

# **13. Мерзлотные процессы и их рельефообразующее значение**

**13.1. Подземные льды криолитозоны**

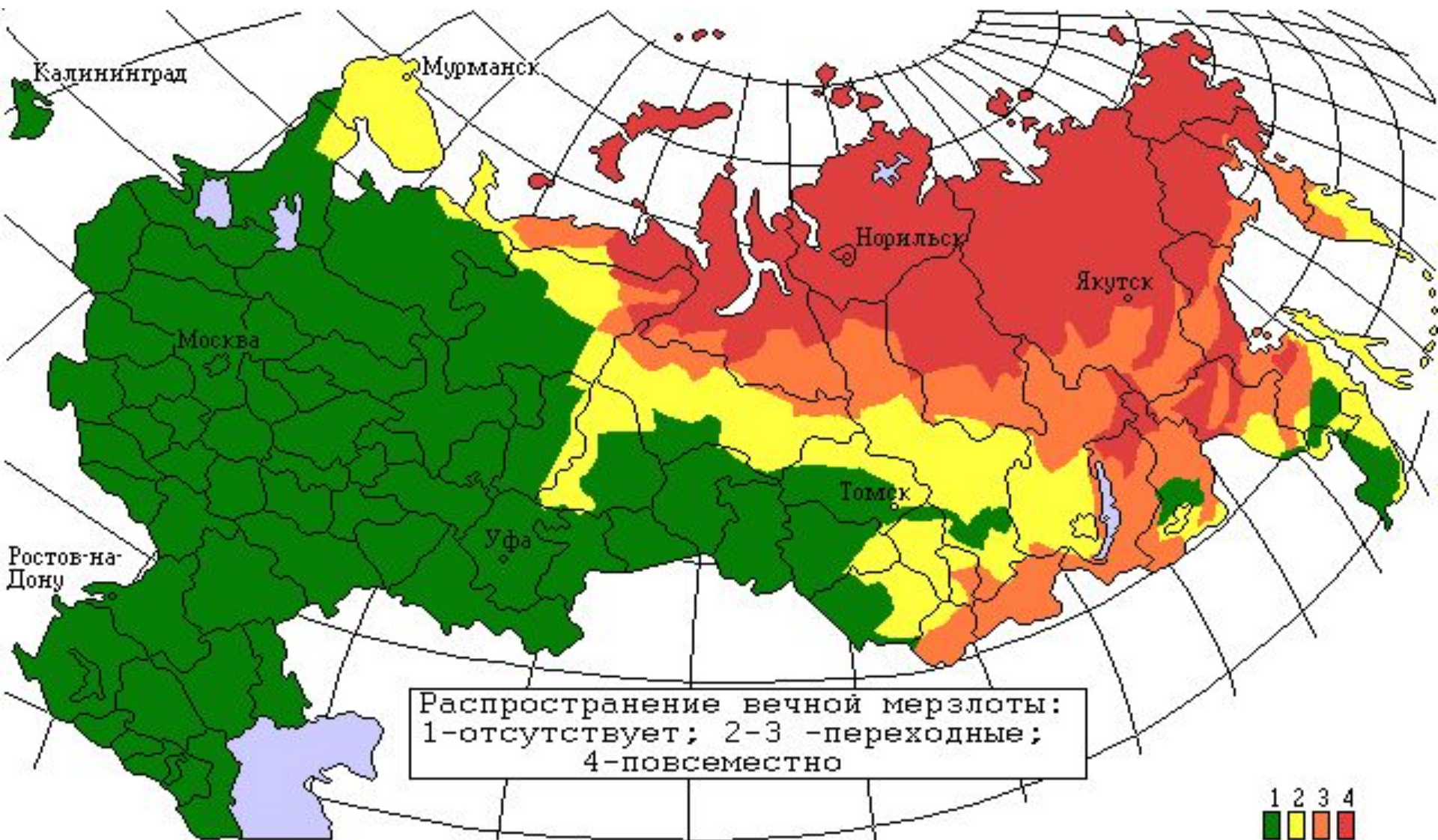
**13.2. Подземные воды криолитозоны.**

**13.3. Мерзлотно-геологические процессы в криолитозоне.**

**13.4. Криогенный рельеф платформенных равнин.**

**13.5. Криогенный рельеф орогенных областей и высоких платформенных равнин.**

• Многолетняя мерзлота – длительное оледенение приповерхностных толщ и подземных вод, т.е. *подземное оледенения*. Это явление привело к формированию *криолитозоны*



- 13.1. Подземные льды криолитозоны.** Подземными льдами называют все виды льда в мерзлых породах, вне зависимости от их образования, размеров и условий залегания. С их формированием связаны многие геокриогенные процессы. По данным В.А. Кудрявцева, Н. Н. Романовского и других исследователей льды, формирующиеся в горных породах, могут быть подразделены на четыре основные группы.
- **1. Погребенный лед**, образующийся при захоронении снежников и подземных льдов.
  - **2. Повторно-жильный лед**, образующийся при неоднократном заполнении водой или снегом морозобойных трещин, захватывающих как деятельный слой, так и многолетнемерзлые породы (ММП). Глубина таких жил различна - от 0,5-1 до 30-40 м, а ширина в верхней части до 8-10 м и более.
  - **3. Инъекционный лед**, возникающий в результате замерзания подземной воды, внедряющейся в толщу мерзлых дисперсных пород.
  - **4. Конституционный лед**, образующийся главным образом при промерзании влажных дисперсных пород. Он подразделяется на: лед-цемент - мелкие кристаллы льда, заполняющие поры и небольшие трещинки во влажных породах при их замерзании, и сегрегационный (лат. «сегрегаре» - отделять), или миграционный лед, образующийся при замерзании воды, мигрирующей к фронту промерзания. В результате образуются ледяные шлиры (нитевидные включения), небольшие гнезда, линзовидные прослойки.





**•Ископаемые пластовые льды, образовавшиеся в результате криогенного инъекционного процесса**

- **13.2. Подземные воды криолитозоны.** Подземные воды в своем распространении тесно связаны с пространственным положением ММП, являющихся водоупором. Схема различных категорий подземных вод по отношению к мерзлым породам, была предложена Н. Романовским. В ней выделяются:
  - 1) надмерзлотные воды сезонноталого слоя,
  - 2) надмерзлотные воды несквозных таликов,
  - 3) воды сквозных таликов,
  - 4) подмерзлотные воды.
- *Надмерзлотные воды сезонноталого слоя* образуются при оттаивании верхней части пород в летне-осеннее время. Основное питание их происходит за счет атмосферных осадков. Их движение происходит в соответствии с уклоном поверхности Земли с наиболее приподнятых и расчлененных участков к пониженным. На плоских поверхностях движение или очень замедлено, или совсем отсутствует. По составу это преимущественно пресные

• К надмерзлотным водам несквозных таликов относятся подозерные, подрусловые и прирусловые пойменные несквозные талики, существующие благодаря отепляющему воздействию водоемов и водотоков. Особое значение имеют подрусловые талые воды, приуроченные к руслам рек и ручьев. Чем больше речной поток, тем шире и мощнее подрусловой талик. Питание этих вод происходит главным образом за счет инфильтрации атмосферных осадков и частично речных вод, вследствие чего они слабо минерализованы. Подрусловые талые воды движутся вдоль долины реки и имеют сток в течение года. Кроме того, в них местами происходит питание и разгрузка глубинных вод. Таким образом, с подрусловыми таликами связаны основные запасы грунтовых вод, что имеет важное значение для целей водоснабжения, особенно в северной части геокриологической зоны. Прирусловые пойменные талики приурочены к прирусовым отмелям, косам, нижним частям пойм, испытывающим временное отепляющее воздействие во время половодий. Поверхностный сток в них является периодическим. Воды подозерных несквозных таликов характеризуются застойным режимом и в некоторых из них наблюдается сероводородное заражение.

- *Воды сквозных таликов.* Среди них выделяются:
- 1) инфильтрационные талики, имеющие нисходящее движение и образующиеся в результате инфильтрации атмосферных осадков инфлюации (втекания) поверхностных вод по зонам разрывных тонических нарушений или карстовым каналам. Эти воды питают подземные воды глубокого стока (подмерзлотные и межмерзлотные);
- 2) напорно-фильтрационные талики, подземные воды которых обладают напором и характеризуются восходящим направлением движения. К таким таликам местами происходит разгрузка глубоких подмерзлотных и межмерзлотных вод.
- *Подмерзлотные воды*, располагающиеся непосредственно у подошвы многолетнемерзлых пород, называются контактирующими. Они приурочены к различным по составу и проницаемости горным породам и всегда обладают напором. Местами вскрытые буровыми скважинами подмерзлотные воды фонтанируют. Глубины залегания их различна, что обусловлено мощностью ММП, которые являются криогенным водоупором. Температура их также неодинакова. Среди них выделяются воды с положительной и отрицательной температурами. По степени минерализации воды с положительной температурой ( $>0^{\circ}\text{C}$ ) - пресные и солоноватые. С отрицательной температурой - воды соленые и рассолы. Такие высокоминерализованные воды называют криогалинными или криопэгами. Местами они достигают значительной мощности, как бы наращивая снизу

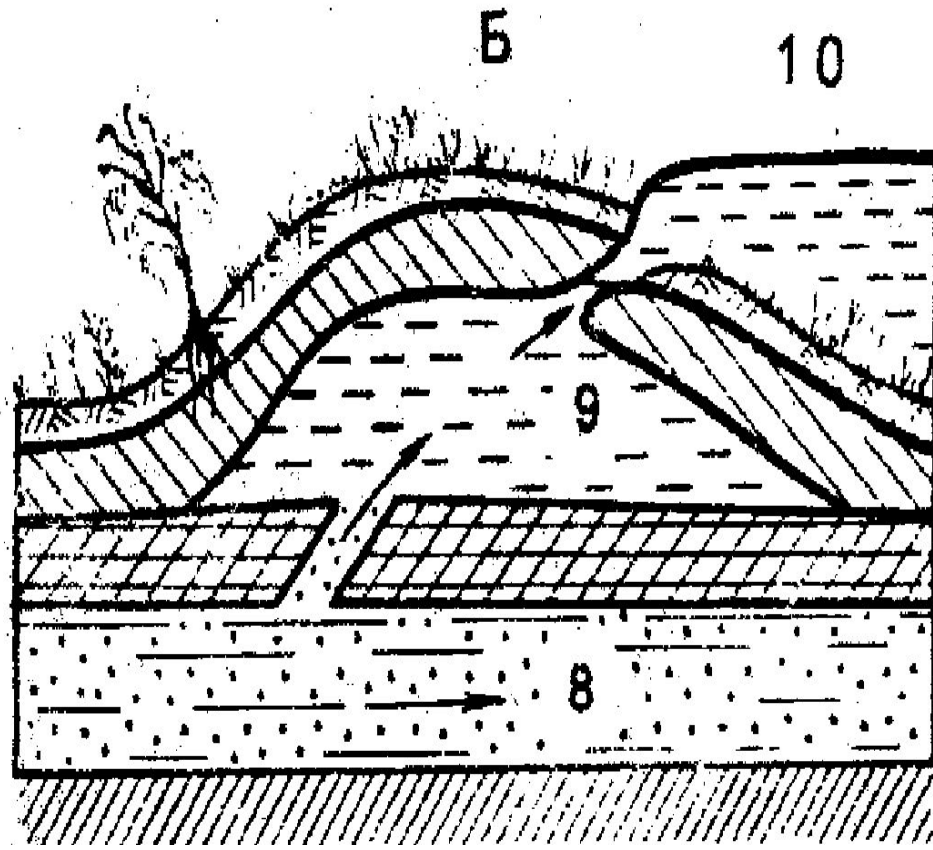
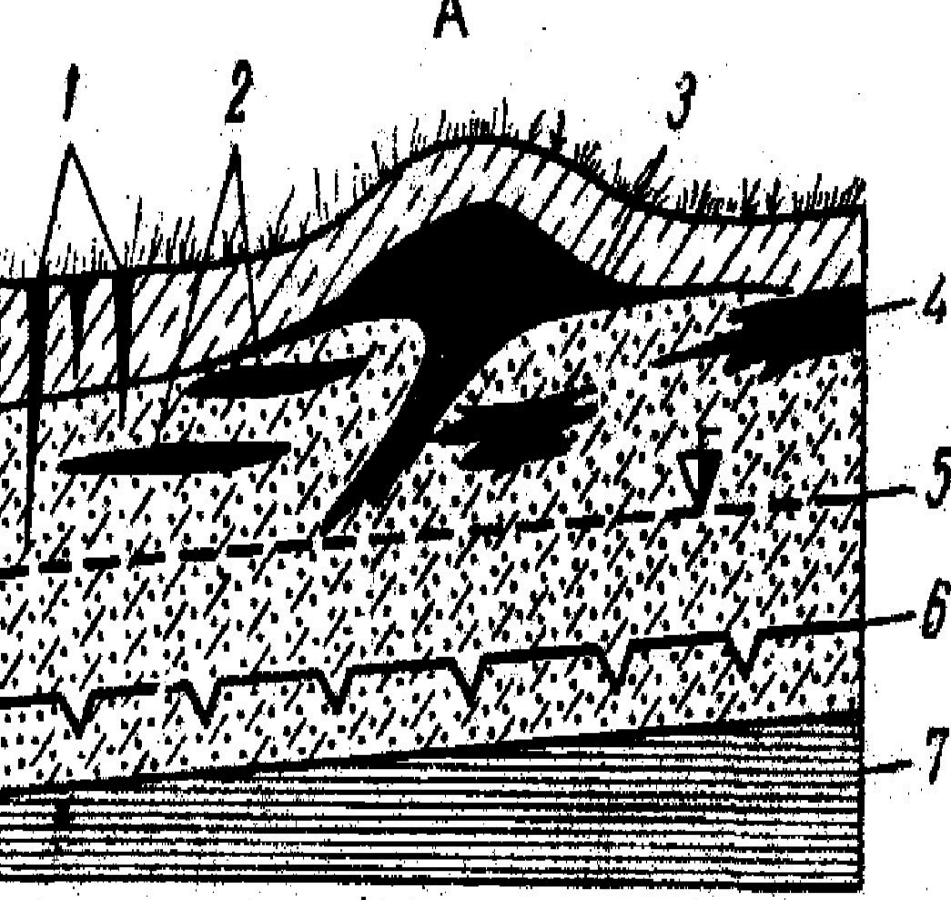
- Помимо контактирующих подмерзлотных вод выделяются неконтактирующие, т.е. отделенные от подошвы мерзлой толщи водонепроницаемыми породами. Такие воды в большинстве случаев обладают напором, что подтверждается данными скважин. В южных районах криолитозоны (при островном расположении ММП) неконтактирующие подземные воды отделены от подошвы мерзлой зоны водонепроницаемыми породами, имеют ненапорный свободный уровень и связаны в единую систему с таликами, разделяющими мерзлые острова.
- Межмерзлотные и внутримерзлотные воды наблюдаются в слоях, линзах и других формах, ограниченных ММП или сверху и снизу, или с бортов, в условиях поступления вод глубинного стока. Межмерзлотные воды обычно имеют гидравлическую связь с другими типами вод криолитозоны. Внутримерзлотные воды ограничены ММП со всех сторон и не связаны с другими типами вод. Межмерзлотные водоносные линзы образуются под обмелевшими и сужившимися руслами.



- **13.3. Мерзлотно-геологические процессы в криолитозоне.**
- Подземное оледенение возникло одновременно с поверхностным в плейстоцене. Следы многолетнего промерзания встречаются в отложениях плиоцена (1,8-2,4 млн. лет назад). Однако следует отметить сложность и изменчивость климатических условий в плейстоцене, которая периодически сказывалась на развитии мерзлоты. Эти изменения связаны с тектоническими причинами, вызывавшими увеличение площади суши и уменьшение акватории Мирового океана, и с неоднократными оледенениями и межледниковьями. Происходила периодическая смена резкого похолодания с потеплением, сопровождавшимся повышенной влажностью. При периодическом потеплении климата происходила частая деградация ММП, особенно в южных районах, а при похолодании климата, наоборот, аградация (лат. «аградацио» - поступление, увеличение) ММП.

- Криолитозона занимает 26% всей суши, преимущественно в Северном полушарии. В высоких и полярных широтах мощность мерзлоты достигает 1000 м и имеет сплошное площадное распространение. На юге она сокращается до первых десятков метров и ее распространение становится прерывистым.
- В геокриозоне сверху вниз выделяется три неравноценных по мощности зоны:
  - 1 – сезонного протаивания – состоит из сезоннотальных пород, которые образуют деятельный, или *сезонно-талый слой* (СТС). Его мощность сокращается в условиях высоких широт и возрастает к югу, как бы замещаясь вне геокриозоны слоем сезонного промерзания, или *сезонно-мерзлым слоем* (СМС);
  - 2 – многолетнего промерзания, испытывающая сезонные колебания отрицательных температур;
  - 3 – многолетнего промерзания, не подверженная сезонным колебаниям температур.

- В строении геокриозоны большое значение имеют подземные воды, среди которых выделяются: *надмерзлотные* – циркулируют в пределах СТС; *межмерзлотные*; *подмерзлотные*.
- С надмерзлотными водами связаны **главные рельефообразующие процессы**:
- **1. Локальное таяние** приводит к формированию и развитию *таликов* – талых зон и толщ талых пород, которые залегают ниже слоя сезонного промерзания и не замерзают в течение года и более. По отношению к толще многолетнемерзлых пород талики могут быть: *сквозными* – пронизывают всю толщу и ограничены ею только по бокам; - *несквозными* – лежат на ней; *межмерзлотными* – приурочены к линзам, карманам и каналам, ограниченным сверху и снизу толщей; *внутримерзлотными* – линзы.
- С развитием и отмиранием таликов связано возникновение *бугров пучения, наледных бугров, западин*.



• **Формы залегания подземных льдов (А) и гидролакколит (Б) (по М.К. Дружинину):** 1 - ледяные жилы, 2 - линзы и прослойки льда, 3 - гидролакколит, 4 - ледяной пласт, 5 - уровень надмерзлотных грунтовых вод, 6 - кровля вечномерзлотной толщи, 7 - водоупорный слой, 8 - грунтовый поток, 9 - ледяной бугор, 10 - выход надмерзлотных вод на поверхность с образованием наледи.

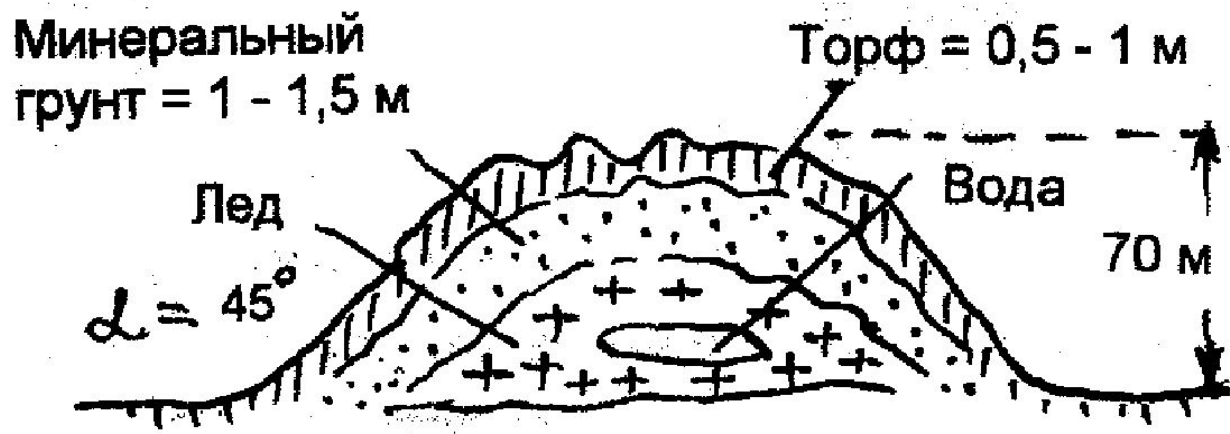
- **2. Процессы морозного трещинообразования** связаны с формированием, развитием и заполнением *морозобойных* трещин. Если лед не тает за летний сезон, то сохраняется элементарная *ледяная жила*, которая подвергается растрескиванию в условиях растяжения. Под воздействием чередующегося таяния и замерзания происходит расширение и углубление морозобойных трещин и разрастание ледяных жил. Глубина морозобойных трещин – от первых см до первых м, может достигать 2-4 м ниже СТС.
- Разрастание морозобойных трещин приводит к образованию *полигонально-жильных форм*. По времени образования они могут быть эпигенетическими и сингенетическими по отношению к вмещающим породам.



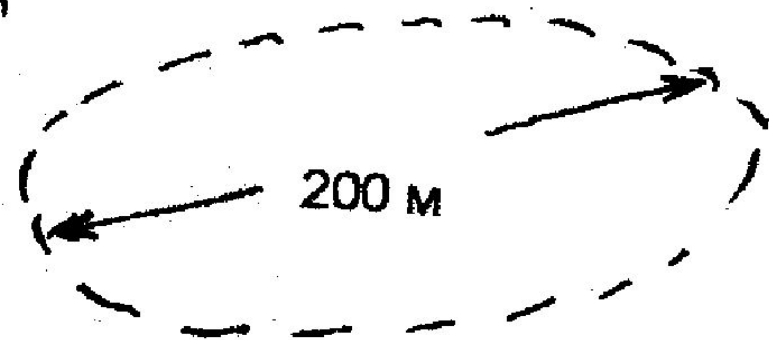
- **3. Процессы пучения** – увеличение объема мерзлых толщ – сочетаются с морозной сортировкой и трещинообразованием, особенно в глинистых и супесчано-суглинистых толщах в пределах СТС. Для равнин наиболее характерно образование бугристых форм.
- Локальное таяние, вымораживание и пучение, развитие морозобойных трещин приводит к образованию криогенного рельефа. Влияние этих процессов может быть комплексным, а формы - полигенными.
- В зоне ММП наблюдается формирование следующих форм рельефа.
- **Бугристый рельеф** характерен для многих районов распространения многолетнемерзлых грунтов. Представлен либо небольшими (высотой 0,5—1,0 м и до 3—5 м в поперечнике) **буграми — могильниками**, сложенными мелкоземистыми, щебнистыми грунтами или торфом на плоских заболоченных участках, либо крупными буграми, размеры которых достигают нескольких десятков и сотен метров в поперечнике, а высота 8—10 м и более.

• *Инъекционные бугры пучения* образуются в условиях закрытой системы. Среди них выделяются бугры, возникающие в результате промерзания подозерных таликов. К инъекционным буграм относятся также гидролакколиты (по сходству с лакколитами - одной из форм внедрения магмы в земную кору). При этом образуется ледяное ядро, залегающее обычно на некоторой глубине от поверхности и приподнимающее кровлю.

Профиль

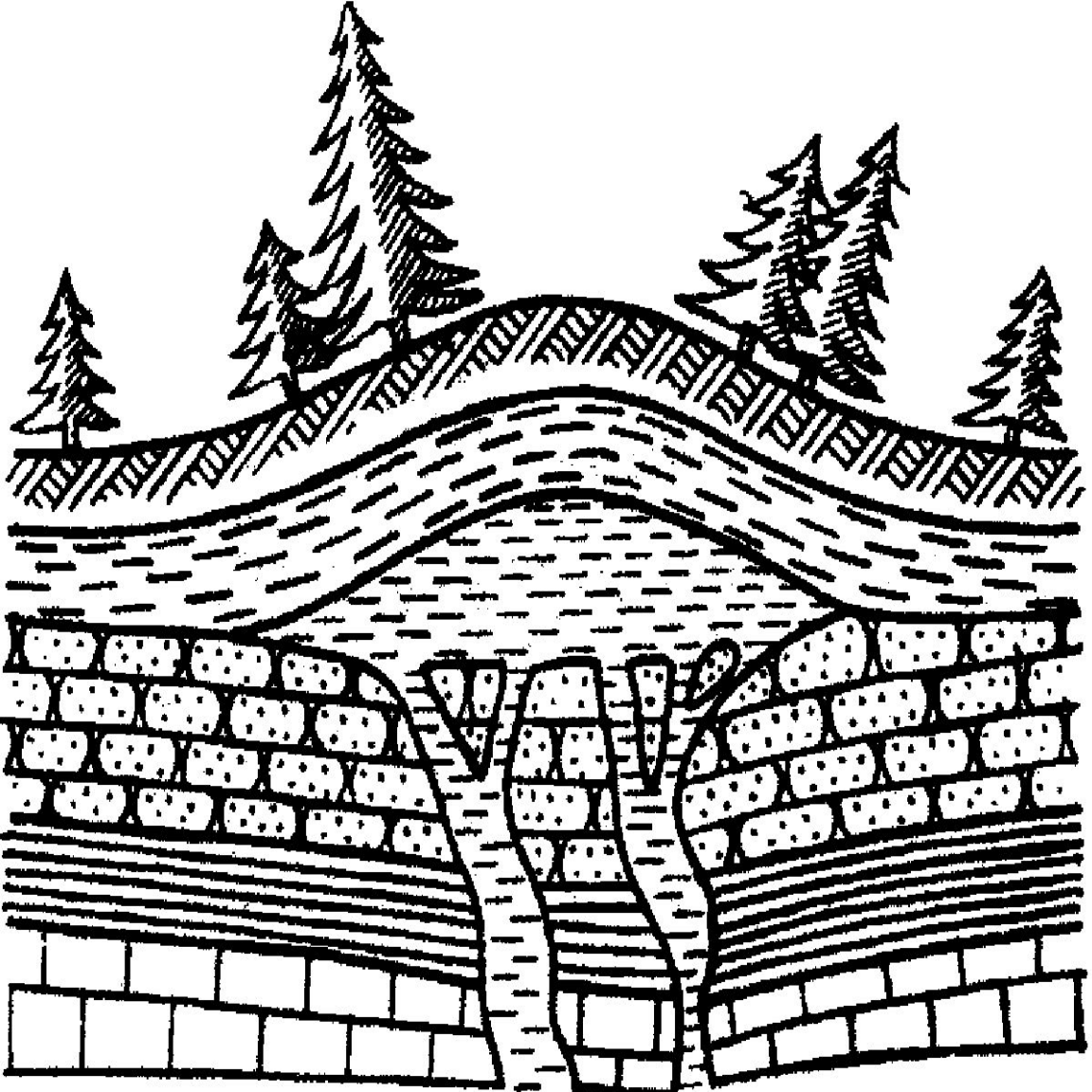


План



**Гидролакколит** - многолетний бугор вспучивания с ледяным ядром

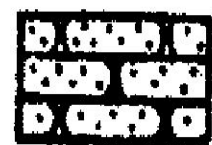
- Многолетние гидролакколиты могут достигать высоты 10 м и более при ширине в десятки метров. Гидролакколиты связаны с внедрением напорных подземных вод в мерзлые породы и их разгрузкой. Напорные воды выходят на поверхность на участках разрывов растяжения. При этом в результате давления на кровлю из наледного льда в пределах наледи возникает изогнутый участок – *наледный бугор* с системой радиальных трещин, через которые прорываются напорные воды.
- *Бугры-булгунняхы*, или *пинго*, образуются в условиях закрытых систем. Такие системы представляют подозерные *талики*, окруженные многолетнемерзлыми породами. Сокращение талика происходит при его промерзании, обычно связанным с усыханием водоема. Сокращение объема вызывает криогенный напор грунтовых вод, под воздействием которого в ослабленном участке породы начинают изгибаться, образуя бугор пучения – булгуннях. Породы испытывают растрескивание по системе радиальных и концентрических трещин, по которым может обнажаться ледяное ядро. Размеры булгунняхов могут достигать высоты 30-60 м и ширины по основанию 100-200 м.



Почва



Глина



Песчаники



Известняки



Лёд

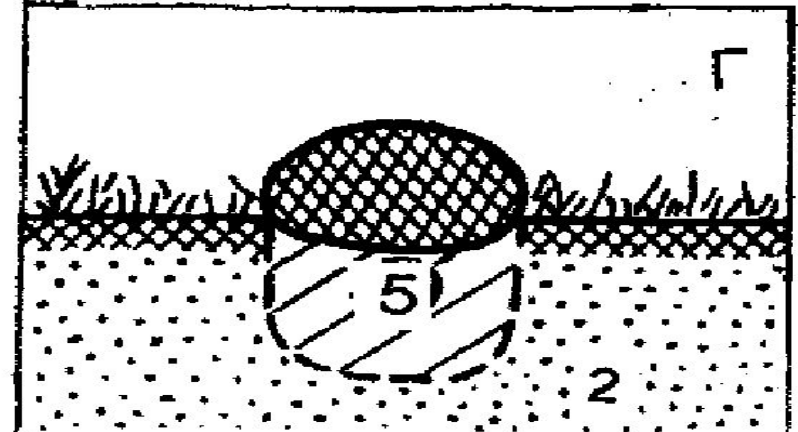
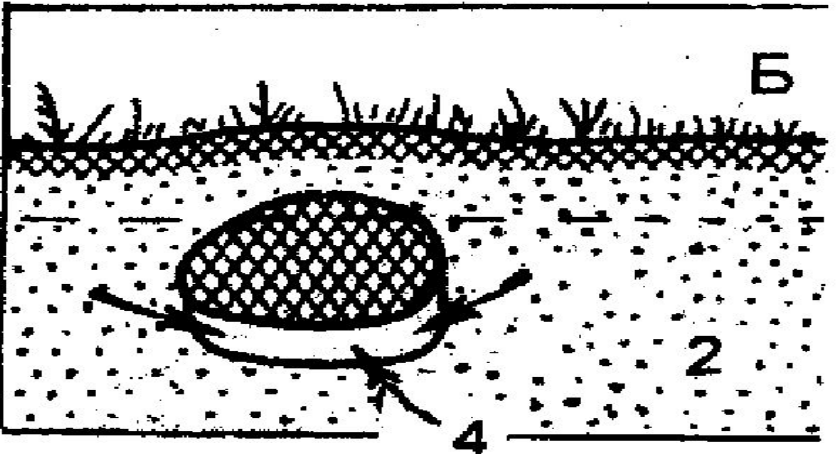
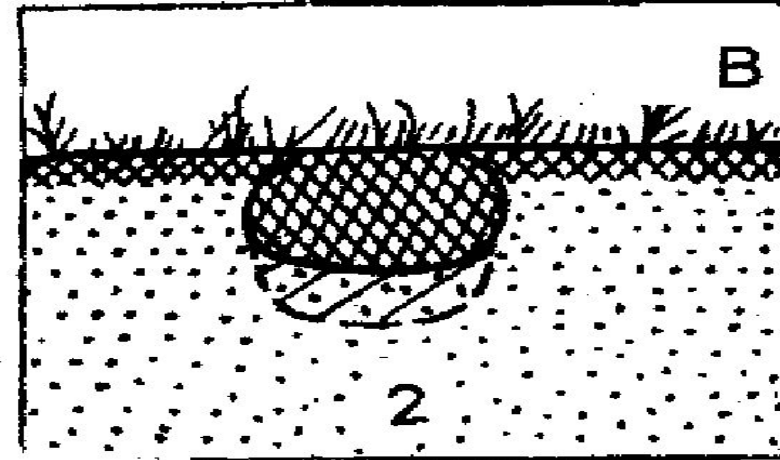
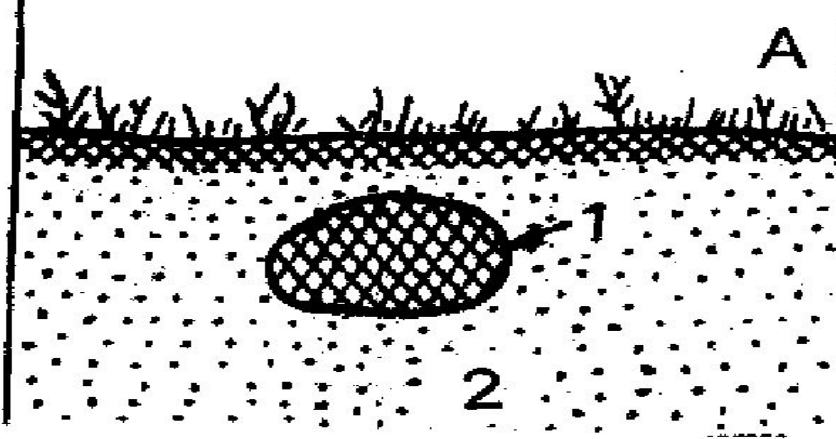
• **Булгуннях, или бугор пучения** . В районах многолетней мерзлоты замерзающая среди рыхлых пород вода деформирует грунт, создает положительную форму рельефа - бугор пучения.

- Крупные бугры могут быть целиком сложены торфом, либо под слоем торфа залегает минеральный грунт, пронизанный линзами и жилами льда, слагающего ядро бугра. Такие формы получили название *булгунняхы*. Приурочены они к пониженным участкам, богатым водой, к берегам рек и озер. Образуются при неравномерном промерзании деятельного слоя, в котором остаются участки талого грунта и воды, испытывающие со всех сторон давление промерзающего грунта, выжимающиеся вследствие этого вверх и приподнимающиеся в виде бугра замерзший выше расположенный грунт.
- *Миграционные бугры* встречаются в районах вблизи южной границы подземного оледенения. Они связаны с возникновением локальных участков мерзлых пород в пределах СТС. Часто формируются на низменных равнинах, на дне долин на участках развития торфяников и мхов. Общее похолодание может вызвать здесь *локальное* образование многолетнемерзлых пород.



- Формирование льда и пучение замерзающих пород в нижней части СТС приводит к образованию бугров, называемых *бугры-торфяники, земляные бугры, бугры - «могильники»* и т.п. Высота миграционных бугров 2-3, реже 4-8 м; ширина в основании – несколько десятков, реже первые сотни м.
- В криолитозоне развиты также мелкополигональные структурные формы, связанные с растрескиванием грунта на мелкие полигоны, неравномерным промерзанием сезонно-талого слоя и развитием в закрытых системах напряжений, а часто и разрывов. Среди таких мелкополигональных структур можно назвать пятна-медальоны в дисперсных грунтах. При промерзании сверху и по трещинам внутри полигона создается гидростатическое давление, происходит прорыв разжиженного грунта верхней мерзлотной корки и растекание по поверхности.

• Вторым типом полигонально-структурных форм являются каменные кольца и многоугольники. Это происходит в неоднородных по составу рыхлых породах, содержащих включения каменных обломков (щебня, гальки, валунов). В результате многократного промерзания и протаивания происходит «вымораживание» из породы крупного обломочного материала на поверхность и его перемещение в сторону пониженных трещинных зон, с образованием каменных бордюров. Процесс вымораживания крупного обломочного материала на поверхность подтверждается и строительной практикой в условиях развития ММП. Хорошо известны случаи строительства некоторых сооружений на сваях, установленных в сезонноталом слое. Со временем происходило «вымораживание свай, что, естественно, вызывало деформации сооружений.



• **Механизм вымораживания валуна (1) из мерзлого грунта (2) на поверхности (по Ю.Ф. Чемякову)** А - до промерзания мелкозема; Б - после частичного промерзания (4 - полость); В, Г - последующие этапы промерзания и оттаивания (5 - мелкозем)

• В области распространения многолетней (постоянной) мерзлоты образование элювия связано с многократным промерзанием и оттаиванием грунта. Возникает обломочный элювий, причем раздробление достигает местами состояния физической пыли (до 0,05 мм); образуются суглинки, смешанные со щебнем и глыбами. Поверхностный покров полярных тундр формируется под действием морозного выветривания и мерзлотных деформаций в расположенном над многолетней мерзлотой активном (деятельном) слое сезонного протаивания. С мерзлотными процессами связаны морозобойные трещины, ледяные жилы, каменные и трещинные полигоны и другие «структурные грунты», бугры пучения, наледи, термокарст и солифлюкция.

- Повторно-жильные льды формируются в северной геокриологической зоне, где низкие температуры и небольшая мощность сезонноталого слоя, и достигают местами большой ширины и глубины по вертикали. Их развитие связано с морозобойными трещинами, образующими системы полигонов различной размерности и формы - тетрагональной (греч. «тетрагон» - четырехугольный) в однородных породах и неправильной - в разнородных. Необходимыми условиями для образования повторно-жильных льдов являются:
  - 1) многократное возникновение морозобойных трещин, проникающих в толщу ММП, глубже границы сезонного протаивания;
  - 2) соответствующее многократное заполнение трещин льдом;
  - 3) наличие достаточно пластичных или способных к уплотнению горных пород.

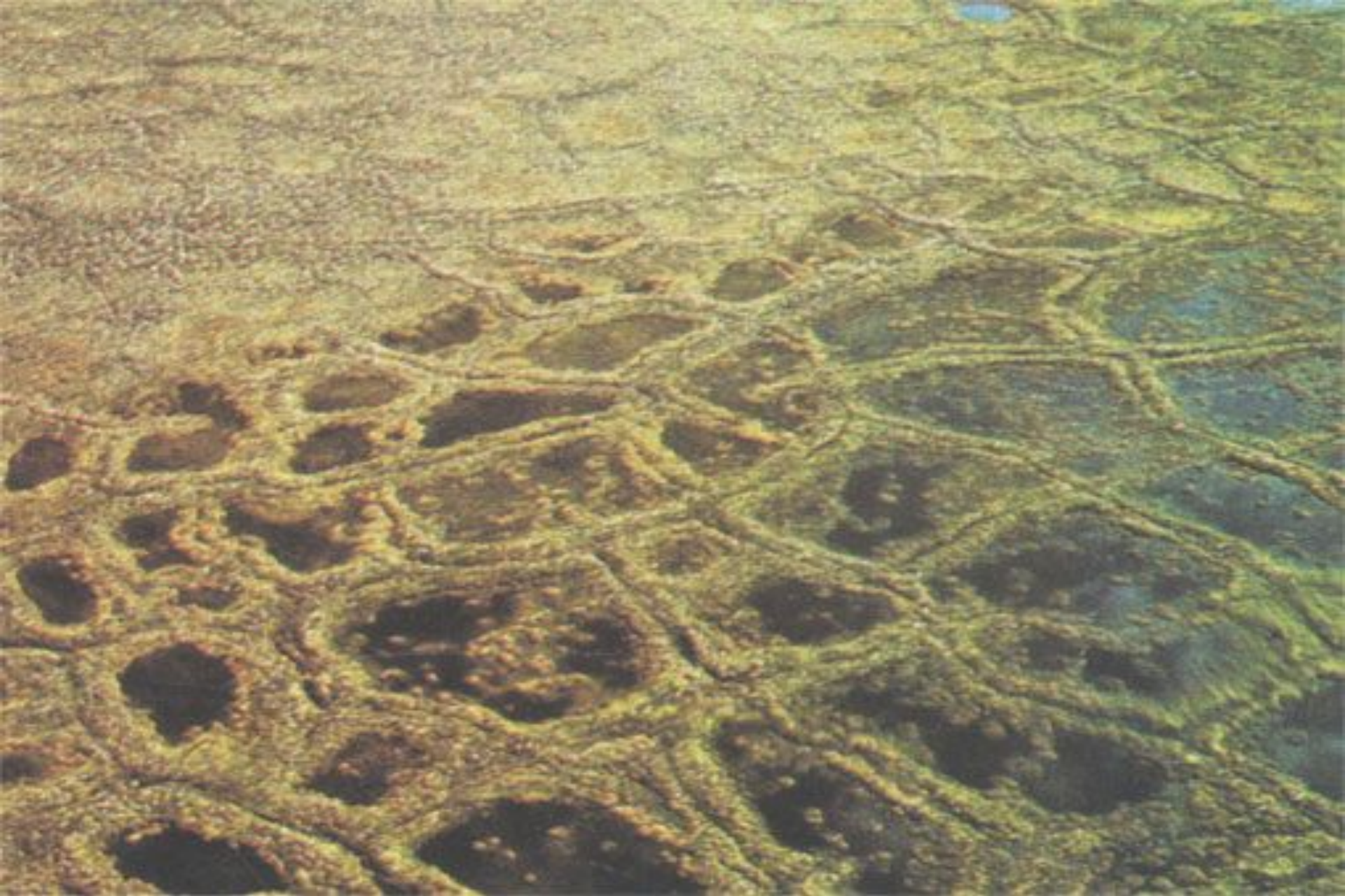


• Выделяются два типа роста жил: 1) эпигенетический, т.е. образующийся в пределах уже сформировавшихся горных пород; 2) сингенетический, т.е. формирующийся одновременно с накоплением осадков. Это могут быть пойменные аллювиальные, делювиальные, болотные и другие отложения. В первом случае ледяные жилки образуются при последовательных годовых циклах растрескивания и заполнения трещин льдом. При этом рост жил происходит главным образом в ширину, величина которой определяется условиями возможного напряжения сжатия расклинивающихся пород. Во втором случае, соответствующем сингенетическому росту, каждая последующая вклинивающаяся жила льда не доходит до конца предыдущей на величину, равную накоплению осадка за год. По мере накопления осадка увеличивается вертикальная мощность повторно-жильного льда.

- Морозное пучение характерно для различных районов криолитозоны, хотя развито неравномерно вследствие локальных особенностей состава, строения и свойств пород. Небольшие бугры пучения могут возникать непосредственно за счет увеличения объема замерзающей воды в грунте. Но большие величины имеют миграционные бугры, когда к фронту промерзания мигрируют новые объемы воды из нижележащей талой части грунта, что сопровождается интенсивным сегрегационным льдообразованием (шлировым и линзовидным). Часто это бывает связано с торфяниками, к которым при промерзании мигрирует влага из пород со значительно большей влажностью. Такие бугры наблюдались в Западной Сибири.

## •13.4. Криогенный рельеф платформенных равнин.

•**Полигональные формы** – формы, обусловленные парагенезом процессов морозобойного растрескивания, вымораживания и пучения, протекающих на фоне общей морозной денудации. Как правило, приурочены они к горизонтальным поверхностям. В периоды промерзания СТС и понижения отрицательных температур в верхней подзоне многолетнемерзлых пород, криогенные толщи подвергаются большим напряжениям, которые вызывают деформации растяжения, разрешающиеся разрывами – возникновением новых и развитием старых морозобойных трещин. Полигонально-жильные структуры подразделяются на *первичные*, развивающиеся впервые из морозобойных трещин, и *вторичные*, формирующиеся после таяния льдов в первичных структурах.

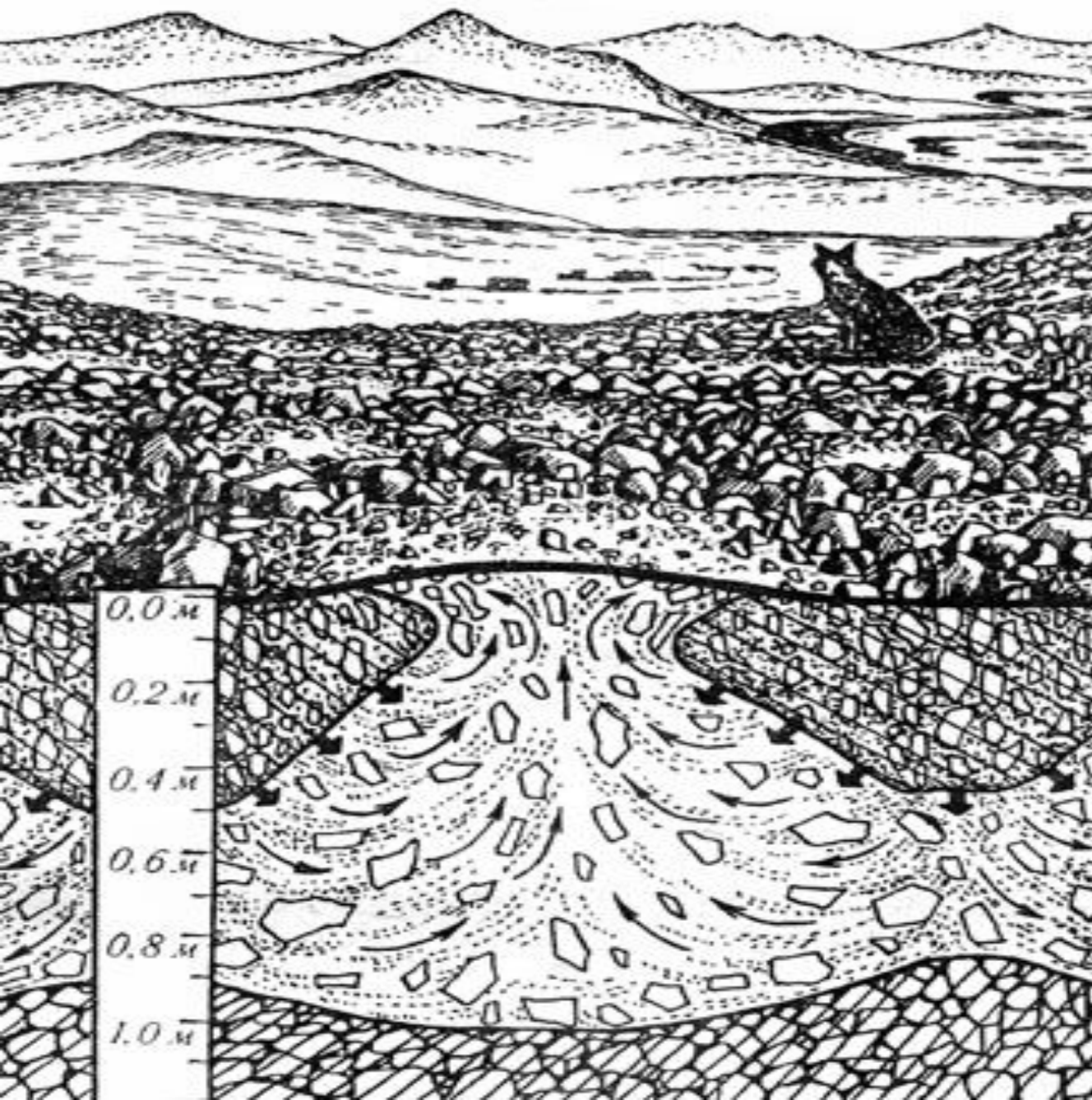


- **Полигональные образования в тундре на западе Канадской Арктики**

- Полигональный рельеф, свойственен областям сплошного подземного оледенения. Наряду с трещинами, заполненными льдами и льдистыми породами, встречаются земляные жилы и дайки – реликты ледяных жил, в которых лед замещен осадками, выпавшими их талых вод и обрушившимися со стенок трещин.
- *Морозобойные полигоны* образуют системы трещинных морозобойных полигонов. Они представляют блоки в приповерхностной толще, разделенные трещинами с повторно-жильными льдами. Правильность очертаний полигонов зависит от однородности пород, а также от наличия ориентирующей вертикальной поверхности. В однородных песчано-глинистых отложениях речных долин часто формируются правильные *тетрагоны*, очертания которых подчиняются ориентирующим поверхностям. В однородных породах без ориентирующих поверхностей преобладают *гексагональные* формы.

• Размеры морозобойных полигонов варьируют от 80-40 м до 1,5-0,2 м, чаще встречаются полигоны с поперечником от 6-8 до 20-30 м. Расширение морозобойных трещин может вызвать уплотнение и выжимание грунта с образованием валиков над ледяными клиньями высотой до десятков см. В результате между морозобойными трещинами возникают компенсационные понижения. Так, по-видимому, возникает рельеф *валиковых вогнутых полигонов*. Эти формы мезо- и микрорельефа развиваются в пластичных отложениях и не характерны для грубозернистых разностей. В процессе денудации валики могут разрушаться. В их образовании ведущее значение имеет парагенез процессов морозной сортировки, пучения и полигонального растрескивания. При проникновении жил льда в слой многолетнемерзлых пород, СТС распадается на ряд закрытых систем. Расширение ледяных жил и ореола мерзлых пород создают в них напряжения, способствующие выдавливанию и вытеканию пластичного материала, слагающего талую часть СТС.



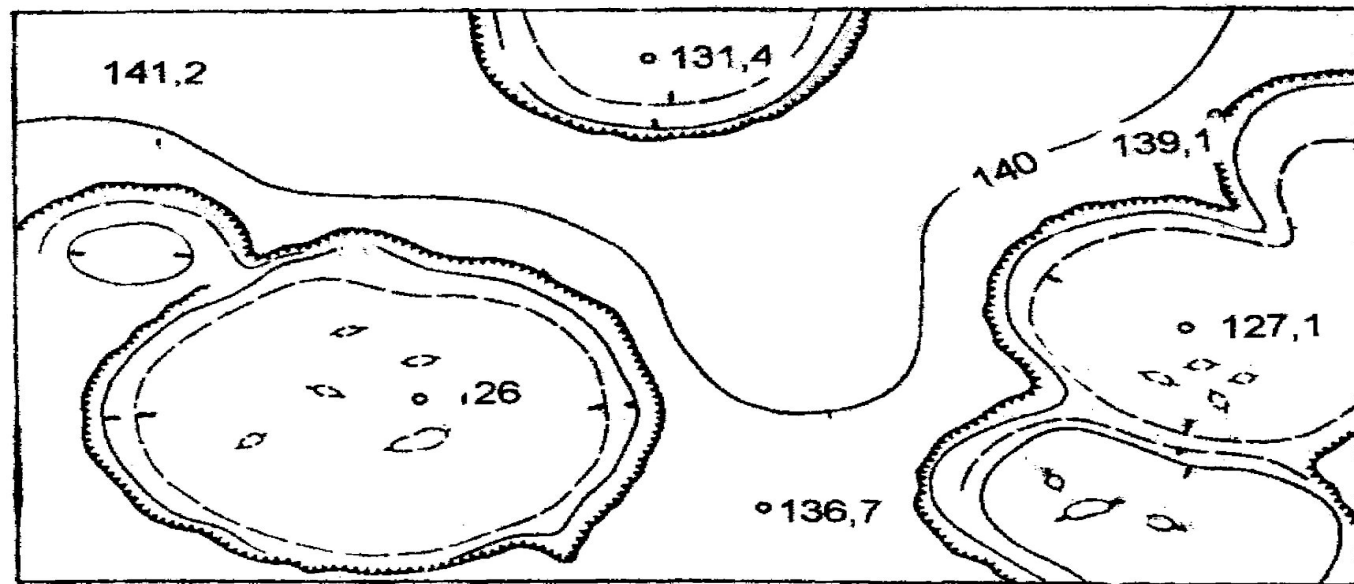
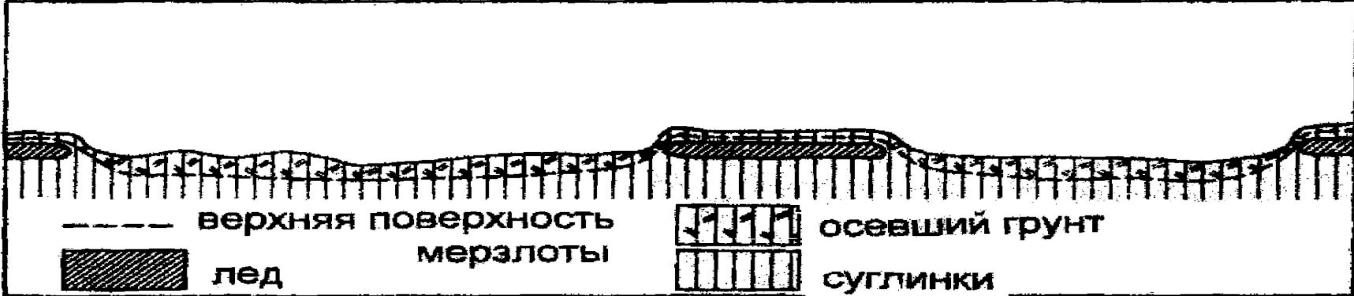


• **Каменные кольца**

- В зависимости от механического состава и однородности пород варьируют детали строения мелкополигональных форм. *Пятна-медальоны* в супесчано-суглинистых разностях. В щебенисто-суглинистых толщах, благодаря морозной сортировке формируются пятна-медальоны с бордюром из щебня, *каменные кольца* и *каменные венки*. Мелкие полигональные формы возникают и при небольших размерах ледяных жил, когда закрытые системы не образуются. Полигоны морозного растрескивания могут развиваться и вне областей подземного оледенения.
- Промерзание и сужение водопроводящих каналов в подрусловых и подозерных (гидрогенных) таликах вызывает рост гидростатического давления воды на сопредельные промерзшие толщи и их деформацию. Многократный прорыв пород кровли подземными водами, их растекание и замерзание приводят к формированию плоско-выпуклых наледей.



- **Термокарстовые формы рельефа.** *Термокарст* - явление вытаявания льда из льдистых пород, толщ и линз чистого подземного льда. Необходимое условие для процесса - наличие подземных льдов в пределах СТС. Термокарст часто сопровождается *суффозией*. Термокарст широко распространен у южной границы геокриозоны, где протаиванию подвергаются все виды подземного льда. В результате таяния подземных льдов образуются *термокарстовые озера, аласы и байджарахи*.
- *Термокарстовые озера* различны по площади, глубина - от первых м до 20 м. Образуются при высокой льдистости толщ, прогрессирующей мощности СТС, отсутствии дренажа на плоских низких водоразделах и обширных низменных равнинах. *Аласы* – замкнутые овальные или округлые понижения, часто являющиеся реликтами озерного рельефа - образуются после усыхания озер или их дренирования развивающейся гидросетью.



• Аласы -  
внешний  
вид,  
разрез и  
план

• Аласовые котловины могут формироваться при вытаивании жильных льдов, льдистых толщ и линз чистого льда. В пределах алас часто вырастают бугры пучения типа *булгунняхов*. Сочетание большого количества бугров пучения и алас создает криогенный западинно-бугристый рельеф. На склонах возвышенностей, обрамляющих аласы, иногда возвышаются *байджарахи* – останцы, сохранившиеся после вытаивания жильных льдов. При протаивании подземных льдов на равнинах со слабым дренажем или без него образуются мелкие озера (0,5-5 м) угловатых очертаний, которые после усыхания превращаются в неглубокие аласовые западины со следами полигональных форм на дне.



• Байджарахи

## •13.5. Криогенный рельеф орогенных областей и высоких платформенных равнин.

- В расчлененном рельефе разновысотных гор распространен *гольцовый* рельеф – рельеф обнаженных склонов, подвергающихся процессам физического (особенно морозного) выветривания и активной склоновой денудации. *Дессерпция* и *солифлюкция* протекают на фоне морозной денудации; гравитационный фактор – основной источник энергии движения коллювия вниз по склону. Совместное действие криогенных процессов приводит к образованию на склонах натечных и натечно-структурных форм.
- *Натечные формы* – грязевые потоки, возникающие при периодическом таянии коллювия преимущественно тонкого состава. На пологих склонах образуются валы, языки, натеки, оплывины, борозды и гряды различных размеров и очертаний.

- *Натечные валы* часто возникают на участках с обратным наклоном склона: перед выходом устойчивых пород, древних морен и др. препятствий на пути течения солифлюкционного потока.
- *Натечные языки* образуются при движении грязевых или грязекаменных потоков по первичным ложбинам в рельефе или при наличии участков интенсивного таяния, например, связанных с выходом незамерзающих источников грунтовых вод.
- *Солифлюкционные террасы* формируются на склонах с чередованием крутых и относительно пологих участков. На последних накапливается солифлюкционный материал, образуя солифлюкционные террасы.
- *Нагорные террасы* относятся к структурным формам. В областях горного оледенения рассматриваются как реликтовые формы рельефа древнего оледенения, возникшие в условиях селективной моделировки склонов ледниковыми покровами. Во внеледниковых областях их образование связывают со скульптурными особенностями строения склонов, выявляющихся при селективном морозном выветривании

- На Среднем и Северном Урале нагорные террасы возникают на склонах любой экспозиции и часто секут породы различной устойчивости. Подчеркивается их приуроченность к периферическим районам последнего оледенения и к специфическим условиям денудации. Образование нагорных террас объясняется регрессивным разрушением склона в условиях морозного выветривания и суффозионно-солифлюкционных процессов интенсивного выноса мелкозема. Нагорные террасы генетически связаны с условиями вечной мерзлоты и морозного выветривания и возникают совместно с комплексом солифлюкционных натечных и термокарстовых форм.

- *Формы, промежуточные и переходные к гравитационным.* На склонах с развитием вечной мерзлоты распространены потоки обломочного материала, в плане напоминающие движение рек и ручьев. На относительно пологих склонах (до 10°, чаще 5-7°) возникают каменные или земляные «потоки», «реки» или «ручьи».



• **Наледи** различают наземные, образующиеся в результате выхода на поверхность речных вод, прорывающих под напором замерзающее суженное русло реки (речные наледи), а также вследствие изливания на поверхность незамерзающих подземных вод под напором многолетней мерзлоты и промерзающей верхней части деятельного слоя или замерзания воды у источника подземных вод (наледи подземных вод, или грунтовые наледи). Находясь под большим давлением в ядре гидролакколита, вода может выливаться на поверхность, после взламывания и даже взрыва слоя сезонной мерзлоты. По площади наледи могут достигать нескольких десятков квадратных километров.



- Все рассмотренные явления, связанные с морозным выветриванием, сортировкой и мерзлотными деформациями мерзлых грунтов, имеют большое значение в развитии рельефа, формировании четвертичных отложений и тщательно учитываются при инженерно-геологических изысканиях в областях распространения многолетней мерзлоты.