

*составитель доцент кафедры ГИГЭ ИГНД ТПУ
Крамаренко В.В.*

МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ



НАЛЕДИ

- **Наледями** называются плоско-выпуклые ледяные тела, формирующиеся в результате многократного изливания подземных, речных или озерных вод на поверхности земли, льда и их. послойного замерзания .
- Причиной изливания вод на поверхность служит повышение гидродинамического напора в результате зимнего промерзания водоносных пород и возрастание гидростатического давления воды при промерзании озер и подозерных таликов.
- **Сезонное промерзание, сужающее живое сечение потоков, приводит к тому, что воды приобретают криогенный напор, прорывают кровлю из мерзлого грунта или льда, растекаются по поверхности и замерзают, образуя слой наледного льда.**

Классификация наледей по источникам питания

Типы наледи	Виды наледи
Поверхностных вод	речных вод озерных вод
Подземных вод	морских вод снеговых (талых снеговых) вод ледниковых (талых ледниковых) вод верховодки и вод СТС, грунтовых вод (вод грунтово-фильтрационных таликов, сквозных и несквозных) подземных вод глубокого (часто подмерзлотного) стока смешанных вод (грунтовых вод и вод глубокого стока)
Смешанного питания	озерных вод и вод глубокого стока, речных и грунтовых вод, речных вод, грунтовых вод и вод глубокого стока

Причины наледеобразования следующие:

- *естественная гравитационная разгрузка бассейнов подземных вод;*
- *промерзание водоносных систем с образованием криогенного напора;*
- *приложение внешней нагрузки на ледяной покров;*
- *колебания расходов подналедных водных потоков;*
- *таяние снега и льда в условиях частого перехода воздуха через 0 оС;*
- *водопритоки на охлаждённые берега в результате периодических и непериодических приливов;*
- сброс промышленных и бытовых вод в холодное время года.

По времени существования выделяются *однолетние* (полностью оттаивающие летом), *многолетние* (существующие несколько лет), *летующие* (существующие до конца лета) наледи.

Классификация наледей по размерам

Составлена Н. Н. Романовским по данным статистической обработки площадей, мощностей и объемов наледного льда, проведенной Л. Б. Соколовым (1975) для Восточной Сибири.

Категории	Размер наледи	Площадь $F, м^2$	Объем $V, м^3$
I	очень мелкие (малые)	до $1 \cdot 10^3$	до $1 \cdot 10^3$
II	мелкие (малые)	$1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^4$
III	средние	$1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^5$
IV	крупные	$1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^5 - 1,7 \cdot 10^6$
V	очень крупные	$1 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^6 - 2,2 \cdot 10^7$
VI	гигантские	больше $1 \cdot 10^7$	больше $2,2 \cdot 10^7$



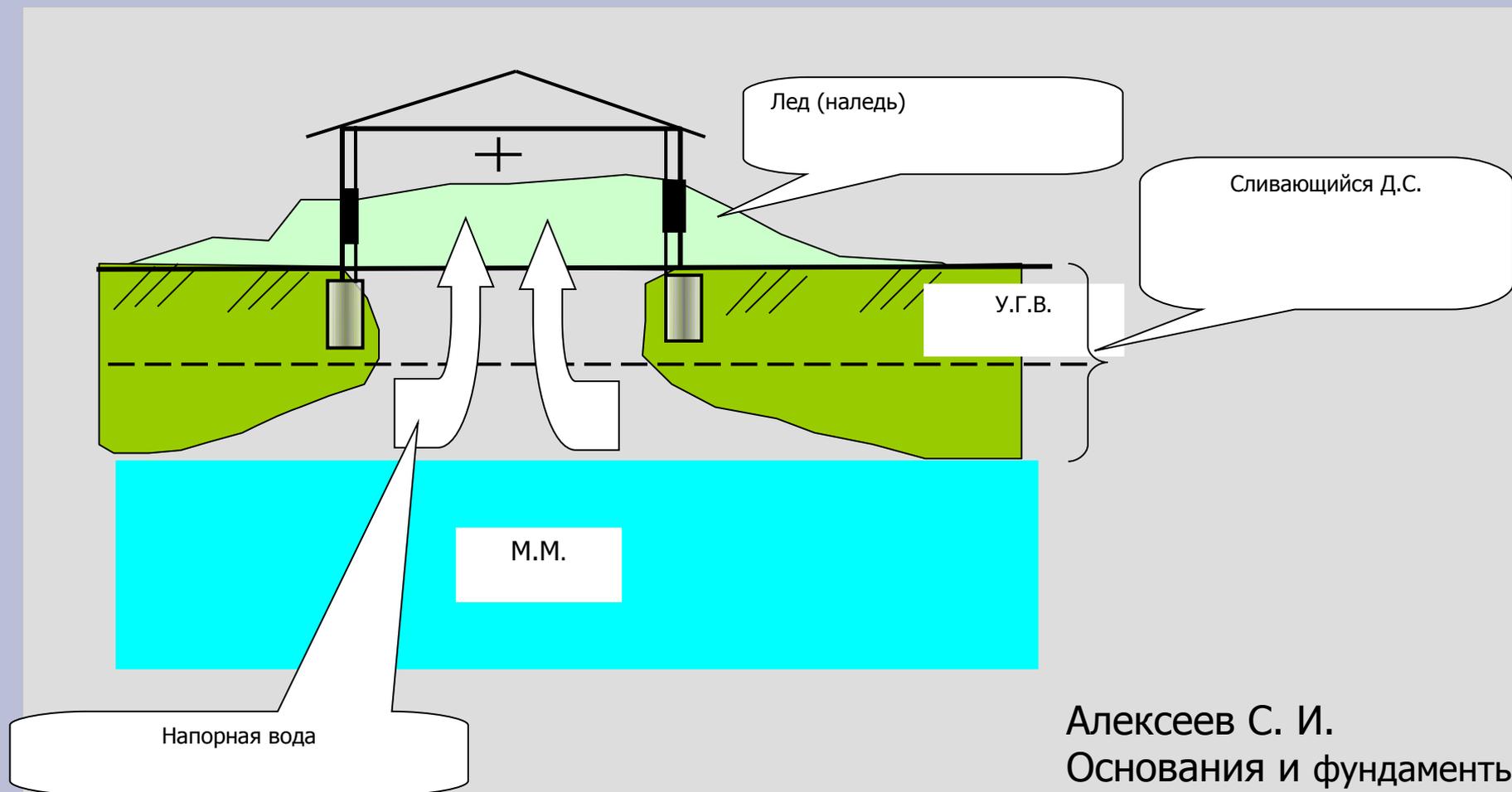
Мерзотоведение
ГИГЭ ИГНД ТПУ

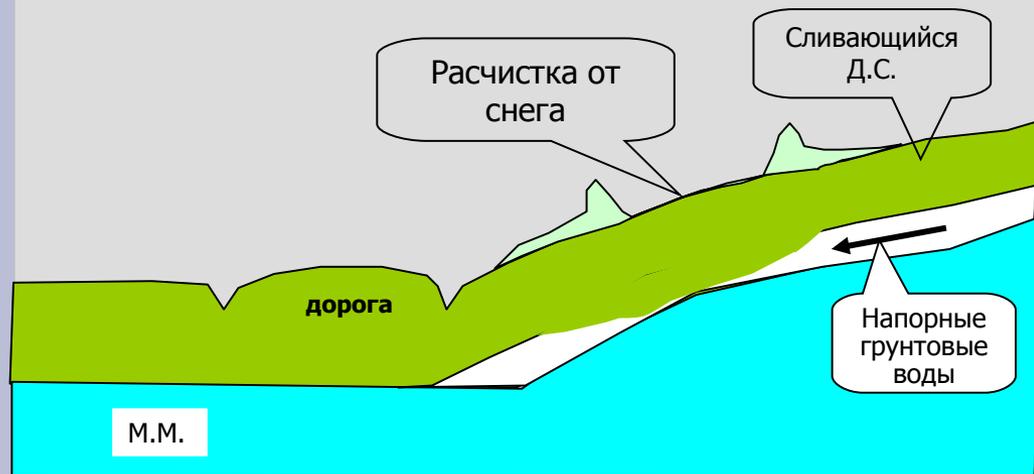
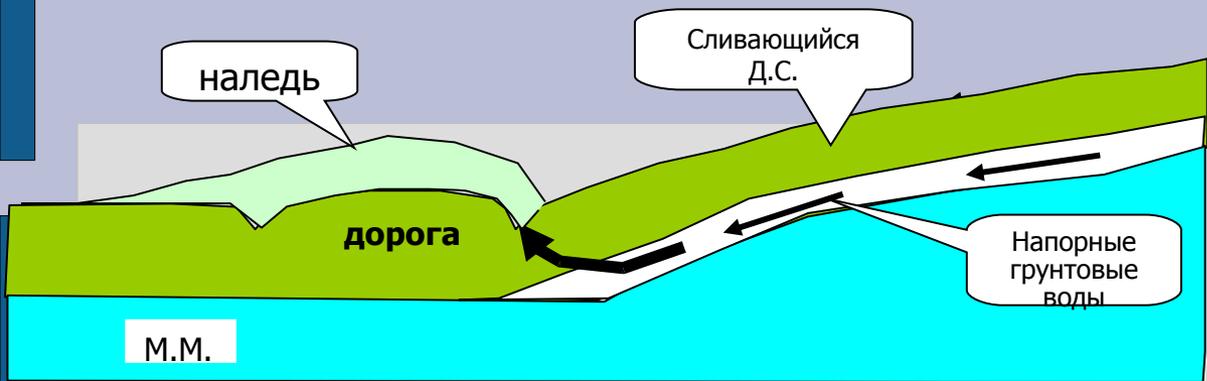


Материалы Томскеомониторинга

Мерзлотоведение
ГИГЭ ИГНД ТПУ

- На Севере часто можно было увидеть такую картину:
- под домом глубина промерзания при сливающимся Д.С. значительно меньше (тепловое влияние здания), чем на открытой поверхности. Это приводит к образованию напорных вод (при высоком У.Г.В.), которые могут прорываться и, вытекая через окна и двери, замерзая на поверхности, образовать **наледь**.





Мерзлотоведение
ГИГЭ ИГНД ТПУ

- При промерзании деятельного слоя, грунт прежде всего промёрзнет под дорогой (влияние кюветов). (Сливающаяся мерзлота). Остальная часть деятельного слоя будет находиться в стадии промерзания. В результате – движение напорных вод по склону - возможен прорыв их на поверхность – образование наледи.
- Как бороться с этим явлением? Наиболее эффективно применение противоналедьего пояса, т.е. искусственное создание условий, способствующих более быстрому промерзанию грунта в необходимом для нас месте. (Расчистка поверхностей от снега, снятие растительного слоя, и так далее).

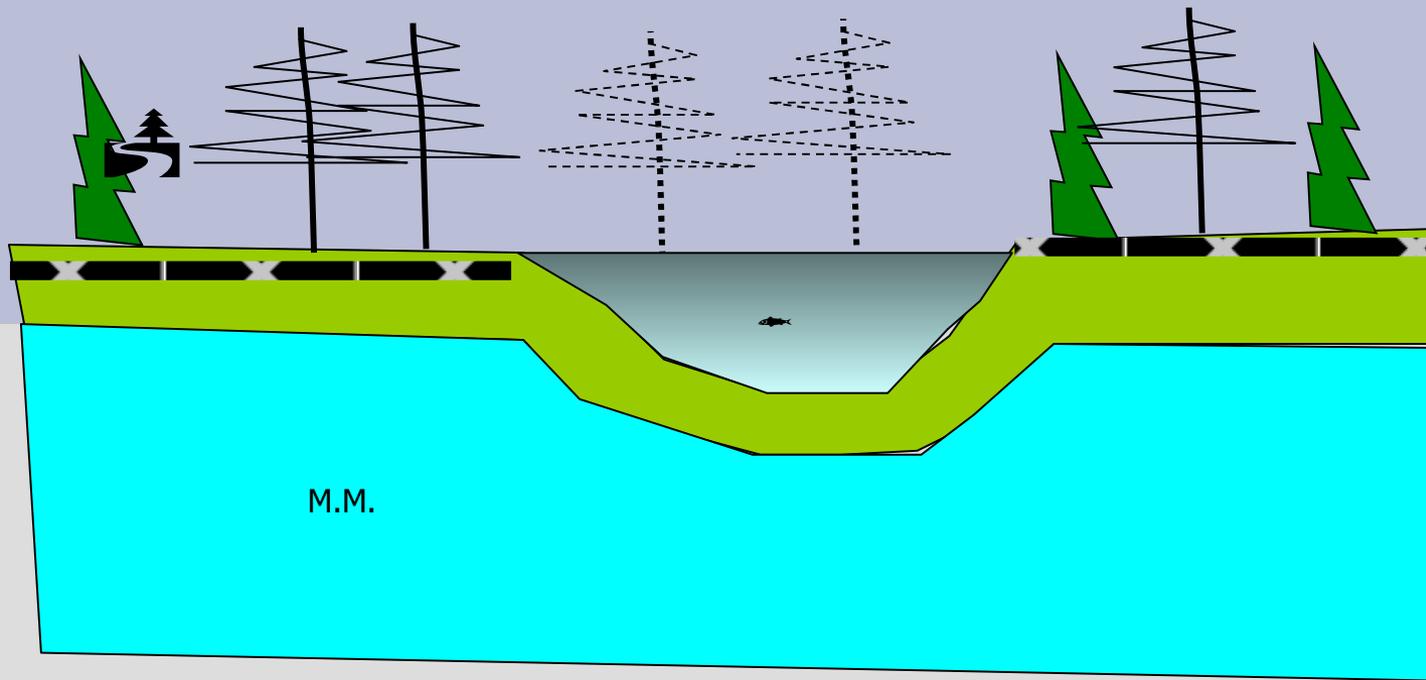
Алексеев С. И.
Основания и
фундаменты: учебное
пособие для
студентов вузов

Термокарст

- **Термокарстом** называется процесс вытаявания подземных льдов, сопровождающийся просадками земли, появлением отрицательных форм рельефа и накоплением таберальных (термокарстовых) отложений.
- В области ММП даже небольшие нарушения естественных условий приводят к бурным проявлениям термокарста. Воздействие этого процесса на инженерные сооружения часто носит катастрофический характер и требует специальных мероприятий для его предотвращения.



- **Достаточным условием для начала развития термокарста или причиной возникновения термокарста служит такое изменение теплообмена на поверхности почвы, при котором либо глубина сезонного оттаивания начинает превышать глубину залегания подземного льда или сильнольдистых многолетнемерзлых пород, либо происходит смена знака среднегодовой температуры и начинается многолетнее оттаивание мерзлых толщ.**
- **В области ММП подземные льды и высокольдистые четвертичные отложения залегают обычно непосредственно под СТС. Поэтому причиной развития термокарста в таких условиях служит увеличение $\xi_{от}$, которое может быть обусловлено локальным изменением природных факторов:**
 - изменением составляющих радиационно-теплового баланса поверхности,
 - с динамикой развития растительных,
 - снежных и водных покровов,
 - с иссушением пород сезонноталого слоя и другими изменениями элементов геолого-географической среды.
- **Термокарстовые процессы происходят также и вследствие общей деградации мерзлых толщ. В этом случае вытаивают залежи подземных льдов и льдистые отложения, залегающие существенно ниже подошвы СТС, что более характерно для южной окраины мерзлой зоны.**



- Термокарст образуется в результате оттаивания М.М. и просадки грунта. В большинстве случаев этому способствует местные пожары. Впоследствии такой термокарст часто заполняется водой, образуя «термокарстовые озёра».

Алексеев С. И.
Основания и
фундаменты: учебное
пособие для
студентов вузов

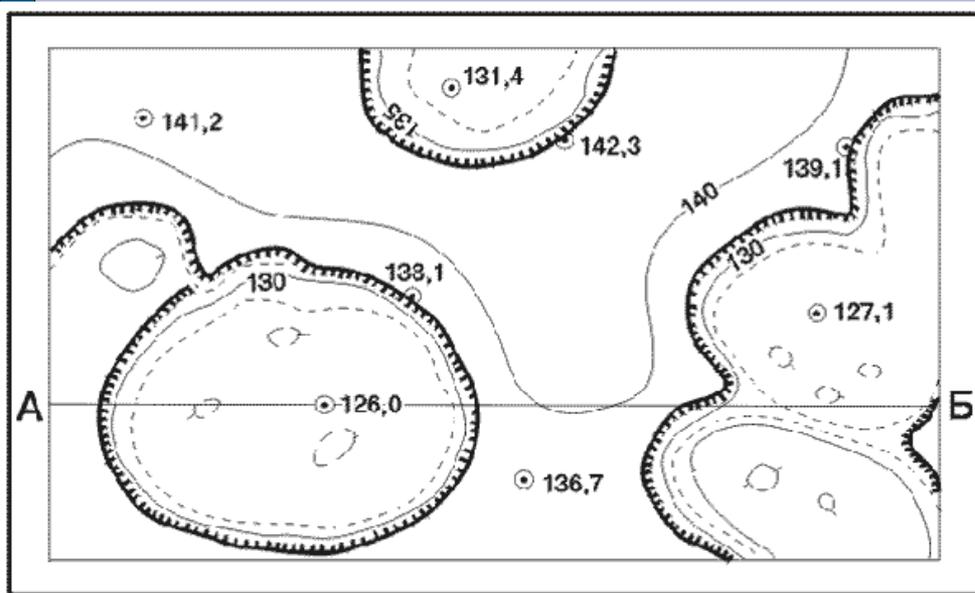


- В областях распространения термокарста много округлых по форме западин, в них обычно располагаются озера, так как увлажнение избыточное, а лежащая ниже многолетняя мерзлота водонепроницаема. Термокарстовые озера отличаются от карстовых более правильной формой и меньшей глубиной.



- Озера протаивают мерзлоту и уходят вниз. Поэтому их берега могут иметь вид торфяных обрывов в 5-10 метров высотой.

Мерзотоведение
ГИГЭ ИГНД ТПУ



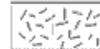
0 500 1000 м

Разрез по А—Б



----- Верхняя поверхность мерзлоты

 Лед

 Осевший грунт

 Суглинки

- Аласы по З.А. Макееву Мерзлотоведение
ГИГЭ ИГНД ТПУ

- В равнинных частях центральной Якутии часто встречаются аласы (якут.; ед. число алас) — плоскодонные термокарстовые котловины от десятков метров до нескольких километров в диаметре и глубиной до 15—30 м (рис.). Часто аласы заняты озерами, болотами, лугами; иногда они представляют собой котловины спущенных или заросших термокарстовых озер.



Мерзлотоведение
ГИГЭ ИГНД ТПУ



Рис. 46. Бессточное термокарстовое озеро в Центральной Якутии, образовавшееся после вырубki леса. Фото К. А. Кондратьевой

- На склонах, сложенных такими образованиями, при стоке формируются **байджерахи - останцы пород, которые вмещали вытаявшие ледяные жилы.**

Фото ОАО "Томскгеомониторинг"

- Термокарст по отложениям с маломощными повторно-жильными льдами приводит к формированию остаточных полигональных бугристых форм: «бугров могильников», бугристо-западинного микрорельефа и др.

- Термокарсту часто сопутствуют термоабразия и термоэрозия.



II ГРУППА

Термоэрозия.

- Роль текучих вод рек и ручьев, потоков воды от стаивания ледников, с заболоченных участков и избыточного увлажнения в криолитозоне трудно переоценить, так как процессы, связанные с действием временных и постоянных водотоков, а также плоскостного смыва материала дождевыми и талыми водами, приводят к переносу огромного количества осадочного материала. В образовании речных долин преобладающая роль принадлежит донной и боковой эрозии. При этом в криолитозоне **боковая эрозия преобладает над глубинной**, что предопределяет частое меандрирование рек и формирование стариц.
- *Плоскостной смыв* мелкозема в криолитозоне обладает рядом специфических особенностей и обусловлен переносной деятельностью дождевых вод и вод тающих снежников.
- На склонах с крупнообломочными отложениями *плоскостной смыв* мелкозема обычно переходит в его *суффозию* (преимущественно на крутых склонах) или в иллювиальные отложения (на относительно пологих склонах и в западинах).

- На склонах нередко можно видеть ложбины, направленные сверху вниз и не несущие следов руслового стока. Такие ложбины — **делли** (от немецкого Delle — углубление, впадина) служат переходным звеном от форм, создаваемых плоскостным смывом, к формам, которые образуются эрозией временных русловых водотоков.
- Делли могут образоваться и без участия мерзлоты, но только на многолетнемерзлых породах они образуют характерные системы частых параллельных углублений (рис.).



- Существенной в области развития мерзлых пород оказывается деятельность временных русловых потоков, т.е. действие зарегулированного стока дождевых и снеговых вод. Этот процесс *линейной эрозии*, получивший название термоэрозии, заключается в сочетании механического (размывающего) действия воды с термическим воздействием. Механизм денудации в основном обусловлен опережающим оттаиванием мерзлых пород и последующим их размывом.





- Деятельность временных водотоков в криолитозоне сопровождается формированием расчлененного рельефа, который наиболее присущ краевым частям надпойменных террас. Наблюдения показывают, что антропогенное разрушение почвенно-растительного покрова на участках, имеющих определенные перепады высот, приводит к образованию термоэрозионных рытвин, перерастающих порой в овраги. Такие формы рельефа обычно наследуют колеи дорог, проложенных вдоль уклона поверхности. Сначала они имеют V-образную форму, когда скорость их роста в длину достигает 10—20 м/год, а иногда (на дне балок и лощин) — 100—150 м/год. Бурный рост оврагов со временем ослабевает, что означает их стабилизацию, когда все возрастающий криогенный снос со склонов на днище оврагов препятствует их последующему углублению. Днища таких оврагов становятся плоскими, сохраняя крутое падение, а их длина поэтому редко превышает 1 км. На основании имеющихся данных можно также говорить о примерных сроках завершения стабилизации оврагов. Это происходит через 20—30 лет после начала разрастания термоэрозионных форм рельефа. К районам, в которых отмечены случаи бурного роста оврагов, относятся север Западной Сибири, север Якутии, зона БАМ и др.

Термоабразия

- Специфическим в криолитозоне оказывается и процесс разрушения (эрозии) мерзлых береговых пород под воздействием механической энергии волн и тепла воды, проявляющийся в отступании берегов в результате размыва и выноса породы. Этот процесс, широко развитый в криолитозоне по берегам морей, озер и водохранилищ, получил название термоабразии.
- Большая интенсивность разрушения берегов северных водоемов связана с тем, что размыв подводного берегового склона, сложенного мерзлыми льдистыми породами, осуществляется под действием не только механической, но и тепловой энергии движущейся воды (волн) и характеризуется тремя важными особенностями :
 - интенсивность размыва мерзлых пород зависит от температуры,
 - при размыве льдистых просадочных пород объем наносов, поступающих на подводный склон, меньше размываемого объема мерзлых пород,
 - осадка мерзлых пород при оттаивании углубляет водоем, способствуя дальнейшему развитию термоабразии

- **Формы вытаяивания подземных льдов на побережье
Моря Лаптевых**



Лаборатория Охраны Геологической Среды (ЛОГС, МГУ)



- Наибольшую интенсивность термоабразия получила на берегах морей и крупных озер крайнего Северо-Востока России и севера Якутии, где широко развитые льдонасыщенные берега подвержены активной деятельности волн.
- Так, низменные берега на северной окраине дельты р. Яны отступают со скоростью 16—20 м/год, побережье моря Лаптевых разрушается со скоростью 4—6 м/год.
- Скорость таяния льдистых берегов озер в Центральной Якутии составляет 7—10 м/год, а термокарстовые озера в Анадырской тундре перемещаются со скоростью порядка 10 м/год.

Заболачивание

- Основными особенностями болот, как природных образований, являются: особый характер растительного покрова — гидрофильный и обычно лишенный древесного яруса; наличие зарастающих остаточных или вторичных озер и мочажин с открытыми зеркалами воды; специфический состав и строение отложений (торф и сапропель), отличающихся высокой влажностью; высокая динамичность направленного развития болотных ландшафтов. В силу этих причин болотные массивы в области криолитозоны занимают особое место среди прочих ландшафтов и характеризуются свойственными только им закономерностями формирования геокриологических условий.
- **Специфика геокриологических условий** болотных массивов криолитозоны определяется воздействием особого сочетания основных температуроформирующих факторов, таких как радиационный баланс сильно обводненные поверхности; снежный и гидрофильный растительный покровы; биогенный состав и высокая влажность пород; поверхностные и подземные воды.
- Мерзлые породы слоя сезонного промерзания также способствуют заболачиванию обширных территорий в криолитозоне. В свою очередь болотообразование обычно приводит к аградации многолетнемерзлых пород, расширению за счет этого криолитозоны (Нижне-Амурские низменности, Зейская равнина, часть Западно-Сибирской равнины и др.).

Ледники и снежники

- **Ледники** это массы льда, формирующиеся из атмосферных осадков в результате превышения многолетнего снегонакопления над таянием при отрицательной температуре на поверхности пород.
- Ледниковая эрозия происходит в основном тремя способами:
 - 1) удалением рых-лого материала, образовавшегося на месте в результате выветривания;
 - 2) корразией — разрушением и выпахиванием коренных пород с помощью обломков, либо вмерзших в дно ледника, либо влекомых ледником по ложу;
 - 3) выпахиванием, когда ледник отрывает ограниченными трещинами глыбы коренных пород и переносит их вместе со льдом. Отложения, транспортируемые ледником, образуют различные формы, например вытянутые на многие километры валы — озы и конусообразные холмы — атомы.
- **Снежники.** Это неподвижные (иногда медленно оползающие) скопления снега и льда, сохраняющиеся от стаивания в течение теплого времени года на участках с отрицательной температурой поверхности. Снежники на равнинах тундр сохраняются в затененных ложбинах, под крутыми уступами долин, в горах — на карнизах и уступах склонов в пределах горнотундрового пояса. Мощность снега в сезонных снежниках редко превышает 3—4 м, в многолетних 5—10 м.

III ГРУППА

■ Склоновые процессы и явления вызываются действием сил гравитации, которые приводят к развитию курумов, солифлюкции, быстрых сплывов, обвалов, осыпей, оползней и др.

Курумы

- **Курумы** — весьма распространенные в области вечной мерзлоты склоновые образования, сложенные древесно-щебнисто-глыбовым материалом скальных и полускальных пород.
- Основным и постоянно действующим механизмом перемещения курумов является **термогенная и криогенная десерпция**.
- **Термогенная десерпция** обусловлена периодическим (суточным и сезонным) колебанием температуры, приводящим к циклическому расширению и сокращению размера обломков пород и пульсационному смещению грубообломочного материала вниз по склону.
- **Криогенная десерпция** связана с поднятием обломков в направлении, перпендикулярном к склону (за счет образования линз и прослоев льда в теле курума), а затем с последующим опусканием по вертикали обломков вместе с заполнителем в результате вытаивания льда. Неоднократное повторение этого циклического процесса приводит к смещению вниз по склону курумных образований. При этом могут развиваться сопутствующие процессы: пластичновязкое течение тонкодисперсного заполнителя, сползание обломочных пород сезонного слоя по переувлажненному или льдистому основанию и др.



Многолетние инструментальные наблюдения за динамикой смещения обломочного чехла курумов показали, что она носит циклический характер. Циклы смещения состоят из закономерно повторяющихся фаз:

- 1) распучивания обломочного чехла, когда преобладает перемещение обломков вверх по склону (до 5—7 мм);
- 2) относительного покоя, когда обломки в течение некоторого времени оказываются неподвижными
- 3) их смещения вниз по склону.

Продолжительность циклов 3—5 лет.

Солифлюкция

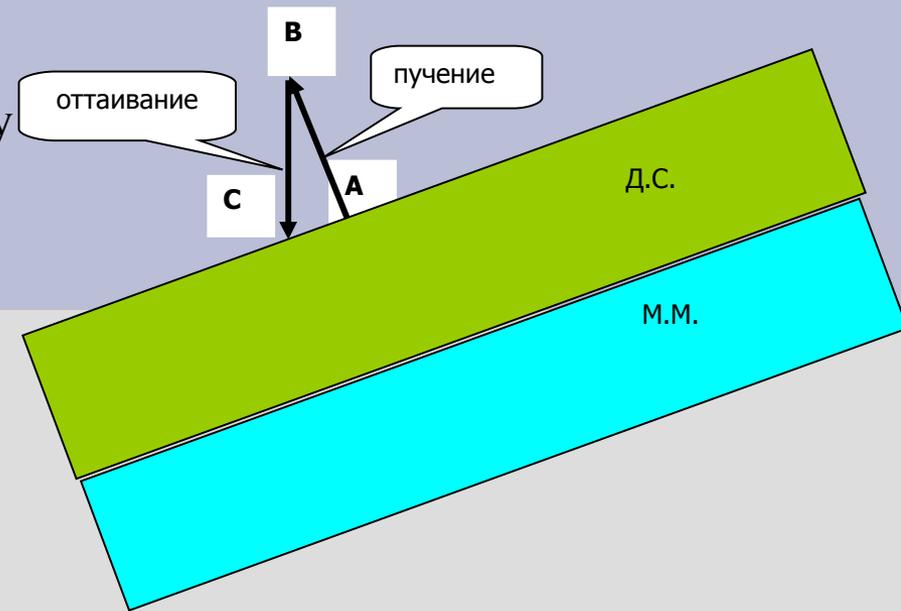
- Грунт, оттаивающий летом на склонах, нередко оказывается водонасыщенным и легко сползает по поверхности мерзлого слоя.
- Процесс солифлюкции (от лат. *solum* — почва, земля и *fluctio* — истечение), или вязкопластического (медленного) течения рыхлых отложений на склонах, происходит под действием составляющей собственного веса, направленной по падению склона и вызывающей в грунте пластические деформации.

Фото ОАО "Томскгеомониторинг"



- Солифлюкция вымораживания,

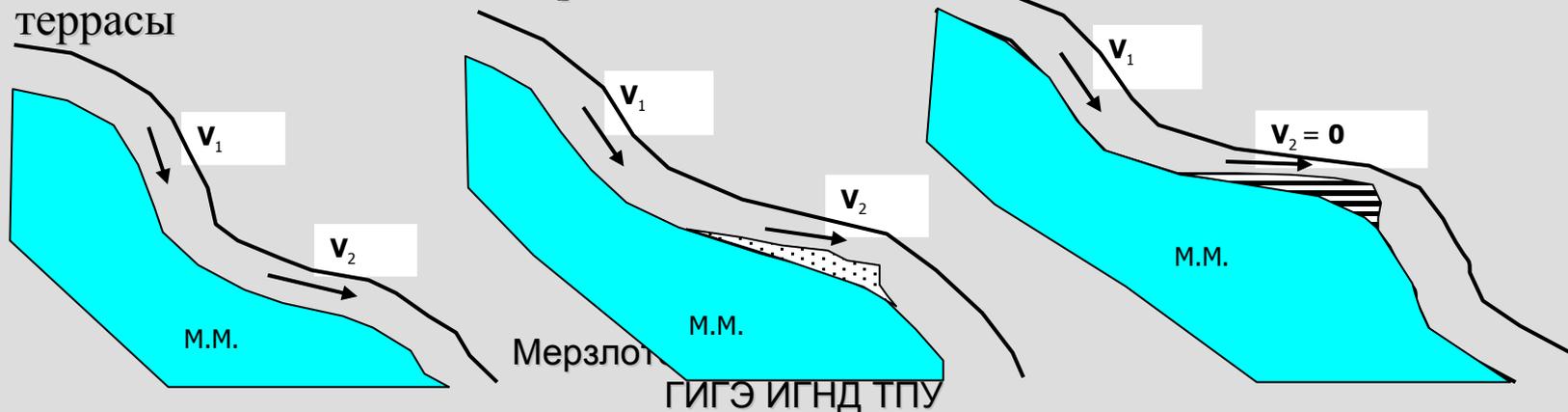
- В результате сезонного изменения температур частица **А** переместится в точку **С**, т.е. возможно постепенное сползание склона.



- То же происходит и на глубине, но в меньшей степени.

- По данным исследования, скорость медленного сползания в горах Скандинавии в некоторых случаях составляет до 8 см. в год. И даже может достигать 30 см (на склонах с уклоном 10...30°).

- Образуются как бы «волны рельефа склона», идущие вверх, в то время как солифлюкционный слой течёт вниз. Это сползание, происходит неравномерно, на склоне образуются неровные ступени высотой до 3—4 м — солифлюкционные террасы



Алексеев С. И.
Основания и
фундаменты: учебное
пособие для
студентов вузов



- Солифлюкционные террасы
- По С.Г. Бочу

Мерзотоведение
ГИГЭ ИГНД ТПУ

- Выделяют обычно два вида медленной солифлюкции — *покровную и дифференциальную.*

- **Покровная солифлюкция** — это движение грунтов, осуществляемое более или менее равномерно и достаточно медленно.

- **Дифференциальная солифлюкция**, в отличие от покровной, ярко проявляется на местности в виде характерных форм микро- и ме-зорельефа: солифлюкционные языки, террасы, поло-сы и др.



- В пределах криолитозоны, наряду с рассмотренной медленной солифлюкцией, широко развита также и так называемая быстрая солифлюкция, или вязкое течение оттаивающих дисперсных пород на склонах. Нередко этот вид склонового переноса называется еще **спływом.**

Лавины

- Лавины снежные представляют собой сосредоточенное движение снежных масс, падающих или соскальзывающих с горных склонов, в виде сплошного тела (мокрые лавины) или распыленного снега (сухие лавины).
- На склонах хребтов Черского, Алатау, например, в среднем за год лавинами сносится столько же обломочного материала, сколько обычными камнепадами.



Фото ОАО "Томскгеомониторинг"

Лавинный конус, образовавшийся по эрозионной ложбине



Мерзотоведение
ГИГЭ ИГНД ТПУ

Оползни, обвалы, осыпи

- Наиболее очевидно силы гравитации проявляются на крутых склонах и связаны с обваливанием и осыпанием обломков и глыб каменного материала, сформированного процессом выветривания. Подготовка осадочного материала в области криолитозоны связана не только с температурным и криогидратационным выветриванием скальных пород, но и с собственно мерзлотными процессами, такими как : морозобойное растрескивание, термоабразия,, вытаивание текстурообразующих и повторно-жильных льдов и др.
- Наиболее распространенными аккумулятивными формами собственно гравитационных процессов являются осыпи и скопления у подножий склонов крупнообломочного материала. Мощность этих образований может достигать нескольких десятков метров. Они широко распространены, например, в пределах горных районов Северо-Востока России и включают большие массы **конжеляционных льдов**, образующихся в результате фильтрации и замерзания воды.
- Перемещение продуктов выветривания на склонах оползнями в области вечной мерзлоты не имеет существенного значения. Это связано с наличием многолетнемерзлых пород и существованием сравнительно маломощного сезонноталого слоя пород.
- Локально возникающие оползни в большинстве своем характеризуются небольшой мощностью и неразрывно связаны с процессом оттаивания пород или со скольжением масс грунта по наклонно расположенным прослоям льда. Оползание же отложений сезонноттаивающего слоя предопределяется прежде всего возникновением посткриогенной структуры и текстуры.

Снегово-докаменные сели.

- Это кратковременные бурные потоки, состоящие из воды, снега, льда и грязекаменного материала. Условия возникновения снежно-ледяных селей те же, что и для обычных селей: скопление большого количества рыхлого материала, поступление воды, уклоны склона. Транспортирующая способность селей очень велика. Причем в снежном селе грубообломочные частицы, объемная масса которых значительно превосходит объемную массу самого селя, могут находиться во взвешенном состоянии.



IV ГРУППА

- В полярных и резко континентальных условиях широко развит также ветровой (эоловый) перенос мелкозема. Он осуществляется и зимой, и летом. Транспортирующая способность ветра в 300 раз слабее воды, поэтому ветер может переносить лишь песчаные и более мелкие частицы. Эоловым процессам в условиях сурового климата отводится существенная роль в формировании мощной сильнольдистой толщи отложений на арктических при-морских низменностях Северо-Востока России, получившей название «ледового комплекса».

Источники:

- Ершов Э.Д. **Общая геокриология.** – М.: Недра, 1990, 2002г. – 450с.
- **Алексеев С. И. Основания и фундаменты: учебное пособие для студентов вузов / С. И. Алексеев.** – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2007. – 111 с.
- **Материалы ОАО «Томскгеомониторинг»**