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).

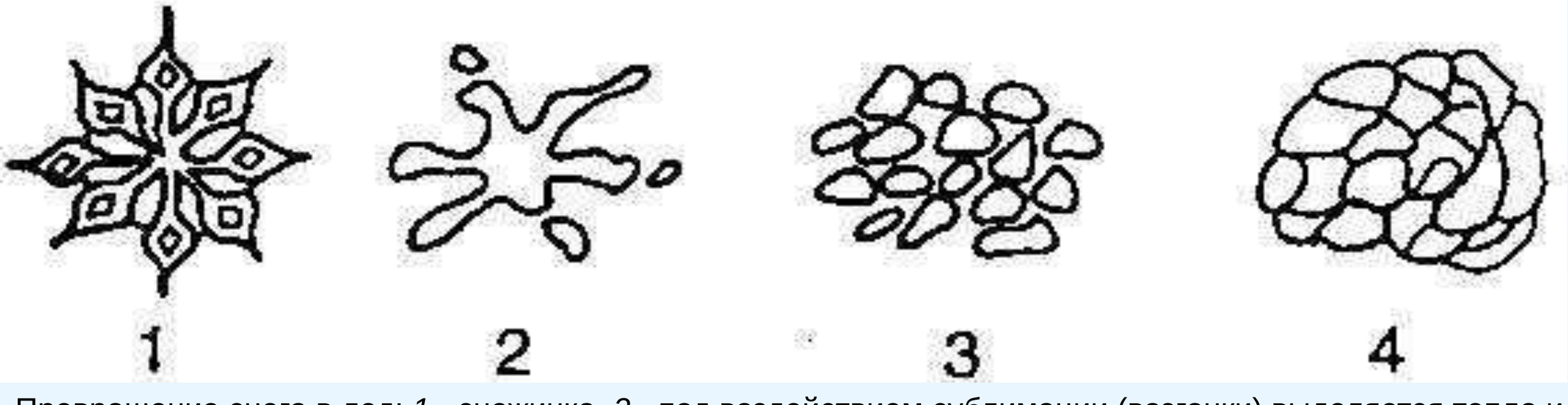
В строении грязевого вулкана выделяют ***кратер*** (на верху сопки) и ***подводящий канал***. Корни канала уходят на глубину 1—2 км, где достигают водоносного пласта с залежами горючего газа, иногда нефти. Обычно грязевые вулканы связаны с крупными трещинами коры (разломами), которые служат проводящими 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 м3 льда необходимо 10-11 м3 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.

<u>Горно-долинный тип ледников</u>.

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

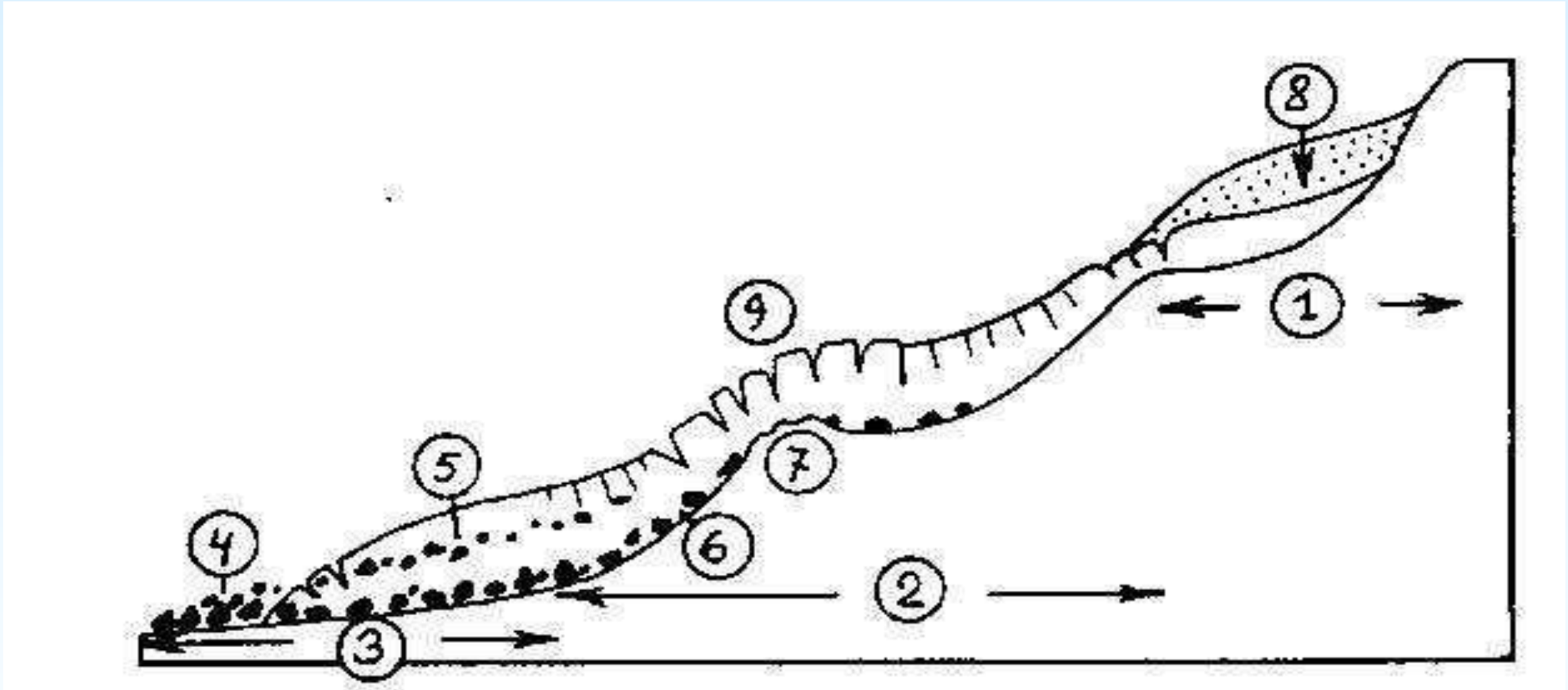


Схема строения горного ледника: области: *1* - аккумуляции, *2* - движения, *3* - разгрузки.

Морены: *4* - конечная, *5* - срединная, *6* - донная; *7* - ригель; *8* - снег; *9* - кривассы (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, доходящей 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. км2 или 9% территории суши. В Антарктиде сосредоточено 91% всех наземных льдов и 45% водных запасов континентов. Объем льда составляет 25 млн. км3, 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.

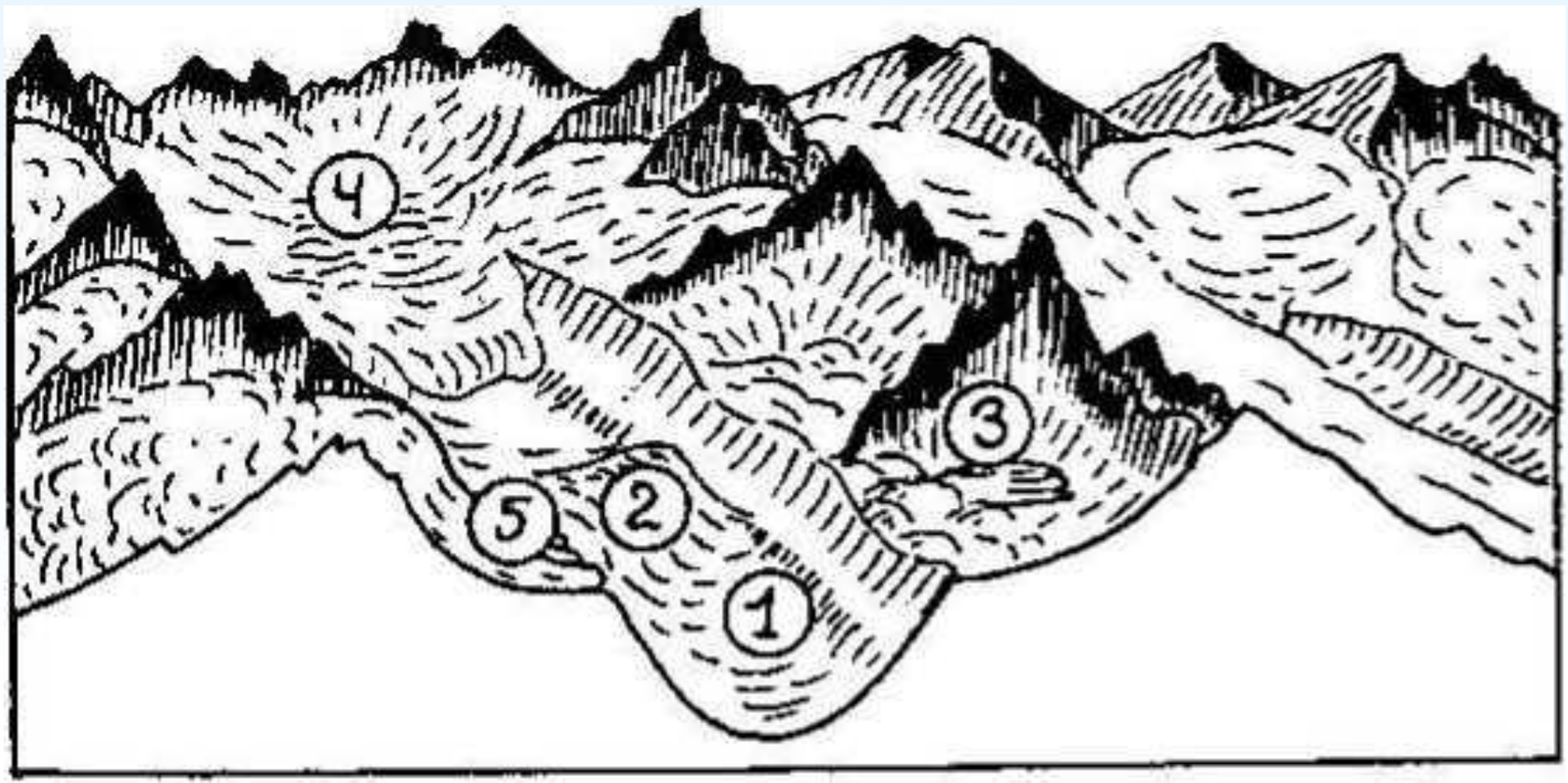
Гренландский покровный ледник второй по величине на Земле и занимает площадь в 2,2 млн. км2 при максимальной мощности льда в 3400 м и средней - 1500 м. В длину ледник протянулся на 2600 км, имея наибольшую ширину почти в 1000 км. Почти везде ледник, обладающий неровной, волнистой поверхностью и залегающий 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” - выпахивание) - 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 выпахивания**. 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 - **эрратические (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.

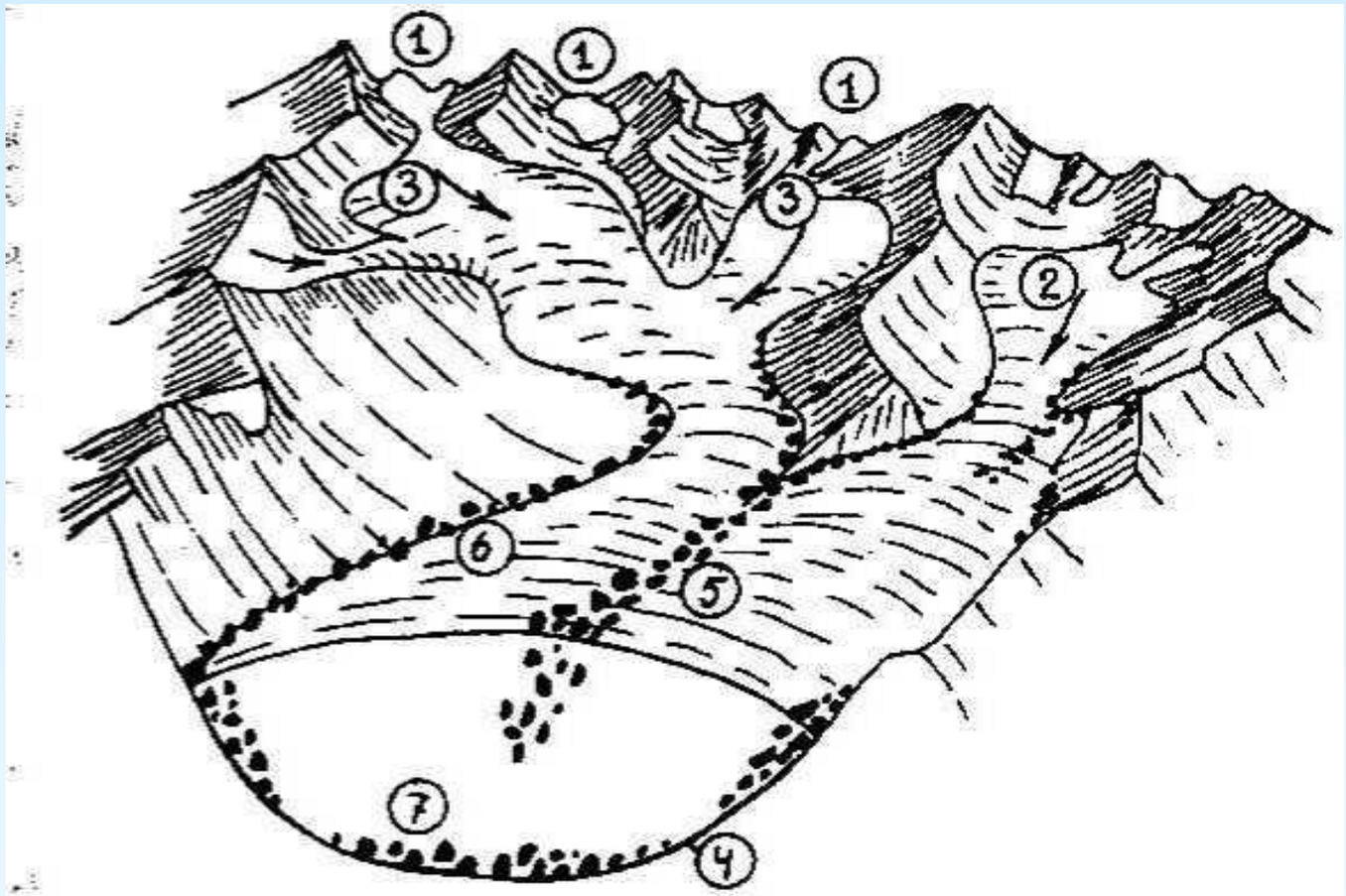


Схема питания и строения горного ледника:
1 - кары;
2 - цирки;
3 - области питания ледника;
4 - ледниковая корытообразная долина - трог.
Морены: *5* - срединная, *6* - боковая, *7* - донная

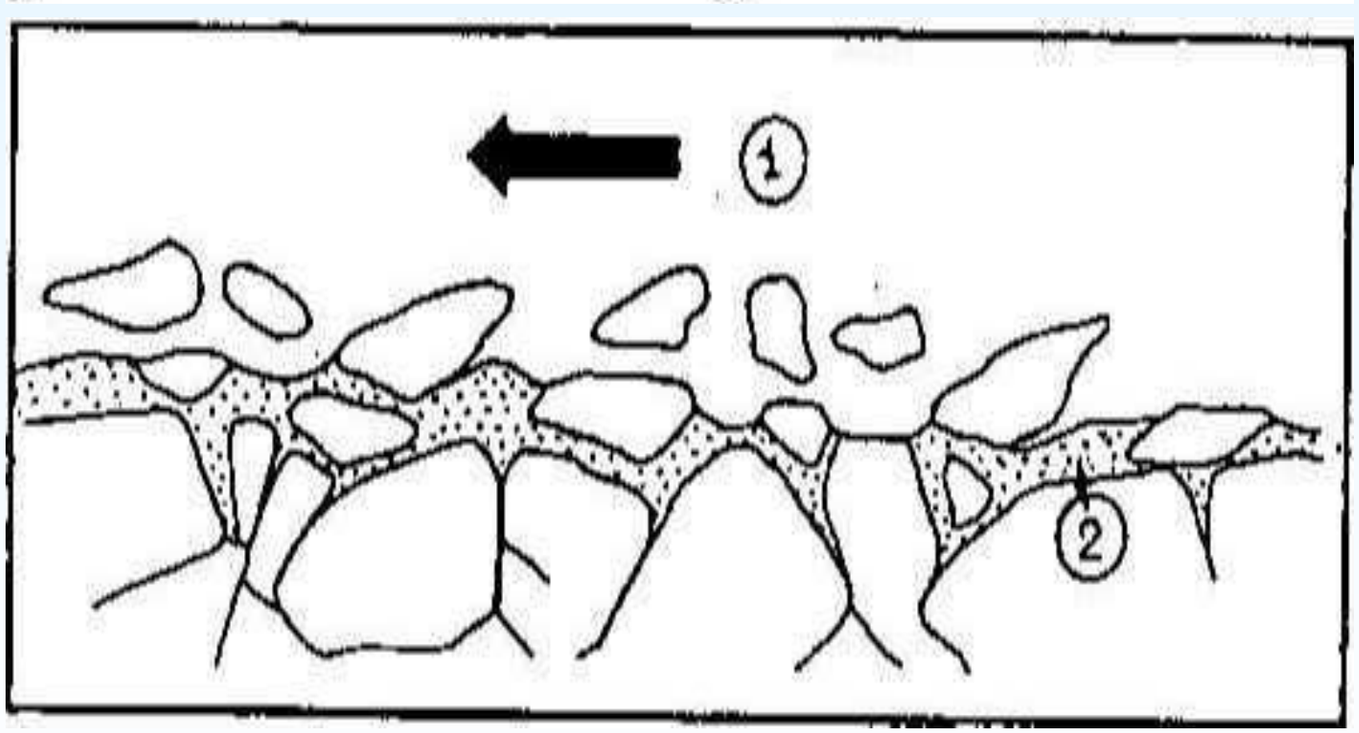


Схема образования донной морены. Вода, проникая по трещинам, замерзая, откалывает глыбы пород, которые вовлекаются в движение льда.
1 - направление движения льда,
2 - вода в трещинах пород ложа ледника

Транспортировка ледником обломочного материала.

Отложенные морены образуются либо после отступания 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, вытаивает 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, выдавливаться 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.

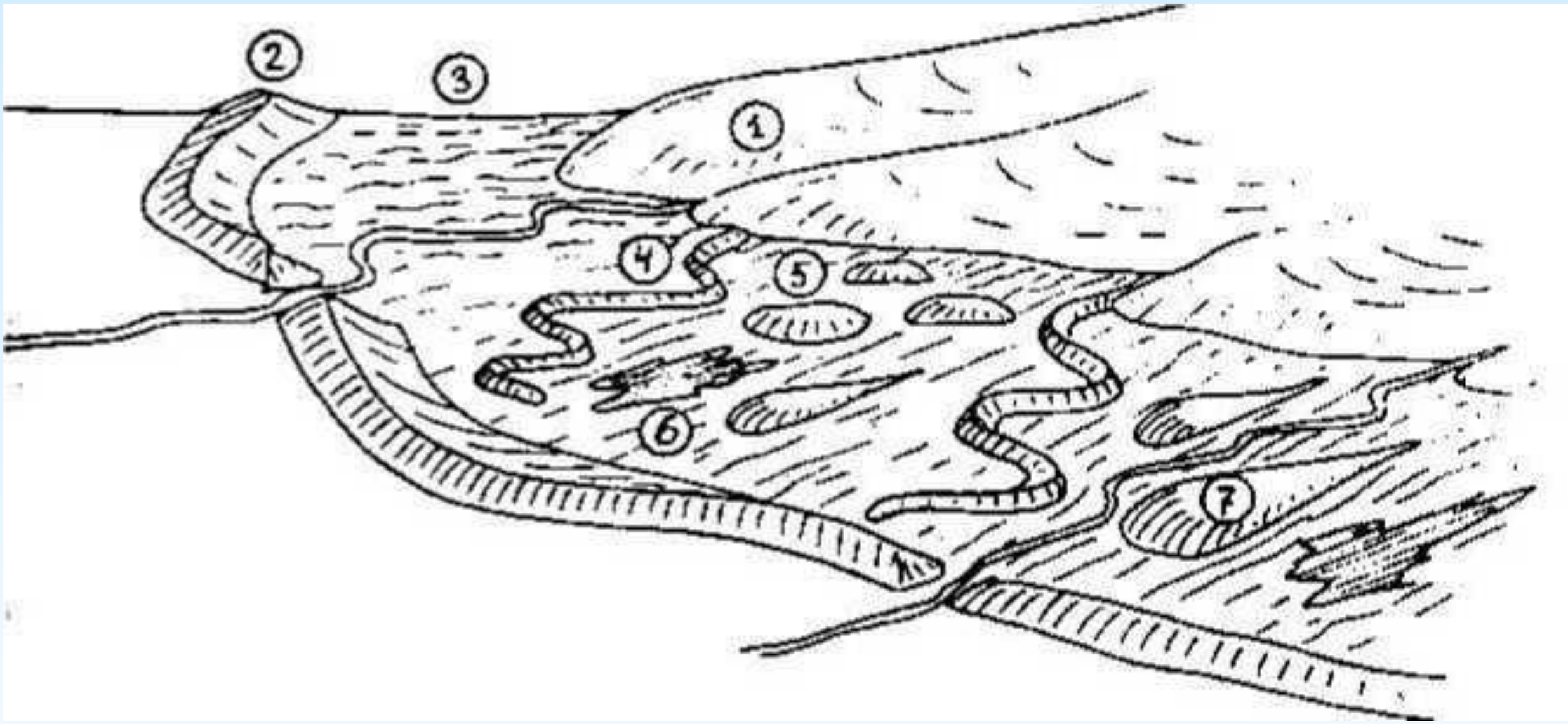
Донная или, как ее иногда называют, **основная морена**, образуется в основании ледника, когда при его движении происходит отрыв и перемалывание, раздробление, как твердых, так и рыхлых коренных пород ложа ледника. Обычно донная морена состоит из обломков, валунов, гравия, песка и глины, т.е. весьма 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 нередки 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 слойков 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.

Плавучие льды или **айсберги** разносятся течениями на большие расстояния от кромки ледников. На плавучих 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 CO2 и различных аэрозолей в воздухе. Только удвоение CO2 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.