

# **Модуль №1. «Общая и историческая геология»**

## **Тема №3. Экзогенные геологические процессы**

### **Лекция №7.**

**Геологическая деятельность подземных вод в районах многолетней мерзлоты.**

**Грязевой вулканизм.**

**Образование и типы ледников.**

**Разрушительная деятельность ледников.**

**Транспортировка ледником обломочного материала.**

**Отложения ледников.**

**Эпохи оледенения Земли, причины их возникновения.**

Доцент, канд.техн.наук – А.Ю. Белоносов

Тюмень, 2020

# Геологическая деятельность подземных вод в районах многолетней мерзлоты.

Образование многолетнемерзлых пород, являющихся водоупорами, сильно меняют условия водообмена атмосферных и подземных вод в криолитозоне. Большая часть пресных подземных вод в криолитозоне приурочена к **таликам**.

**Таликами** или **талыми зонами** называются толщи талых горных пород, которые развиты с поверхности земли или под водоемами и реками и которые непрерывно существуют более десятка лет. Если талики снизу подстилаются мерзлыми породами, то они называются **надмерзлотными** или **несквозными**, а если талики только обрамляются по бокам мерзлыми породами, как стенками, то они носят название **сквозных**. Талики также могут быть **межмерзлотными** и **внутримерзлотными** в виде линз «тоннелей», «трубы», ограниченными со всех сторон мерзлыми породами.

Подземные воды криолитозоны по отношению к мерзлым породам - криогенным водоупорам подразделяются на:

- 1) надмерзлотные;
- 2) межмерзлотные;
- 3) Внутримерзлотные;
- 4) подмерзлотные воды.

# Геологическая деятельность подземных вод в районах многолетней мерзлоты.

1. **Надмерзлотные подземные воды** подразделяются на **временные воды деятельного слоя** и **постоянные воды несквозных таликов**.

Временные воды существуют только летом, и глубина их залегания не превышает кровли мерзлых пород. Воды имеют важное значение для процессов солифлюкции, образования курумов, оплывин, пучения пород.

Постоянные воды связаны с несквозными таликами над кровлей мерзлых пород и они отвечают за образование гидролакколитов, бугров пучения, наледей.

2. **Межмерзлотные воды** обычно располагаются между двумя слоями мерзлых пород, например, между голоценовым верхним и реликтовым, позднемиоценовым, нижним. Эти воды чаще всего динамически не активны.

3. **Внутримерзлотные воды**, о чем говорит их название существуют внутри толщи мерзлых пород и находятся в замкнутых объемах, будучи приуроченными к таликам в карстующихся известняках.

4. **Подмерзлотные воды** циркулируют вблизи подошвы мерзлой толщи, обладают положительными температурами, иногда слабо или сильно минерализованы и могут быть **напорными** и **ненапорными**, а также **контактирующими** с мерзлой породой или **неконтактирующими**, т.е. отделенными слоем талых пород от мерзлых.

# Грязевой вулканизм.

В результате геологической деятельности подземных вод возникает грязевой вулканизм.

Грязевой вулканизм относят к явлению самопроизвольного периодического выброса из недр воды, газов и грязи. Иногда его называют гидровулканизмом.

Внешняя форма грязевого вулкана различна: в виде полого холма — грязевой сопки, сложенной продуктами извержения (сопочной брекчией); в виде бассейна жидкой грязи (сальза).

В строении грязевого вулкана выделяют кратер (на верху сопки) и подводящий канал. Корни канала уходят на глубину 1—2 км, где достигают водоносного пласта с залежами горючего газа, иногда нефти. Обычно грязевые вулканы связаны с крупными трещинами коры (разломами), которые служат проводящими каналами для флюидов, воды и газа. Поднимаясь вверх, они захватывают с собой мелкие обломки пород, возникающие в трещиноватых зонах коры, смешиваются с глинами и образуют характерную пульпу. Периодически грязевая жидкость с брекчиевидными обломками твердых пород выбрасывается на поверхность через кратер вулкана, стекает по его склонам и застывает, формируя грязевую сопку.

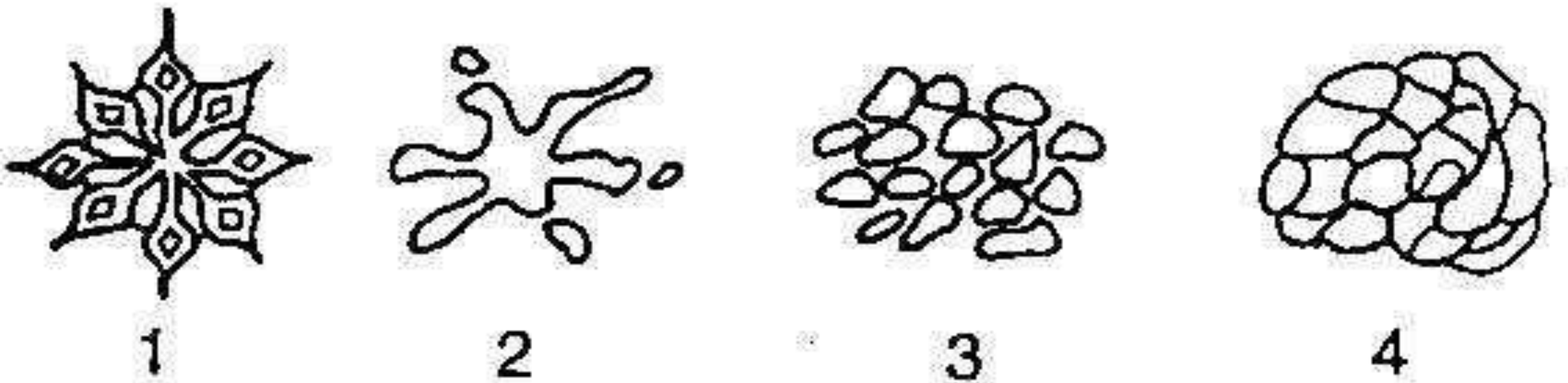
Сопочная брекчия — это рыхлая глинистая порода с включением остроугольных обломков твердых пород. Если в продуктах грязевого вулкана много воды, то конус не образуется, и вулкан представлен грязевой лужей (сальзой).

Действие грязевого вулкана аналогично периодическому действию гейзера. Иногда при его извержении выделяется много углеводородного газа, который способен воспламеняться. Такие извержения сопровождаются взрывами и огненными выбросами.



# Образование и типы ледников.

Для образования ледников необходим снежный покров, который не успевал бы полностью растаять в летний период.



Превращение снега в лед: 1 - снежинка, 2 - под воздействием сублимации (возгонки) выделяется тепло и снежинка оплавляется, 3 - оплавленные комочки образуют фирн, 4 - фирновые зерна соединяются, сплавляются вместе, превращаясь в лед

Снег выпадает в форме тонких, обычно гексагональных легких кристаллов, которые образуют рыхлый покров на поверхности Земли. Кристаллы снега образуются при конденсации водяного пара. Свежий снег обладает высокой пористостью и большой поверхностью соприкосновения с воздухом, что способствует испарению и сухой возгонке, т.н. сублимации, при которой выделяется тепло. Снежинки начинают уплотняться и, подтаивая, за счет высвобождающегося тепла, начинают изменять свою форму, превращаясь в округлые зерна и уплотняясь. Подобное состояние снега называется фирном.

# Образование и типы ледников.

Дальнейшее уплотнение фирновых зерен ведет к их трансформации в **фирновый лед**, еще содержащий поры, а еще позднее уже в **глетчерный лед**, не имеющий пор, обладающий голубоватым цветом и менее плотный, чем речной лед. Чтобы образовался 1 м<sup>3</sup> льда необходимо 10-11 м<sup>3</sup> снега, а чтобы снеговой покров длительно сохранялся нужно сочетание низких температур воздуха с обильными снегопадами.

Так как с высотой температура воздуха понижается на 0,5-0,6°С на каждые сто метров, то в горных областях есть уровень - **снеговая линия**, выше которой снег уже не тает. В разных районах Земного шара снеговая линия находится на разных высотах.

Льды образуются как на суше, так и в реках, озерах и морях.

## Классификация ледников

По форме ледники подразделяются на **горно-долинные** и **покровные**. Иногда еще выделяют **промежуточный** тип ледников, которые в горах обладают долинной формой, а выходя на равнину превращаются в покровный ледник, сливаясь в единый ледниковый щит незначительной мощности.

# Образование и типы ледников.

## Горно-долинный тип ледников.

В любом горно-долинном леднике различаются области: 1) аккумуляции, 2) стока и 3) разгрузки.

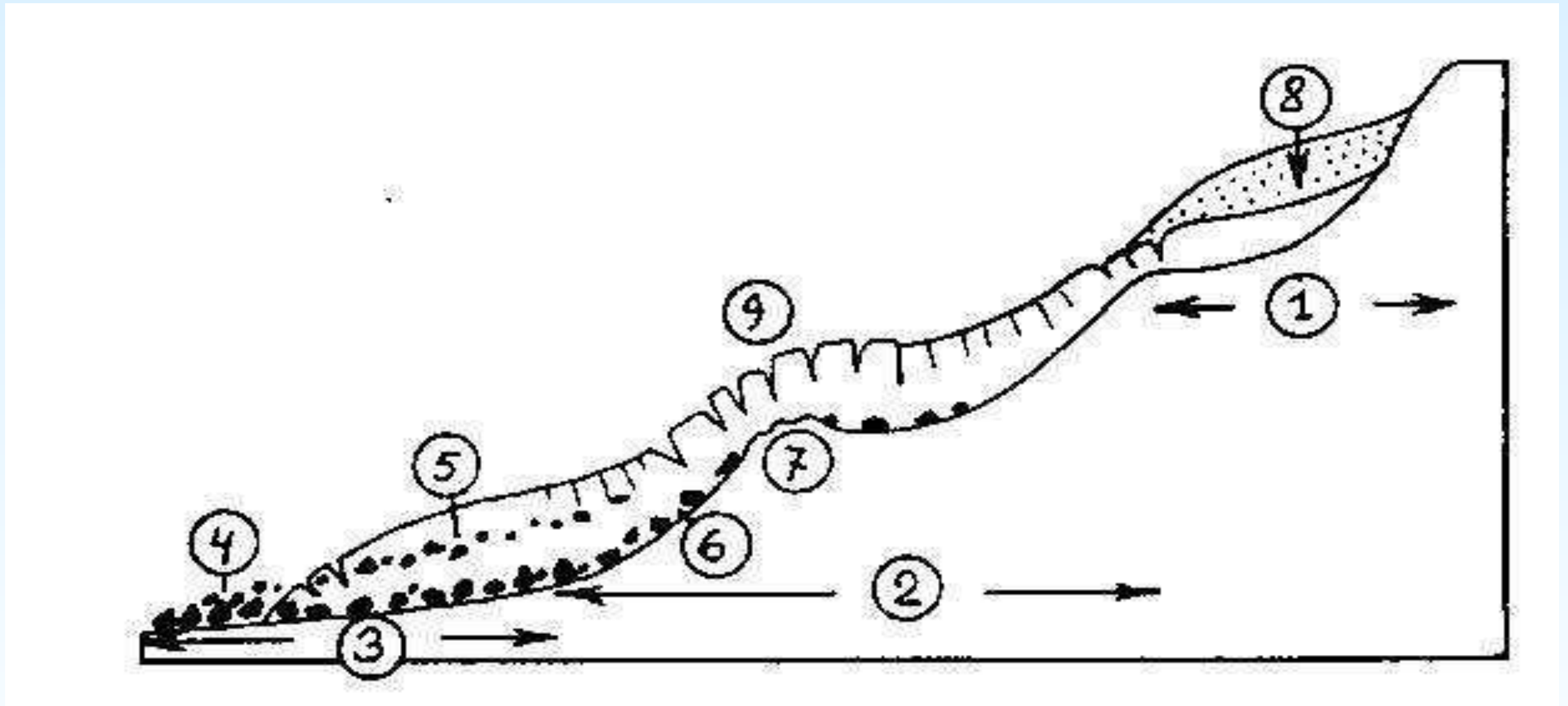


Схема строения горного ледника: области: 1 - аккумуляции, 2 - движения, 3 - разгрузки.

Морены: 4 - конечная, 5 - срединная, 6 - донная; 7 - ригель; 8 - снег; 9 - кривасы (трещины)

# Образование и типы ледников.

## Горно-долинный тип ледников.

Горные ледники питаются за счет снега, выпадающего в высокогорье и постепенно переходящего в фирн, а затем и в лед. Естественно, что областью накопления льда являются понижения между скальными пиками, напоминающие чаши и называемые **карами**. Сливаясь между собой кары образуют более обширные **ледниковые цирки**, из которых лед устремляется в горные долины, по которым может перемещаться на десятки километров.

В том месте, где ледник выходит из кара или цирка, всегда существует перегиб склона, а в леднике возникает **подгорная трещина**. Область стока ледника всегда характеризуется обилием трещин, т.к. в горной местности существуют резкие перепады высот рельефа уступы, обрывы и т.д., т.е. быстро изменяется градиент склона. Область разгрузки представляет собой окончание ледника, где он тает и уменьшается в мощности и объеме.

Горно-долинные ледники подразделяются на **простые** и **сложные** (характеризуются питанием из целого ряда ледниковых цирков и наличием языков льда, сливающихся в один крупный долинный ледник).

Нередко ледниками заняты высокогорные перевалы и языки льда спускаются по обе стороны горного хребта, нося название **переметных ледников**.

Существуют **каровые ледники**, располагающиеся только в каровом углублении. Иногда ледник выходит из кара, но не достигает днища главной долины, оставаясь как бы висеть на склоне. Такие ледники называются **висячими**. От концов висячих ледников часто обрушиваются большие глыбы льда.



# **Образование и типы ледников.**

## **Горно-долинный тип ледников.**

В горно-долинных ледниках скорость движения льда в плане и в поперечном разрезе различается в разных местах сечения ледника. У бортов и у днища ледника скорости минимальны ввиду трения о коренные породы, а в середине и в центральной части - скорости перемещения будут больше. Так как движение ледника неравномерно, он растрескивается и образуются трещины. Трещинообразованию способствует и расслоенность ледника. Талые воды, текущие, как по поверхности, так и под днищем горно-долинных ледников разрабатывают неровности и трещины, нередко превращая их в ледяные туннели или глубокие канавы. Кроме того, эти водные потоки переносят большое количество разрушенного ледником обломочного материала с коренных склонов долины.

## **Покровные материковые ледники**

Обладают изометричной в плане и линзовидной формой в поперечном разрезе, с максимальной мощностью, достигающей до первых км в центральной части купола, откуда лед под давлением и в результате изменения градиента давления движется по радиусам к своим краям.

## **Материковые покровные ледники.**

В настоящее время существуют два крупных покровных ледника. Один в Антарктиде и второй - в Гренландии.

# Образование и типы ледников.

**Антарктический покровный ледник** - крупнейший на земном шаре, занимающий около 14 млн. км<sup>2</sup> или 9% территории суши. В Антарктиде сосредоточено 91% всех наземных льдов и 45% водных запасов континентов. Объем льда составляет 25 млн. км<sup>3</sup>, а максимальная мощность покрова более 4 км при средней - в 2 км. Под гигантской тяжестью ледникового покрова, большие пространства Антарктического материка, особенно в западной его части, располагаются ниже уровня океана. По краям континента ледники спускаются к океану, образуя огромные шельфовые ледяные поля.

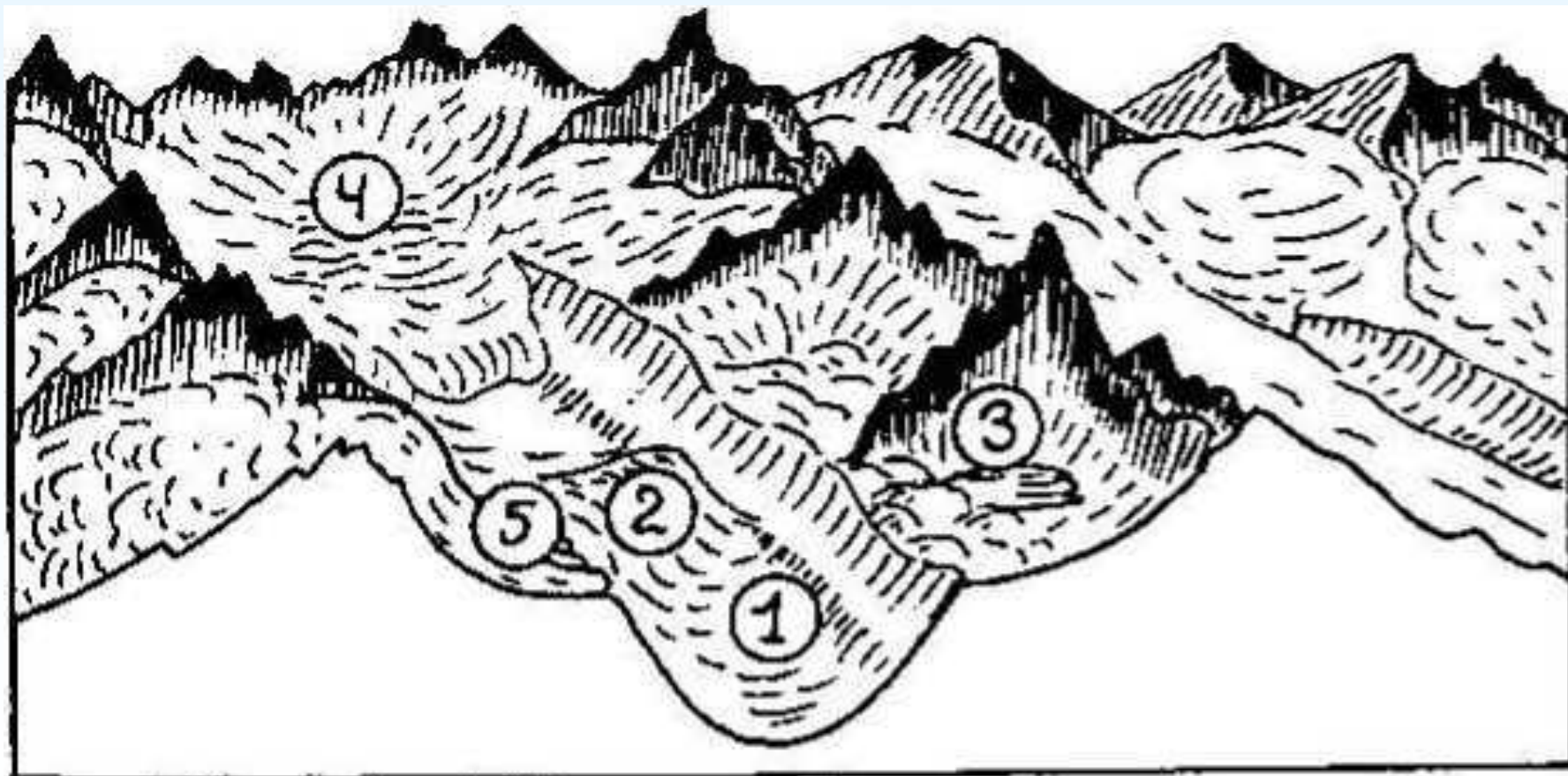
**Гренландский покровный ледник** второй по величине на Земле и занимает площадь в 2,2 млн. км<sup>2</sup> при максимальной мощности льда в 3400 м и средней - 1500 м. В длину ледник протянулся на 2600 км, имея наибольшую ширину почти в 1000 км. Почти везде ледник, обладающий неровной, волнистой поверхностью и залегающий в виде линзы, на побережье ограничен горами и зоной до 100 и даже 160 км свободной ото льда. Лед, утыкаясь в горы, ищет выхода по долинам, образуя выводные ледники, некоторые из которых достигают океана и тогда от их краев откалываются айсберги.

Крупный **покров плавучего льда** существует в Арктике, занимая большую часть Северного Ледовитого океана. В последние десятилетия он сократился на 3% в 10 лет. Лед не только уменьшается по площади, он сокращается и в мощности. В глубоководной части Ледовитого океана за 10 лет мощность льда уменьшилась с 3,1 до 1,8 м. За 40 последних лет арктические плавучие льды потеряли 40% своего объема. Если процесс будет идти с такой же скоростью, то в ближайшие 80-100 лет плавучий лед исчезнет и огромное пространство Ледовитого океана превратится в накопитель тепла. Это может повлечь за собой коренные изменения климата Земли.

# Разрушительная деятельность ледников.

**Экзарация** (лат. “экзарацио” - выпаживание) - эродирующей деятельности ледника, которая оказывается им благодаря огромному давлению, движению льда, а также воздействию на ложе ледника включенных в лед валунов, обломков, гравия и песка, срезая выступы, истирая и полируя их, действуя как огромный лист наждачной бумаги. Благодаря такому абразивному действию, V - образные речные горные долины, по которым начинает двигаться ледник, постепенно приобретают корытообразную U-образную форму **трога** (нем. “трог” - корыто).

Если в долине встречаются выступы более твердых пород - **ригели**, ледник переваливает через них, а перед ними или после них днище трога углубляется и образуются **ванны выпаживания**. В верхних частях горнодолинных ледников образуются чашеобразные **кары** и более крупные **цирки**.



Экзарационные формы рельефа:

- 1 - трог,
- 2 - ригель,
- 3 - кары,
- 4 - цирки,
- 5 - висячие долины



# Разрушительная деятельность ледников.

Впаянные в основание ледника разнообразные по величине камни благодаря огромному давлению оставляют на подстилающих горных породах борозды и царапины - **ледниковые шрамы**, которые фиксируют своей ориентировкой направление движения ледника.

Скальные выступы пород сглаживаются и полируются абразивным действием льда, возникают т.н. **бараньи лбы**. Скопления бараньих лбов образует форму рельефа, называемую **курчавыми скалами**.

Ледник способен захватывать крупные обломки горных пород, нередко покрытые ледниковыми шрамами, и разносить их на большие расстояния - **эратические (не местные) валуны**.

Покровные ледники, обладая большой экзарационной силой, выпахивают в своем ложе глубокие и протяженные ложбины и рвы - **ложбины выпахивания**.

Мощная напорная сила медленно перемещающегося ледника, как нож бульдозера способна вызвать дислокацию горных пород, сминая их в складки, разрывая на крупные глыбы - **отторженцы**, способные перемещаться на многие десятки км.



# Транспортировка ледником обломочного материала.

При своем движении ледник захватывает и переносит различный материал, начиная от тонкого песка и, кончая, крупными глыбами, весом в десятки тонн. Попадают они в тело ледника различными способами.

В горно-долинных ледниках обломки пород скатываются со склонов ледниковых каров, цирков или трогов в результате выветривания, обвалов и оползней и, попадая, на лед перемещаются вместе с ним, проникая в трещины, погружаясь в лед за счет протаивания последнего. Особенно много обломочного материала скапливается в местах контакта ледника с бортом долины. Кроме того, в днище ледника также включены многочисленные обломки, попавшие туда в результате экзарационной деятельности.

Материал любого размера, включенный в лед или переносимый льдом и впоследствии отложенный, называется **мореной**.

Выделяются морены **движущиеся** и **отложенные**.

В горно-долинных ледниках существует ряд разновидностей морен в связи с их положением в теле ледника. **Боковые морены** располагаются в краевых частях ледника, **срединные** - в их середине, причем как на поверхности, так и внутри ледника. **Донная морена** выстилает ложе ледника.

В ледниках покровного материкового типа развиты преимущественно **донные морены**, т.к. лед перекрывает мощной толщей все выступы рельефа.

# Транспортировка ледником обломочного материала.

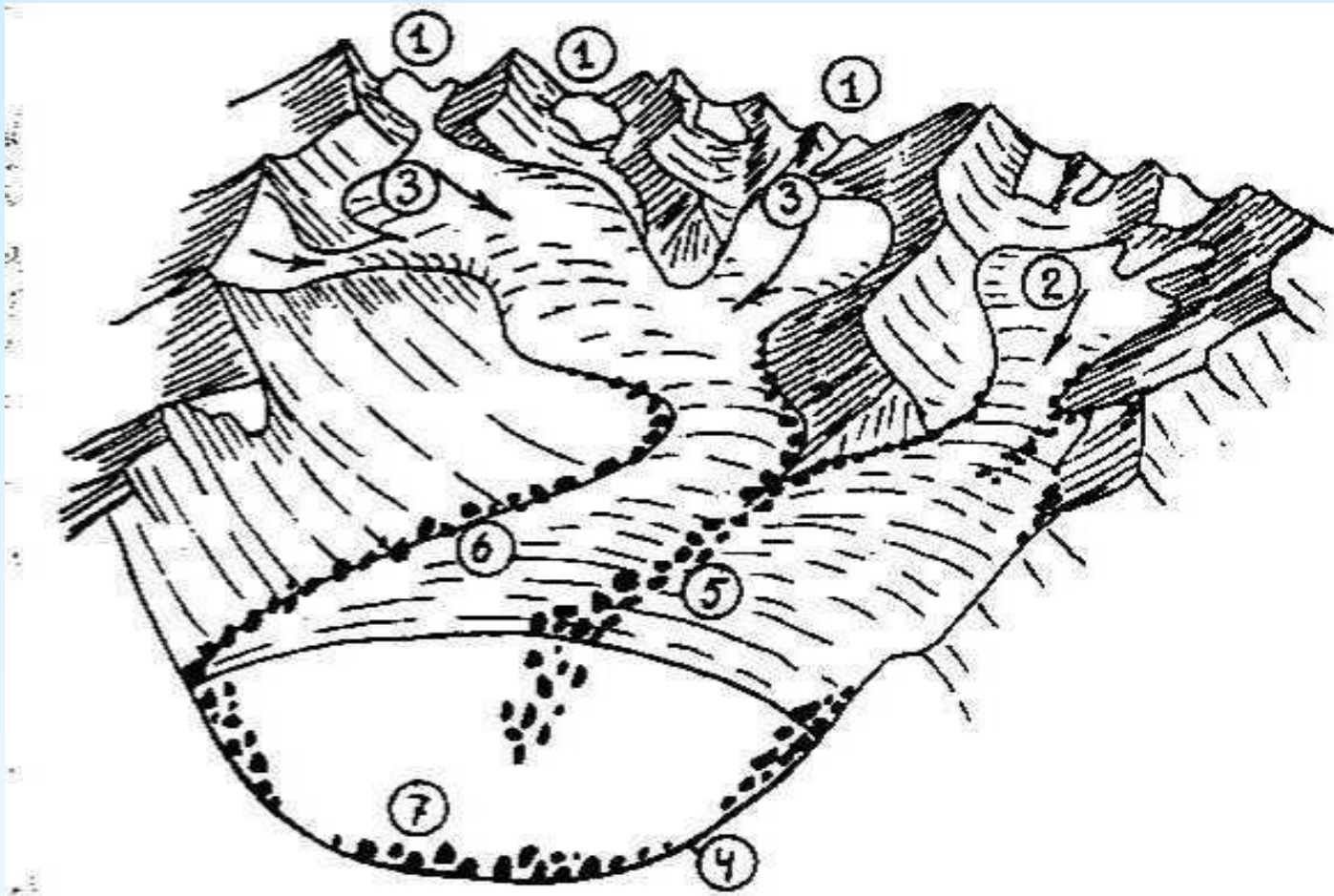


Схема питания и строения горного ледника:

- 1 - кары;
  - 2 - цирки;
  - 3 - области питания ледника;
  - 4 - ледниковая корытообразная долина - трог.
- Морены: 5 - срединная, 6 - боковая, 7 - донная

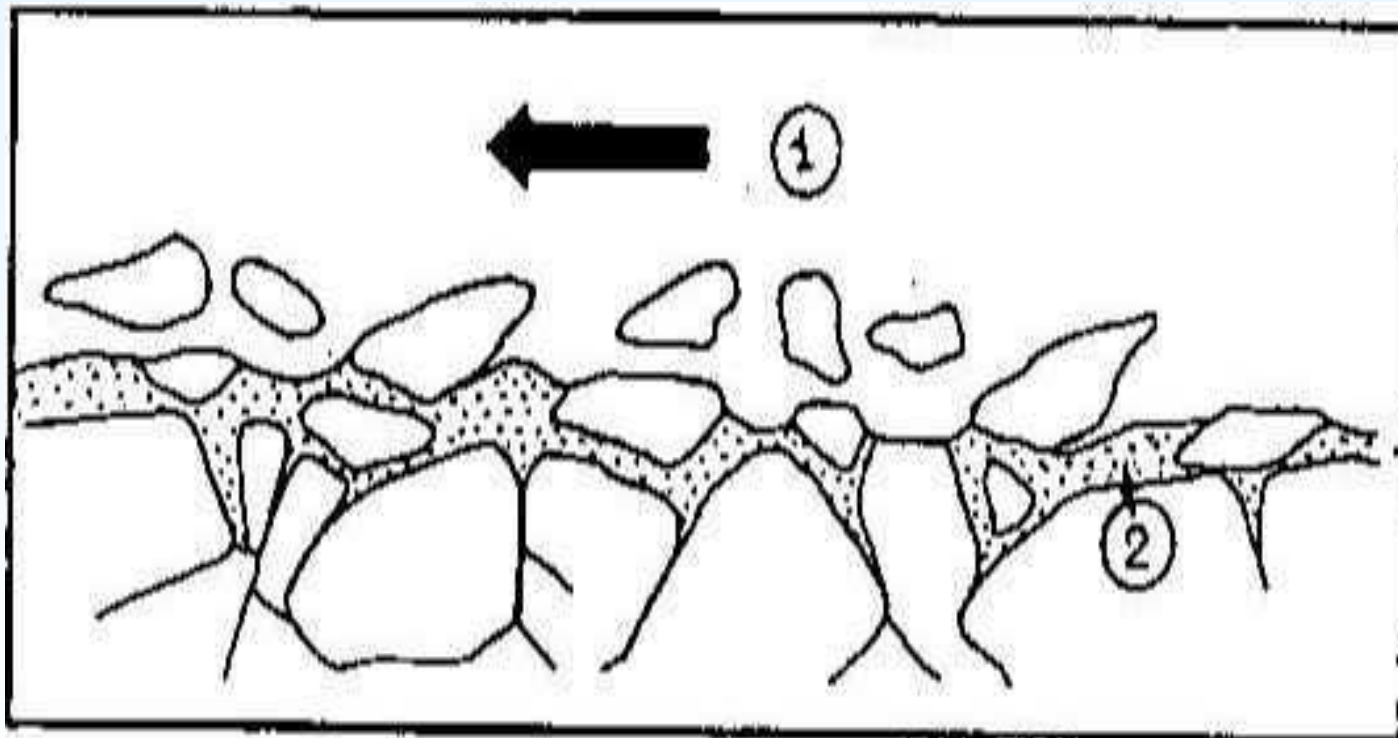


Схема образования донной морены. Вода, проникая по трещинам, замерзая, откалывает глыбы пород, которые вовлекаются в движение льда.

- 1 - направление движения льда,
- 2 - вода в трещинах пород ложа ледника

# Транспортировка ледником обломочного материала.

Отложенные морены образуются либо после отступления ледника, либо в моменты его стационарного положения, когда скорость наступания равняется скорости таяния. В последнем случае, как в горных, так и в равнинных, покровных ледниках формируется конечная морена или конечно-моренный вал. Различный обломочный материал, включенный в лед, вытаскивается из него у края ледника. Но так как ледник движется вперед, он приносит с собой все новые и новые порции обломочного материала, которые постепенно и нагромождаются у его стоящего на одном месте края.



Формирование конечной морены

В формировании конечно-моренных или терминальных гряд не исключено и напорное действие ледника, подобно действию бульдозера. Обломки могут выжиматься из льда, выдавливаясь из него.



# Транспортировка ледником обломочного материала.

Если в горных ледниках конечные морены всегда имеют дугообразную форму, располагаясь выпуклой стороной вниз по долине, то на равнинах конечные морены повторяют изгибы краев ледникового покрова.

**Донная** или, как ее иногда называют, **основная морена**, образуется в основании ледника, когда при его движении происходит отрыв и перемалывание, раздробление, как твердых, так и рыхлых коренных пород ложа ледника. Обычно донная морена состоит из обломков, валунов, гравия, песка и глины, т.е. весьма разнообразный материал. Эти морены покрывают большие пространства, формируясь при отступании ледниковых покровов. Талыми водами мелкий материал впоследствии вымывается и на поверхности преобладают скопления крупного валунного материала.

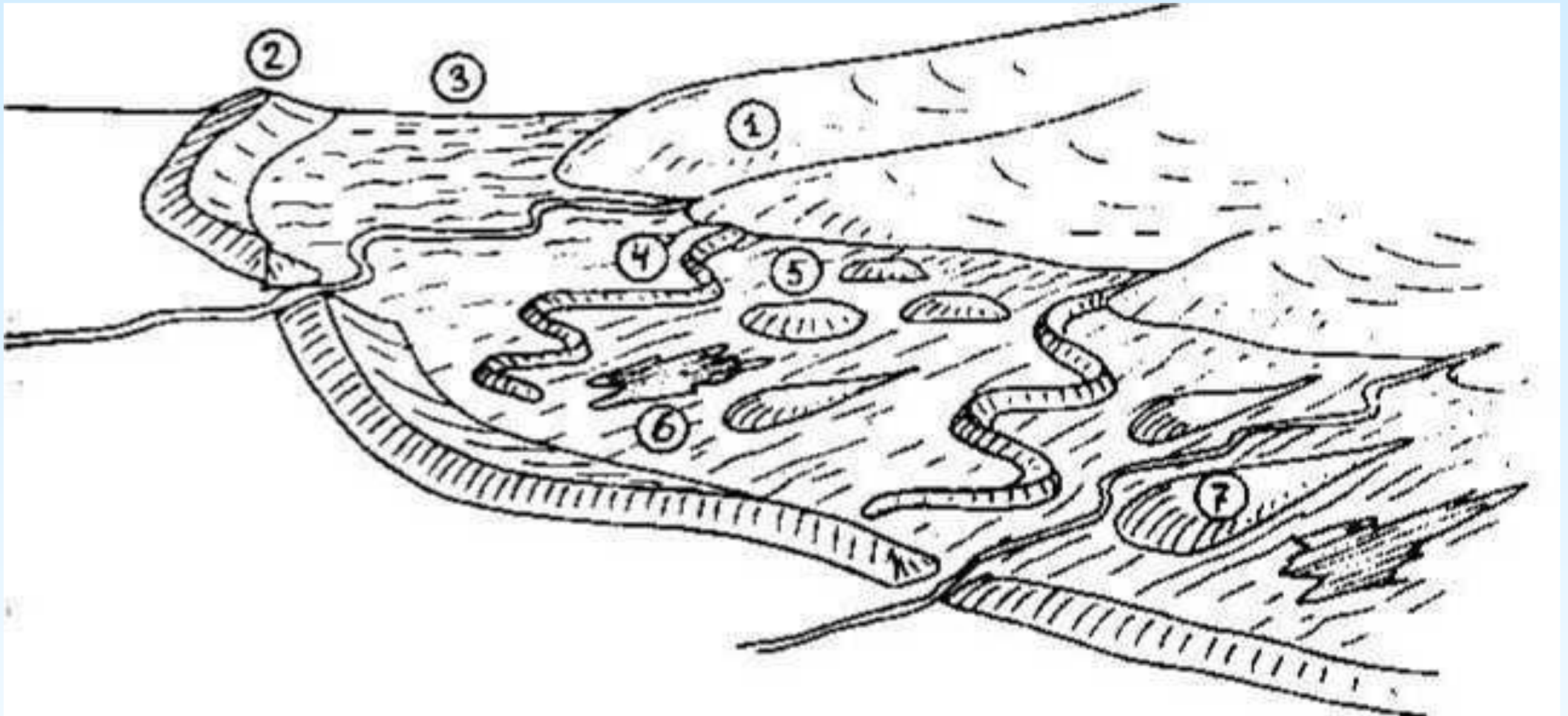
Уплотненные древние морены получили название **ТИЛЛИТОВ**.

Плохая сортированность морен, особенно в разрезах древних отложений, позволяет их путать с отложениями селевых потоков.

Донные морены образуют обычно слабо холмистый рельеф, на фоне которого нередко отдельные овальные в плане возвышенности, высотой до 30 м, длиной до первых км и шириной в сотни метров. По форме они напоминают половинку дыни или яйца и называются **друмлинами**. Образуются они за каким-либо выступом коренных горных пород, когда ледник переваливает через него, за ним образуется недостаток массы льда или даже полость и там скапливаются донные моренные отложения, часто слоистые. Друмлины нередко образуют целые поля.



## Отложения ледников.



область покровного ледника: 1 - ледник, 2 - конечно моренный вал, 3 - зандровая равнина, 4 - озы, 5 - камы, 6 - приледниковые озера, 7 - друмлины

## Отложения ледников.

Крупные материковые покровы льда при своем таянии поставляют огромную массу воды. Целые реки воды текут по поверхности краевой части ледника, внутри него и подо льдом, вырабатывая в нем туннели. Сток воды может быть плоскостным или линейным (сосредоточенным), а объем талой воды огромным. Естественно, что эта быстродвижущаяся вода производит большую работу, как аккумулятивную, так и эрозионную. Под ледяным покровом могут располагаться большие озера.

Благодаря постоянному выносу талых вод, формируются ложбины стока, образующие своеобразный рельеф чередования ложбин с широкими днищами и крутыми склонами. Обломочный, главным образом, песчаный материал, влекомый этими потоками, распространяется на больших пространствах, образуя **зандровые равнины** (нем. “зандер” - песок), за внешним краем конечно-моренных валов.

**Озы** представляют собой протяженные, извилистые гряды или валы, высотой в 20-30 м, сложенные слоистым песчано-галечным или песчано-гравийным материалом. Образовались они вследствие наличия водных потоков на поверхности или внутри ледника, которые переносили песчано-гравийный материал. Когда ледник растаял, этот материал оказался спроектирован на поверхность суши в виде вала, а не в форме “корыта”, какую он имел в реке, текущей по льду. Озы всегда ориентированы по направлению стока воды с ледника, а, следовательно, указывают нам на его движение.

# Отложения ледников.

**Камы** - это холмы изометричной формы, высотой в 10-20, редко больше метров, сложенные чередованием слоев разнозернистого песка, глин, редко с отдельными гальками и валунами. Эти отложения формировались в озерных котловинах, расположенных на поверхности ледника и после таяния последнего, оказались, как и озы, спроектированными на поверхность коренных пород.

**Озерно-ледниковые, тонкослоистые (ленточные) отложения**, состоящие из многократно чередующихся глинистых и песчанистых слоев образовались в **приледниковых озерах**. Когда таяние было более бурным, например, летом, в озеро сносится относительно грубый материал, а зимой, в условиях ослабленного водотока накапливались глины. Количество слоев в ленточных озерных отложениях (**варвы**) говорит о времени формирования озера.

Все упомянутые выше отложения, связанные с действием талых ледниковых вод иначе называются **флювиогляциальными**, что указывает на их водно-ледниковое происхождение.

**Плавающие льды** или **айсберги** разносятся течениями на большие расстояния от кромки ледников. На плавающих льдах находится много обломочного материала, который, по мере их таяния откладывался на океанском дне. В шельфовых ледниках откалываются столовые айсберги, с отвесными уступами. Длина айсбергов может превышать 100 км и они десятилетиями плавают в океанах, постепенно раскалываясь и подтаивая. Откалываясь от края шельфовых ледников, айсберги провоцируют накопление на дне мощных оплывающих валунно-глинистых отложений и формирующих мореноподобные толщи.



# Эпохи оледенения Земли, причины их возникновения.

Следы наиболее **древнего оледенения** зафиксированы в отложениях **раннего протерозоя** в Канаде, на Балтийском щите (2,5-2,0 млрд. лет), причем обращает на себя внимание длительность интервала в 400 млн. лет, в пределах которого обнаруживаются предположительно ледниковые отложения.

**Более молодая ледниковая эпоха** фиксируется в слоях **позднего рифея и венда** (0,9-0,63 млрд. лет) на Русской плите, в Канаде, США, Шотландии и Норвегии, на Северном Урале и др.

В **раннем палеозое (ордовик-силур)** в интервале 460-420 млн. лет установлены следы оледенения в Западной Африке, в Сахаре, возможно в Аргентине, Бразилии и Юго-Западной Африке, Западной Европе, Северной Америке.

Отложения явно ледникового генезиса относятся к временному интервалу 350-230 млн. лет, что отвечает **каменноугольному и пермскому времени позднего палеозоя**. Это было время существования огромного суперматерика Пангеи II, когда Южная и Северная Америки, Африка и Евразия, Антарктида, Австралия, Индостан были спаяны вместе, а между Евразией и Гондваной (южные материки) существовал океан Тетис.

**Кайнозойский криогенный период** (38 млн. лет - ныне). Начало этого периода относится к интервалу 38-25 млн. лет назад (**поздний олигоцен**). Всеобщий ледниковый покров сформировался в **раннем миоцене** (25-20 млн. лет назад). В **среднем миоцене** (15 млн. лет назад) сформировался Гренландский ледник, а похолодание и ухудшение климата фиксируется с рубежа в 700 000 лет. Этим временем определяется начало **четвертичного ледникового периода**. Последнее крупное оледенение началось около 25000 лет назад и достигло максимума 18000 лет назад, после чего началась быстрая деградация ледникового покрова, отступавшего со скоростью до 5 км в год.



# Эпохи оледенения Земли, причины их возникновения.

С раннего протерозоя, неоднократно проявлялись холодные эпохи, во время которых возникали обширные ледниковые покровы, чаще всего в пределах ряда материков или их частей. Однако, наличие ледникового покрова является только одной из составляющих “ледникового периода”, в который входят и мерзлые породы верхней части земной коры, а также огромные массивы плавучих морских льдов.

Основой оледенений является изменение климата в глобальном масштабе. Причины таких могут быть разные.

Наибольшим признанием в настоящее время пользуется астрономическая теория палеоклимата, возникшая около 150 лет тому назад, когда стало известно о циклических изменениях элементов орбиты Земли. В ней решающее значение для изменений климата придается циклическим изменениям основных параметров орбиты Земли:

- 1) эксцентриситета “e” с периодом в 100 000 лет;
- 2) наклона плоскости экватора Земли к плоскости эклиптики (плоскости орбиты Земли) “E” с периодичностью примерно в 41 000 лет
- 3) период предварения равноденствий или период процессии, т.е. изменение расстояния Земли от Солнца, которое не остается постоянным. В перигелии Земля ближе всего к Солнцу, а в афелии - дальше всего от Солнца. Период процессии равен примерно 23 000 лет.

## Эпохи оледенения Земли, причины их возникновения.

Находясь в афелии, Земля имеет наибольшее удаление от Солнца, поэтому в Северном полушарии лето будет длительным, но прохладным, т.к. Земля будет обращена к Солнцу Северным полушарием. Через полупериод цикла процессии, т.е. через 11500 лет к Солнцу будет обращено уже Южное полушарие, а в Северном - лето будет жарким, но коротким, тогда как зима будет холодной и продолжительной. Подобные различия в климате будут тем резче, чем больше эксцентриситет “ $e$ ” орбиты Земли.

Широтное распределение солнечной радиации на Земле сильнее всего зависит от наклона земной оси по отношению к плоскости эклиптики, т.е. от угла “ $E$ ”. Наиболее значимые относительные изменения радиации или инсоляции будут происходить в высоких широтах. Если угол наклона “ $E$ ” уменьшается, то это в высоких широтах может привести к уменьшению Солнечной радиации и, следовательно, к увеличению площади ледников или к их возникновению. Для этого процесса необходимо длительное и прохладное лето, в течение которого не успевал растаять снег, накопившийся мягкой, но короткой зимой.

Изменение эксцентриситета влечет за собой изменение среднегодового количества солнечной радиации, т.к. при орбите, близкой к круговой, расстояние (среднее) от Земли до Солнца наибольшее, а, следовательно, солнечная радиация минимальна. Если величина “ $e$ ” увеличивается, т.е. орбита Земли становится более узкой и поэтому среднее расстояние от Земли до Солнца уменьшается, то солнечная радиация возрастает. Тем самым изменяется количество тепла, поступающее от Солнца.

# Эпохи оледенения Земли, причины их возникновения.

Есть целый ряд факторов, как экзогенных, так и эндогенных, которые могут влиять на климатические изменения, вместе с изменениями орбитальных параметров Земли. Значительные колебания глобальной температуры приземного слоя атмосферы могут вызываться изменением содержания CO<sub>2</sub> и различных аэрозолей в воздухе. Только удвоение CO<sub>2</sub> по отношению к современному (0,03%) способно повысить температуру воздуха на 3°C из-за парникового эффекта, который, пропуская на поверхность Земли солнечную радиацию, одновременно задерживает тепло, отраженное от земной поверхности, нагревая тем самым, приземный слой воздуха.

Несомненно, что на климатические изменения влияет и океан, огромные массы воды которого, циркулируя, переносят как холод, так и тепло. Особенно важно термическое состояние глубоких уровней океанских вод, когда тяжелые придонные воды охлаждаются до температуры ниже 5-8°C, что совпадает с периодами похолоданий климата, тогда как образование очень соленых и теплых придонных вод отвечает теплым климатическим периодам. Это состояние резко отличается от современной океанской циркуляции. Собственно колебания уровня воды в океане влияют на распределение течений, также как и перемещение литосферных плит. Для этого необходимы более весомые причины - астрономические, на которые могут влиять, усиливать или, наоборот, ослаблять их перечисленные выше факторы, в том числе и эпохи энергичного горообразования, когда большие районы поверхности земного шара поднимались выше снеговой линии и формировались горно-долинные ледники.