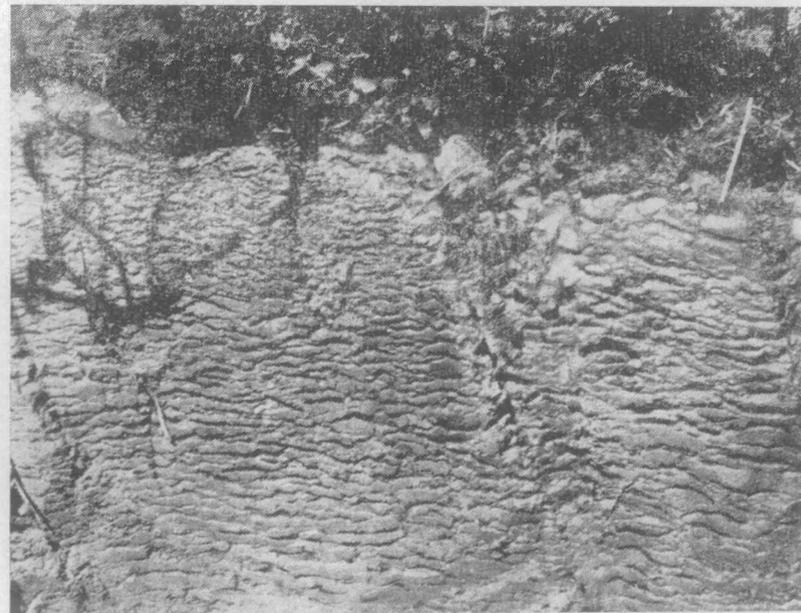
а. Криолититы

1) Мерзлые глины, суглинки, супеси, торф



Разреживающаяся решетка ледяных шлиров (схема): 1 — торф; 2 — суглинок; 3 — ледяные шлиры; 4 — кровля вечной мерзлоты

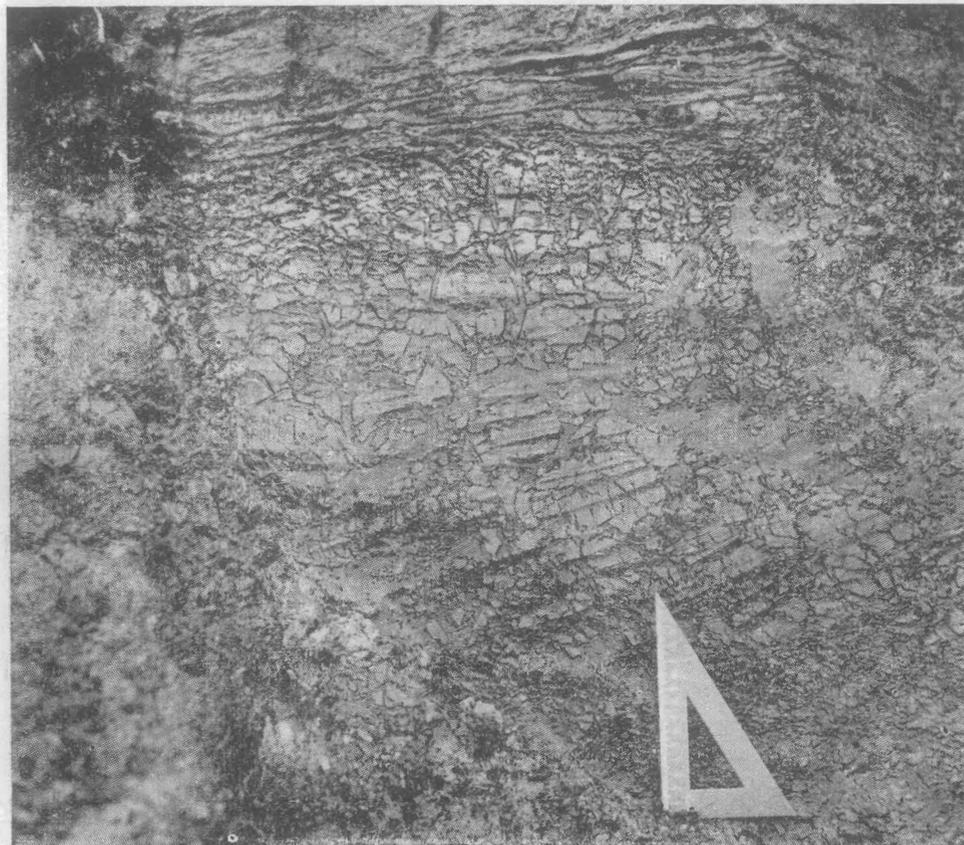
Слоистая криогенная текстура в ленточных глинах. Воркута. Фото автора



Линзовидно-плетенчатая криогенная текстура в суглинке. Бугристая тундра в низовье р. Надыма. Фото А. П. Тыртикова



Базально-параллелепедальная криогенная текстура в верхнечетвертичном (каргинском) ленточном алеврите. Р. Пясина, близ устья р. Тарей. *Фото автора*



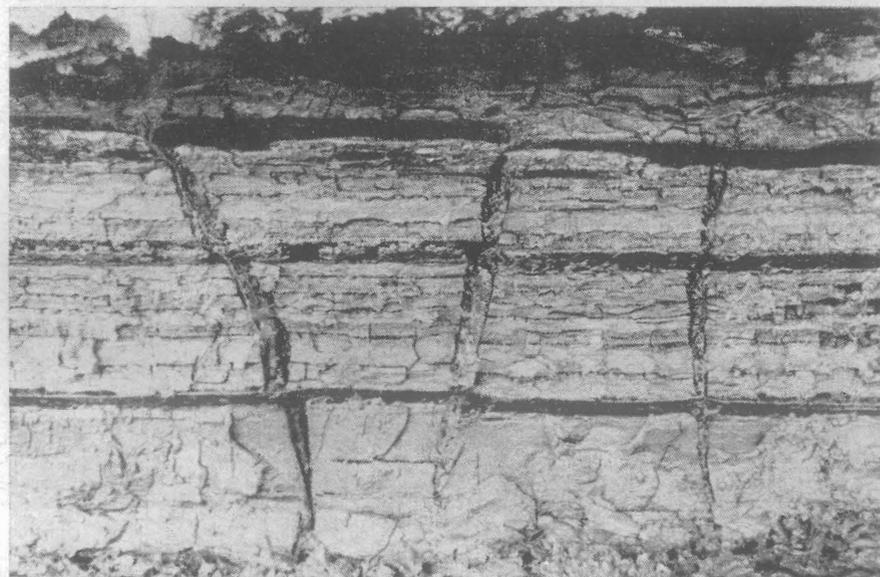
Базально-параллелепедальная криогенная текстура в верхнечетвертичном озёрном суглинке, подстилающем торф. Плоскобугристый торфяник на водораздельном плато. Правобережье р. Оби, близ мыса Салемал. *Фото автора*



Протаивание сегрегационного льда в морских глинах, поверхность которых рассечена морозобойными трещинами (без льда). Протаивание, ориентированное по трещинам, привело к выделению плоских полигональных блоков. Водораздельное плато к востоку от Салехарда (р. Обь). Фото автора

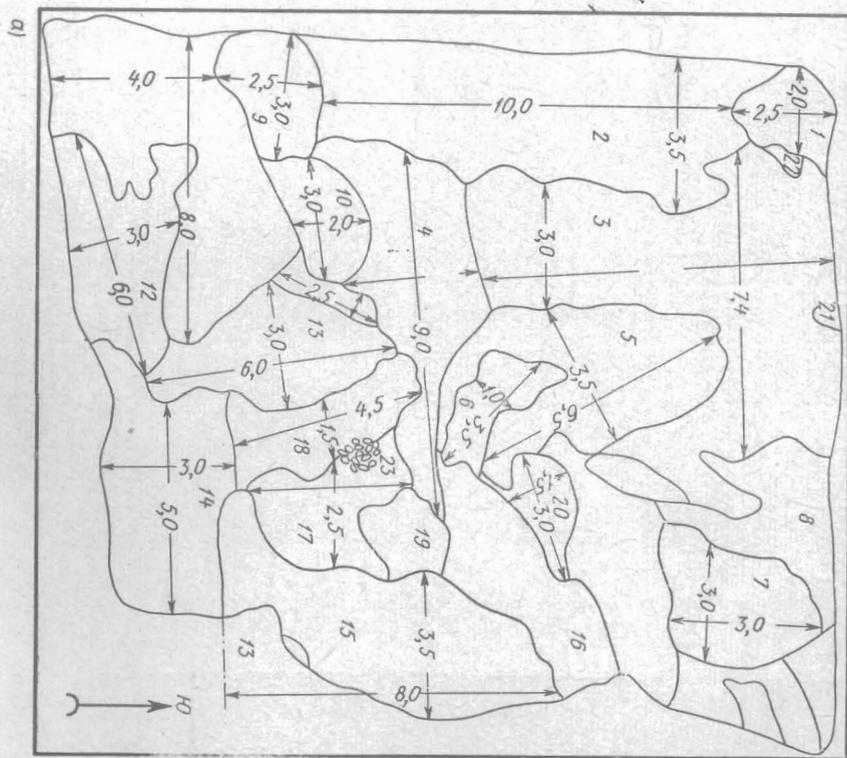
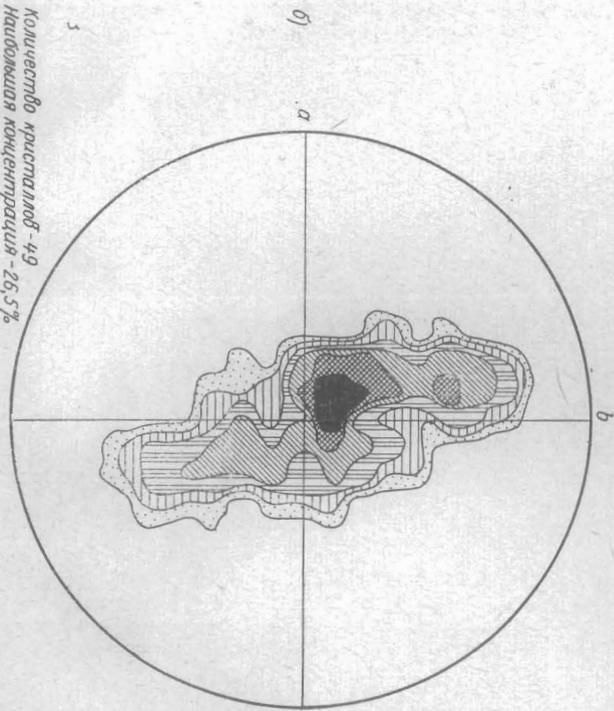


Среднесетчатая криогенная текстура в морских глинах. Оз. Ней-то (Ямал). Глины подстилаются пластом льда. Фото Г. И. Дубикова



Крупносетчатая криогенная текстура морских ленточных глин. Р. Се-Яха (Ямал). Размер грунтовых блоков $0,3 \times 0,5$ м (основание горизонта активного криодиagenеза). Фото Г. И. Дубикова

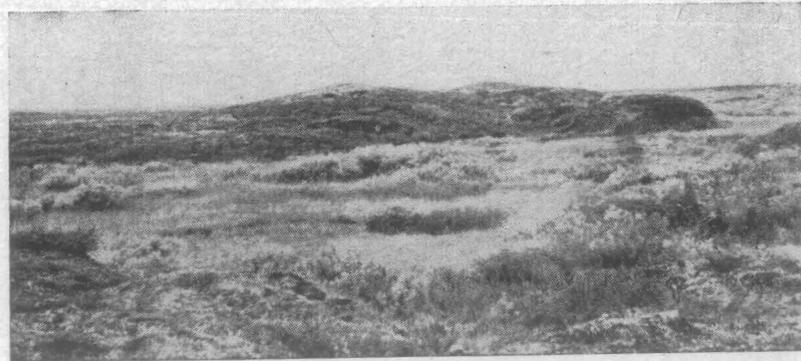
Количество кристаллов - 49
 Наибольшая концентрация - 26,5%



Структура сегрегационного льда в ленточных глинах. Игарка (по Н. А. Шполянкой): а) зарисовка кристалла в плоскости АБ; б) стереограмма кристаллографической ориентировки льда. Количество кристаллов — 49; наибольшая концентрация 26,5%



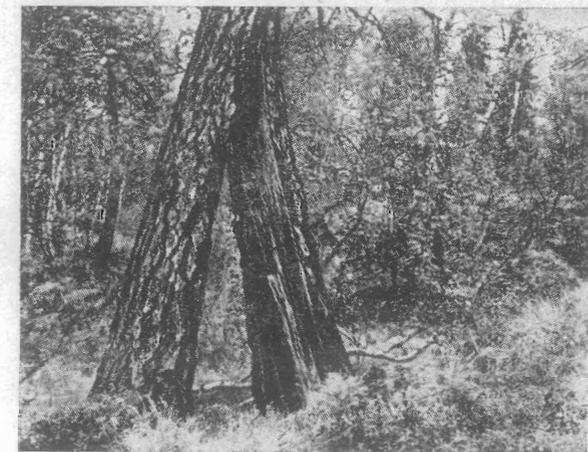
Растущие торфяные бугры пучения сегрегационного типа.
Фото А. П. Тыртикова



Выпукло-бугристый торфяник. Западная Сибирь, р. Правая Хета, приток р. Надыма. *Фото Л. С. Филимонова*



Выпукло-бугристый торфяник на р. Турухан (за счёт сегрегационного пучения). *Фото автора*



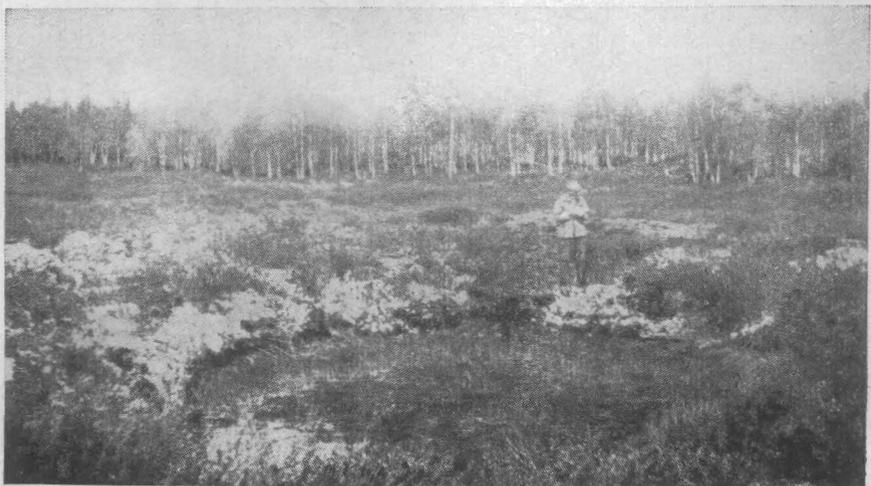
Лиственница, разорванная снизу в результате сегрегационного пучения. Енисей. *Фото А. П. Тыртикова*



Выпукло-бугристый торфяник (за счет сегрегационного пучения). Хантайка (Енисей).
Фото Г. С. Константиновой



Термокарст на выпуклобугристом торфянике. Р. Турухан. *Фото автора*



Термокарстовые формы на выпуклобугристом торфянике. Р. Турухан. *Фото автора*

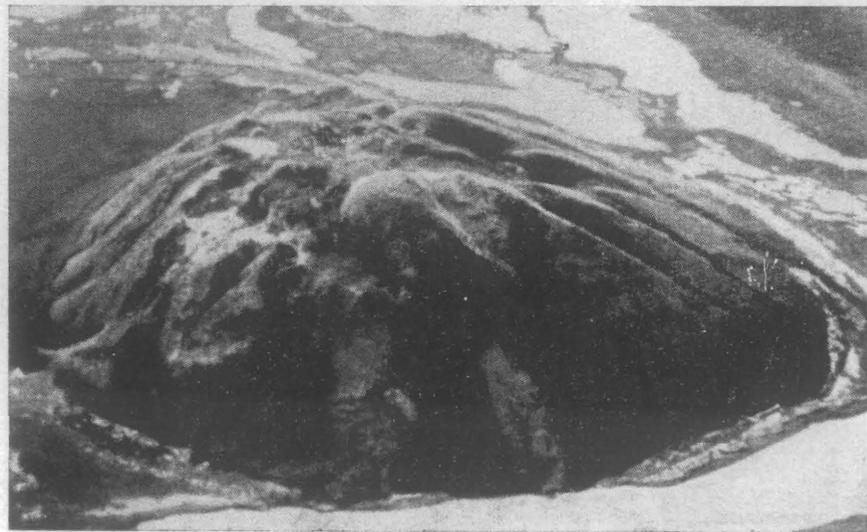
2) Мерзлые пески и галечники

Массивная криогенная текстура в сильнольдистом щебнисто-галечном материале. Северная Земля. Фото В. Г. Чигира

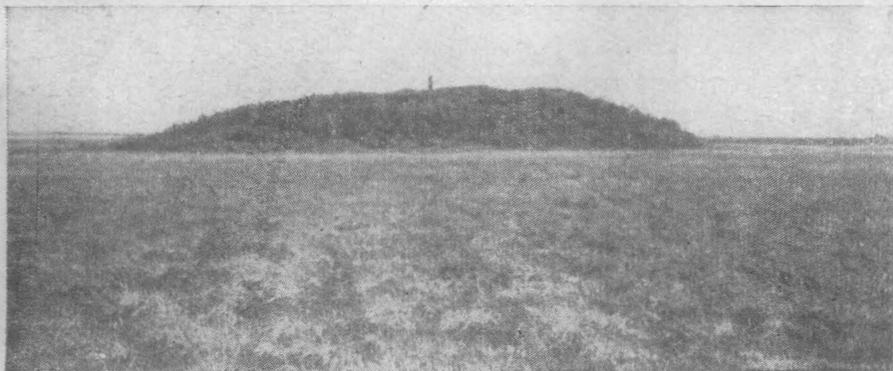


б. Криолиты

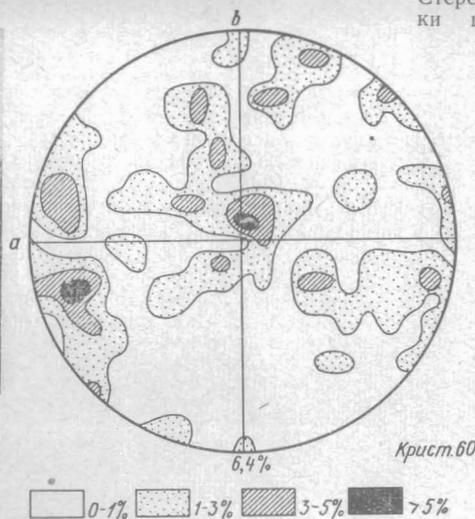
1) Инъекционные (ледяные ядра и пластовые тела)



Бугор инъекционного пучения (пинго). Северная Канада

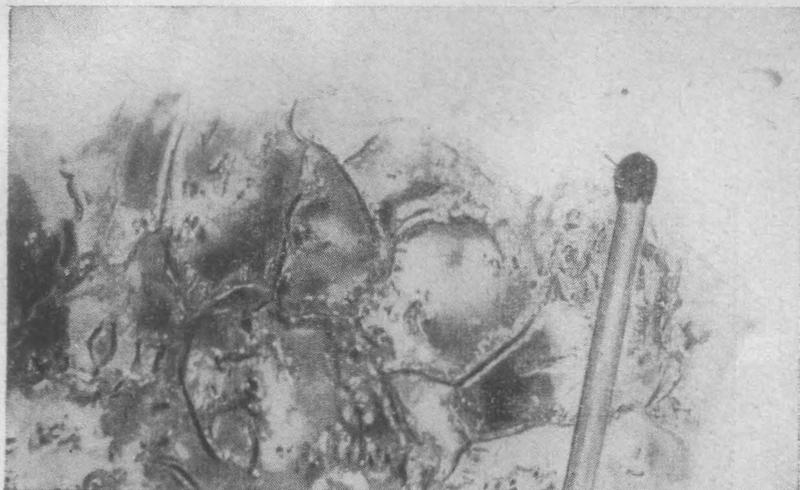
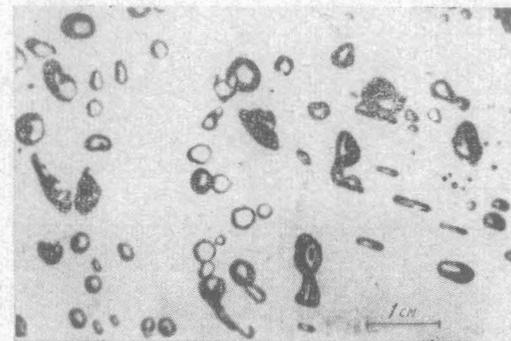


Бугор инъекционного пучения (булгуннях).
Чукотский полуостров. Фото Г. С. Константиновой

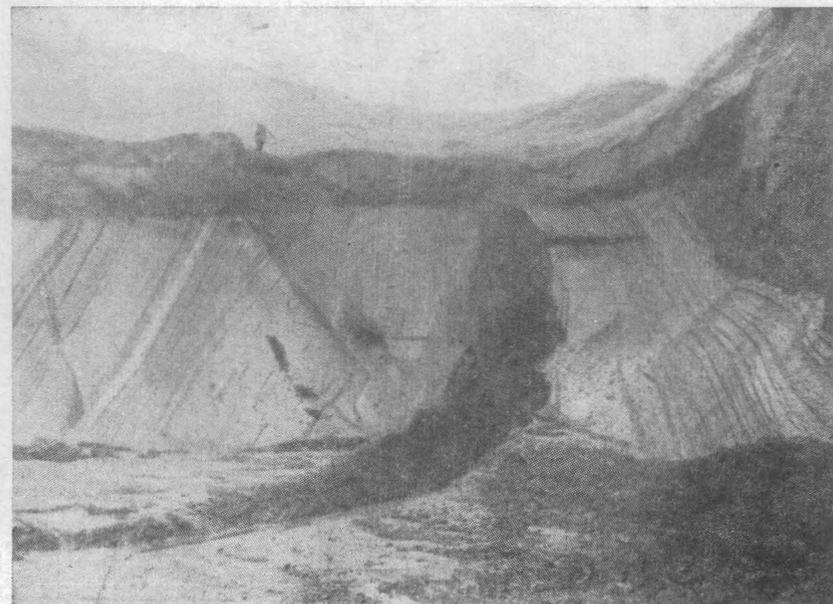


Стереограмма кристаллографической ориентировки центрального ядра инъекционного льда (по Ш. Ш. Гасанову, 1964)

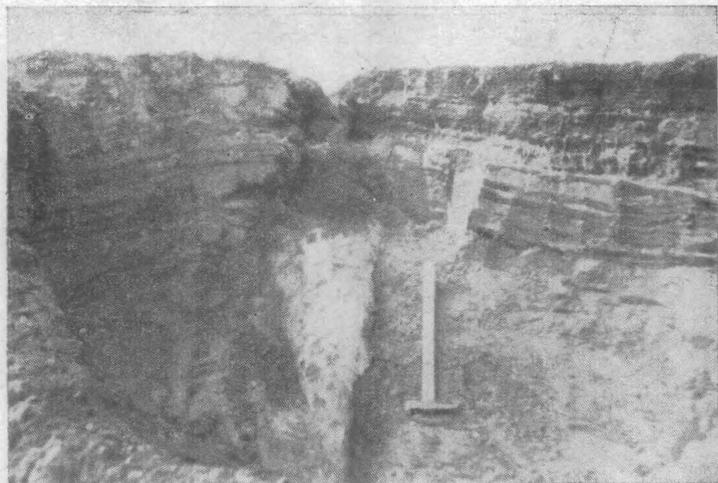
Текстура центрального ядра инъекционного льда (по Ш. Ш. Гасанову, 1964)



Структура инъекционного льда из ледяной линзы.
Тянь-Шань. Фото А. П. Горбунова



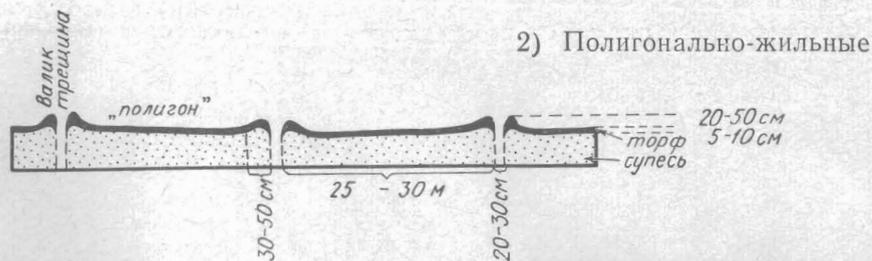
Гидролакколит повторно-инъекционного льда (криолит) в деформированной толще морских казанцевских глин. Р. Се-Яха (Ямал).
Фото Г. И. Дубикова



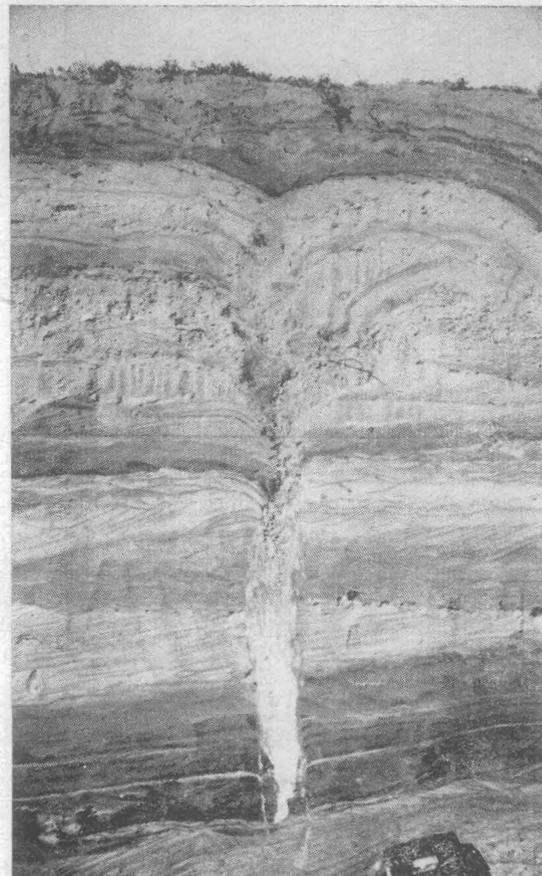
Эпигенетический полигонально-жильный лед в пойменных отложениях р. Мамонтовой, Северный Таймыр. Фото автора



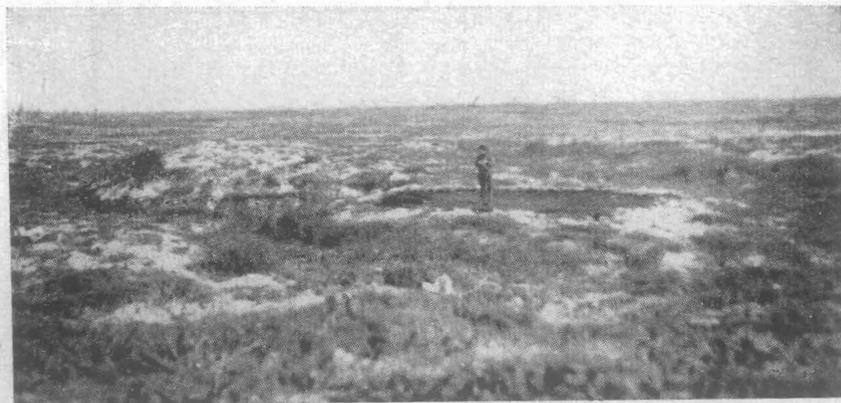
Эпигенетическая ледяная жила в горфе. Большеземельская тундра. Фото автора



Строение полигонально-валикового рельефа, соответствующего эпигенетическому полигонально-жильному льду (схема). По В. Н. Андрееву



Грунтовая жила смешанного происхождения: внизу (ниже темного прослоя в средней части обнажения) — псевдоморфоза по эпигенетической ледяной жиле, основание которой обрамляют концы элементарных морозобойных трещин; вверху — конвективная структура по морозобойной трещине в деятельном слое. Пойма руч. Маркой-Юрэгэ (басс. Омолоя). Фото А. Г. Костяева



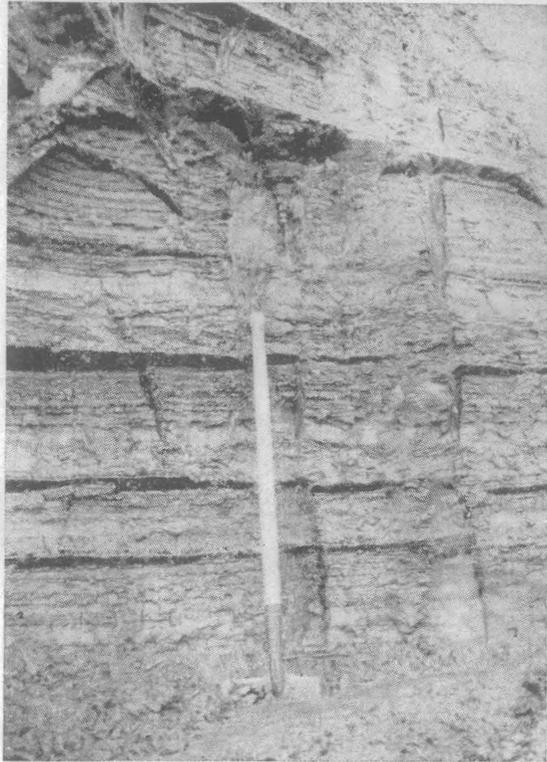
Плоско-бугристый торфяник (результат вытаивания эпигенетических ледяных жил). Р. Турухан. *Фото автора*

Протаивание эпигенетического полигонально-жильного льда в торфянике, выделение плоскобугристых форм (басс. Печоры).
Фото В. Н. Конищева

3. ВОЗНИКАЮЩИЕ В УСЛОВИЯХ ГОРИЗОНТА ПАССИВНОГО КРИОДИАГЕНЕЗА

а. Криолиты

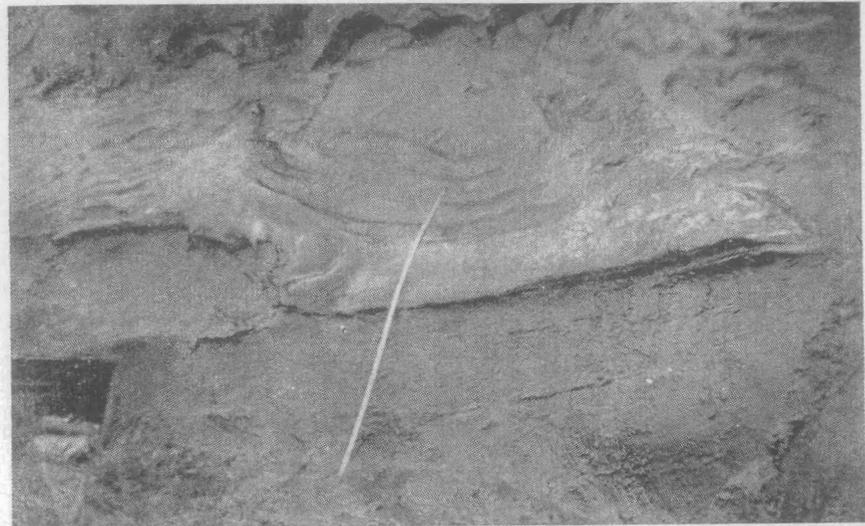
- 1) Мерзлые глины, суглинки, супеси, торф



- 2) Мерзлые пески и галечники

б. Криолиты

- 1) Только инъекционные пластовые ледяные тела



Линза инъекционного льда в песке (криолит). Фото В. Н. Конищева

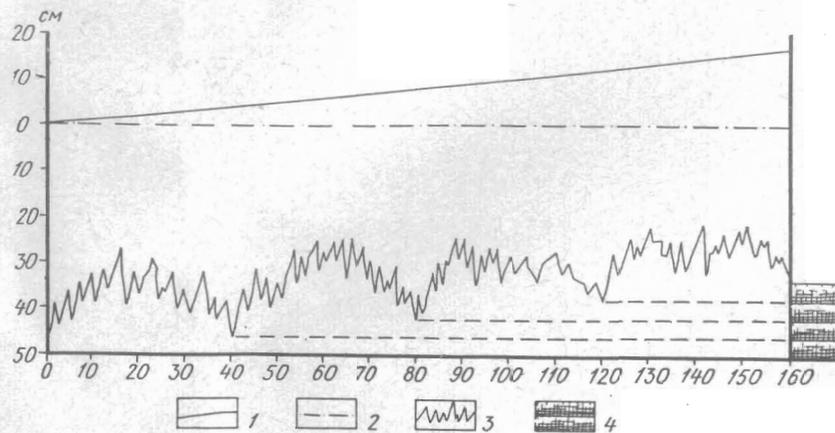
Крупносетчатая криогенная текстура ленточных казанцевских глин. Р. Се-Яха (Ямал), гл. 11—18 м. Фото Г. И. Дубикова

КРИОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ, СВОЙСТВЕННЫЕ СИНГЕНЕТИЧЕСКОМУ ТИПУ КРИОЛИТОГЕНЕЗА

1. ВОЗНИКАЮЩИЕ В УСЛОВИЯХ ГОРИЗОНТА ПРЕРЫВИСТОГО КРИОДИАГЕНЕЗА

а) Сезонно промерзающие песчано-глинистые породы, переходящие в вечномерзлое состояние (в условиях горизонта активного криодиагенеза) самостоятельно не рассматриваются. Они фиксируются в процессе осадконакопления в составе горизонта активного криодиагенеза.

б) Сезонные инъекционные ледяные тела, в значительной степени сходные с теми, которые образуются при эпигенетическом типе криолитогенеза.



2. ВОЗНИКАЮЩИЕ В УСЛОВИЯХ ГОРИЗОНТА АКТИВНОГО КРИОДИАГЕНЕЗА

а. Криолититы

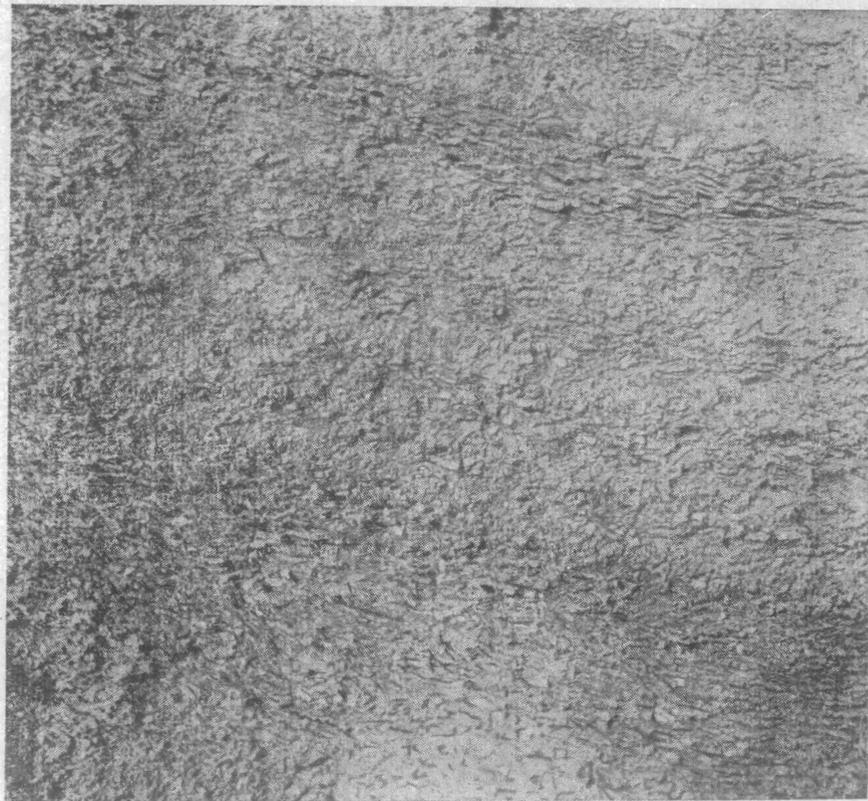
- 1) Мерзлые глины, суглинки, супеси, торф
- 2) Мерзлые пески и галечники

Схема сингенетического роста мерзлой толщи и формирования криогенных текстур (по автору): 1 — изменение уровня поверхности из-за накопления осадков за 160 лет; 2 — начальный уровень поверхности; 3 — глубина летнего протаивания; 4 — пачки породы с криогенной текстурой, переходящие в вечномерзлое состояние за 40 лет

Ритмично-слоистая криогенная текстура в алевритах мус-хаинской свиты (средний — верхний плейстоцен). Р. Яна, Обн. Мус-Хая. Фото автора

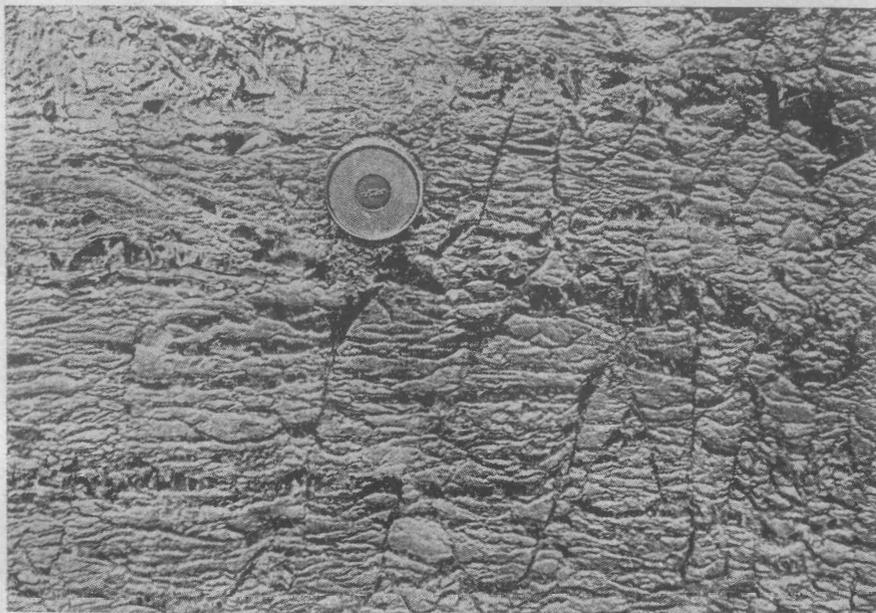


Слоистая криогенная текстура в алевритах мус-хаинской свиты (средний — верхний плейстоцен). Р. Яна, Обн. Мус-Хая. Фото автора

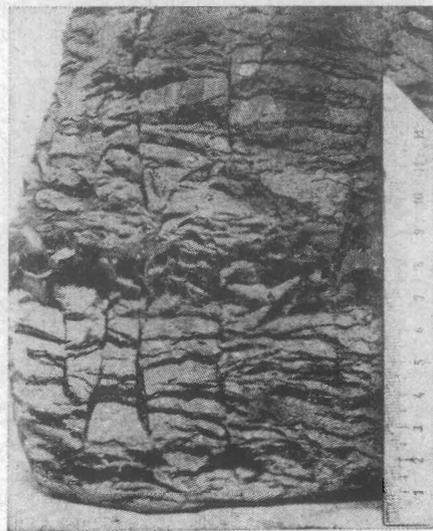


Сетчатая криогенная текстура. Витимское
плато. Истоки р. Большой Амагат.
Фото В. Л. Суходровского

Сетчатая криогенная текстура пылеватого суглинка (верхний плейстоцен),
О. Муостах. *Фото А. Д. Маслова*

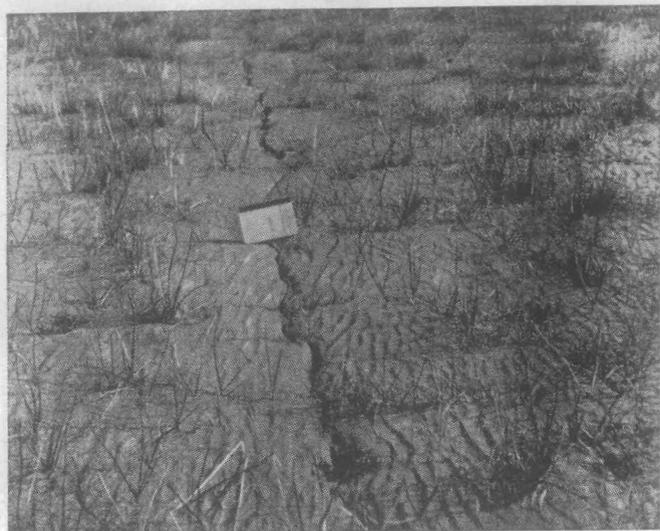


Сетчатая криогенная текстура
в сингенетически промерзавшем
пойменном иловатом аллювии. Р. Мамонтовая, Северный
Таймыр. *Фото автора*



6. Криолиты

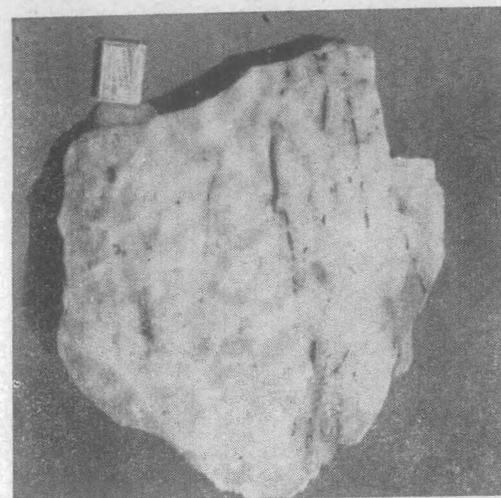
- 1) Полигонально-жильный лед
- 2) Инъекционные пластовые тела (см. предыдущий горизонт)



Свежая морозобойная трещина в пойменном иле.
Дельта р. Яны. Фото автора



Та же морозобойная трещина в раз-
резе (виден лед элементарной жил-
ки). Там же. Фото автора



Текстура сингенетического полигонально-
жильного льда. Конец верхнего плейстоцена.
Северный Таймыр. Фото автора



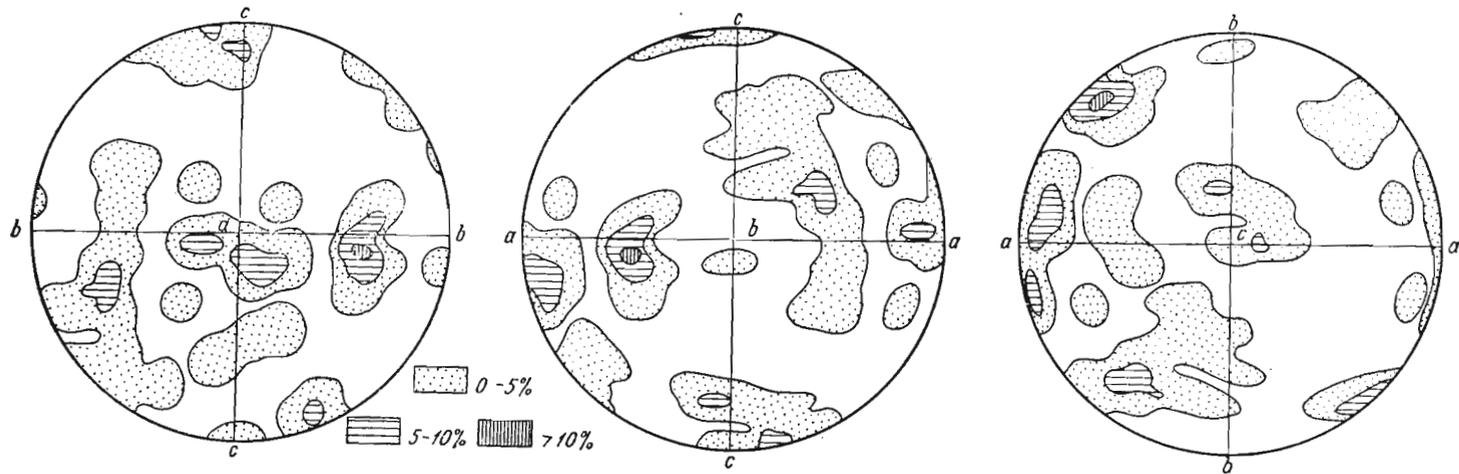
Текстура современного сингенетического полигонально-жильного льда. Дельта р. Яны. Фото автора



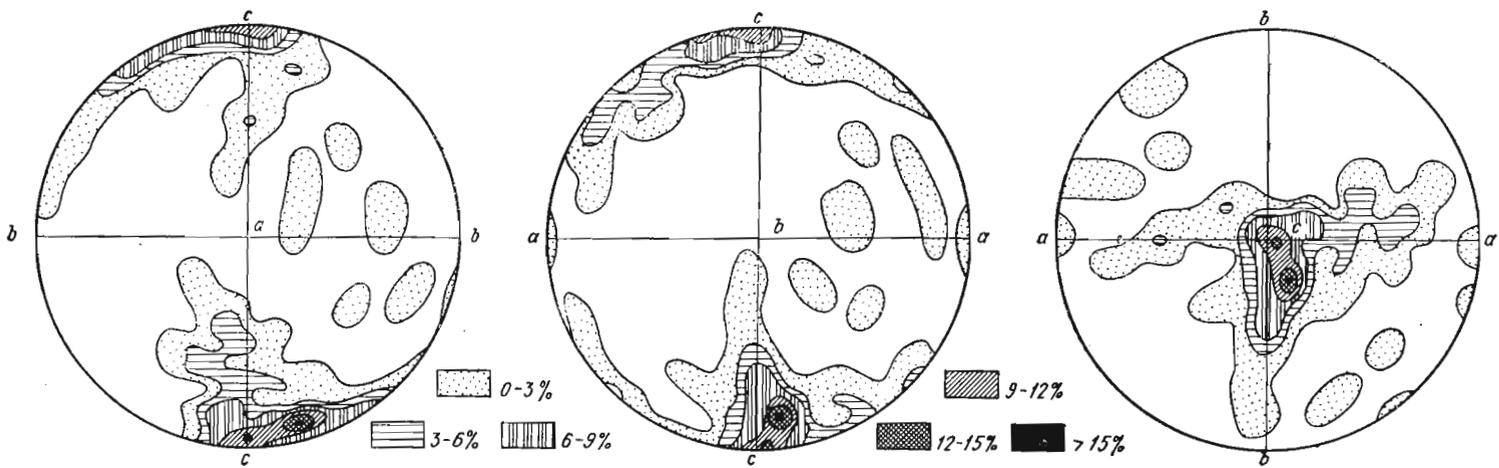
Макротекстура сингенетического полигонально-жильного льда. Голоцен. Р. Яна. *Фото автора*



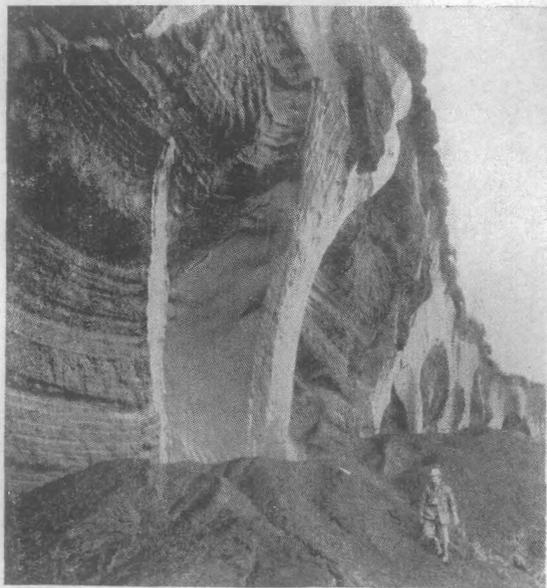
Макротекстура сингенетического полигонально-жильного льда. Верхний плейстоцен. О. Муостях. *Фото автора*



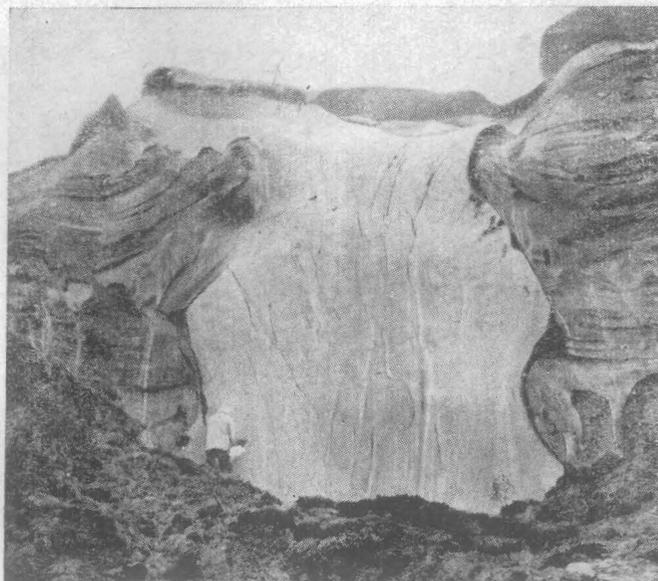
Стереограмма кристаллографической ориентировки полигонально-жильного льда. Хаотическая ориентировка главных осей: С — вертикальное направление; ВС — плоскость жилы



Стереограмма кристаллографической ориентировки льда верхней части полигонально-жильного льда. Преимущественно вертикальная ориентировка осей. Обозначения те же, что на рис. предыдущем (по П. А. Шумскому)



Мощный сингенетический
полигонально-жильный лед.
Р. Яна. Обн. Мус-Хая.
Фото автора



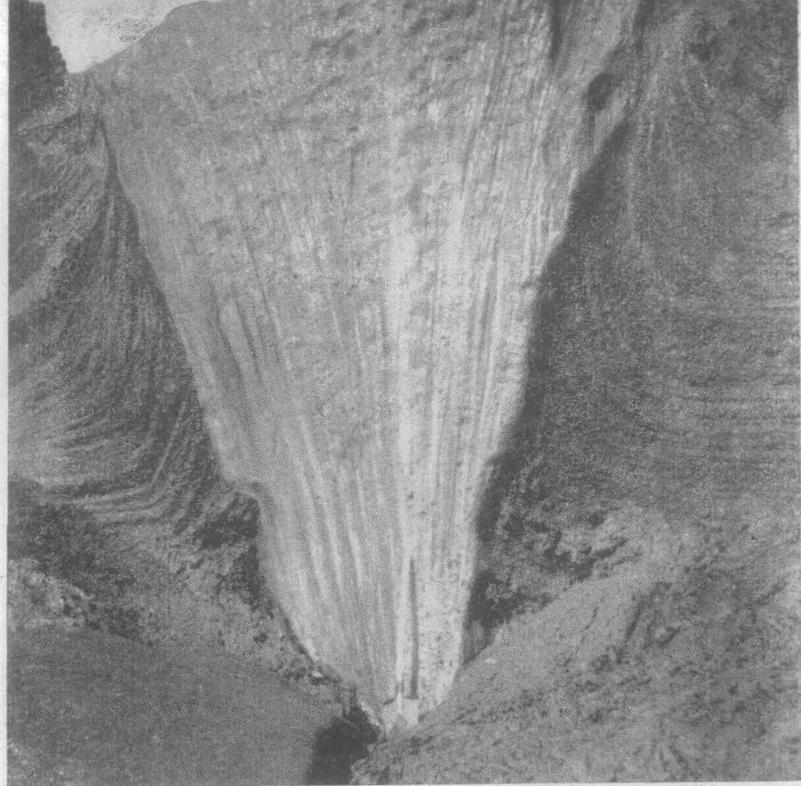
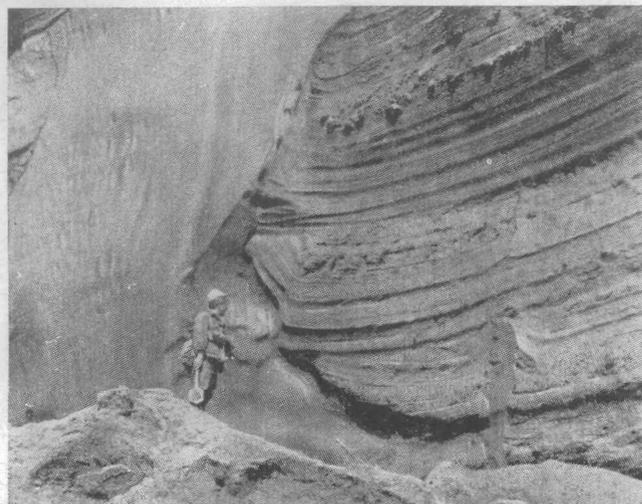
Мощные ледяные жилы на о. Муостах.
Фото автора

Мощные ледяные жилы в
обн. Мус-Хая на р. Яне.
Фото автора



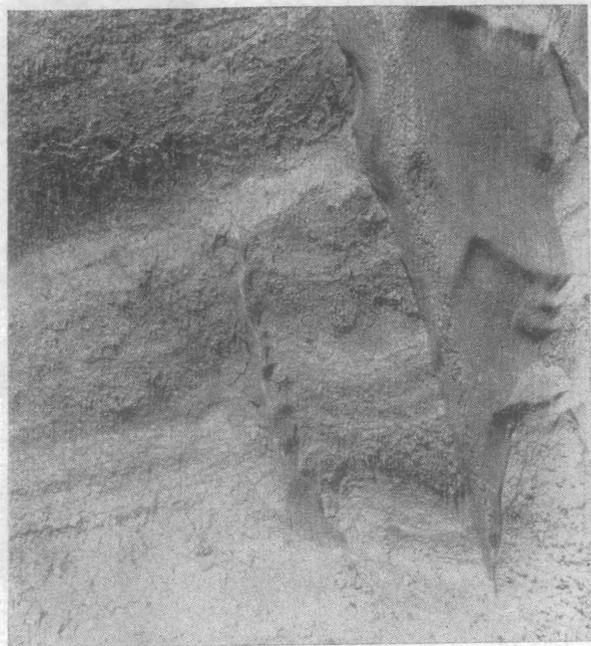


Массив сингенетического полигонально-жильного льда. Ойягосский яр на побережье моря Лаптевых. Фото Н. Н. Романовского

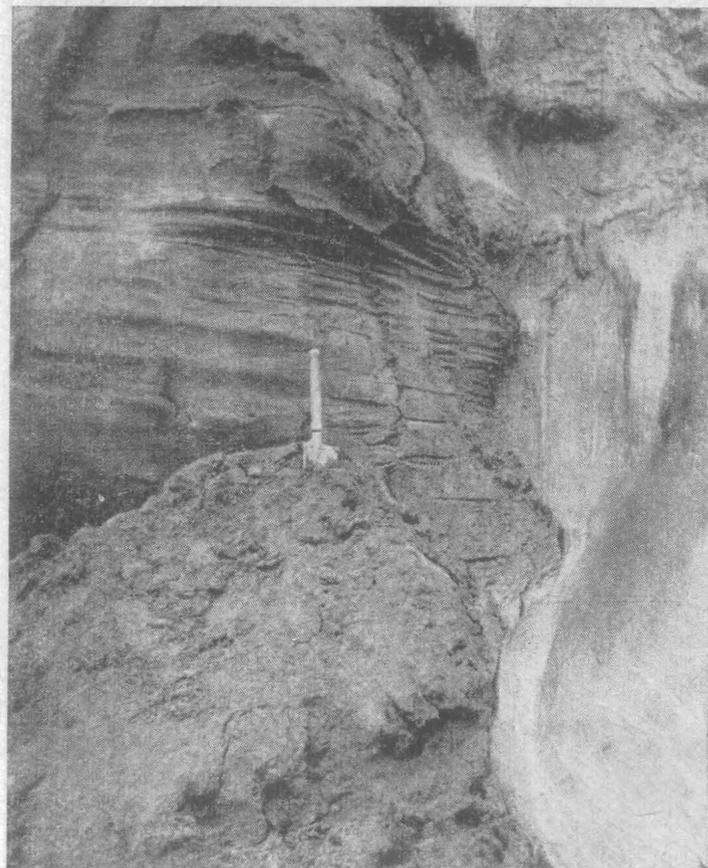


Нижняя часть мощной сингенетической ледяной жилы. Средний-верхний плейстоцен. Р. Яна. Обн. Мус-Хая. Фото автора

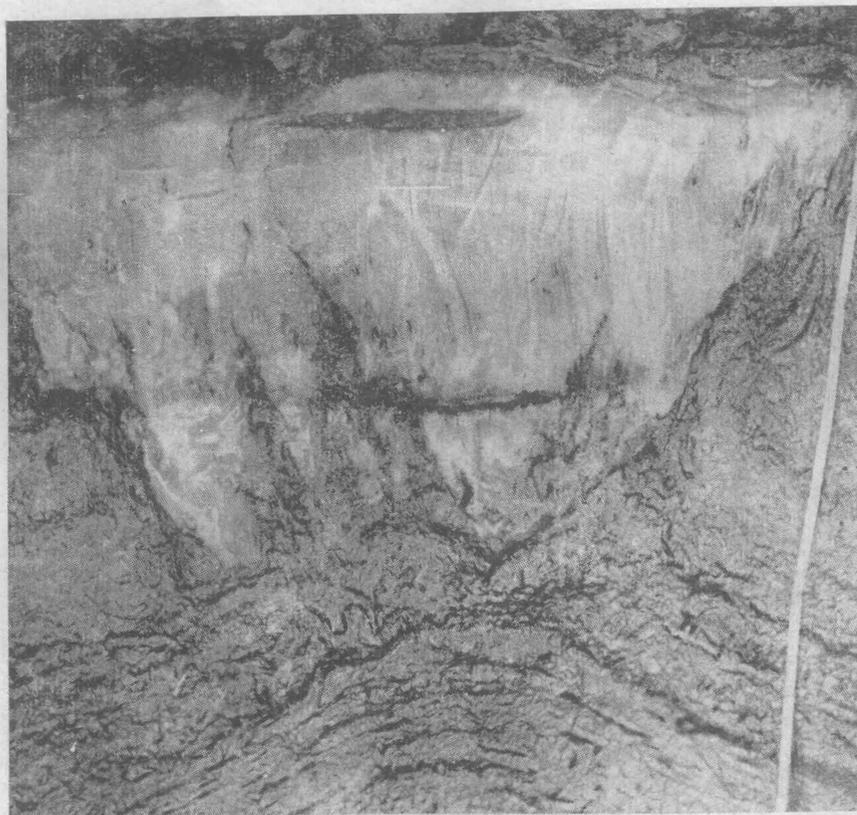
Характер деформаций слоев осадков на контакте с мощной ледяной жилой. В правой части снимка — неразвившаяся жила, оказавшаяся погребенной. Средний-верхний плейстоцен. Р. Яна. Фото автора



Нижний конец мощной сингенетической ледяной жилы. Обн. Мус-Хая. Фото автора



Алевриты (верхний плейстоцен) недеформированные на контакте с мощной сингенетической ледяной жиллой. Р. Яна, с. Казачье. Фото автора

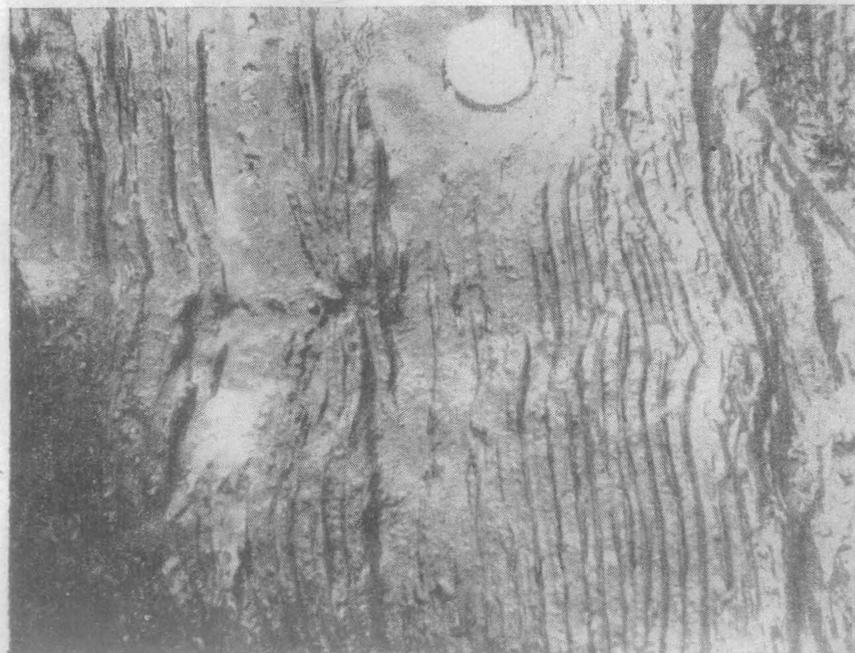
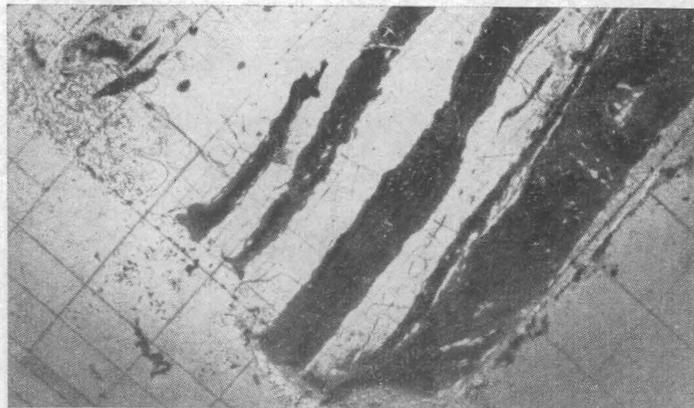


Полигональная ледяная жила в современном пойменном аллювии (дельта р. Яны), сопряженная с антиклинальной складкой снизу.
Фото автора



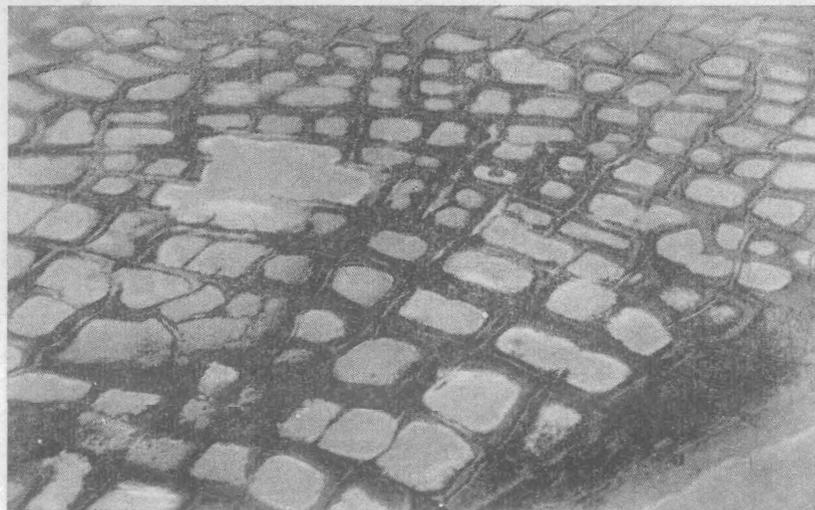
Полигональная сингенетическая грунтово-ледяная жила. Подобные образования являются следствием сегрегационного льдовыделения, сопутствующего трещинному полигонально-жильному льдообразованию. Р. Яна, ур. Хатырык. *Фото автора*

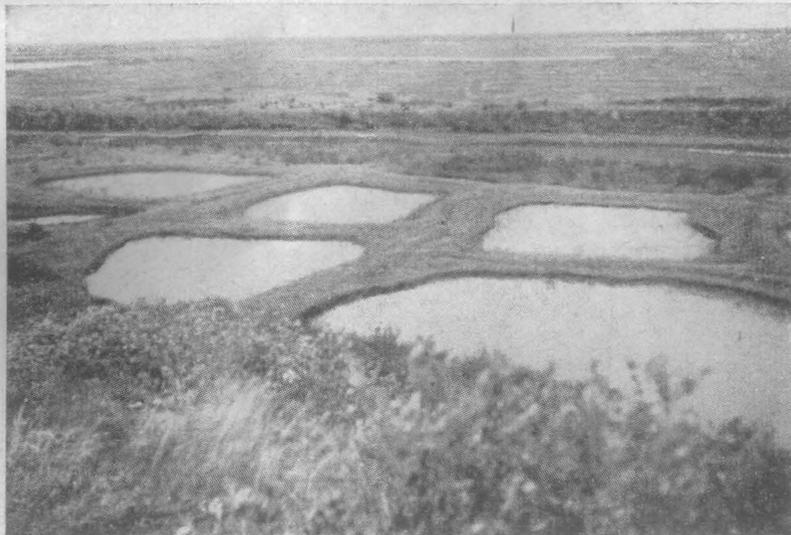
Текстура ледогрунта (темное — грунт, светлое — лед). Там же. Фото В. И. Соломатина →



Текстура грунтово-ледяной жилы, обусловленной процессом сегрегационного льдообразования. Видно чередование строго параллельных субвертикальных пластин льда и суглинки. Р. Яна, ур. Хатырык. Фото В. И. Соломатина

Полигонально-валиковая поверхность пойменной террасы, отражающая в плане строение решетки полигонально-жильного льда. Фото Б. А. Тихомирова ↓





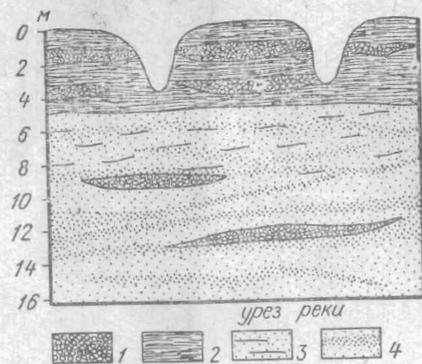
Полигонально-валиковый рельеф надпойменной террасы с жильным льдом. Р. Яны. Фото автора



Начало протаивания полигональной системы льдов. Видно проседание валиков. Р. Мамонтовая, Северный Таймыр. Фото автора

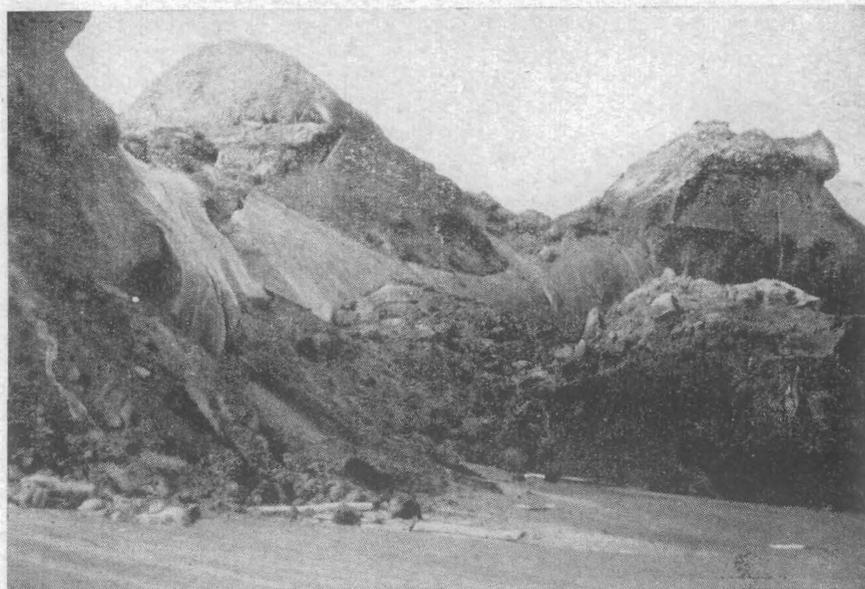


Полигонально-валиковые формы на надпойменной террасе р. Яны, сложенной аллювием с решеткой из полигонально-жильного льда. Фото автора



Образование плоских бугров-байджарахов при вытаивании маломощного сингенетического полигонально-жильного льда. Р. Мамонтовая.

Рис. автора:
1 — торф; 2 — ил; 3 — иловатый песок; 4 — песок



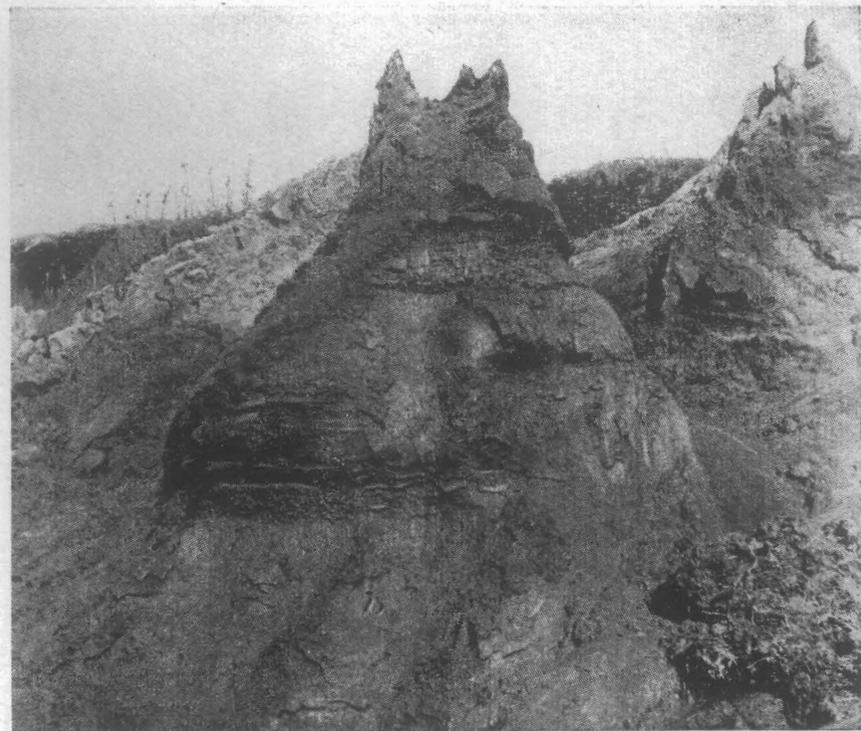
Выделение бугров-байджарахов вследствие вытаивания мощного полигонально-жильного льда. О. Муостах. Фото автора



Вытаивание мощного полигонально-жильного льда на склоне, выделение блоков-байджарахов. Р. Нагакар, Северная Якутия. Фото Е. Ф. Скворцова



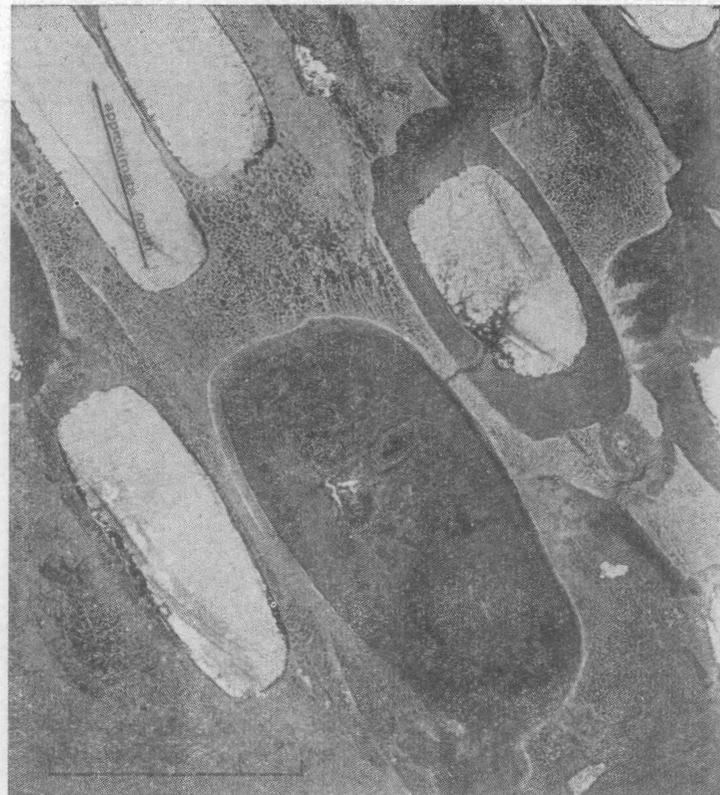
Выделение бугров-байджаров вследствие вытаивания
мощного полигонально-жильного льда. Р. Яна.
Обн. Мус-Хая. Фото автора



Разрушающиеся бугры-байджарахи. Р. Яна.
Обн. Мус-Хая



Причудливые остаточные формы разрушающихся байджарахов. Р. Яна, Мус-Хая. Фото автора



Ориентированные озера, образующиеся вследствие направленного вытаивания полигонально-жильного льда (под действием господствующих ветров). Северная Канада



Колонии байджарахов на поверхности древней аллювиальной равнины. О. Большой Ляховский. Фото П. Пестерева



Общий вид озерно-термокарстовой переработки плейстоценовой равнины с отложениями едомного комплекса в современную озерно-аласную равнину. На дне глубоко врезанного первичного кратерного аласа виден молодой полигонально-валиковый микрорельеф. Анадырская низменность. Фото С. В. Тимирдиаро



Аласная впадина — результат протаивания полигонально-жильного льда. Якутия. Фото К. Л. Митта

3) Погребенный лед



Снежник, погребенный осадками половодья и оплывнями со склона долины р. Мамонтовой. Северный Таймыр. Фото автора

3. ФИКСИРУЕМЫЕ В УСЛОВИЯХ ГОРИЗОНТА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ КОНСЕРВАЦИИ, АНАЛОГИЧНЫ ЭЛЕМЕНТАМ, СВОЙСТВЕННЫМ ДВУМ ПРЕДЫДУЩИМ ГОРИЗОНТАМ

Александр Иосифович Попов

АЛЬБОМ КРИОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ И РЕЛЬЕФЕ

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН 1972 г. № 160

Редактор **Л. И. Лопатина**
Художественный редактор **М. Ф. Евстафиева**
Художник **И. А. Огурцов**
Технический редактор **Е. Д. Захарова**
Корректоры **М. И. Эльмус, С. Ф. Будаева**

СДАНО В НАБОР 27/X 1972 г.
ПОДПИСАНО К ПЕЧАТИ 16/V 1973 г.
Л-58166 ФОРМАТ 70×108¹/₁₆ БУМАГА ТИП. № 1
ФИЗ. ПЕЧ. Л. 3,5 УСЛ. ПЕЧ. Л. 4,9 УЧ.-ИЗД. Л. 4.15
ИЗД. № 1667 ЗАК. 547 ТИРАЖ 1070 ЭКЗ
ЦЕНА 24 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА,
МОСКВА, К-9, ул. ГЕРЦЕНА, 5/7.
ТИПОГРАФИЯ ИЗД-ВА МГУ. МОСКВА, ЛЕНИНСКИЕ ГОРЫ