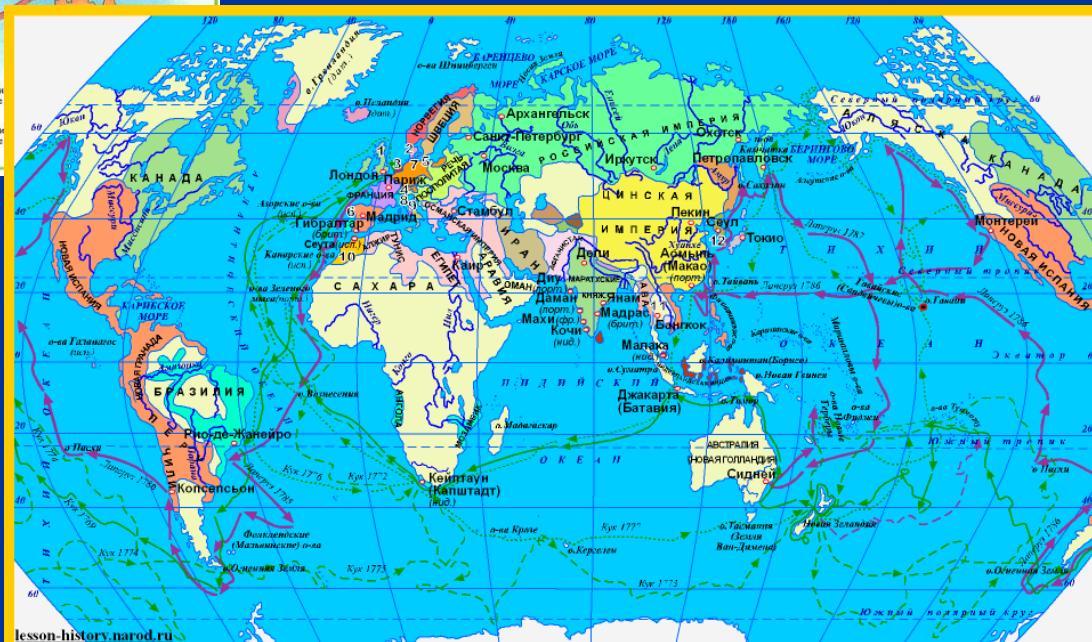
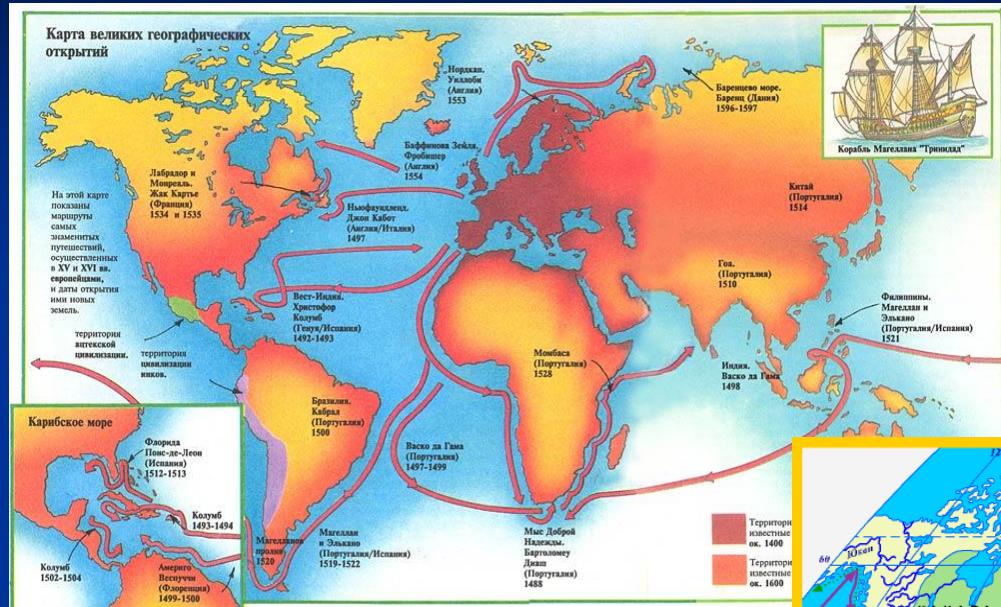


Особенности распространения криолитозоны на территории России.

**Отбор, хранение и транспортирование
образцов мерзлых грунтов**



Владения государств:

- Португалии
- Франции
- Испании
- Великобритания
- Нидерландов
- Российской империи

— Экспедиция Ф. Лаперуза 1785-88 гг.

Границы государств даны на сер. XVIII века

Цифрами на карте обозначены:

- 1 Великобритания
- 2 Дания
- 3 Нидерланды
- 4 Швейцария
- 5 Королевство Пруссия
- 6 Португалия
- 7 Германские государства
- 8 Итальянские государства
- 9 Папская область
- 10 Марокко
- 11 Таиланд
- 12 Корея

— Первое путешествие Д.Кука 1768-71 гг.

— Второе путешествие Д.Кука 1772-75 гг.

• Место гибели Д.Кука в 1779 г.

• Третье путешествие Д.Кука 1776-79 гг.

1581 г. – начало похода Ермака в Сибирь.

1597 – Юрий Долгушин «проведал дорогу» на р.Таз.

1628 г. – на р.Лену прошёл казак Василий Бугор.

1639 г. – Иван Москвитин вышел к Охотскому морю.

1648 г. – С.И. Дежнев достиг восточной оконечности Азии

Началось освоение Сибири Московским государством:

строились города-крепости: Тюмень (1586), Тобольск (1587), Берёзов и Сургут (1593), Тара (1594), Мангазея (1601), Томск (1604), Красноярск (1628).

В 1632 г. енисейский казачий сотник Пётр Бекетов основал Ленский острог (Якутск), ставший основной базой дальнейшего освоения Восточной Сибири.

1640 г. Воеводы П.Головин и М.Глебов:

«А в Якутском, государь, хлебной пашни не чаять, земляде, государь, и среди лета вся не растаивает».

1686 г. Воевода М. Кравков:

« А колодезя, великий государь, в Якуцком сделать никоими мерами нельзя , потому что земля летом только тает в полтора аршина, а больше двух аршин земля никогда не тает , а в исподи на дне бывает земля всегда мерзлая».



Ломоносов Михаил Васильевич
(1711-1765)

- Еще в 1763 г. М.В. Ломоносов справедливо и образно отметил очень важную географическую закономерность: "Знатная *обширность* поверхности земной занята льдами и снегами. Включая *плавающие по морям*, склоняющимся к полюсам, густые льдов паромы и у берегов торосы, должно принять в рассуждение по всему свету *седые вершины гор* высоких, вечною зимой обладаемых, и *некоторые ровные места*, с которых никогда снег не сходит, какие примечены между Леною и берегами Охотского моря... На Южной половине света бывает *стужа сильнее*, нежели на нашей полуночной".
- К чести М.В. Ломоносова, он не остановился на перечислении фактов существования обширных областей, где господствует стужа. Он обобщил эти сведения и написал о "морозном слое атмосферы" -- слое "вечной зимы", господствующей над нашими головами. Этот слой "около полярных поясов, то есть на 66 1/2 градуса, лежит уже на Земле".

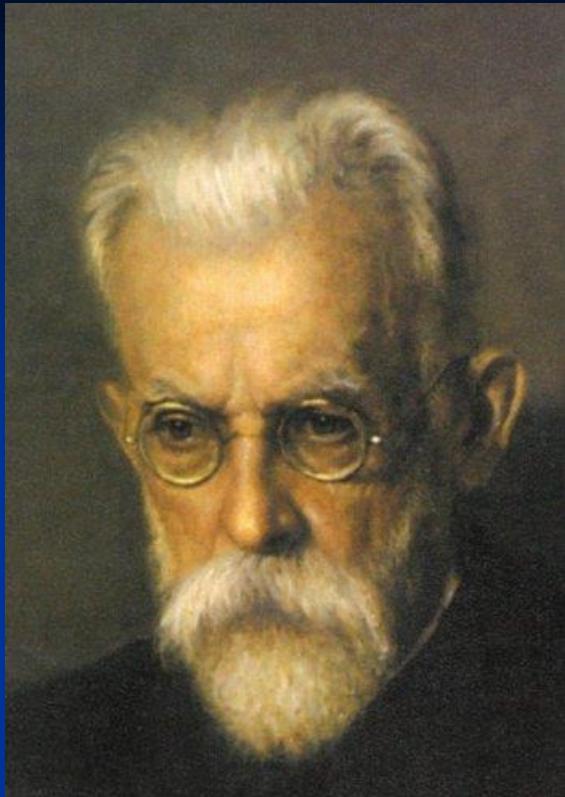
- Криосфера (от др.-греч. κρύος — *холод* и σφαῖρα — *шар*) — одна из географических оболочек Земли, характеризующаяся отрицательной температурой и возможностью существования льда.



- Термин «Криосфера», без точного указания ее границ, предложен польским ученым А.Б.Добровольским в 1923 г. в работе :
- Dobrowolski A. B. Historia naturalna lodu. Warzawa, 1923.



- А.В. Добровольский - участник бельгийской антарктической экспедиции 1897 –1899



● Вернадский В.И. (1864-1945)

- В 1933 г. В.И. Вернадский расширил понятие о криосфере и ввёл представление об области охлаждения Земли (до температур не выше 4°C – точки максимальной плотности воды), занимающей почти всю толщу Мирового океана и более мощные, в сравнении с современным определением объёма криосферы, слои атмосферы и подземной гидросферы. Значительный вклад в дальнейшее развитие представлений о криосфере внесли советские (Н.И. Толстыхин, П.А. Шумский и др.), а также французские (Л. Либутри и др.), канадские (Дж. Р. Маккей и др.), английские и американские (А.Л. Уошберн, Т.Л. Певе и др.) учёные

Криосфера

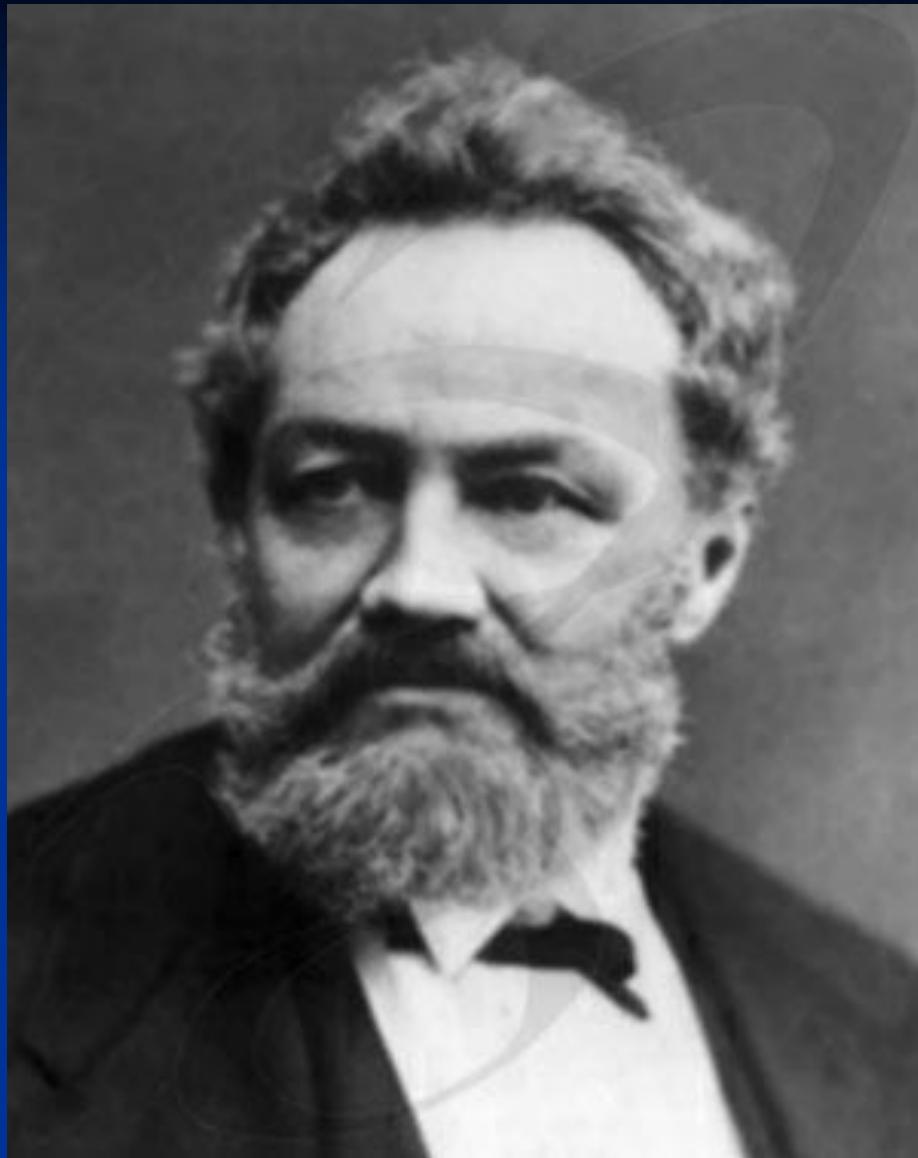
- Геокриология
(Мерзлотоведение)
- Подземные льды

- Гляциология
- Наземные льды

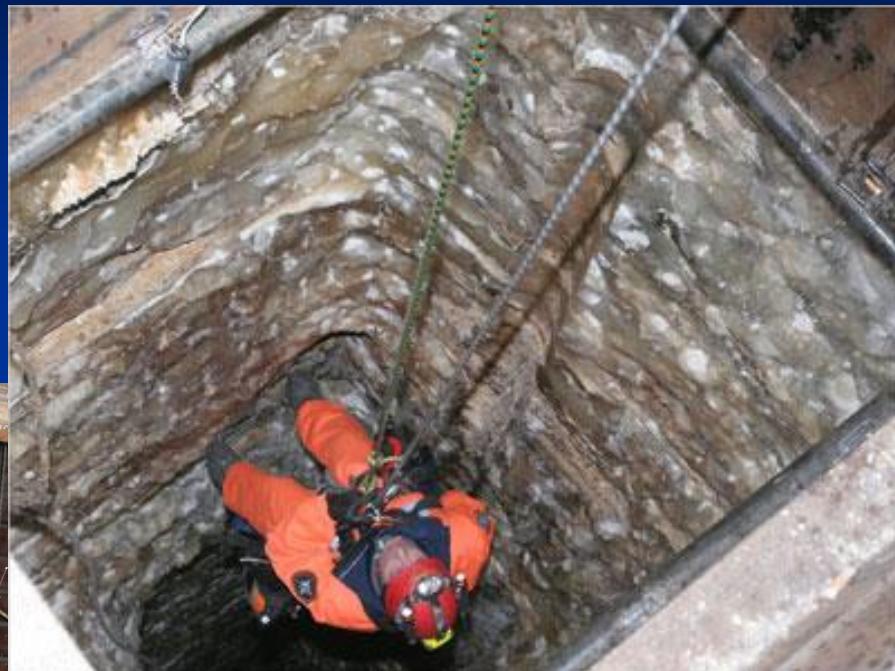


■ В 1828 г. Федор Шергин, управляющий Якутским отделением Русско-Американской компании начал рыть колодец, и руководил этой работой девять лет, достигнув глубины 116,4 м





■ Александр Федорович Миддендорф (1815-1894)





Михаил Иванович Сумгин (1873 – 1942)

Н. К. З.

Дальне-Восточная Геофизическая Обсерватория

М. СУМГИН

ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА ПОЧВЫ В ПРЕДЕЛАХ С.С.С.Р.

С иллюстрациями в тексте
и двумя картами



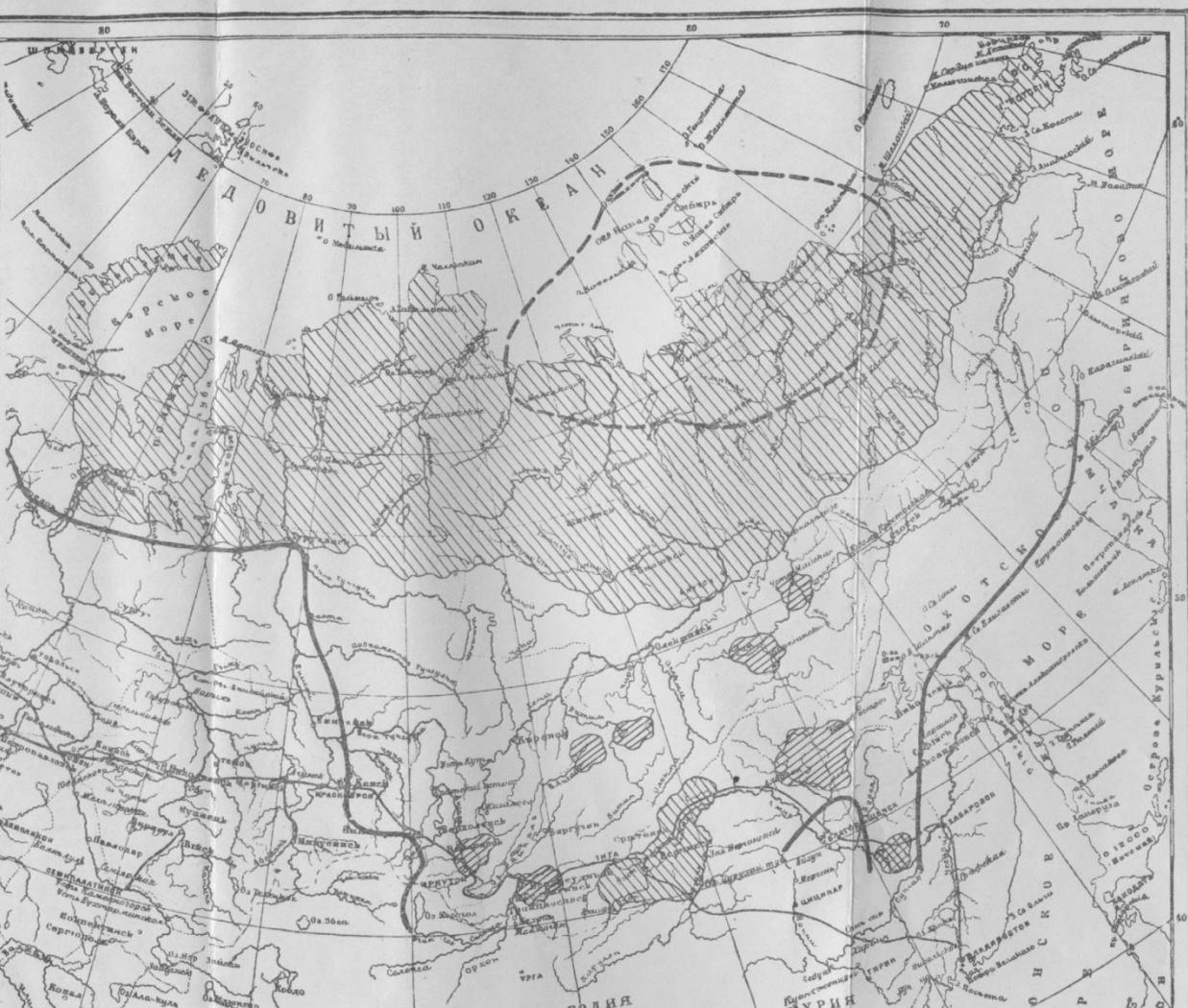
ВЛАДИВОСТОК

1927

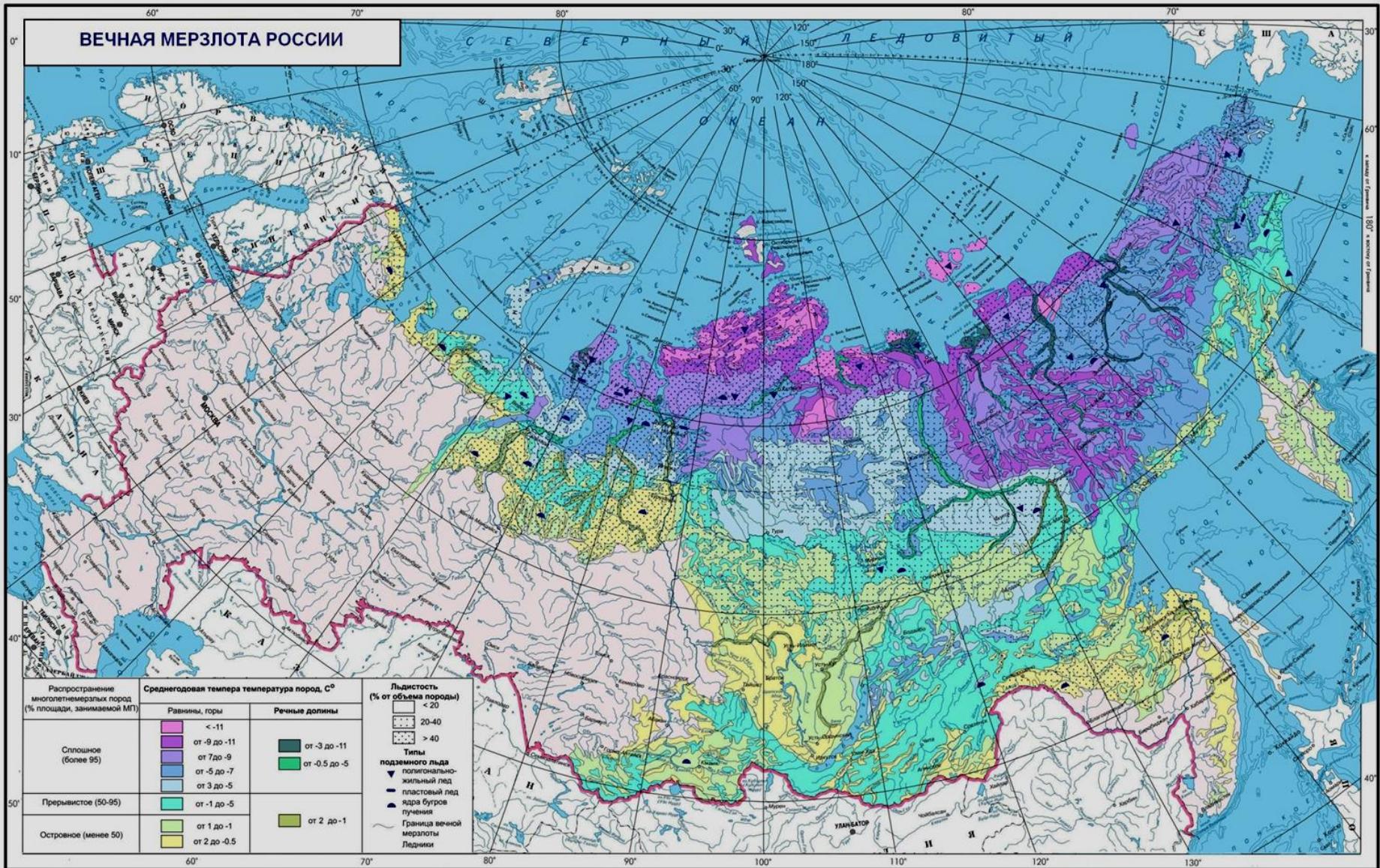
Схематическая карта
вечной мерзлоты в СССР
по типам географического
ее распространения
составил М Сумгин

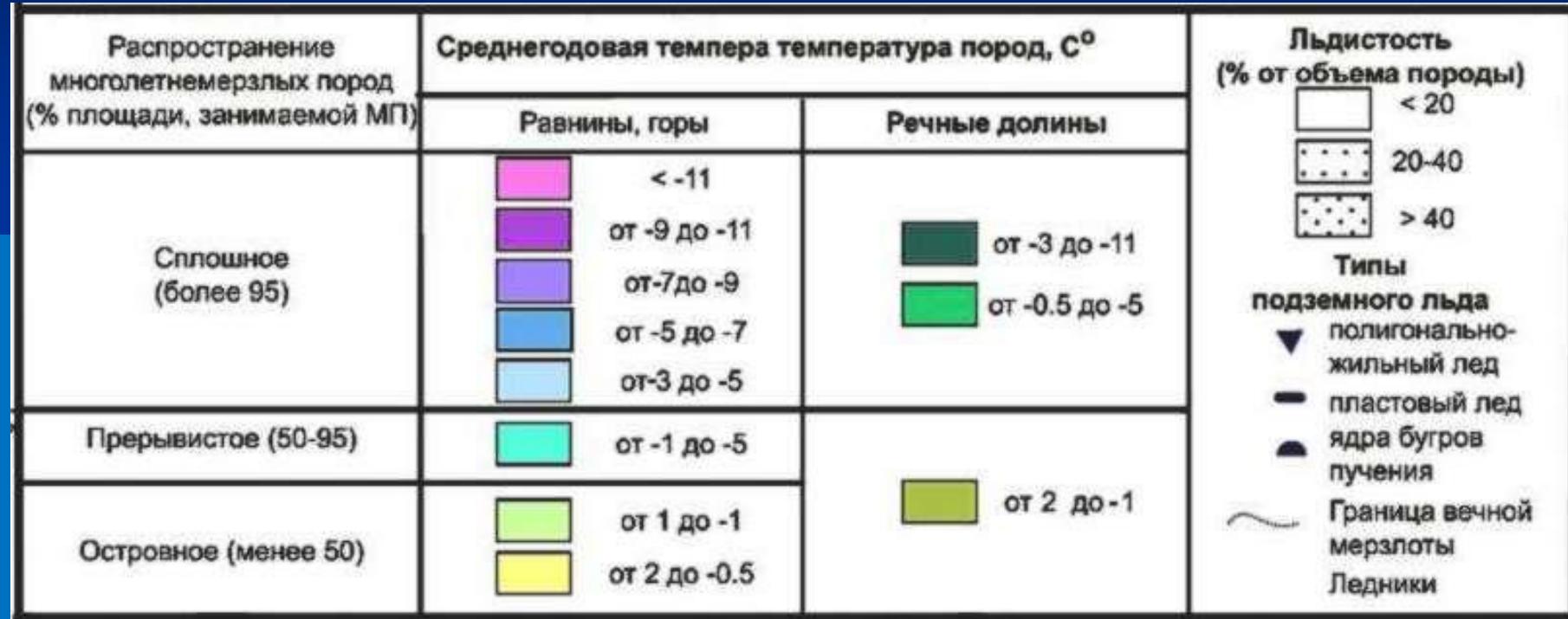
Условные знаки:

- Области географически сплошной вечной мерзлоты
- Районы вечной мерзлоты с наличием островов талой почвы.
- Районы островов вечной мерзлоты среди талой почвы.
- Южная граница вечной мерзлоты
- - - Граница замыкающая район значительных толщ льда в вечной мерзлой почве.



ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА РОССИИ







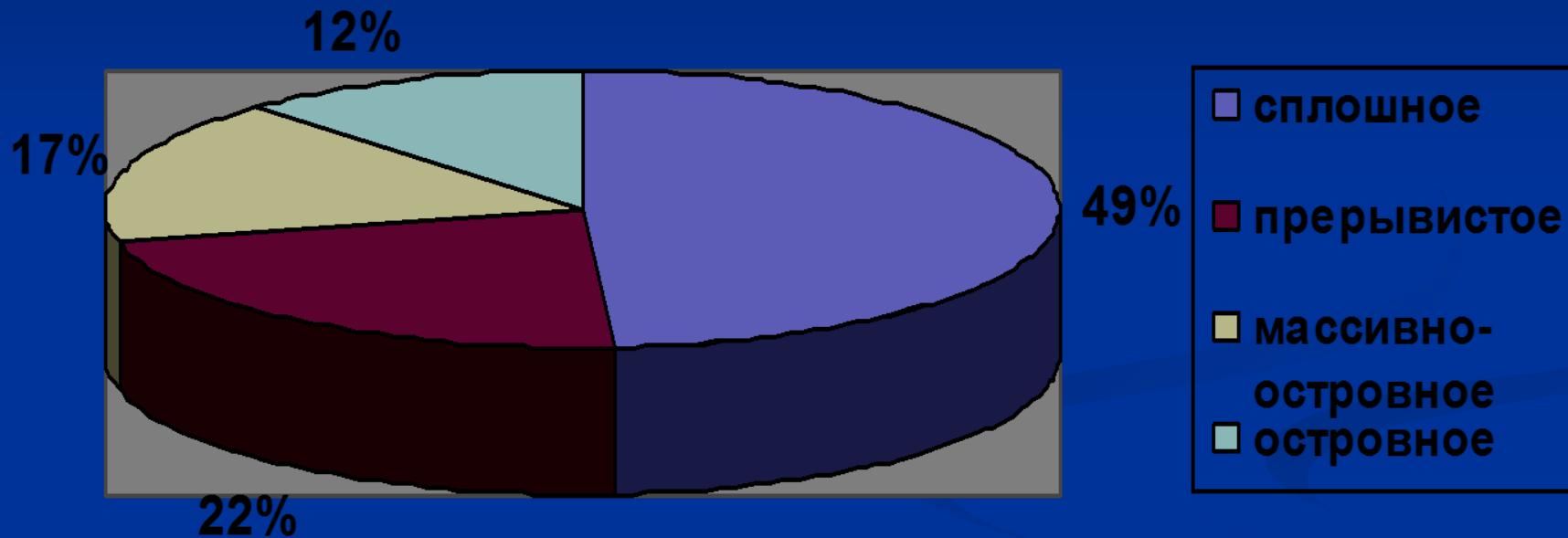
Криолитозона Земли

- Площадь мерзлоты – около 38,7 млн кв. км - 26% суши (без Антарктиды – 25,2 млн кв. км – 17%)
- В северном полушарии (без ледников) 22,8 млн кв. км – 22,7% суши
- Из них более -50% площади - сплошная мерзлота
- 62% площади - на равнинах ниже 500 м
- Максимальная мощность – 2500-3000 м (приурочена к горным территориям)

Криолитозона России

- Площадь РФ **17** млн кв. км
- Площадь, занимаемая мерзлыми толщами (криолитозона) – **11** млн кв. км, т.е. около **65%** площади РФ
- Максимальная мощность – 1500 м (Западная Якутия, 66 с.ш., 111 в.д.)
- Факторы, влияющие на формирование мерзлоты: климат, ландшафт, геологическое строение
- Основные характеристики мерзлых толщ: площадь распространения, температура, мощность, криогенное строение, криогенные процессы и формы рельефа, мощность сезонно-талого или сезонно-мерзлого слоя

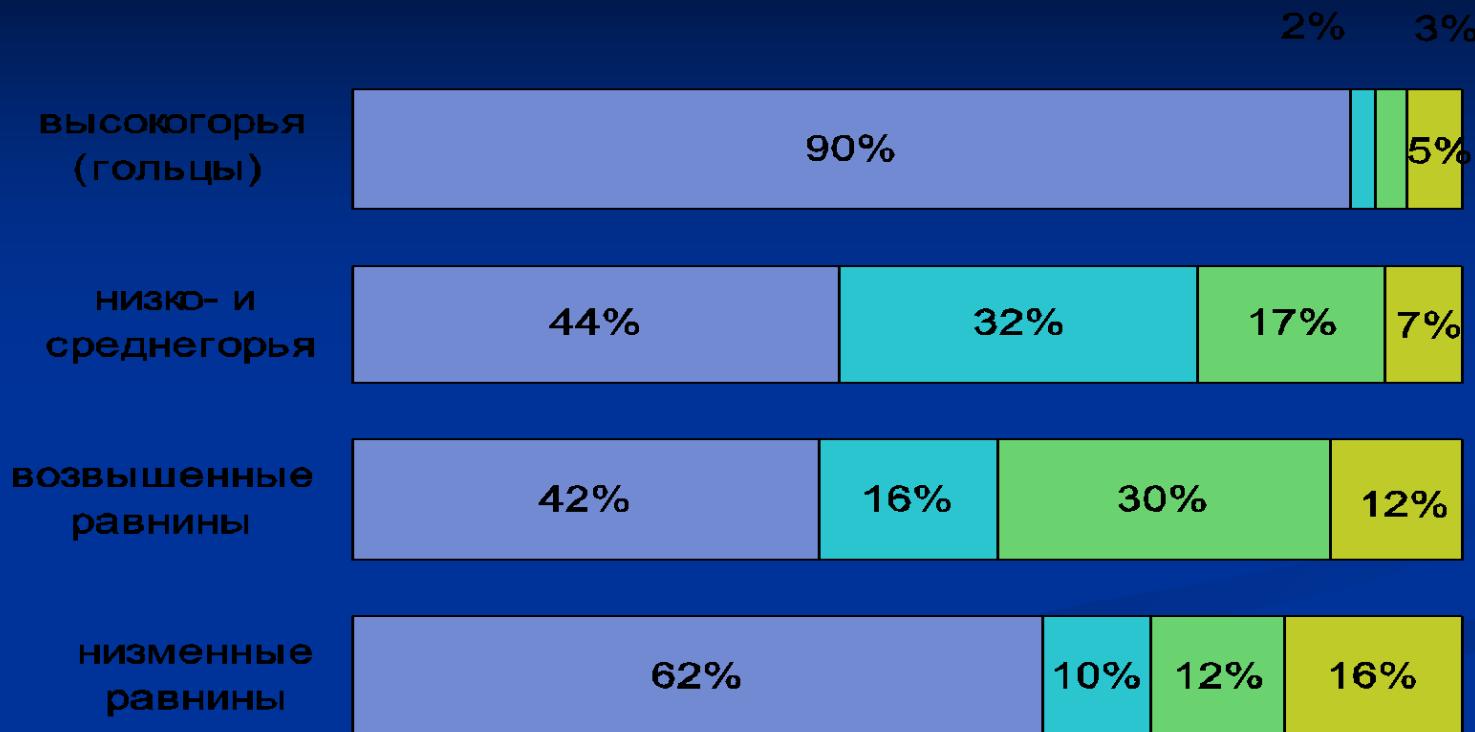
Мерзлотная дифференциация мерзлоты России



Распределение мерзлых пород – сплошная мерзлота занимает

весьма неоднородно – чуть меньше половины

Мерзлотная дифференциация высотных групп ландшафтов



Распространение ММП

■ сплошное

■ прерывистое

■ массивно-островное

■ островное

■ С точки зрения закона классической высотной поясности в криолитозоне наблюдается парадокс – низменные равнины заключают в себе больше самой суровой мерзлоты, чем возвышенные равнины и среднегорье.

Мерзлотная дифференциация низменных аккумулятивных равнин криолитозоны



МЕРЗЛОТНО-ЛАНДШАФТНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ РОССИИ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

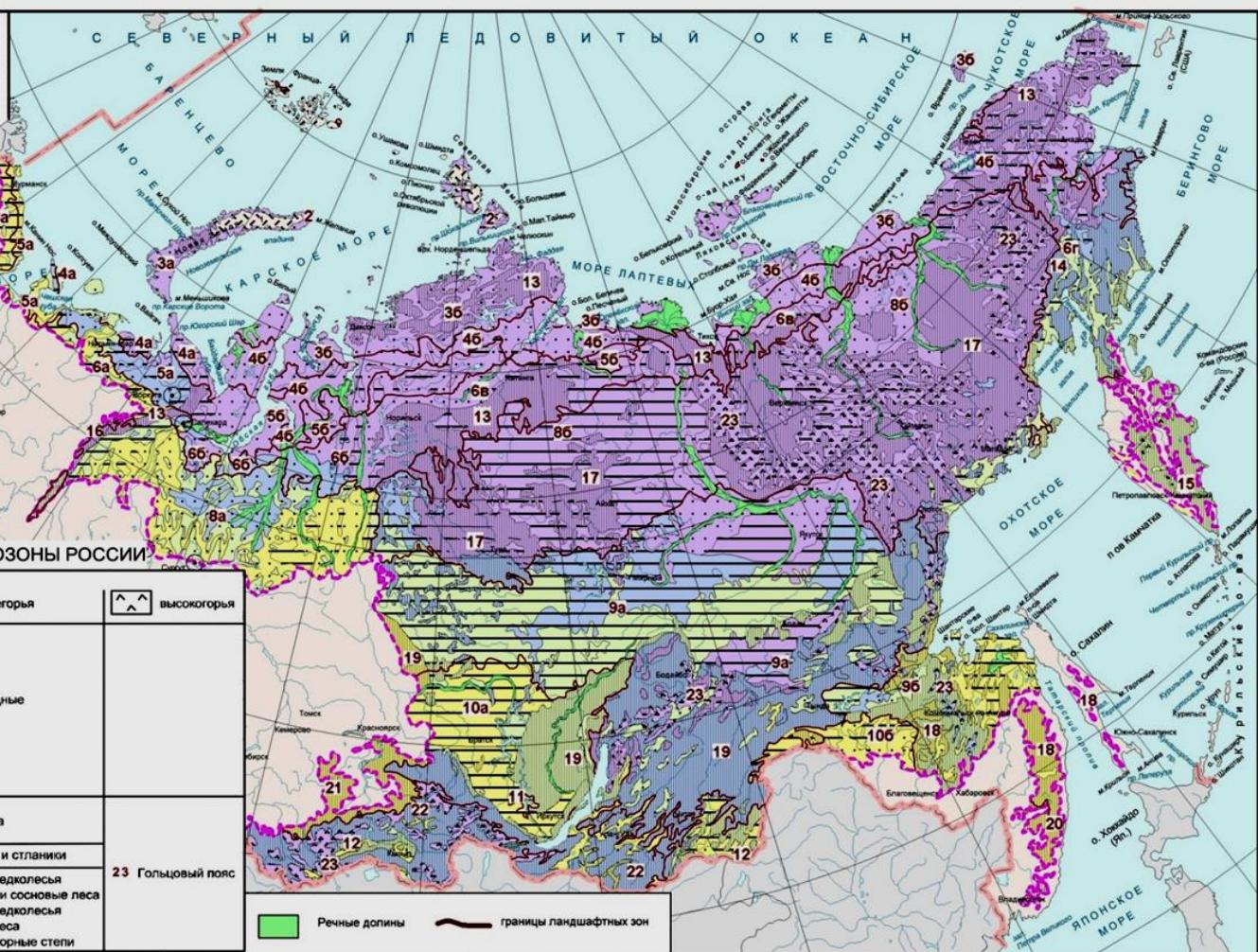
характер распространения (% площади, занимаемой ММП)	ландшафты
сплошное (более 95%)	2,3а, 36,4а, 46,56,66,68,6г, 86,9а, 13,14,16,17,23
прерывистое (50-95%)	35,46,5а, 66,6г, 8а, 86,9а, 95,10а; 13,14,17-19,21-23
массивно-островное (10-50%)	4а, 5а, 6а, 6г, 8а, 86,9а, 96, 10а, 13-15,17-19,21-23
островное (менее 10%)	5а, 8а, 7,8а, 96,10а, 106,12,18-21

ЛАНДШАФТНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ РОССИИ

Равнины	Горы
низменные	возвышенные
	ниско- и среднегорья
	высокогорья
1 Ледниковые 2 Поларногустинные 3а Арктические Европейские 3б Сибирские 4а Тундровые типичные Европейские 4б Сибирские 5а Тундровые южные Европейские 5б Сибирские 6а Лесотундровые Восточноевропейские 6б Западносибирские 6в Восточносибирские 6г Дальневосточные 7 Лесопутовые Курило-Камчатские 8а Северотаежные Западносибирские 8б Восточносибирские 9а Среднитаежные Восточносибирские 9б Дальневосточные 10а Южнотаежные Восточносибирские 10б Дальневосточные 11 Лесостепные 12 Сухостепные Восточносибирские	13 Горные тундры и холодные каменистые пустыни
	14 Станики 15 Каменинобересовые леса 16 Горные редколесья 17 Лиственничные редины и станики
	18 Темнохвойная тайга и редколесья 19 Горные лиственничные и сосновые леса 20 Темнохвойная тайга и редколесья 21 Хвойные и бересовые леса 22 Лиственничные леса и горные степи

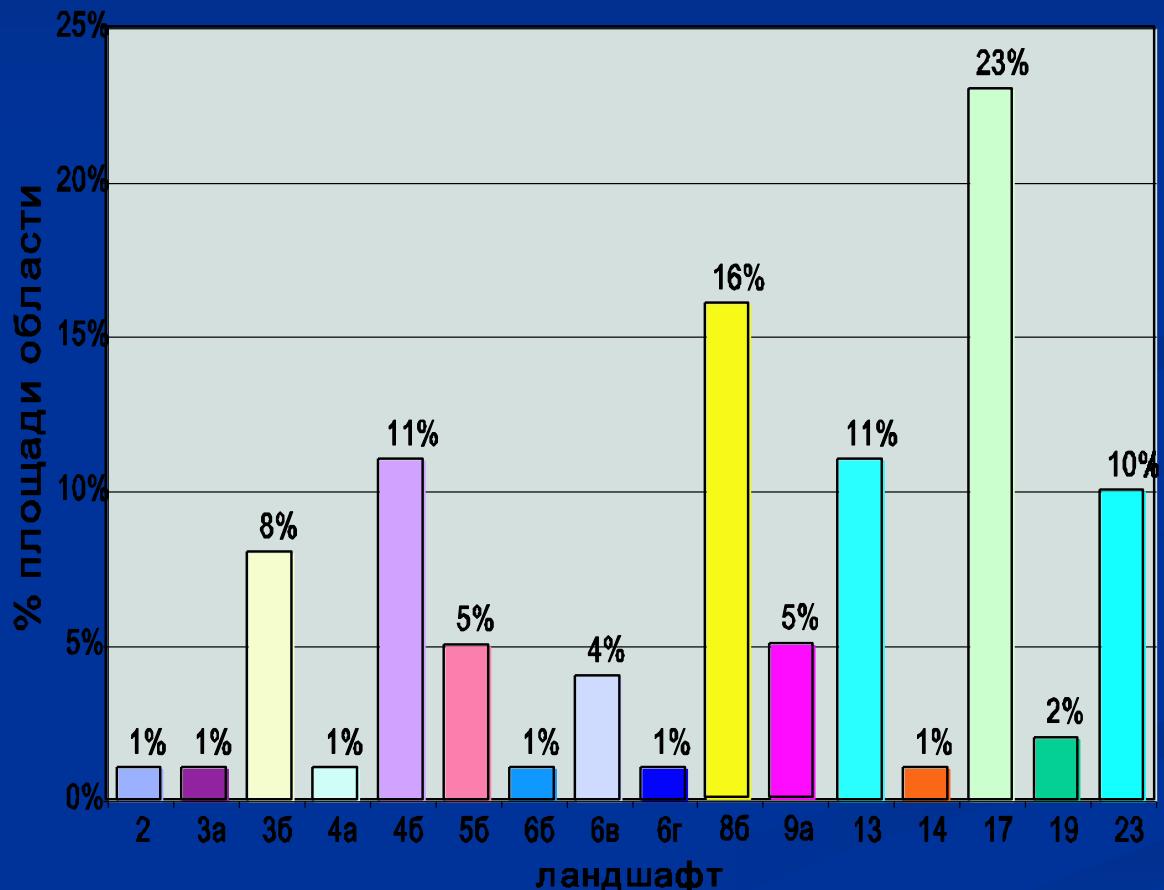
23 Гольцовый пояс
Речные долины

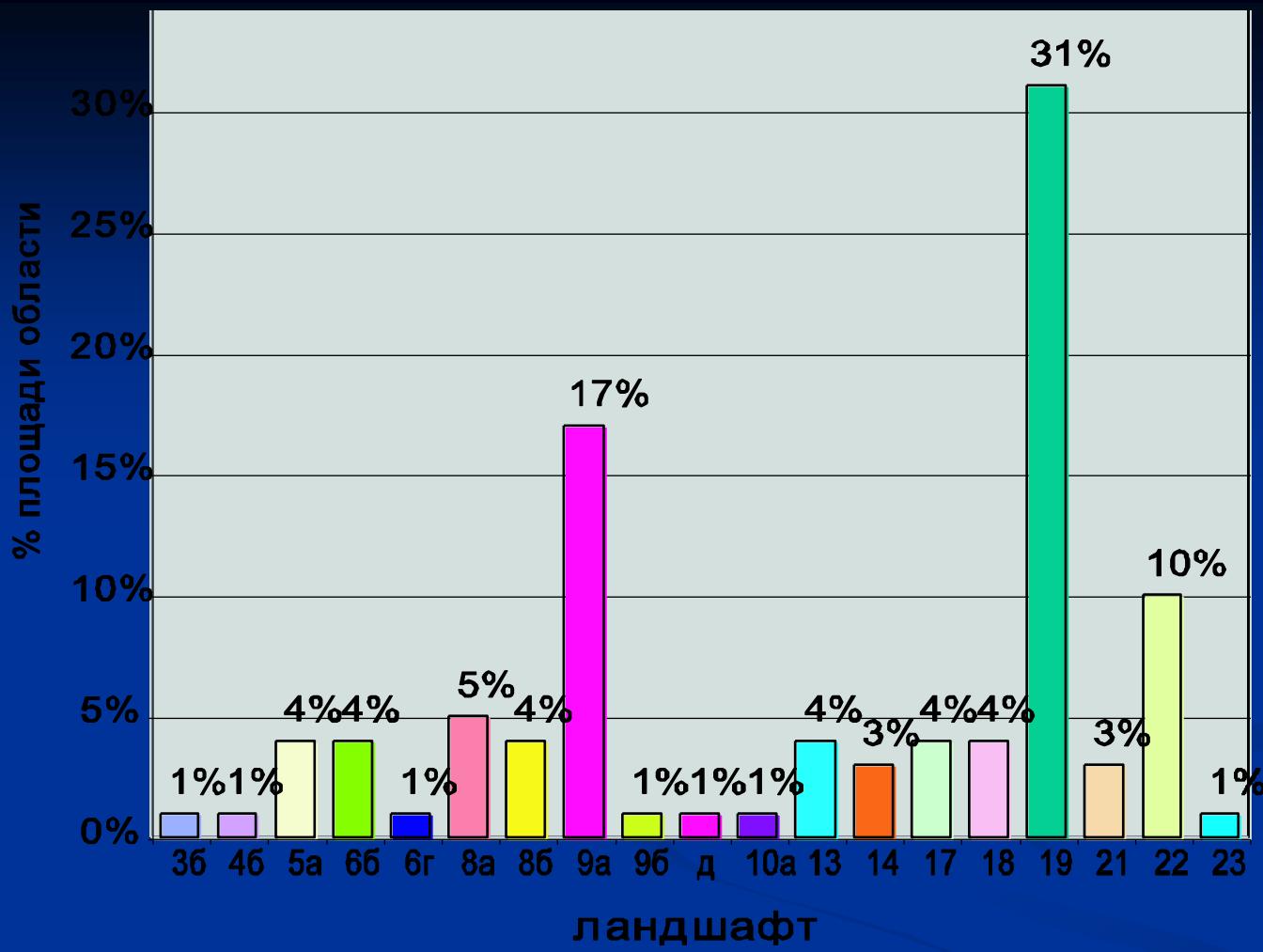
— границы ландшафтных зон



Ландшафтное содержание каждой области
криолитозоны

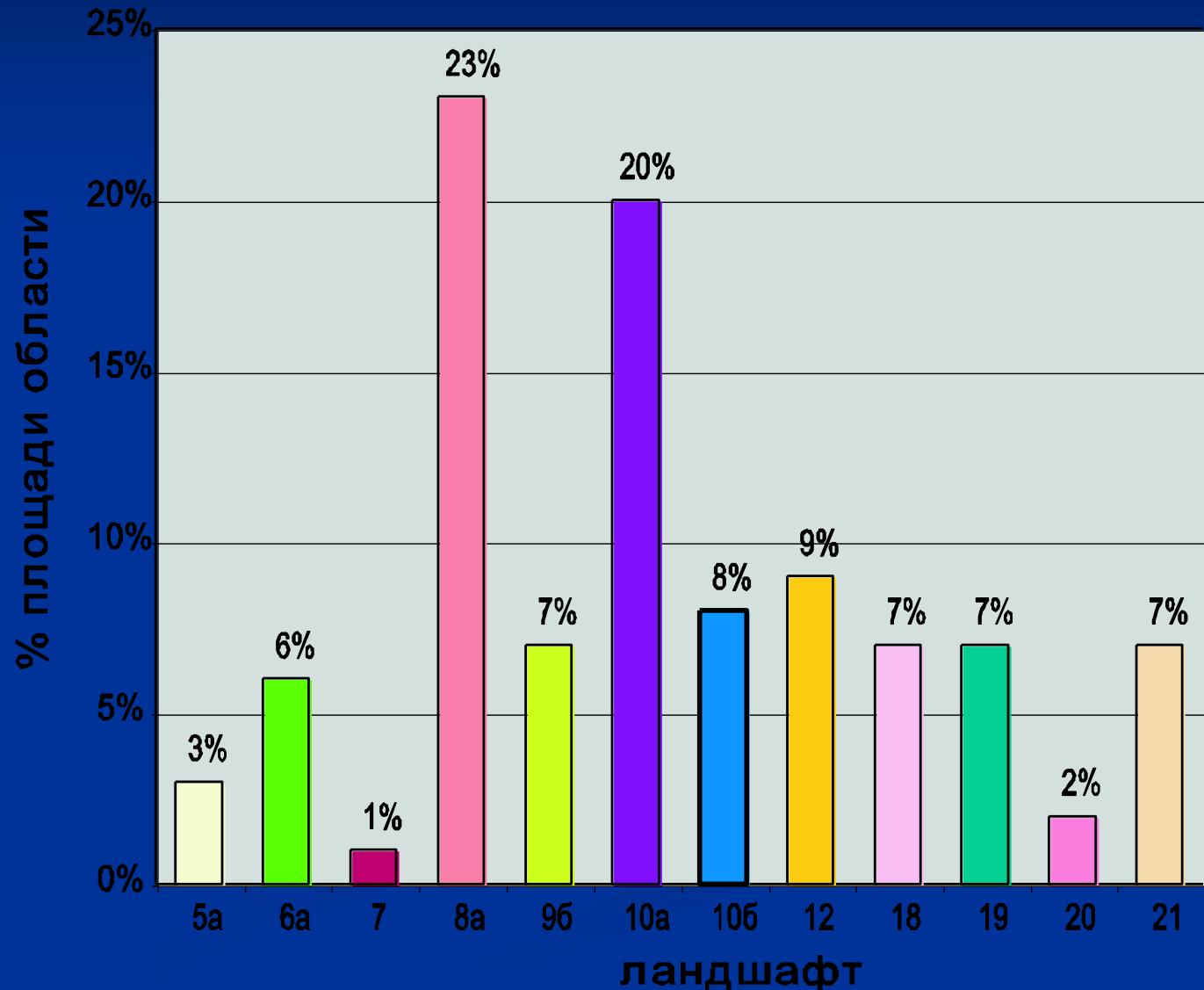
В области сплошной мерзлоты преобладают на равнинах северотаежные восточно-сибирские (8б), арктоундровые и тундровые сибирские ландшафты (4б). В горах преобладают лиственичные редины и стланики (17), а также горные тундры (13) и гольцы (23). Наибольший риск освоения характерен для тундровых ландшафтов, где грунты наиболее льдисты





В области прерывистой мерзлоты на равнинах выделяются среднетаежные восточно-сибирские ландшафты (9а). В горных территориях - горные лиственичные и сосновые леса (19), а также лиственничные леса и горные степи Прибайкалья и Забайкалья (22). Мерзлотные условия наиболее пестрые и контрастные, что осложняет условия освоения

В области островной мерзлоты на низменностях и возвышенных равнинах резко преобладают северотаежные западносибирские (8а) и южно-таежные восточно-сибирские ландшафты (10а). В горных районах - сухие степи Саян и Забайкалья(12)



Выводы по ландшафтной дифференциации мерзлоты

- Наиболее однозначна связь между ландшафтными условиями и мерзлотой для крайне северных и южных территорий; в северных - сплошная мерзлота, в южных - островная.
- Большие площади однородных ландшафтов во всех областях мерзлоты принадлежат районам Средней и Восточной Сибири, как наиболее обширным платформенным массивам с достаточно однородными мерзлотно-ландшафтными условиями, сложившимися в ходе длительного исторического развития.
- Наибольшее ландшафтное разнообразие отмечается в областях прерывистой и массивно-островной мерзлоты. Это говорит о их сходстве, но и о самой высокой степени сложности освоения этих территорий. При этом следует отметить, что в настоящее время это наиболее осваиваемые территории криолитозоны.

- Ряд ландшафтов отличаются всеми типами мерзлоты. Это южная тундра, лесотундра и северная тайга равнин.
- Талые грунты наблюдаются во всех ландшафтах.
- В области сплошной мерзлоты (49% области) талые грунты занимают 5-25% и приурочены в основном к рекам и озерам.
- В областях прерывистой и массивно-островной мерзлоты (39% области) талые грунты занимают 25-50%. Это территория с наиболее пестрыми мерзлотными условиями.
- Под крупными сибирскими реками и озерами наблюдаются сквозные талики (5% криолитозоны).

С точки зрения освоения

- **6% криолитозоны малопригодны для освоения (высокие горы); преобладает сплошная мерзлота.**
- **Во всех высотных группах (за исключением высокогорий присутствуют все типы мерзлых толщ, что требует дифференцированного подхода при освоении территорий.**
- **На более чем половине криолитозоны – речные долины, низменные и возвышенные равнины (54%), где распространена наиболее интенсивная хозяйственная деятельность складывается наиболее контрастная мерзлотная обстановка и сосредоточены потенциально опасные мерзлотно-ландшафтные факторы.**

Современное состояние мерзлоты, Геокриологический мониторинг и прогнозы существования

Геокриологический мониторинг – термин введенный в 1993 г. П.И. Мельниковым. Ограничен районами криолитозоны

Это система изучения, прогноза и контроля геокриологической среды, оценки изменений геокриологических инженерно-геологических и гидрогеологических условий на Севера под влиянием природных факторов и хозяйственной деятельности человека.

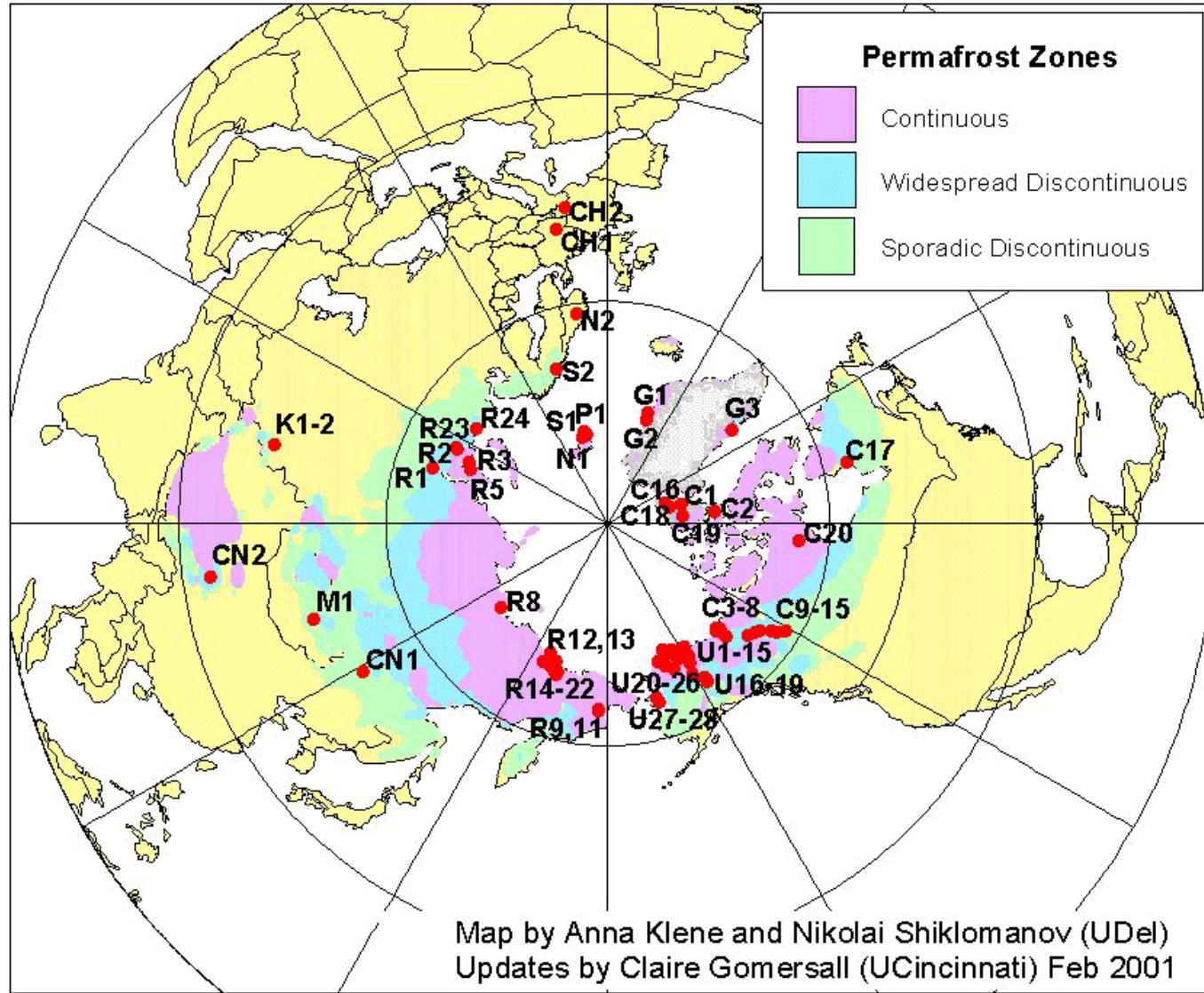
CALM – Circumpolar Active-layer Monitoring

Циркумполярный мониторинг деятельного слоя (с 1990 г.)

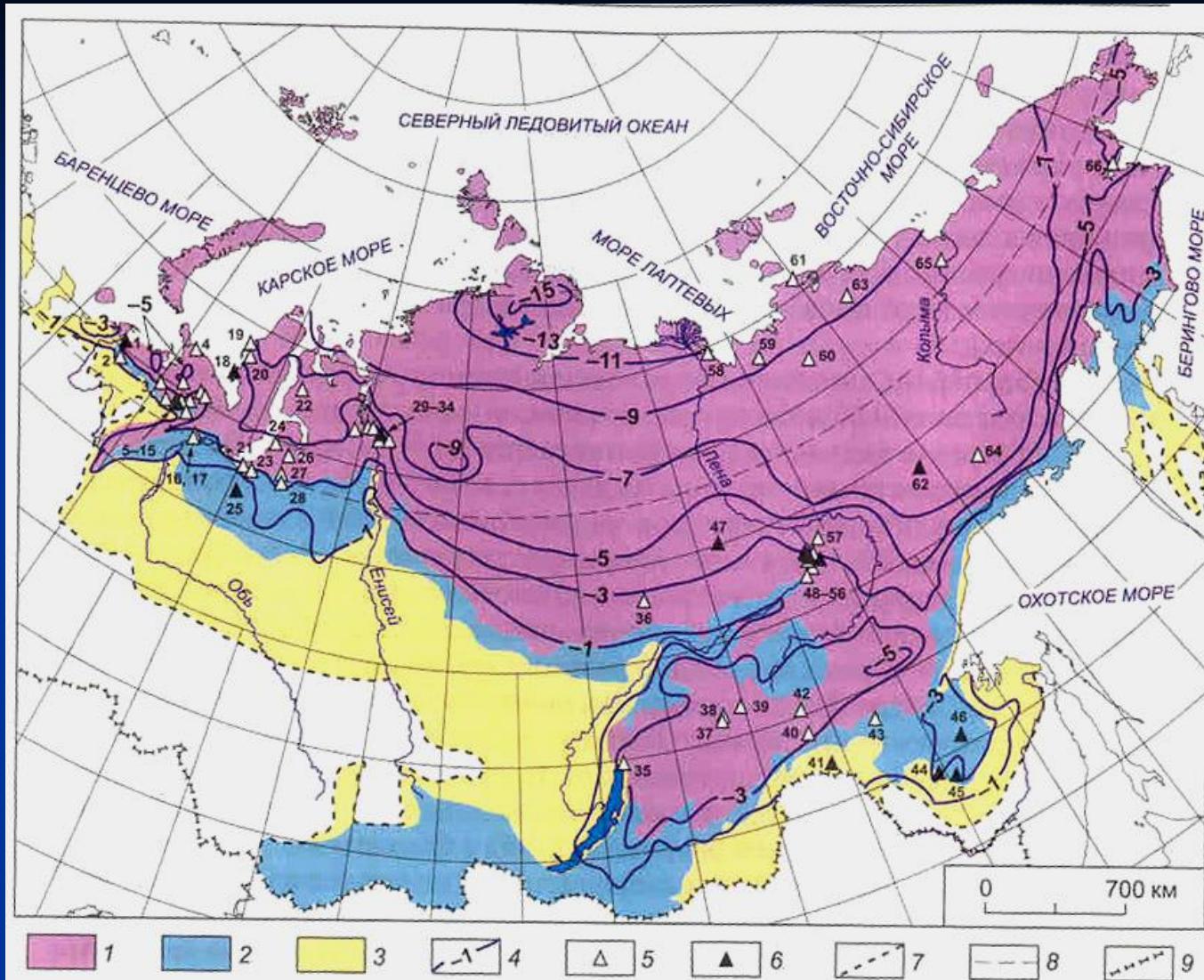
Виды мониторинговых наблюдений по программе CALM

№	Уровень	Привязка	Назначение	Характеристика
1	Глобальный	Транссекты	Понимание пространственной структуры и процессов	Линейные >100 км, интенсивный комплексный отбор образцов
2	Региональный	Стационары и полигоны	Понимание процессов, эксперименты и синтез информации	Базовое изучение экосистем и криосферы с комплексным инструментарием
3	Ландшафтный	Площадки со станциями сетка 1 км ²	Непосредственные измерения и калибровка	Репрезентативность в рамках региона, частые измерения, долгопериодные наблюдения
4	Фациальный	сетка 1 га	Непосредственные измерения и калибровка	Нерегулярные измерения (от года до десятилетия)
*	Дистанционный	Спутниковое и аэро-зондирование	Пространственно-временная интерполяция в масштабах до дней и до 30 м	Постоянный мониторинг, полное покрытие территории

Circum-Polar Active Layer Monitoring (CALM) Network



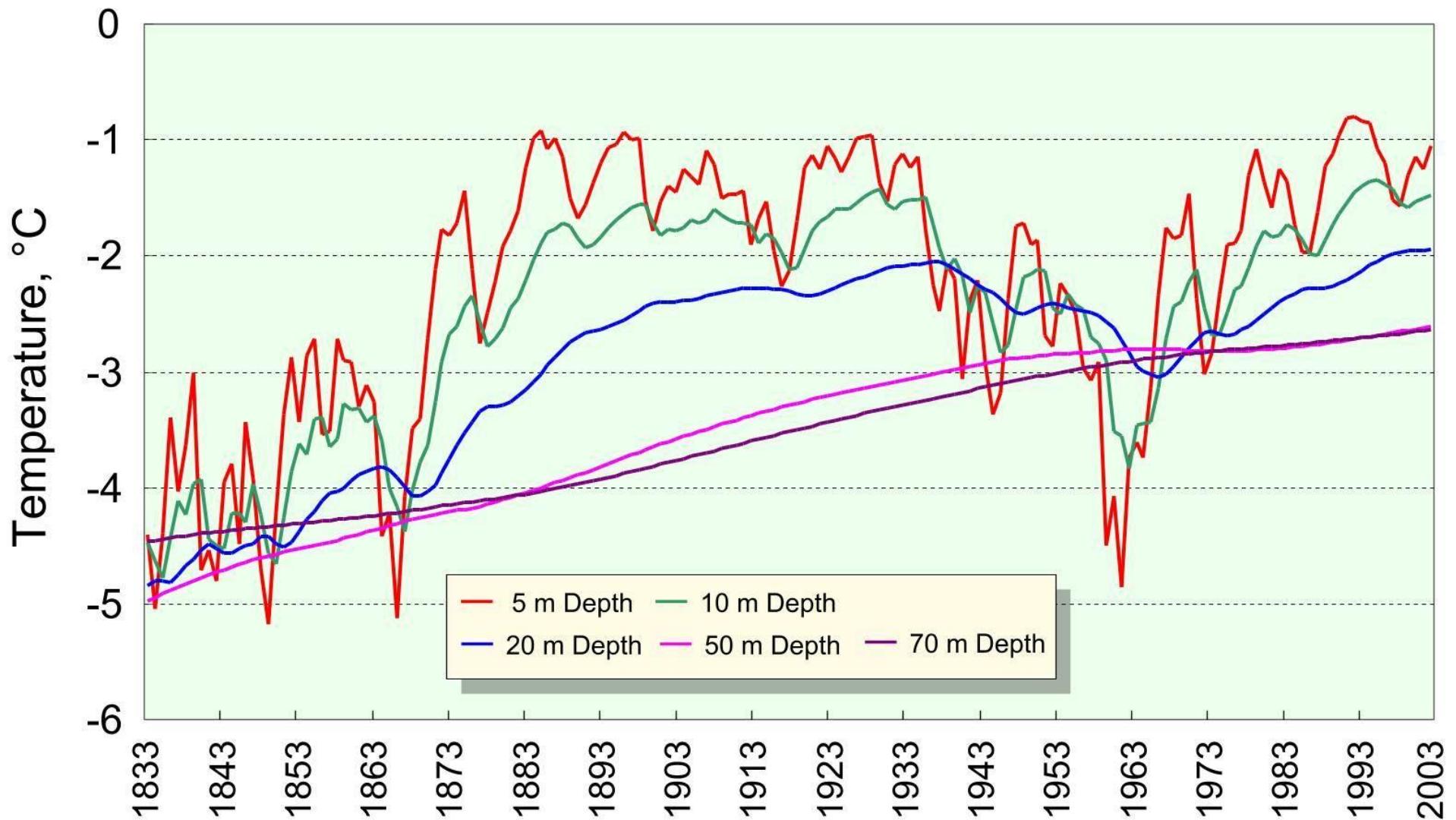
Распределение точек CALM в северном полушарии



Карта размещения опорных объектов мониторинга криолитозоны на территории России [Павлов, Малкова, 2005].

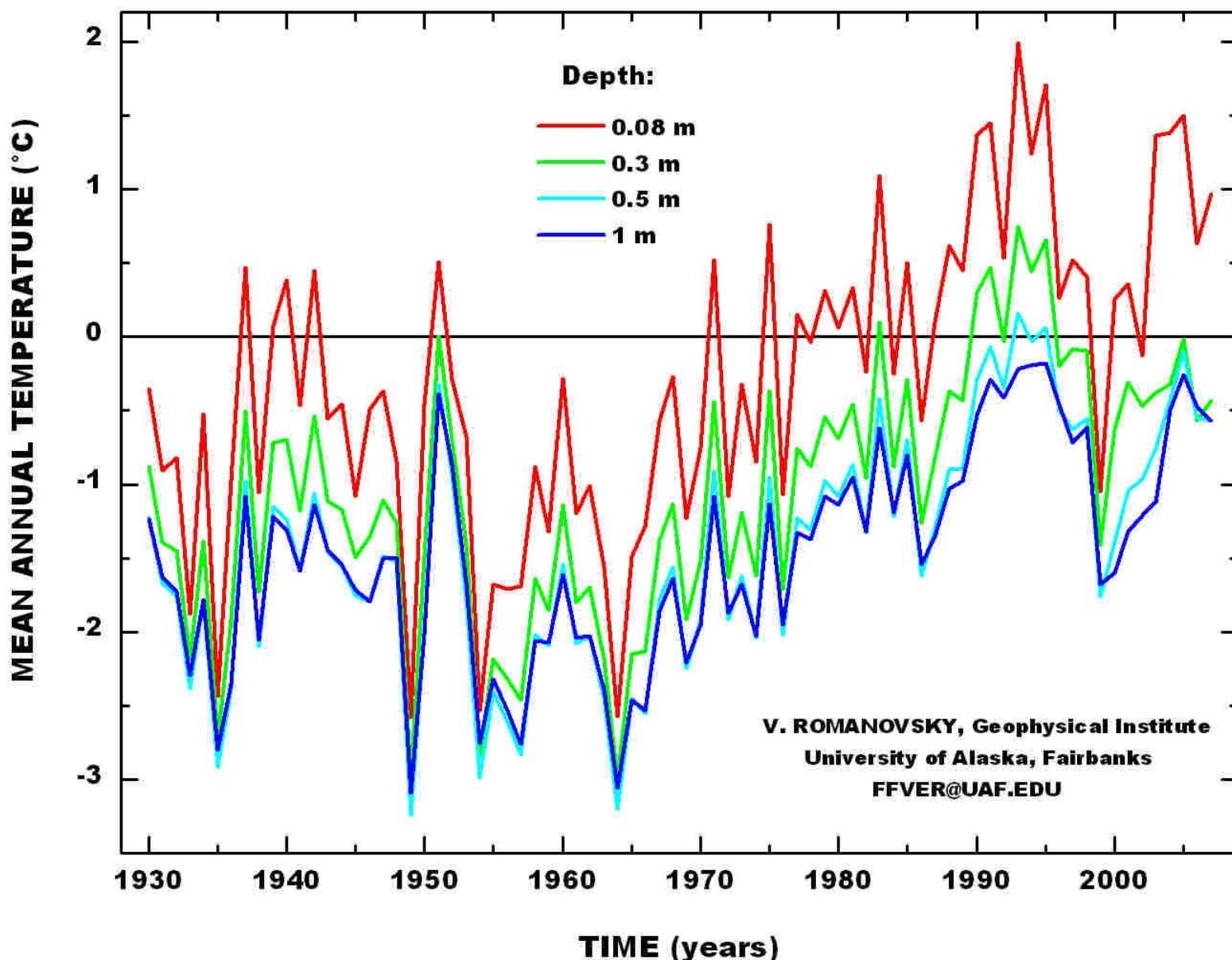
1–66 – условный номер объекта мониторинга криолитозоны. Типы криолитозоны: 1 – сплошная, 2 – прерывистая, 3 – островная; 4 – среднегодовая температура ММП, °С. Объекты мониторинга криолитозоны: 5 – закрытые, 6 – действующие; 7 – южная граница криолитозоны, 8 – Северный полярный круг, 9 – государственная граница РФ.

г. Якутск, 1833 - 2003



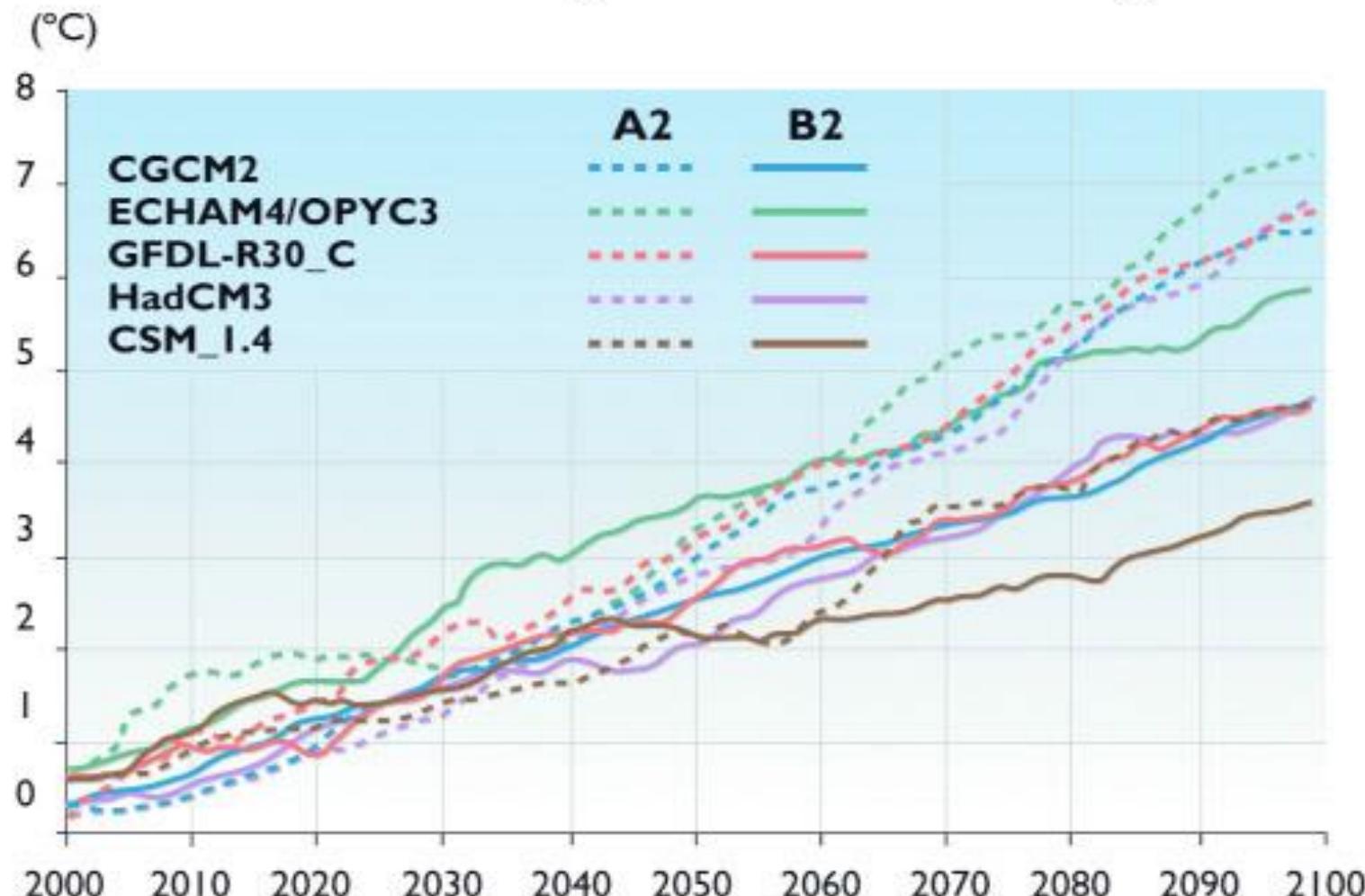
FAIRBANKS, ALASKA, 1930-2007

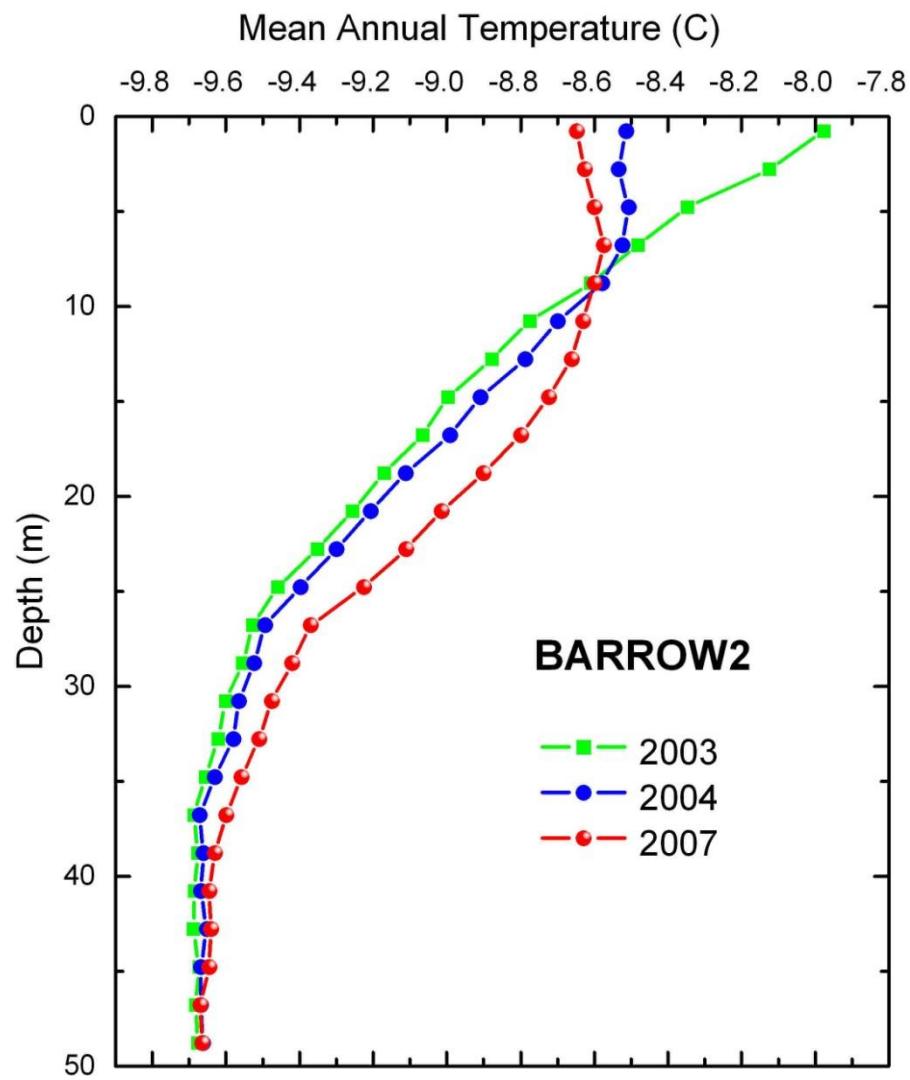
Mean annual ground temperatures

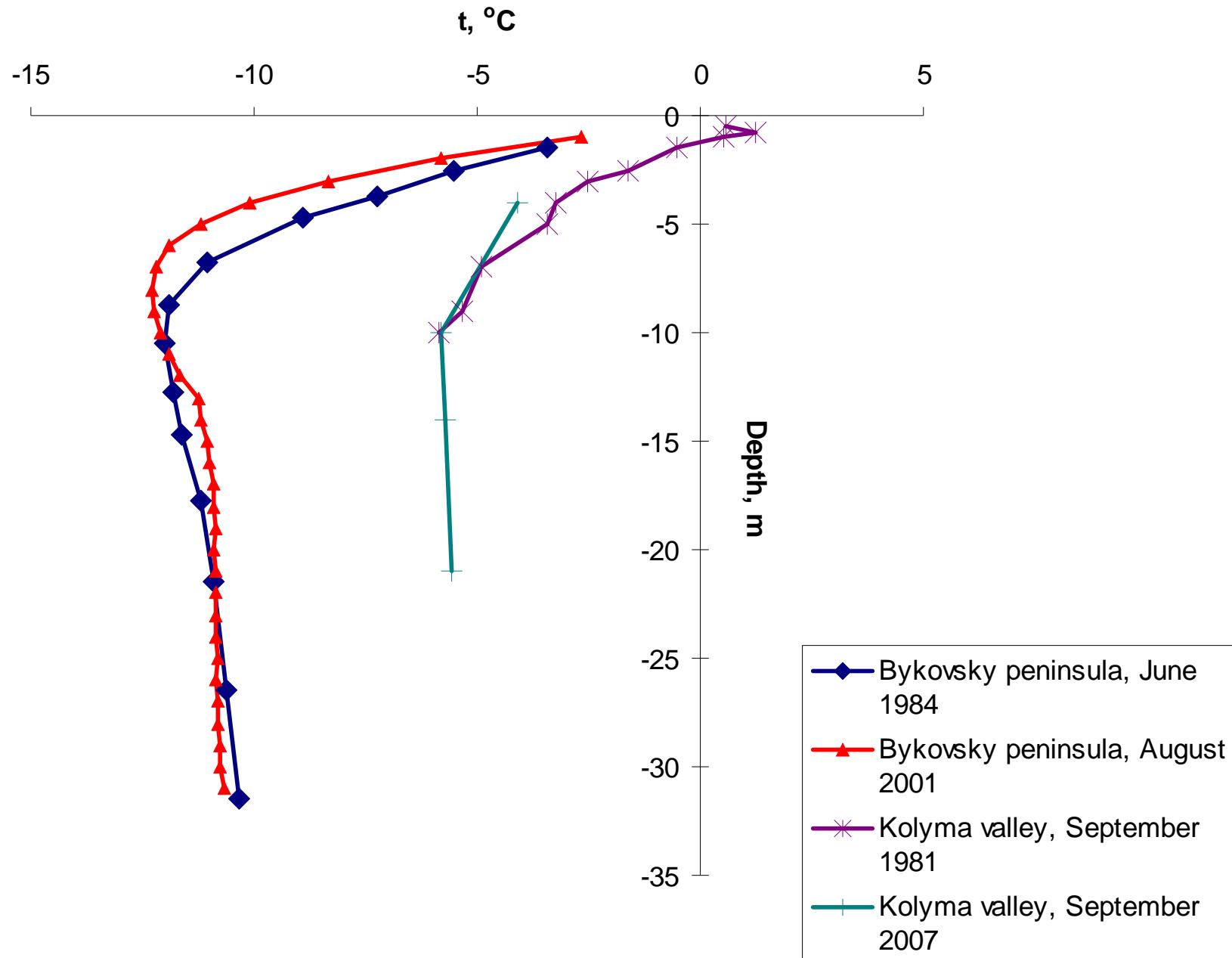


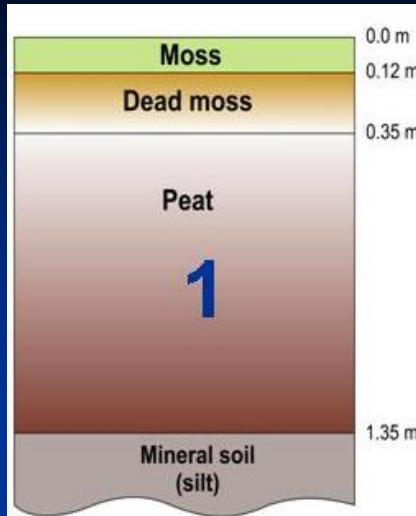
Projected Arctic Surface Air Temperatures 2000-2100

60°N - Pole: Change from 1981-2000 average

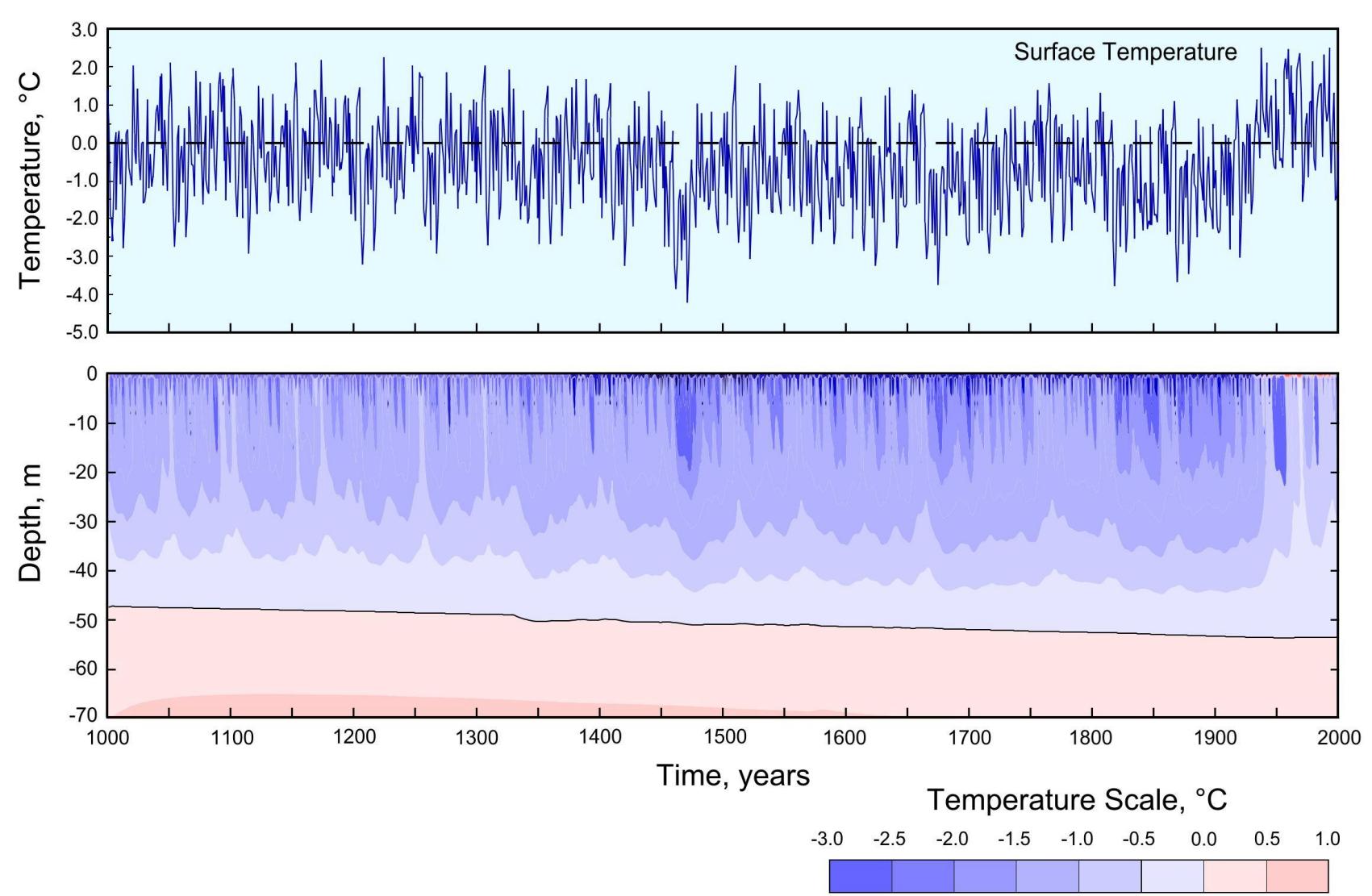




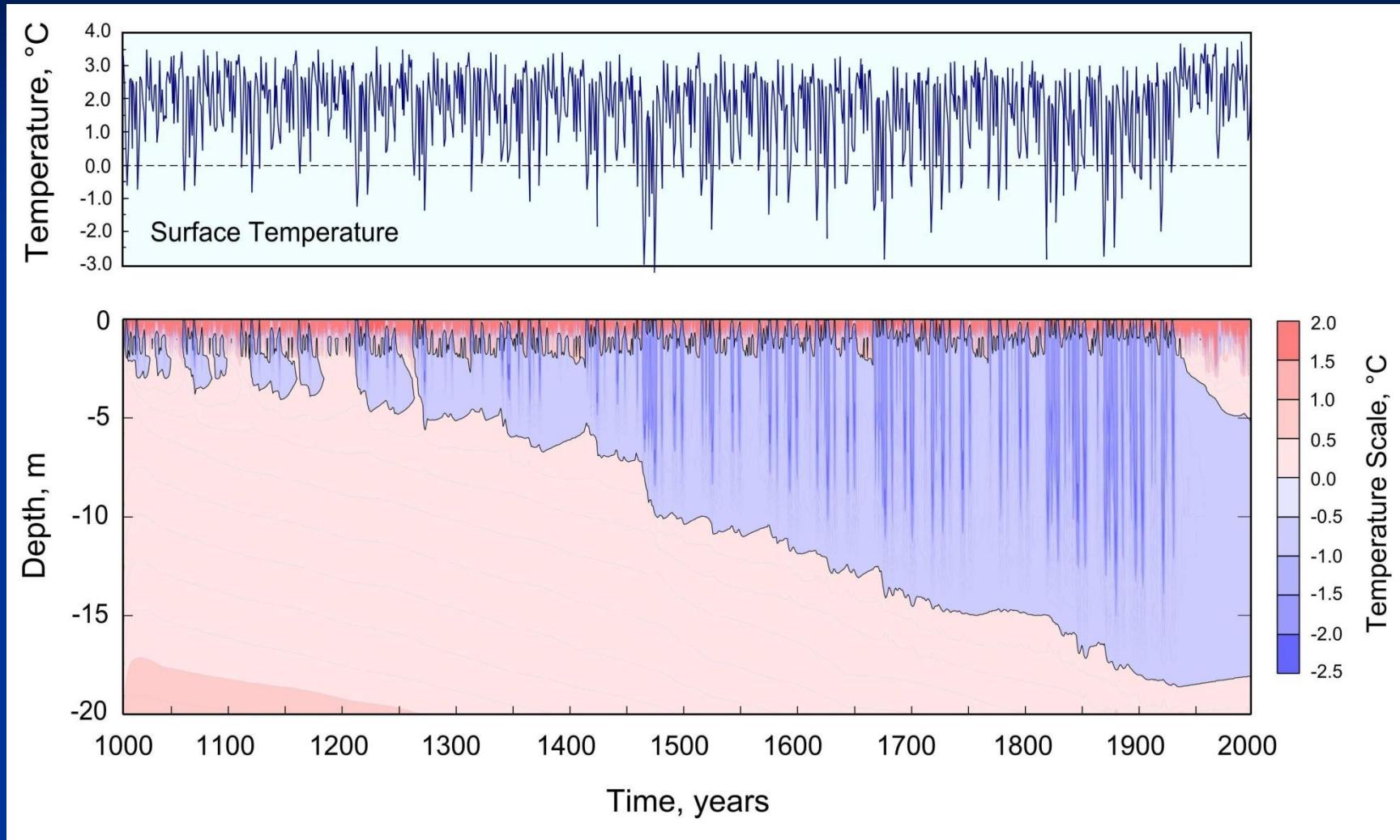




1



2



Специфика мониторинговых мероприятий на Севере

- биологические ресурсы подвержены значительно большим межгодовым колебаниям, чем в умеренных широтах;
- большие расстояния и плохая транспортная доступность и связь удорожают системы мониторинга;
- Арктика является местом стока многих загрязняющих веществ;
- наличие коренного населения, интересы которого нельзя не учитывать.

Перечень наблюдений при мерзлотном мониторинге

- глубина промерзания-протаивания;
- влажность;
- температура грунтов на глубинах;
- высота и плотность снежного покрова;
- уровень грунтовых вод;
- количественные параметры криогенных процессов;
- скорость зарастания нарушенной поверхности и др.

Дополнительно следует ставить наблюдения за температурой воздуха, осадками, снежным покровом и др. *(внешними факторами, определяющими термовлажностной режим толщ).*

Криогенные процессы

- *Процессы, формирующиеся под влиянием осенне-зимних условий теплообмена*
- *Процессы, формирующиеся под влиянием летних условий теплообмена*
- *Процессы, формирующиеся под влиянием круглогодичных условий теплообмена*

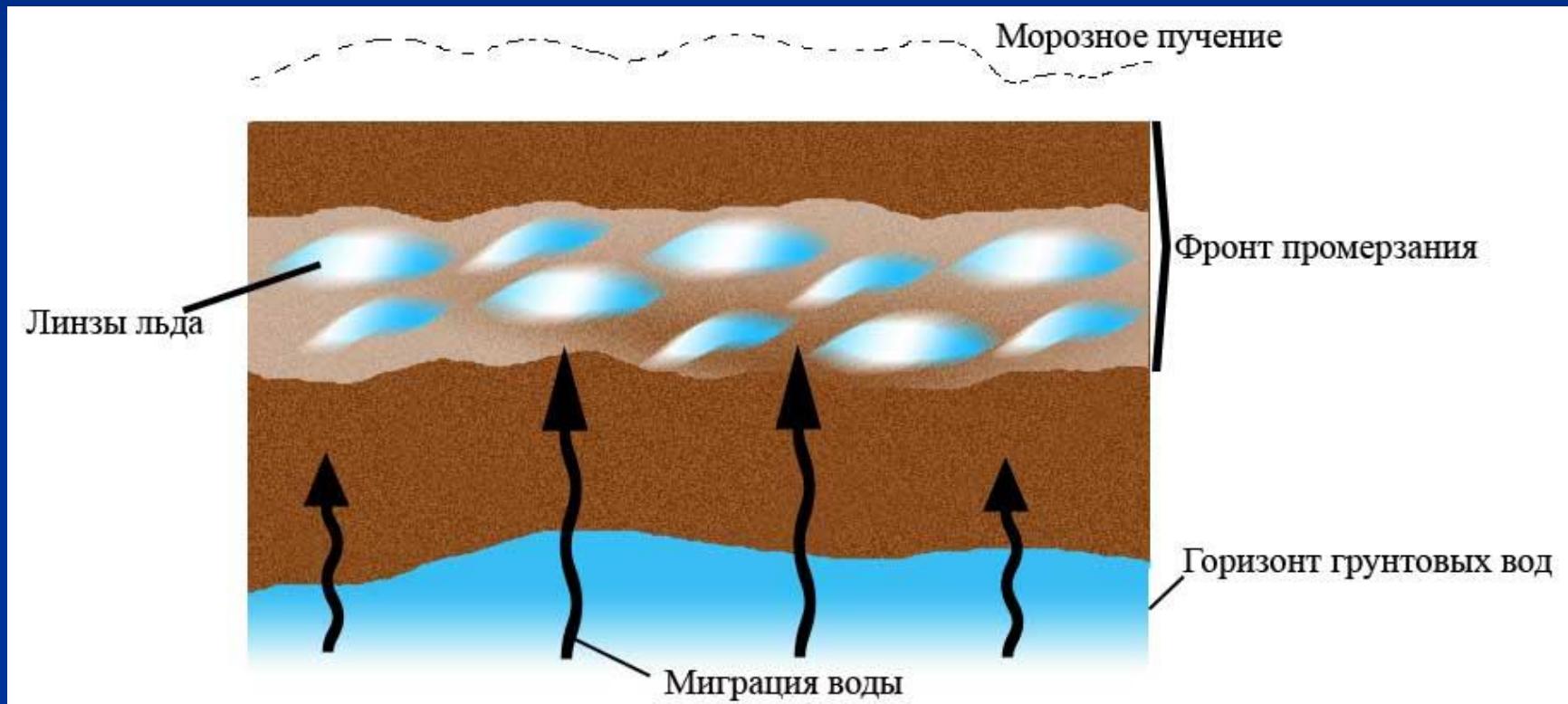
Криогенные процессы

- *Процессы, формирующиеся под влиянием осенне-зимних условий теплообмена:*
- **пучение, морозобойное
растрескивание, наледеобразование**

■ Криогенное пучение – процесс увеличения объема промерзающих толщ и образование положительных форм рельефа

- Пучение может происходить за счет увеличения при переходе воды в лед (около 9%).
- Однако, гораздо более интенсивное пучение происходит за счет миграции влаги к фронту промерзания и ее замерзания.

Открытая система













Основные характеристики, определяющие деформации пучения и пучинистые свойства грунтов

- А) общая деформация пучения (h_{fh}) - высота перемещения поверхности промерзающего грунта относительно первоначального положения;**
- Б) интенсивность пучения, определяется как соотношение величины пучения к толщине пучащегося слоя (f);**
- В) модуль пучения – величина пучения слоя грунта мощностью 1 м (m).**

Величина деформаций пучения (общая деформация) h_{fh}

$$h_{fh} = h_{ic} + h_{img} - S_{sh} - S_c$$

h_{ic} – величина пучения грунта за счет увеличения на 9% объема замерзающей поровой влаги (т.н. массивное распучивание);

h_{img} – величина пучения за счет миграционного льдонакопления (т.е. за счет возникших шлиров льда);

S_{sh} – величина деформаций усадки талой зоны грунта за счет обезвоживания при шлирообразовании;

S_c – величина компрессионного уплотнения, вызванного действием внешних и внутренних давлений.

h_{fh} представляет собой деформацию грунта за счет его перемещения вверх и одновременно перемещения (усадку) еще не мерзлого слоя за счет обезвоживания талой зоны и компрессионного уплотнения.

Промерзающие грунты с учетом значений относительного пучения подразделяются на пять групп (категорий) [Орлов, 1962; Рекомендации по учету..., 1986]:

потенциально пучинистые (галечники, крупнозернистые маловлажные пески) $\varepsilon \leq 0,01$	
слабопучинистые (пески, супеси слабо и средней влажности)	$0,01 < \varepsilon \leq 0,035$
среднепучинистые (пески, супеси, суглинки средней влажности)	$0,035 < \varepsilon \leq 0,07$
сильнопучинистые (супеси, суглинки, глины средней влажности)	$0,07 < \varepsilon \leq 0,12$
чрезмернопучинистые (суглинки и глины сильно влажные)	$\varepsilon > 0,12$

где $\varepsilon = h_f / d_f$

ε – относительная величина поднятия промерзшего ненагруженного грунта;

h_f – подъем ненагруженной поверхности промерзшего слоя, см;

d_f – мощность слоя промерзшего грунта.

Основные мероприятия по борьбе с морозным пучением

Два основных направления противопучинных мер

противопучинная мелиорация
грунтов,
ставящая своей целью уменьшение
или полную ликвидацию
морозного пучения

противопучинная стабилизация
фундаментов и сооружений,
обеспечивающая устойчивость
сооружений при морозном
пучении грунтов, как
естественного сложения, так и
подвергшимся специальной
обработке

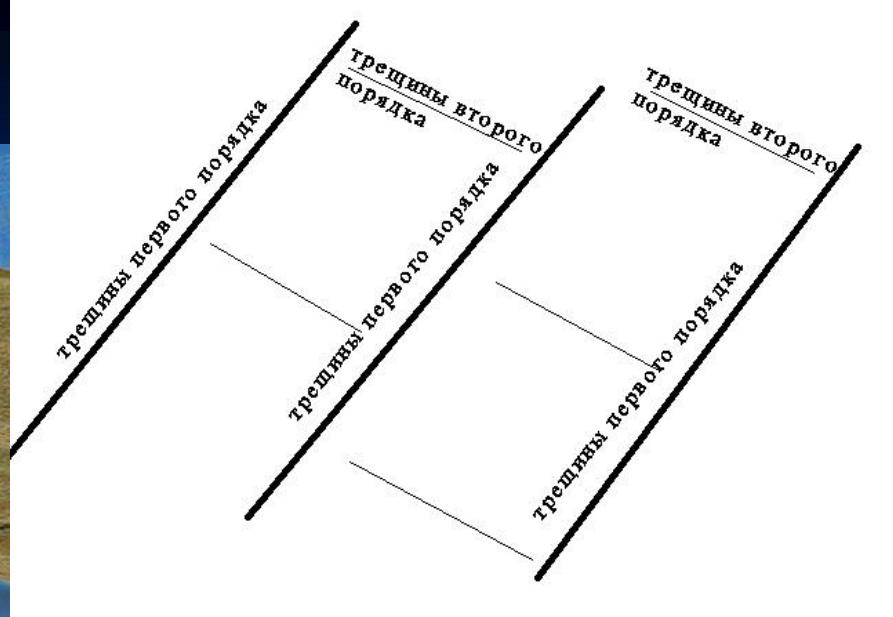
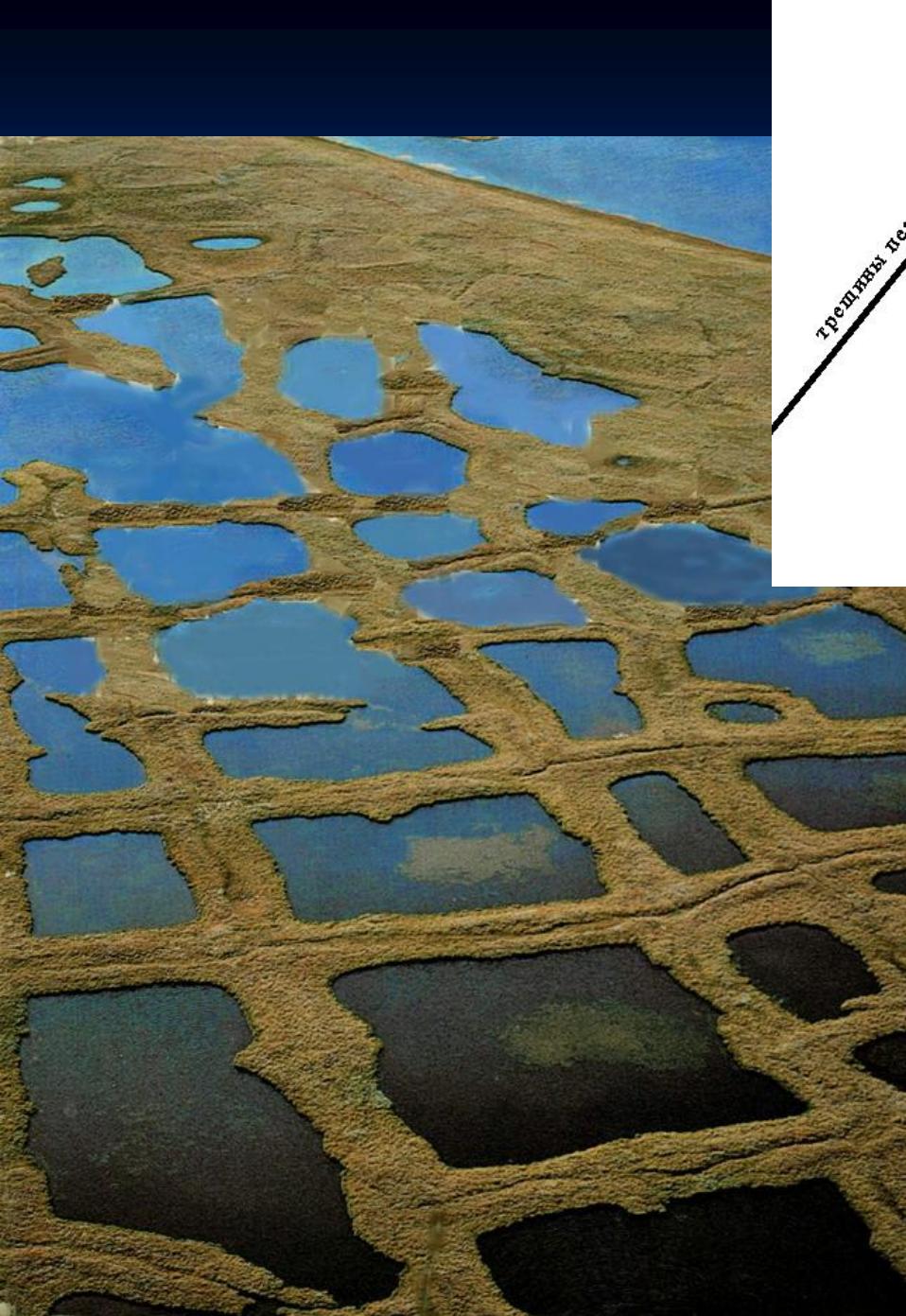
Морозобойное растрескивание

Сезонные объемно – градиентные температурные напряжения мерзлых грунтов в
слое годовых колебаний температур

$$\tau_x = \frac{1}{2} \alpha \cdot G \cdot x \cdot \text{grad}(t)$$

α – коэффициент линейного расширения – сокращения;
 G – модуль сдвига;
 x – расстояние от свободной поверхности;
 $\text{grad}(t)$ – градиент температуры в мерзлой толще.

- В результате морозобойного растрескивания возникает блочный или полигональный рельеф - система отдельных блоков ограниченных ясно выраженных трещинами или пониженными полосами

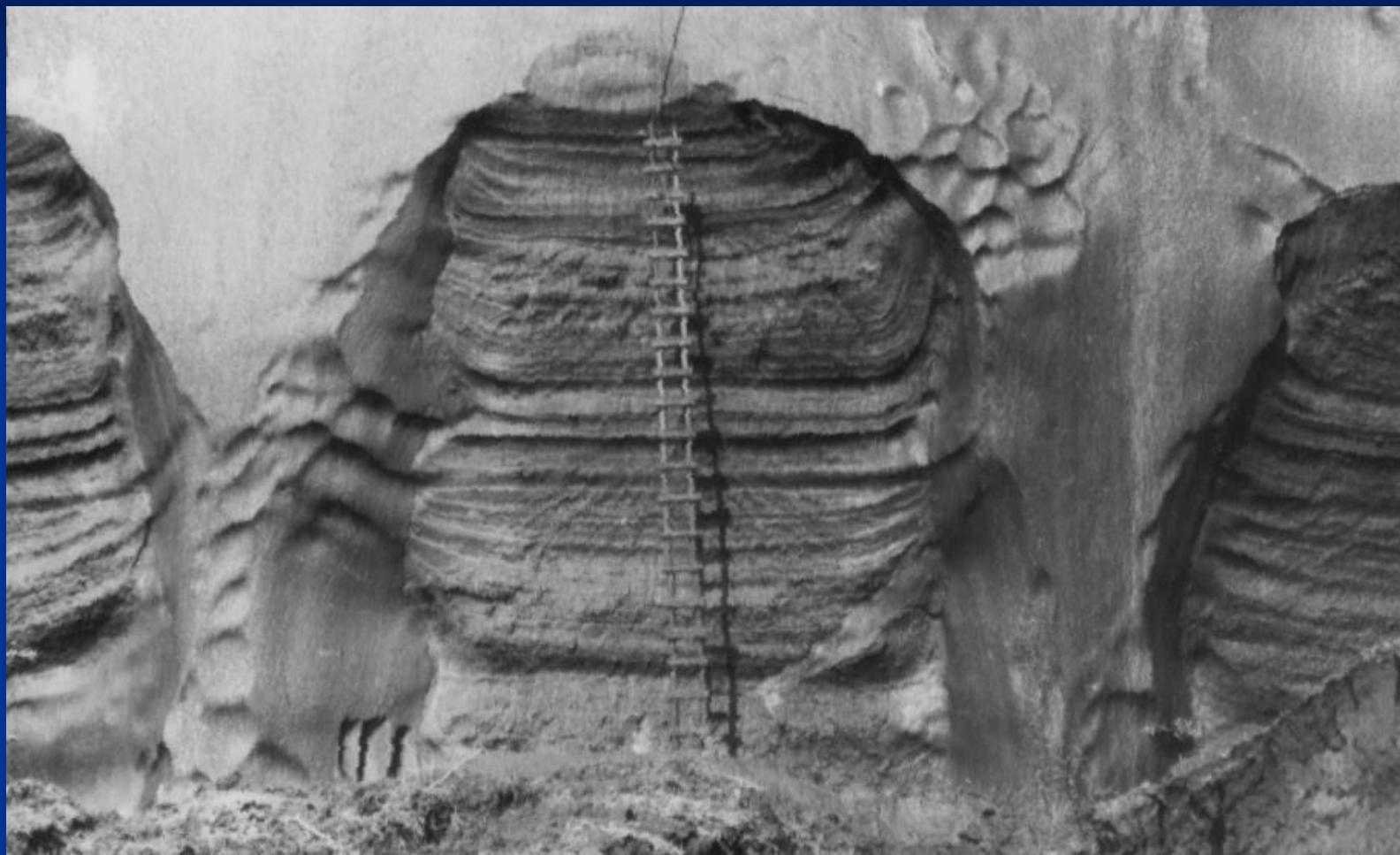


- Изначально при растрескивание образуются параллельные трещины , обусловленные берегом реки, бровкой склона и др. , потом – перпендикулярные.

- В результате морозобойного растрескивания возникает блочный или полигональный рельеф - система отдельных блоков ограниченных или ясно выраженных трещинами или пониженными полосами









Мелкополигональное растрескивание

- Расстояние между трещинами 0,3 – 2,0 м, глубина – 0,2-1,8 м (остаются в сезонно-талом слое).
- Может образовываться на дочетвертичных и грубообломочных грунтах.
- На пылеватых супесчано-суглинистых эоловых, деллювиальных, пойменных отложениях может быть вызвано как морозобойным растрескиванием, так и трещинами усыхания.





■ Наледообразование





Криогенные процессы

*Процессы, формирующиеся под влиянием
летних условий теплообмена*

**Термокарст , термоэрзия, термоабразия,
солифлюкция**

Термокарст - процесс протаивания мерзлых грунтов, содержащих лед и сопровождающийся уплотнением подстилающих толщ, появлением отрицательных форм рельефа и накоплением термокарстовых отложений. *Необходимое условие: наличие подземных льдов в мерзлых грунтах. Чем больше льда – тем активнее термокарст.*

Разнообразие льда

- Массивные ледяные тела
- Внутригрунтовый текстурный лед
- Внутригрунтовый внутрипоровый лед



Основные причина - изменение условий теплообмена

Общеклиматические (напр. глобальное потепление)
Региональные климатические (потепление, увеличение осадков, увеличение глубины протаивания)
Изменение ландшафтов (изменение почвенно-растительного покрова)
Изменение гидрологических условий (подтопление территории)
Антропогенное воздействие

Хасыреи, Западная Сибирь







- Термокарстовые цирки по пластовым льдам



Термокарст по погребенным льдам, Кавказ

Антропогенное воздействие

Гари



Термокарст по следам проезда вездехода



Подтопление





Разрушение
набережной, г. Якутск



Термокарстовое озеро,
Якутия



Активация термокарста при
инженерном освоении, Аляска

Термокарст как опасный криогенный процесс



Солифлюкция

Солифлюкция – медленное вязко-пластичное течение тиксотропных переувлажненных отложений, развивающиеся на склонах в процессе протаивания

Разделяют медленную (криосолифлюкцию) и быструю (криогенное оползание)

Солифлюкция вызвана гравитационным потенциалом на границе с мерзлыми отложениями

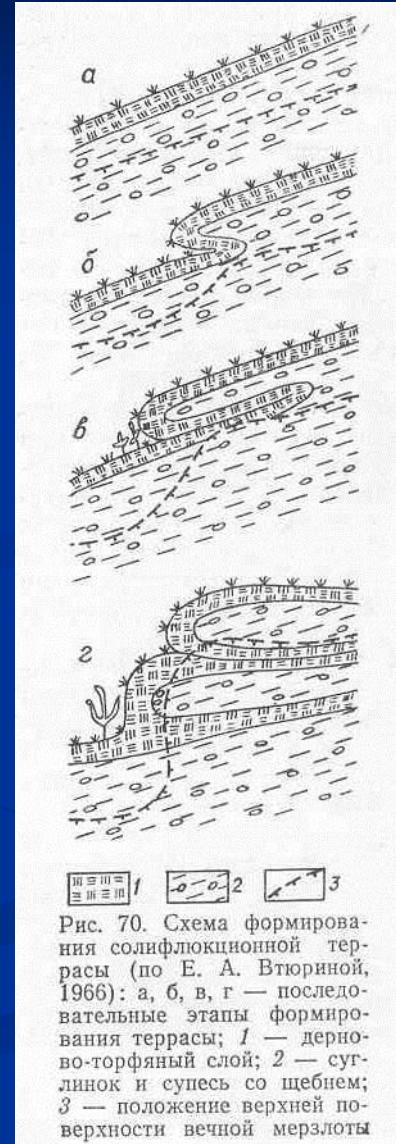


Рис. 70. Схема формирования солифлюкционной террасы (по Е. А. Втиориной, 1966): а, б, в, г — последовательные этапы формирования террасы; 1 — дерново-торфяной слой; 2 — суглинок и супесь со щебнем; 3 — положение верхней поверхности вечной мерзлоты



Термоэрозия





Термоабразия

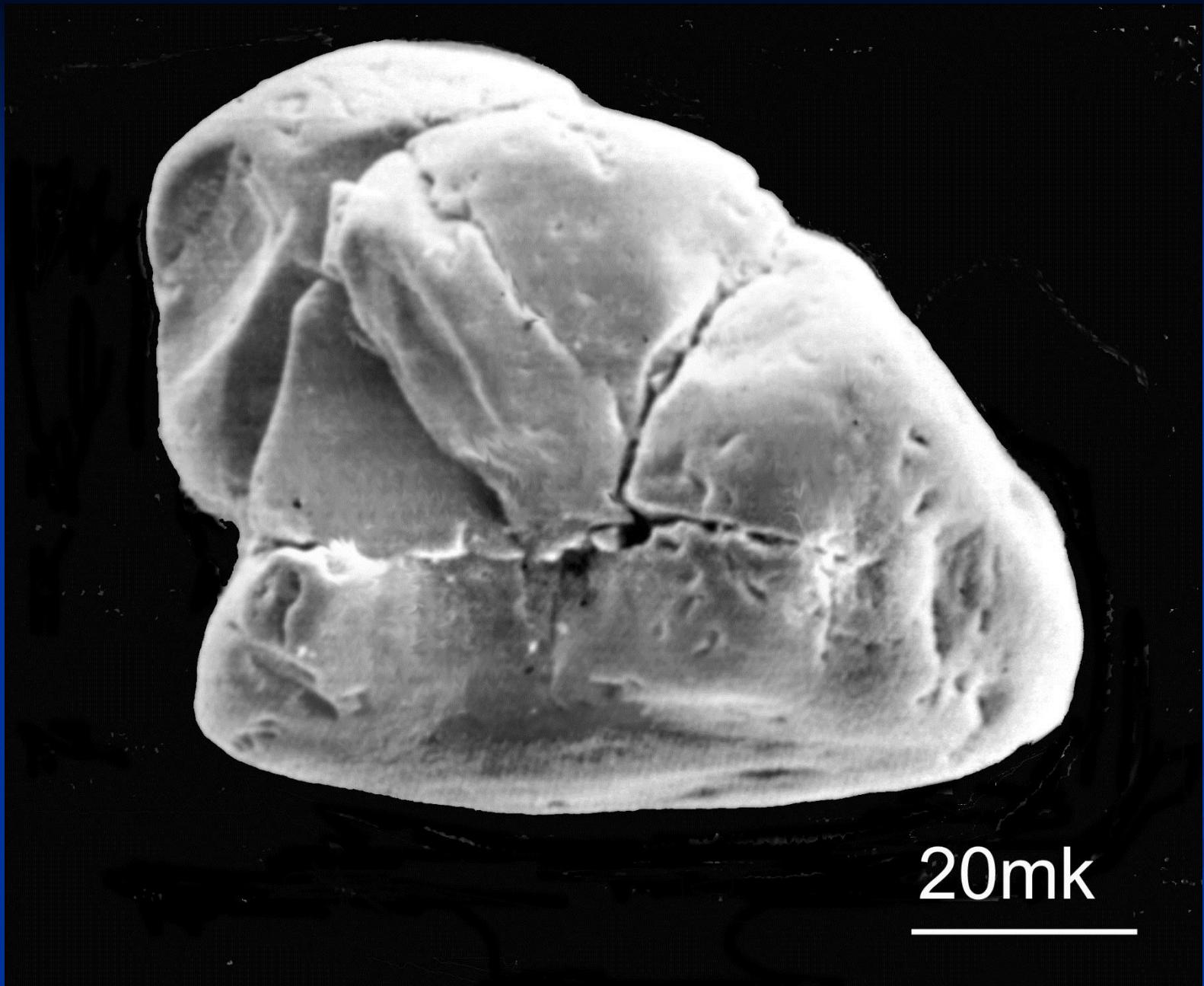


Криогенные процессы

Процессы, формирующиеся под влиянием
круглогодичных условий теплообмена

*Криогенное выветривание, выпучивание,
криогенная десерпция, морозная
сортировка*





Морозное разрушение и диспергирование конструкционных материалов



Морозная сортировка







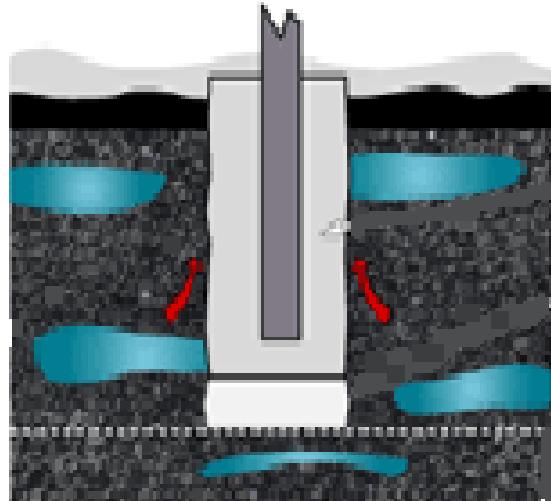


Выпучивание

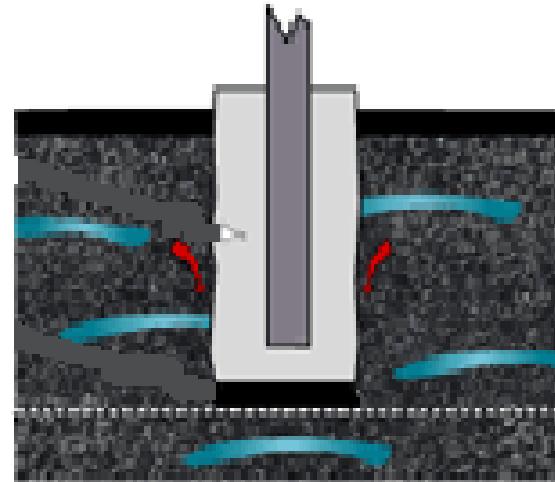


Goroda - Prizraki. Narod. Ru





Зима



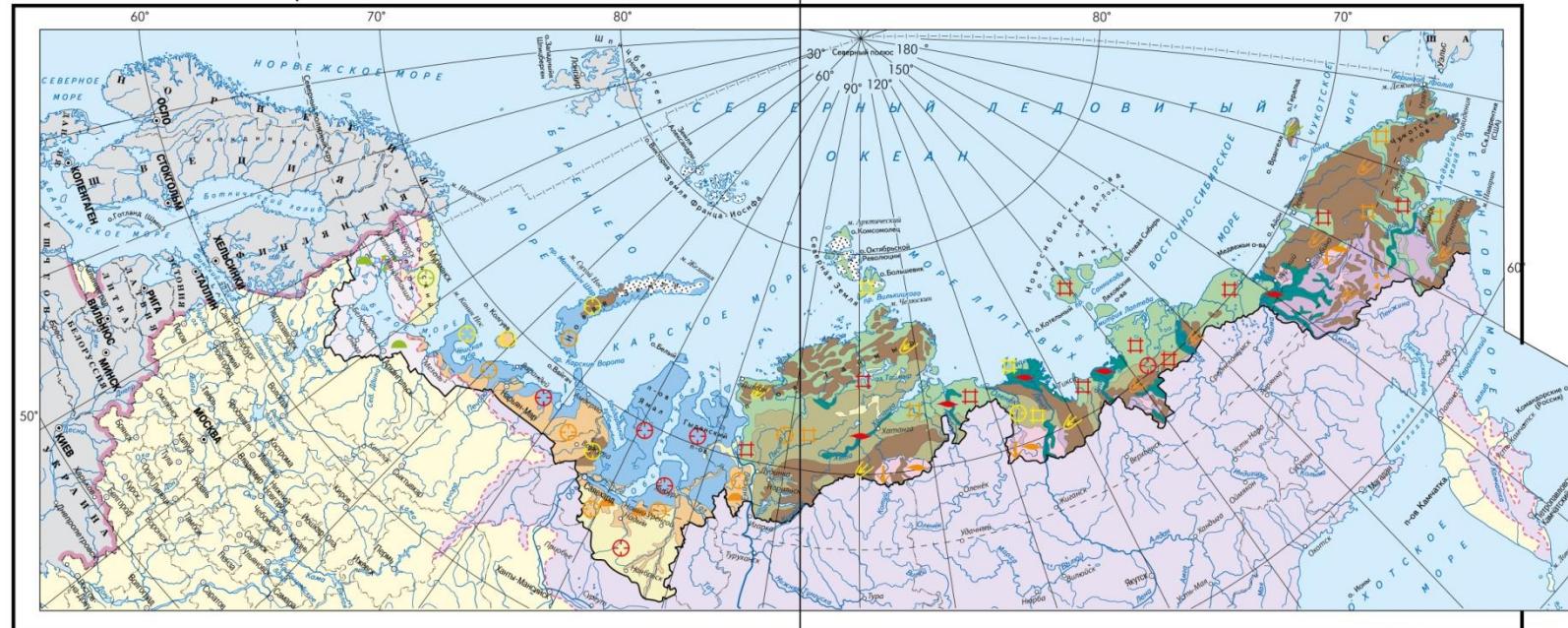
Лето



15 7 2005

МЕРЗЛОТНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Масштаб 1:20 000 000



Сочетания процессов	Основные мерзлотные процессы						
	термокарст	термозрзия	термоабразия	морозобойное растрескивание	пучение	наледеобразование	солифлюкция
Синий	x	x	x			x	
Зеленый	x	x	x	x		x	
Оранжевый	x	x			x		x
Белый	x	x			x		x
Сине-зеленый	x			x	x		x
Бордовый	x	x			x	x	x
Розовый	x	x			x	x	x
Белый				x			

Активизация мерзлотных процессов при хозяйственном освоении

- Слабая
 - Умеренная
 - Средняя
 - Сильная
- Граница вечной мерзлоты
- Многолетнемерзлые породы за пределами Российской Арктики



Полигонально-жильный рельеф Северной Якутии



Термокарстовое озеро и термозерновая промоина на центральном Ямале



Платно-медальон с каменным бордюром



Буро-пучевые и термокарстовые озера на Европейском Севере

- Атлас «Российская Арктика в XXI веке: природные условия и риски освоения», 2013.

КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ – ИНДИКАТОРЫ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ

Экологически опасные криогенные процессы:

Термокарст – на севере криолитозоны, особенно на льдистых породах

Термоэрзия – самые большие скорости развития

Термоабразия

Пучение – на юге криолитозоны

Наледообразование – на востоке криолитозоны

Сплывы – на склонах от 3 до 25°.

Солифлюкция – не является опасным процессом, несущим большие материальные потери

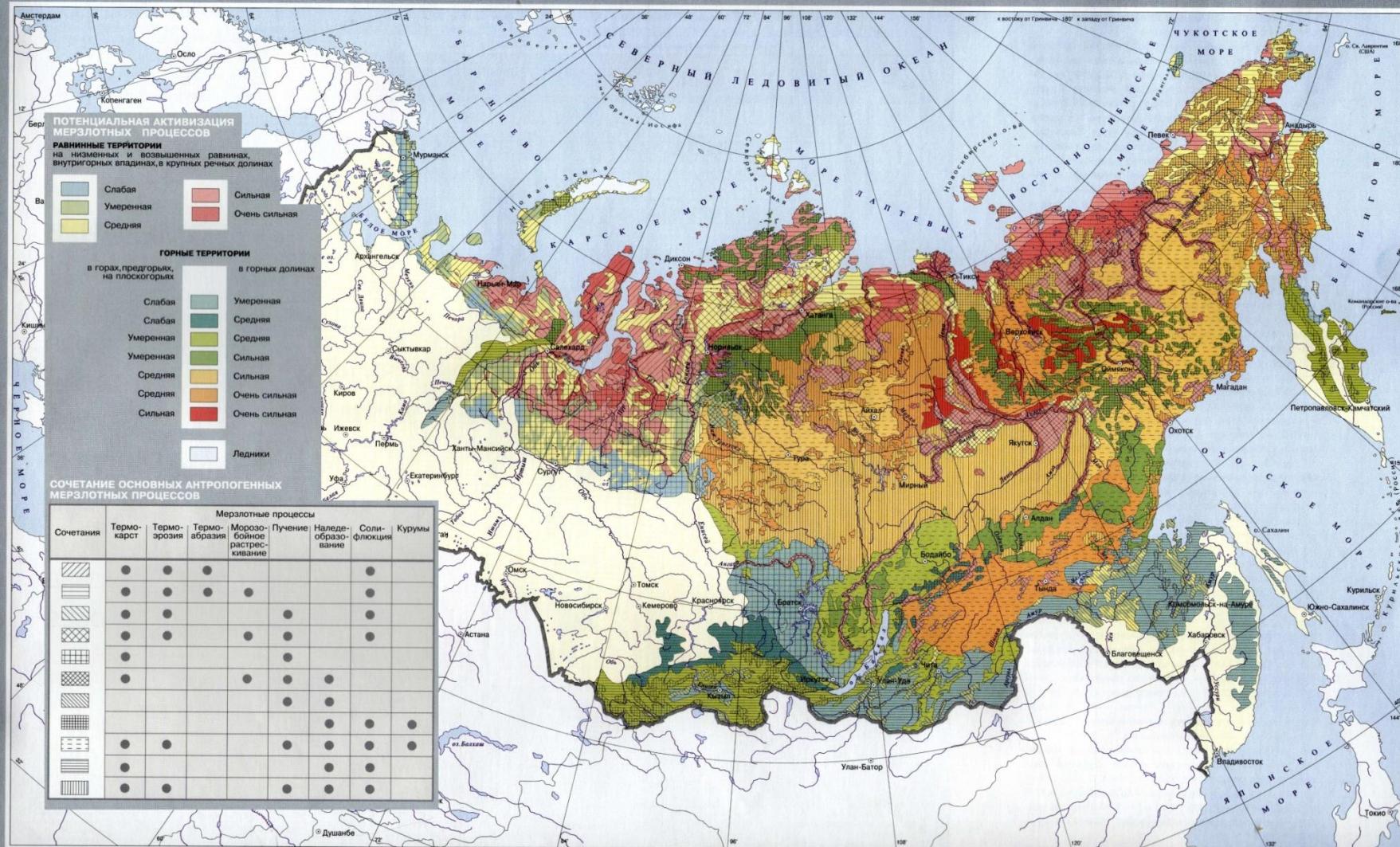
**Морозобойное –
растрескивание** – почти повсеместно, но опасно в основном для дорожных покрытий

**Криогенное –
выветривание** – опасно для опор фундаментов зданий

АКТИВИЗАЦИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ПРОЦЕССОВ при механических воздействиях

Авторы: Н.В. Тумель, Н.А. Королёва, А.В. Востокова. Редактор А.В. Востокова

51



ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ АКТИВИЗАЦИЯ МЕРЗЛОТНЫХ ПРОЦЕССОВ

РАВНИННЫЕ ТЕРРИТОРИИ

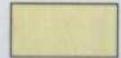
на низменных и возвышенных равнинах,
внутригорных впадинах, в крупных речных долинах



Слабая



Умеренная



Средняя



Сильная



Очень сильная

ГОРНЫЕ ТЕРРИТОРИИ

в горах, предгорьях,
на плоскогорьях



Слабая



Слабая



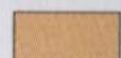
Умеренная



Умеренная



Средняя



Средняя



Сильная

в горных долинах

Умеренная

Средняя

Средняя

Сильная

Сильная

Очень сильная

Очень сильная

Ледники

Фрагмент легенды
к карте

СОЧЕТАНИЕ ОСНОВНЫХ АНТРОПОГЕННЫХ МЕРЗЛОТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Сочетания	Мерзлотные процессы							
	Термо-карст	Термо-эрзия	Термо-абразия	Морозо-бойное растрескивание	Пучение	Наледе-образование	Соли-флюкция	Курумы
Новая Земля, Европ Север, Ямал, Гыдан прибрежные равнины восточнее Енисея внутренние равнины Европ.Сев. Северо-Сиб. низм., лесотундр.С-В Сиб. Сев. Тайга Зап. Сибири, Кольский равн., внутр. впад.сев. и ср. т. Вост.Сиб. Болота ДВ, внутр. впад.(Горы юга)	▨	▨	▨				▨	
	▨	▨	▨	▨			▨	
	▨	▨			▨		▨	
	▨	▨		▨	▨		▨	
	▨				▨			
	▨			▨	▨	▨		
	▨				▨	▨		
высокогорья (Урал, Камч., Средн., Вост. Сиб.) средне- и низкогорья Средн., Вост. Сиб) Горы юга, Урал, Камч. возв. равн.Средн. И Вост.Сиб.	▨					▨	▨	▨
	▨	▨			▨	▨	▨	▨
	▨					▨	▨	
	▨	▨			▨	▨	▨	

Потенциальная активизация криогенных процессов

Степень активизации	Балл	Местоположение	Причины
Очень сильная	5	Ямал	высокое льдосодержание + ПЖЛ и ПЛ
		северная тайга Западной Сибири	сильнольдистые торфяники, t ММП около 0°, мощный торф.-мох. покров
		приморские низменности Якутии	большое количество мощных сингенетических льдов (общ. объем. льдистость 60-80%)
Сильная	4	Западная Сибирь гляц.-мор. генезис	тонкозернистый субстрат, $W = 0.2-0.4$
		приморские низменности, арктич. тундра	льдистость высокая, но протекторная роль растительности слабая, очень низкие t
Средняя	3	Лено-Вилуйское плато, сред. тайга	ПЖЛ, высокая протекторная роль растительности
		зап. сектор кр/з, Таймыр	более выс. t пород; эпигенетически промерзшие гляц.-мор. и ледн. дренир. ландшафты, либо менее льдистые песчаные алл.-морские ландшафты
Умеренная	2	северная тайга Западной Сибири и Европейский Север	сокращение площади массивно-островной мерзлоты, малое льдосодержание песчаных и грубоскелетных рыхлых отложений
Слабая	1	средняя тайга Западной Сибири	редкоостровная мерзлота, песчаный субстрат, быстрое самовосстановление растительности

Площади нарушенных земель Российской Севера, тыс. кв. км

С Т Р А Т Е Г И Я
развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения
национальной безопасности
на период до 2035 года (документ подписан В.В. Путиным в 2020 г.)

1. Признание Арктики как региона международного значения, его важности для планетарных климатических и иных природных процессов.
2. Признание стратегического значения Арктики, уникальности и уязвимости ее природы.
3. Приоритет федерального законодательства и повышенная роль федеральных органов власти в управлении природными ресурсами, природопользованием и социально-экономической сферой.
4. Диверсификация природопользования. Пагубность сложившейся структуры природопользования, ориентированной только на эксплуатацию ресурсов ископаемого сырья. Одно из направлений – рекреационное использование.
5. Особый более жесткий режим природопользования, строгие нормативы, ограничение наиболее опасных видов деятельности. Введение экологических ограничений и приоритетов.
6. Особый статус малочисленных народов Севера, их традиционной экономики и культуры.
7. Особо охраняемые территории – биосферный каркас территории.

Свойства мерзлых грунтов

Мерзлые грунты являются уникальной природной физико–химической системой, характеризующейся многофазностью и многокомпонентностью. Это выражается в том, что в сцепментированных льдом мерзлых грунтах присутствуют три фазы, представленные:

- 1. твердая, состоящая из минерального или органо–минерального скелета, представленного частицами горных пород и минералов, а также органическим веществом, льда и криогидратных минералов, кристаллизующихся при отрицательных температурах.**
- 2. жидкая, представленная незамерзшей при данной температуре водой и водными растворами.**
- 3. газообразная, состоящая из паров воды и других газов, содержащихся в пустотах, а также газов, растворенных в воде.**

Скелет мерзлых грунтов

- *Первичные породы и минералы*
- *Вторичные нерастворимые в воде минералы (глинистые минералы)*
- *Вторичные растворимые в воде минералы*
 - Аед
- *Газовые гидраты*
- *Незамерзшая вода*
- *Газы*

Гранулометрический состав

Средний диаметр

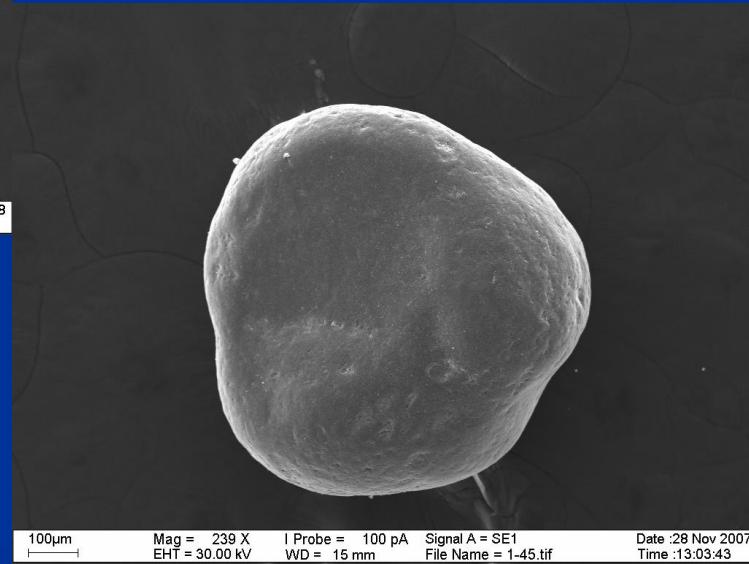
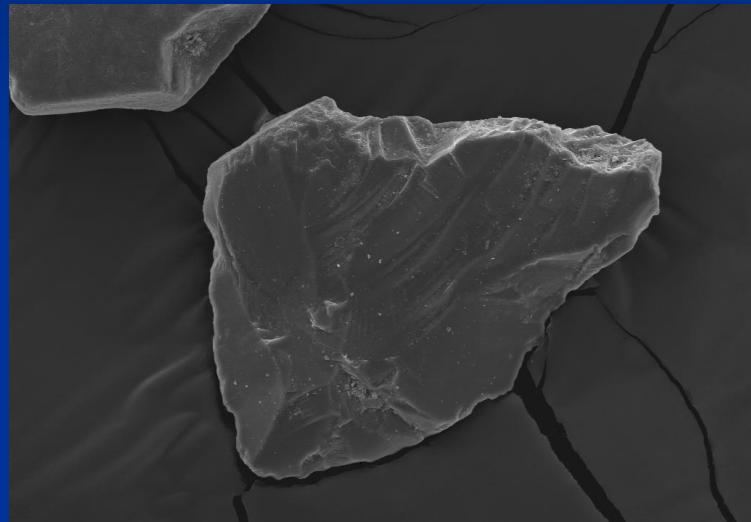
$$d_{cp} = \frac{\sum_{n=1}^m d_i P_i}{100}$$

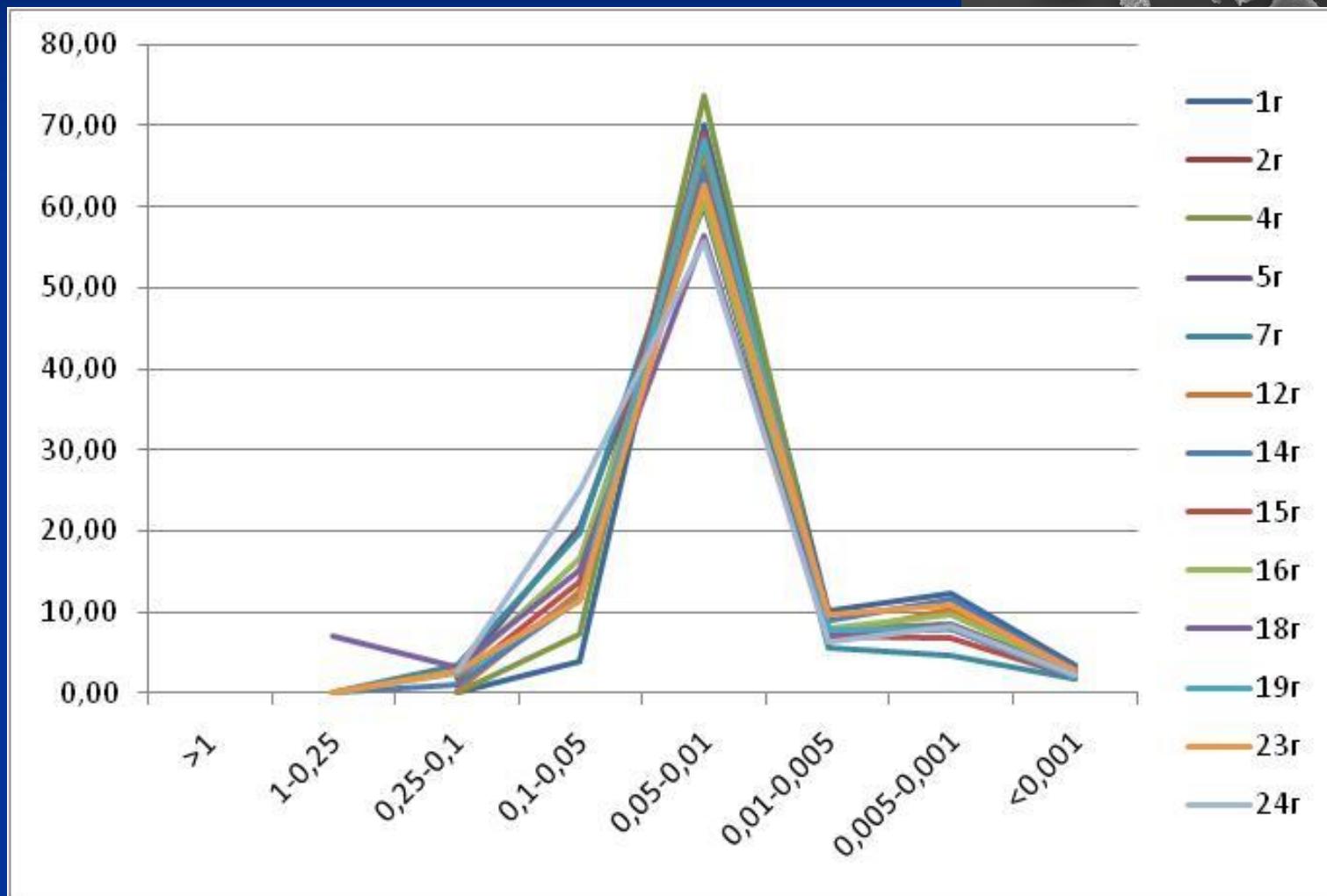
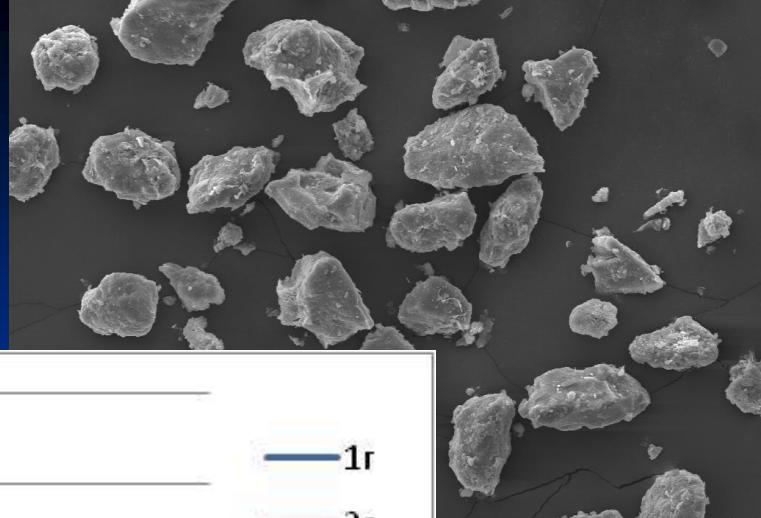
- Где размер частиц в i -й фракции , P_i – содержание частиц в i -й фракции в долях единицы;

Энтропия

$$H_r = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i}{\ln n}$$

- где P_i – содержание частиц в i -й фракции в долях единицы; n – число фракций т. е. дробность анализа. Если $H_r=0$, то грунт идеально сортирован, т. е. все частицы сосредоточены в одной фракции. Если же $H_r=1$, то он абсолютно несортирован.



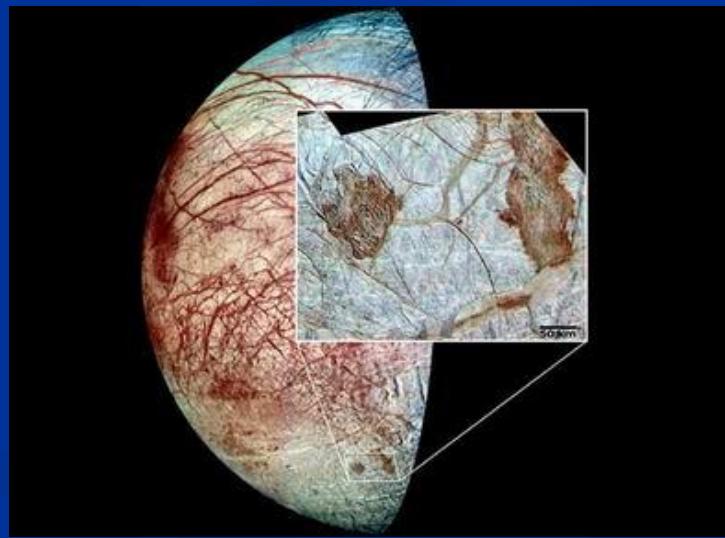
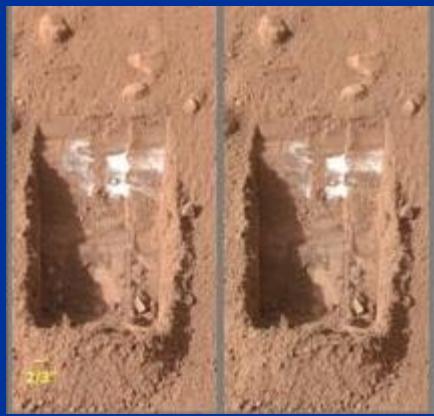
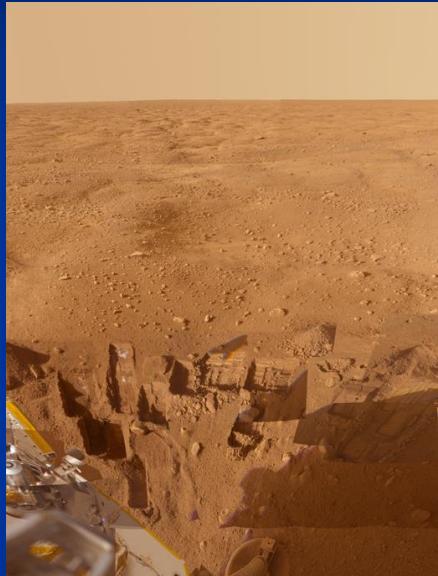


Плотность мерзлого грунта

- Под плотностью мерзлого грунта понимают массу единицы объема в ненарушенном сложении. Различают плотность грунта естественного сложения и влажности $\gamma_{\text{МГ}}$ (г/см³) и объемную массу скелета $\gamma_{\text{С}}$, равную отношению массы твердой компоненты (частиц скелета) к первоначальному объему грунта в мерзлом состоянии. Между ними есть следующее соотношение:

$$\blacksquare \quad \gamma_{\text{С}} = \gamma_{\text{МГ}} / (1 + W_{\text{С}})$$





Свойства льда

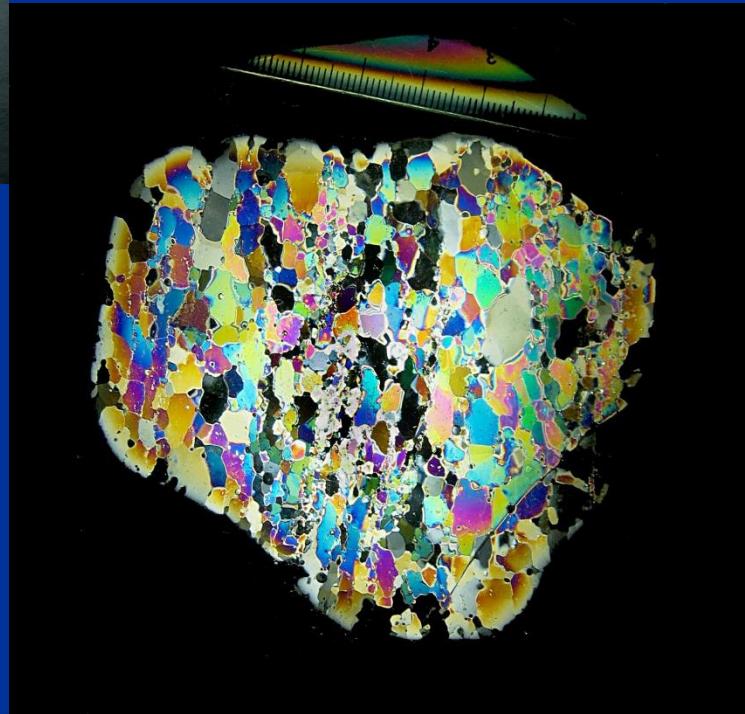
- **Термические свойства.** Теплопроводность льда при 0° С составляет **2,22 Вт / (м* Ко)**, что в четыре раза больше чем теплопроводность чистой воды, причем с понижением температуры она понижается. Следует также отметить, что теплопроводность вдоль С–оси на 5% больше, чем в направлении базальной плоскости. Теплоемкость льда равна **37,7 Дж/ (моль*Ко)** и с понижением температуры она понижается. Теплопроводность и теплоемкость льда в значительной степени зависит от пористости и содержания примесей. Темплота плавления (кристаллизации) равна при 0° С **(333, 5 КДж / кг)**. Лед также способен к возгонке (сублимации) и обратному явлению – аблимации; при этом затрачивается или, соответственно, выделяется **2838 кДж/ кг** тепла.

- **Оптические свойства.** Лед хорошо рассеивает дневной свет и в чистых массивах имеет голубой цвет, а при наличии большого количества воздушных пузырьков – белый. Кристаллы льда оптически анизотропны и в соответствии с кристаллографией у него имеется лишь одна оптическая ось, совпадающая с кристаллографической осью. Для льда, являющегося оптически положительным кристаллом, характерен самый низкий показатель преломления из всех известных минералов и низкое двулучепреломление (N_e – $N_g = 0,0014$), что позволяет хорошо наблюдать структуру льда в тонких пластинах в поляризованном свете.

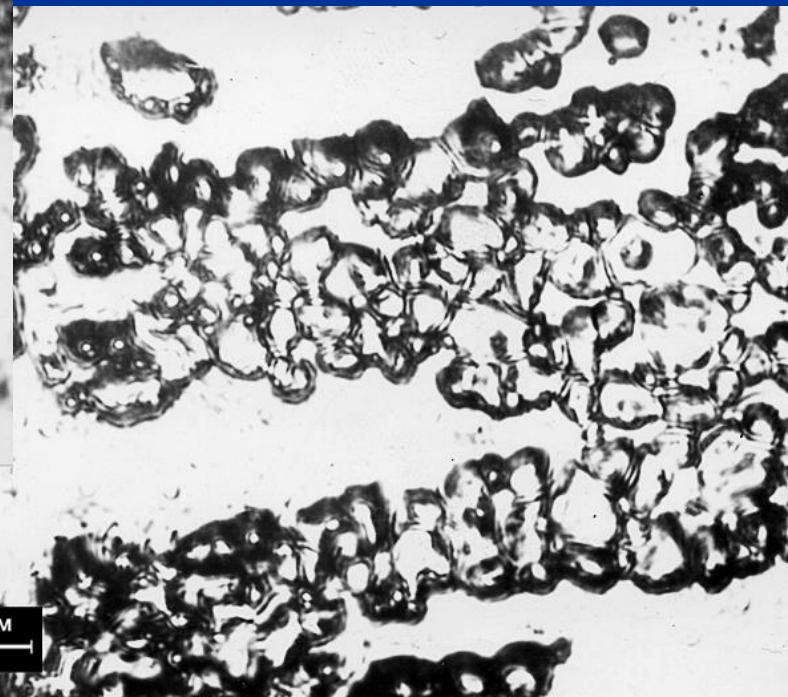
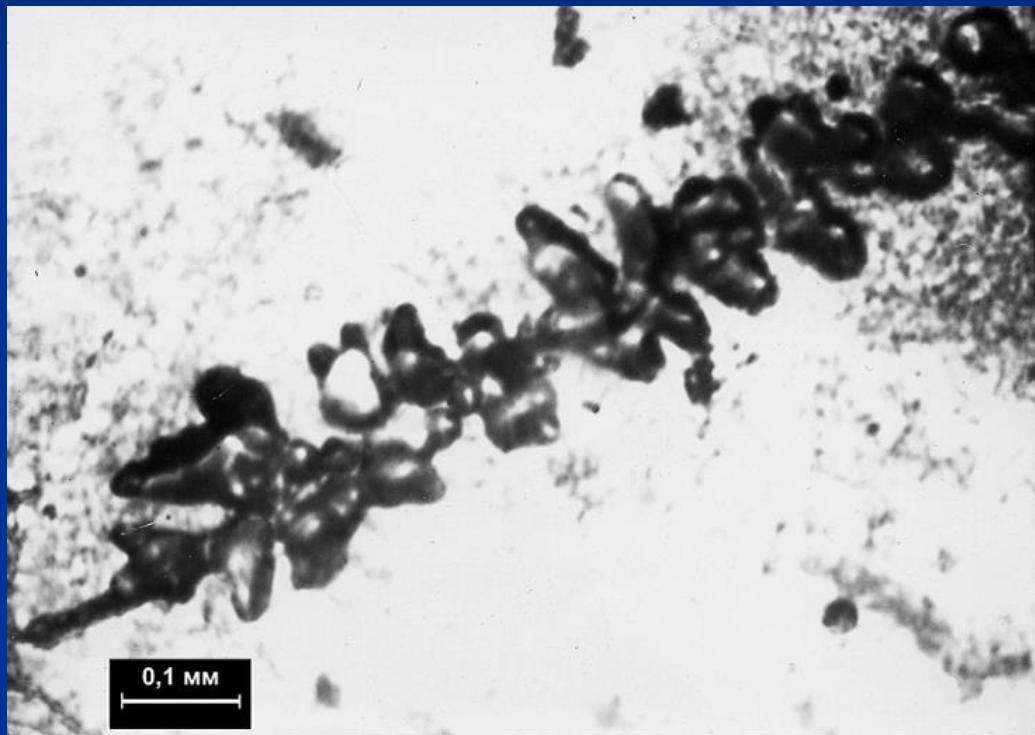
- **Механические свойства.** Под действием внешних сил лед может проявлять как упругие и хрупкие, так и пластические свойства. Проявление их определяется продолжительностью и величиной напряжений, скоростью их нарастания и температурой льда. При скорости приложения нагрузки более 0,05 МПа/ сек и напряжении менее 0,1 МПа лед ведет себя как упругое тело, а при более длительных нагрузках обладает текучестью, которая определяется вязкостью льда, значение которой в зависимости от температуры, характера деформирования и скорости нагрузки колеблется в значительных пределах (коэффиц. вязкости 109 – 1015 Па*сек). За величину предела текучести принимается 0,1 МПа, но фактически текучесть наблюдается и при меньших напряжениях. На механических свойствах льда также сильно сказывается его анизотропия: так, нагрузка вдоль базисной плоскости вызывает в два раза большую скорость деформирования, чем вдоль главной кристаллографической оси.

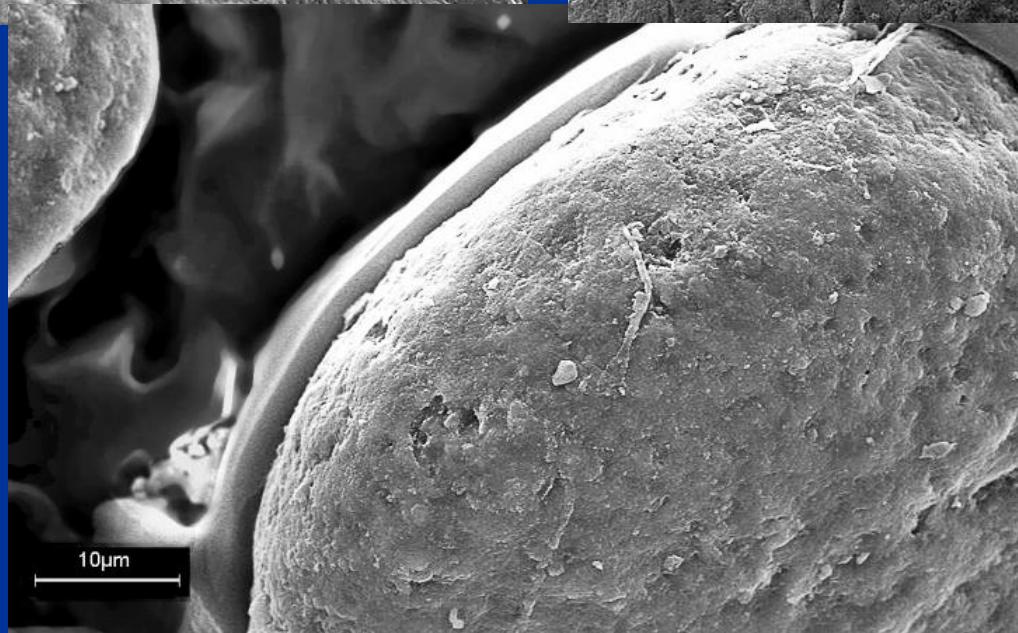
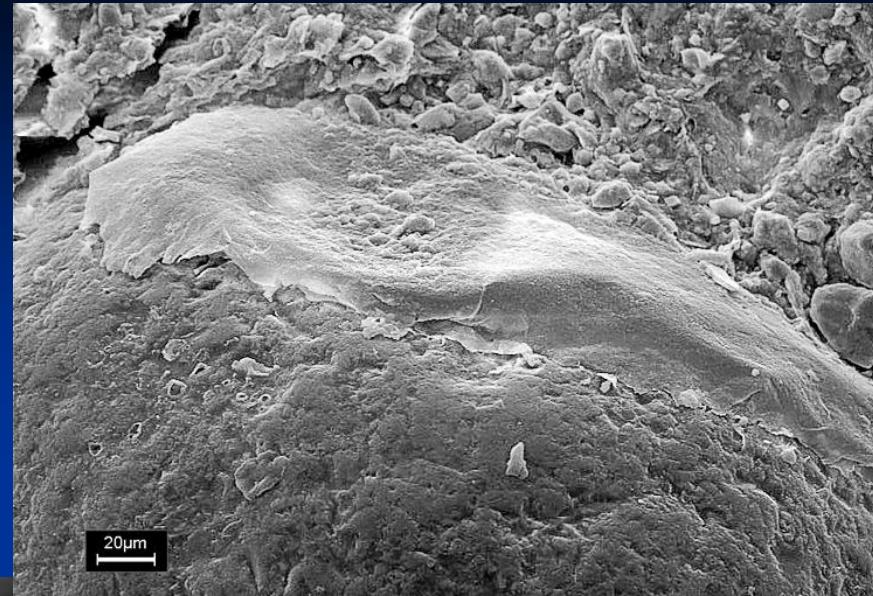
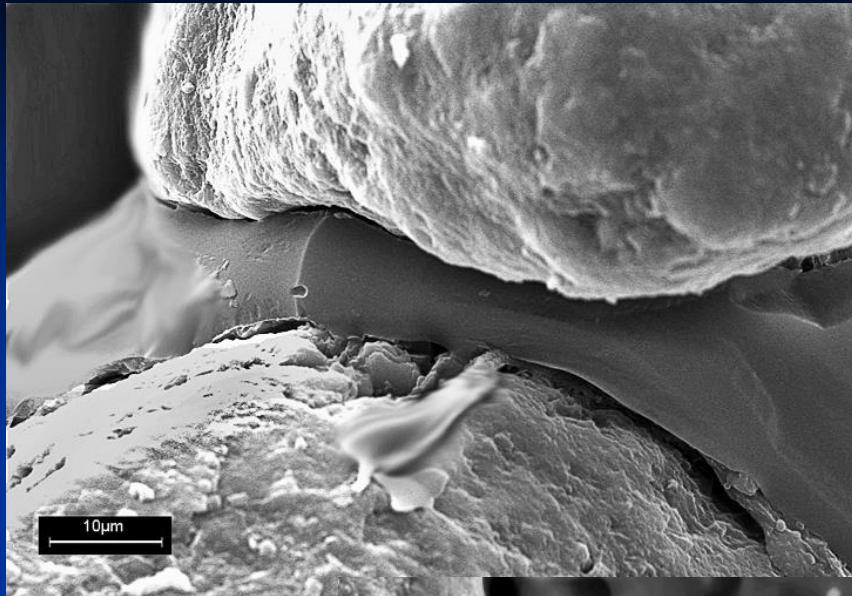
Текстура и структура

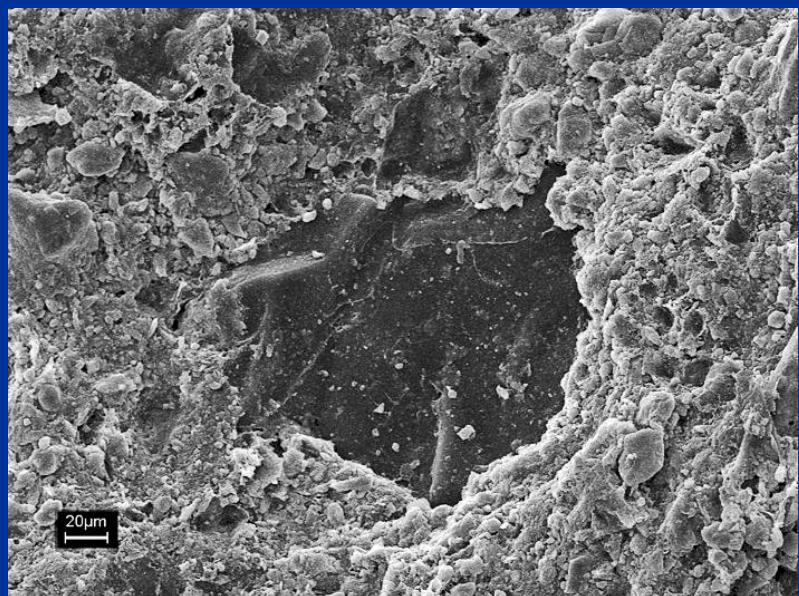
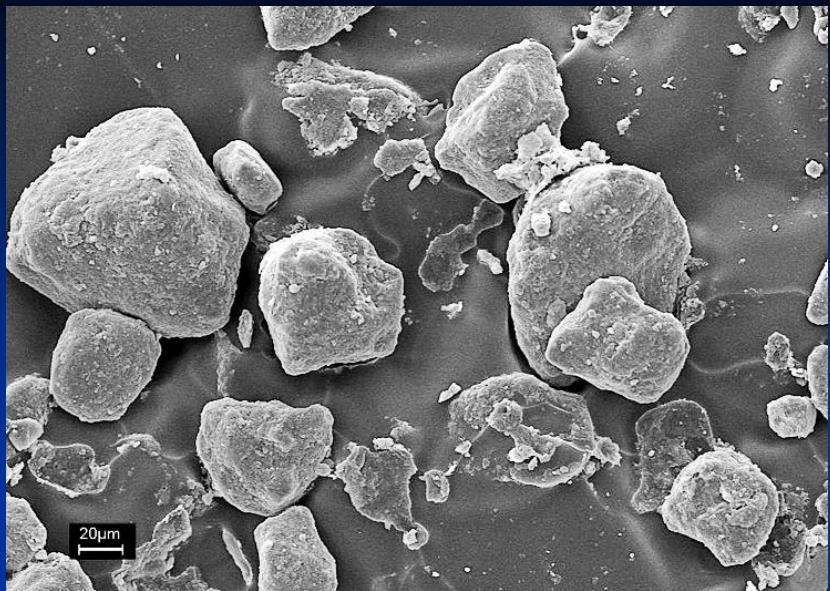
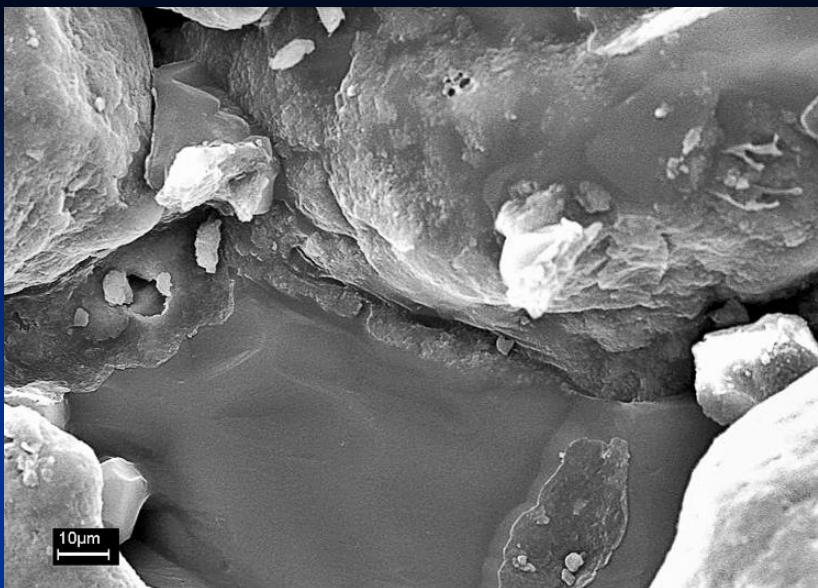
льда



Лед-цемент







Лед-цемент

Льдистость мерзлого грунта

■ Под льдистостью мерзлого грунта понимают отношение объема (или веса) содержащегося в нем льда к объему (или весу) этого грунта. Значение льдистости выражают в долях единицы или процентах. Суммарная льдистость мерзлого грунта складывается из льдистости за счет льда-включений и льда-цемента:

$$\blacksquare \quad \Lambda_c = \Lambda_{вкл} + \Lambda_{л.ц}$$

■ Суммарную льдистость малольдистых пород можно определить по формуле Н.А. Цыговича, зная влажность грунта и его плотность:

$$\blacksquare \quad \Lambda_c = \gamma_{mg} (W_c - W_{Hv}) / (0,91 * (1 + W_c))$$

Вода

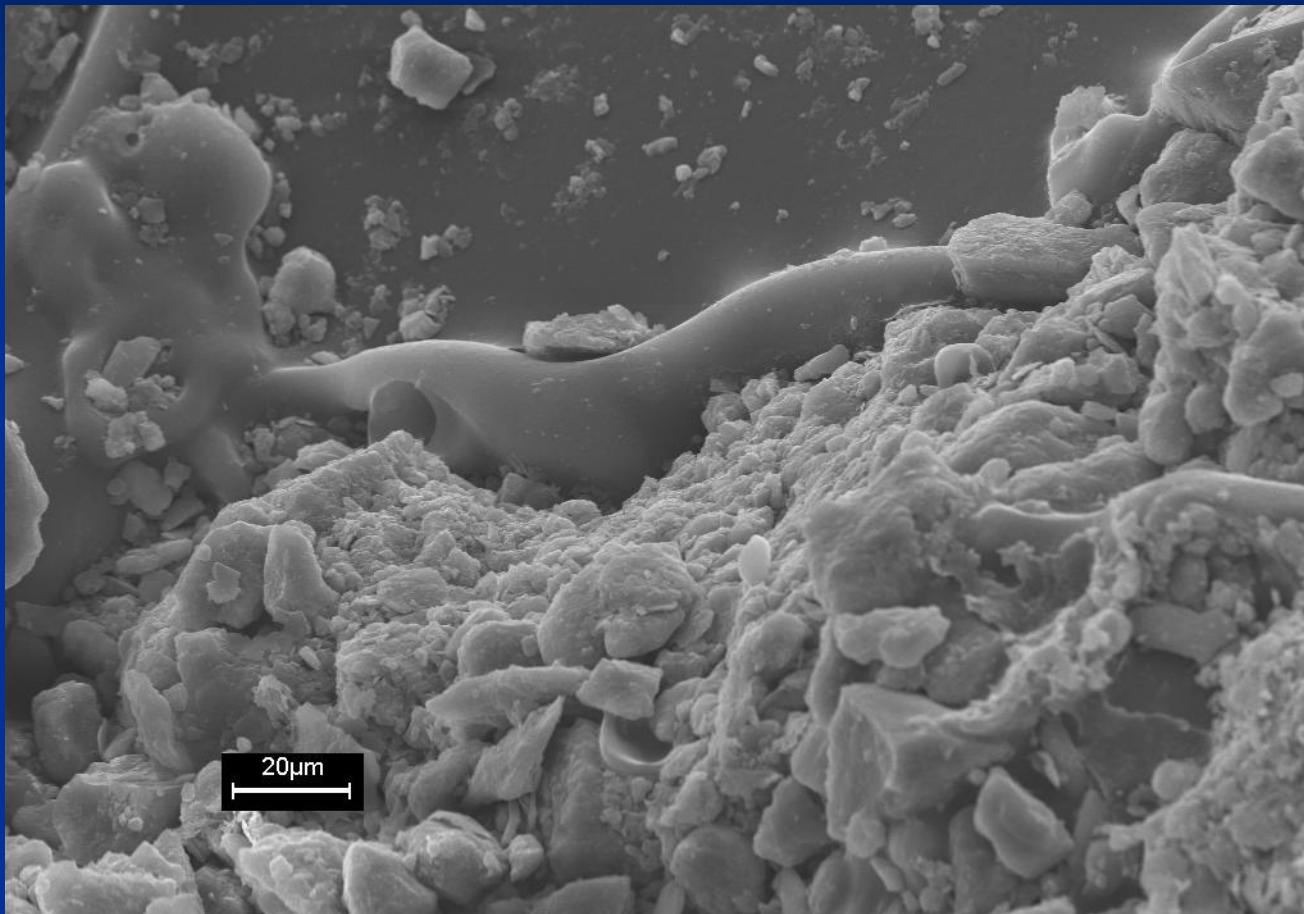
Влажность мерзлого грунта

■ Под влажностью грунтов понимают содержание в нем воды, удаляемое при его высушивании до постоянного веса. В расчетах и оценках грунтов чаще всего используют так называемую абсолютную влажность, рассчитываемую как отношение веса всех категорий воды в грунте к весу сухого грунта в долях единицы или процентах.

$$■ W_c = P_{\text{воды}} / P_{\text{сух.грунта}}$$

■ Измерение влажности мерзлого грунта осложняется неравномерным распределением льда. Можно измерять влажность только за счет видимых включений льда, или только влажность участков без них. Полная или суммарная влажность мерзлого грунта складывается из содержания влаги в участках грунта массивной текстуры, льда включений и незамерзшей воды:

$$■ W_c = W_{\text{л.ц}} + W_{\text{л.вкл}} + W_{\text{н.в.}}$$



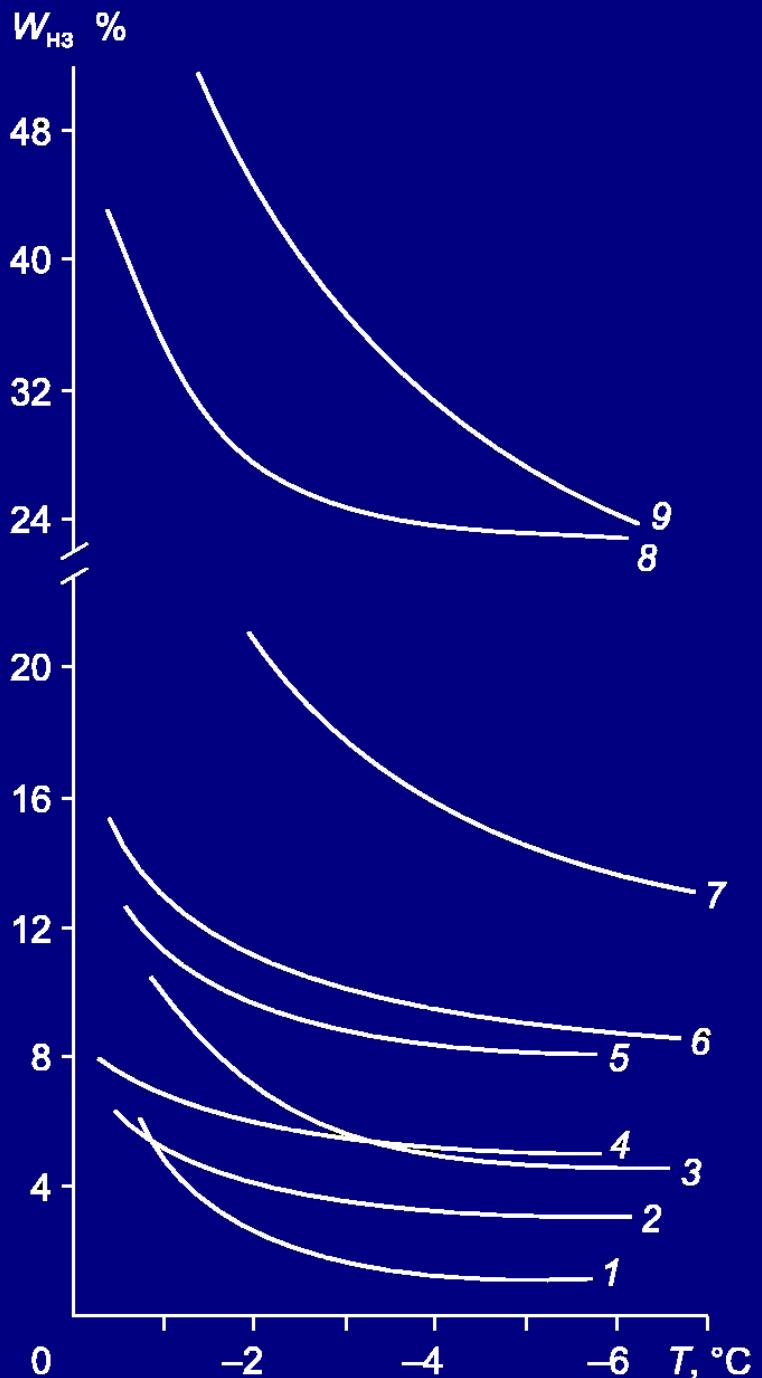
20μm

Mag = 1.45 K X
EHT = 30.00 kV

I Probe = 100 pA
WD = 15 mm

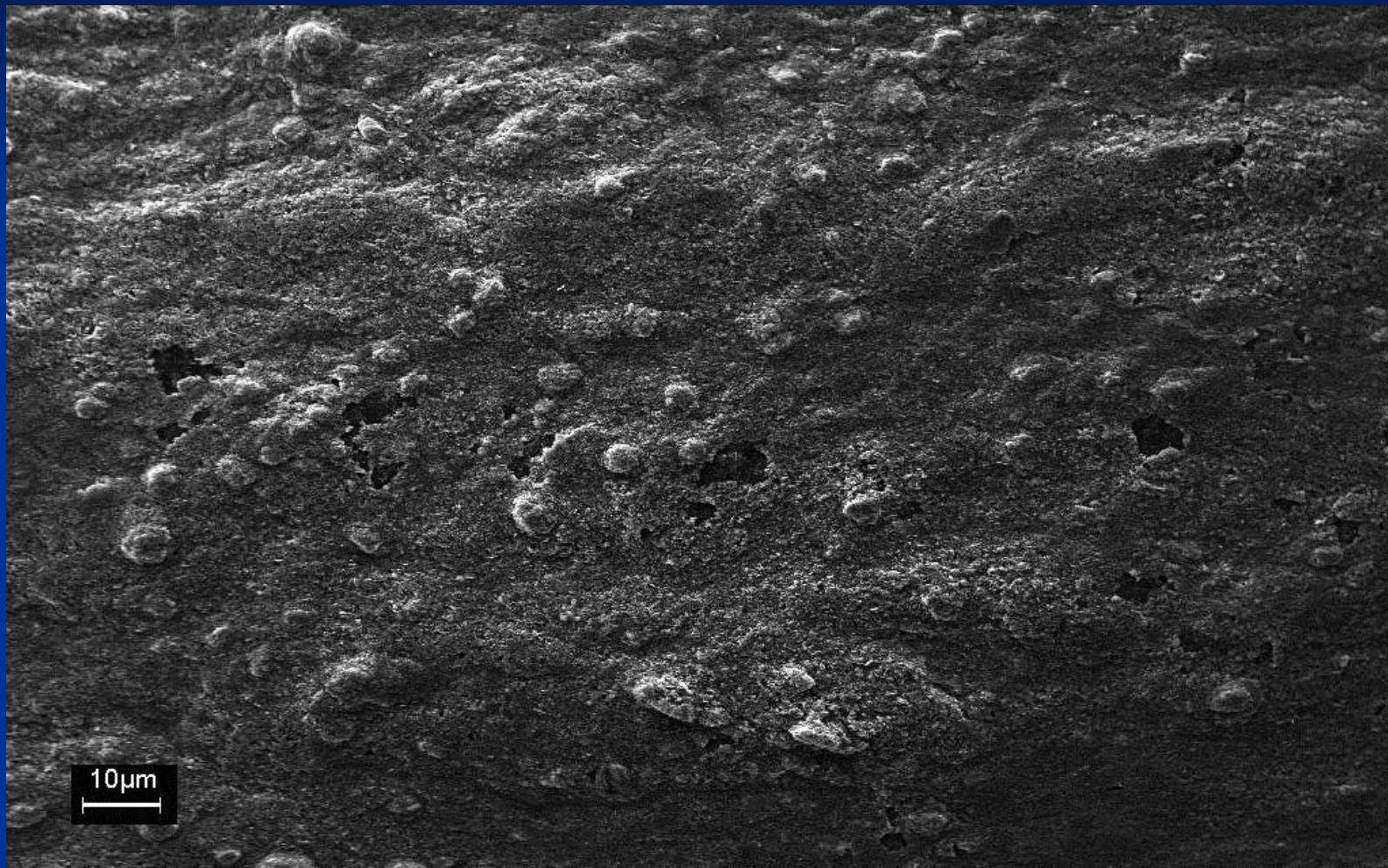
Signal A = SE1
File Name = 1-38.tif

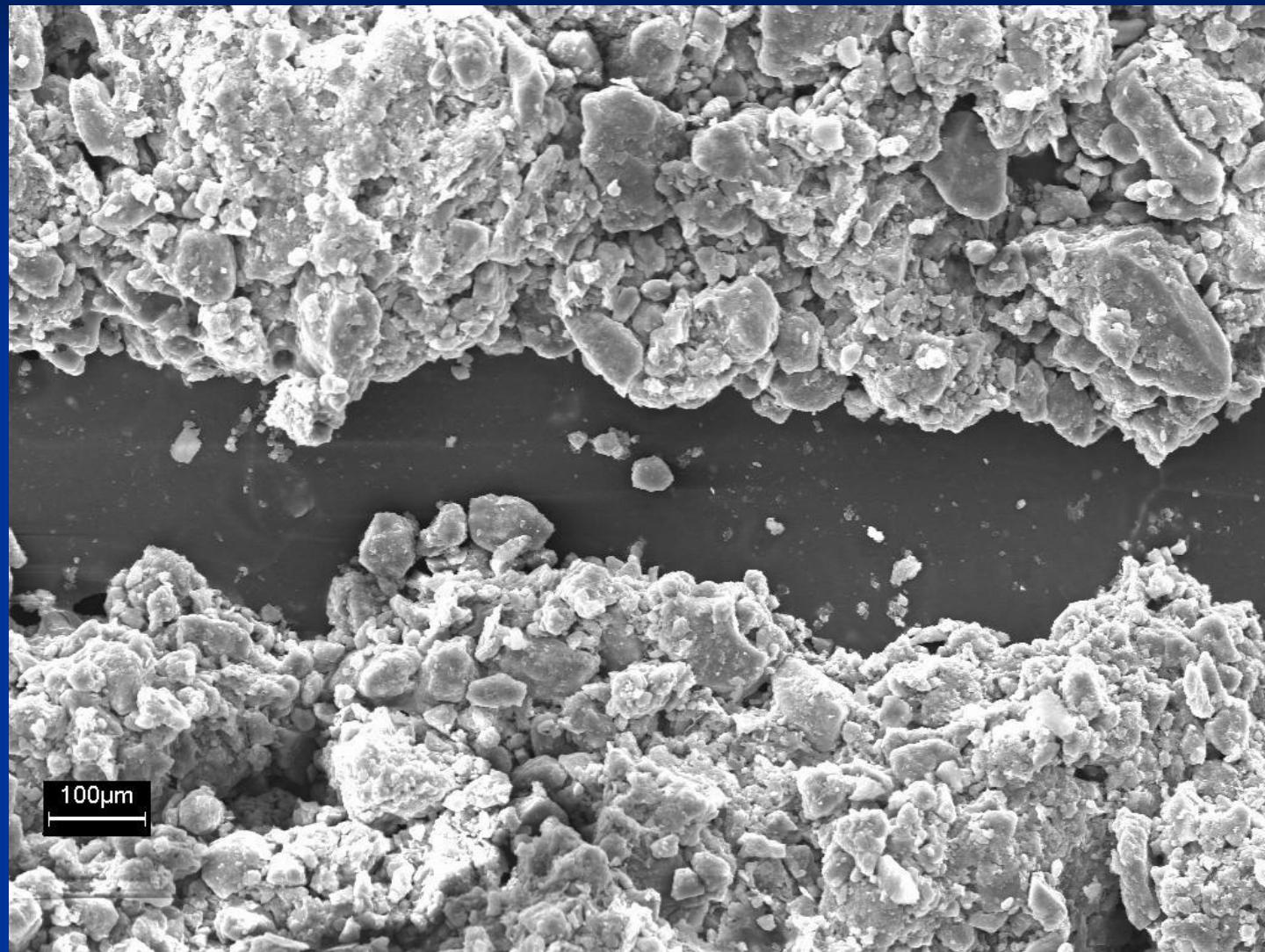
Date :20 Sep 2007
Time :15:19:11



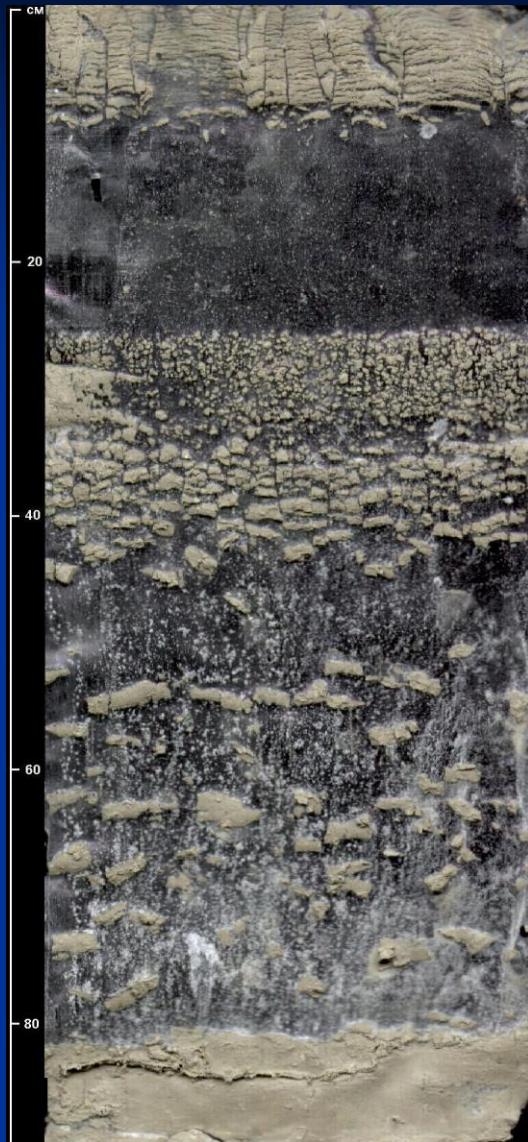
- Зависимость содержания незамерзшей воды от температуры в грунтах различного генезиса:
- 1 – делювиальная супесь; 2 – гляциально-морская супесь; 3 – аллювиальная супесь; 4 – ледниковая супесь; 5 – гляциально-морской суглинок; 6 – аллювиальный суглинок; 7 – морская глина; 8 – торф слаборазложившийся; 9 – торф сильноразложившийся.

- Миграция воды к фронту промерзания
- Формирование сегрегационного льда









Теплопроводность

- *Теплопроводность* характеризуется коэффициентом, который численно равен потоку тепла, проходящего через единицу площади грунта в единицу времени при температурном градиенте, равном единице; принятая размерность – $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

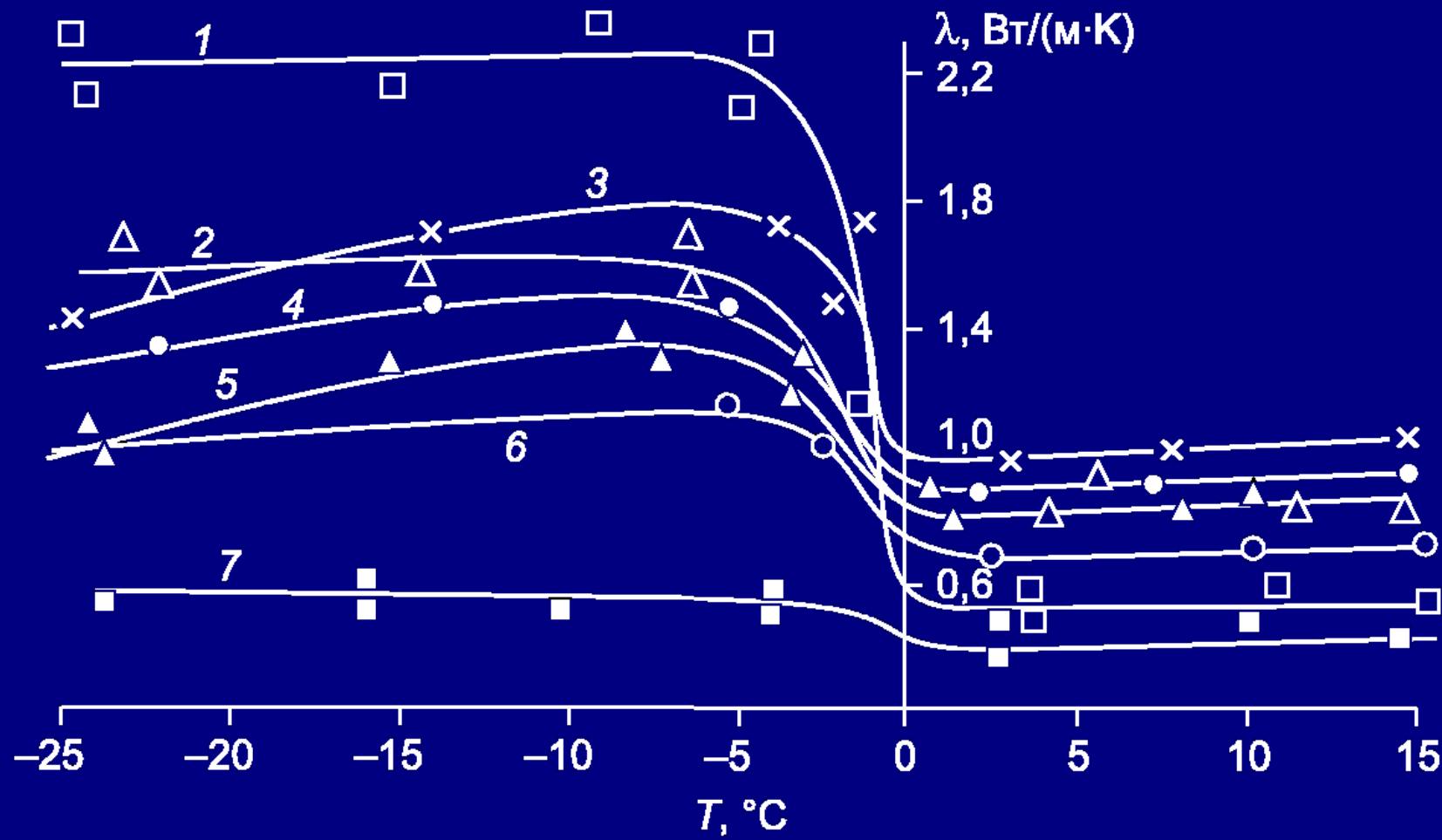
Теплопроводность зависит от:

- Гранулометрического состава
- Минералогического состава
- Плотности грунтов
- Влажности грунтов
- Органических включений
- Криогенное строение грунтов
- Температурного состояния грунтов

Состояние Грунты	Воздушно-сухое	Влагонасы- щенное немерзлое	Льдонасы- щенное мерзлое
Крупнообломочные грунты	0,23-0,35	1,1-2,1	1,4 -3,1
Пески	0,3 -0,35	1,7 – 2,6	1,5 – 3, 1
Лессовидные суглинки	0,19 – 0,22	0,6 – 1,0	1,2 – 1,6
Глины	0,8 – 1,0	1,2 – 1,4	1,4 – 1,8
Торф	0,012 – 0,14	0,5 – 0,7	1,1 – 1,3

Теплопроводность (Вт/м⁰К) грунтов различного состава и состояния (по Чевереву, 2004)

**Теплопроводность мерзлого грунта значительно выше
немерзлых**



Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры дисперсных грунтов различного генезиса и возраста :

1 – супесь легкая пылеватая (мIII3-4, $\rho = 1,0$ г/см³, $W = 19,1\%$); 2 – суглинок средний пылеватый (гIV, $\rho = 1,5$ г/см³, $W = 29,0\%$); 3 – супесь легкая (гIII3, $\rho = 1,64$ г/см³, $W = 18,3\%$); 4 – суглинок легкий пылеватый (мIV, $\rho = 1,62$ г/см³, $W = 16,8\%$); 5 – глина (едIII, $\rho = 1,32$ г/см³, $W = 30,7\%$); 6 – глина (мIII, $\rho = 1,41$ г/см³, $W = 21,6\%$); 7 – глина (мIII2-3, $\rho = 1,45$ г/см³, $W = 13,1\%$).

Теплоемкость

- *Теплоемкость* - величина, численно равная количеству тепла, которое необходимо придать телу (единице объема или массы) для его нагревания на 1 °C.
- Различают объемную теплоемкость ($C_{об}$, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$) и удельную теплоемкость ($C_{уд}$, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$).

Теплоемкость зависит от:

- Гранулометрического состава
- Минералогического состава
- Плотности грунтов
- Влажности грунтов
- Органических включений
- Криогенное строение грунтов
- Температурного состояния грунтов

Теплоемкость

Состояние Грунты	Воздушно-сухое	Влагонасы- щенное немерзлое	Льдонасы- щенное мерзлое
Крупнообломочные грунты	1,0 -1,9	2,3 - 3,2	1,8 - 2,3
Пески	1,2 – 1,3	1, 8 - 3,2	1,7 – 2,2
Лессовидные суглинки	1,2 - 1,5	3,0 – 3,5	2,0 – 2,2
Глины	1,4 – 2,2	2,8 – 3,3	2,0 – 2,5
Торф	0,10 – 0,15	2,4 -3,6	1,6 – 2,7

Теплоемкость (Дж/(м³ 0К) грунтов различного
состава и состояния (по Чевереву, 2004)

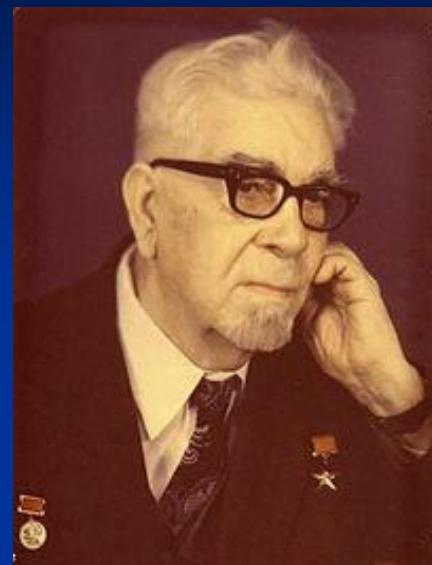
Теплоемкость мерзлого грунта ниже немерзлого

Механические свойства мерзлых грунтов

- По механическим свойствам мерзлые грунты можно отнести к упруго-вязко-пластическим материалам

Зависимость прочностных свойств от температуры

Грунт	Температура	Сопротивление сжатию кГ/см ²
Песок	-1,8	62
	-6	99
	-12	134
	-20	152
Супесь пылеватая	-0,5	9
	-1,8	36
	-5,1	78
	-10,3	128
Глина	-0,5	9
	-1,6	13
	-3,4	23
	-8,2	45



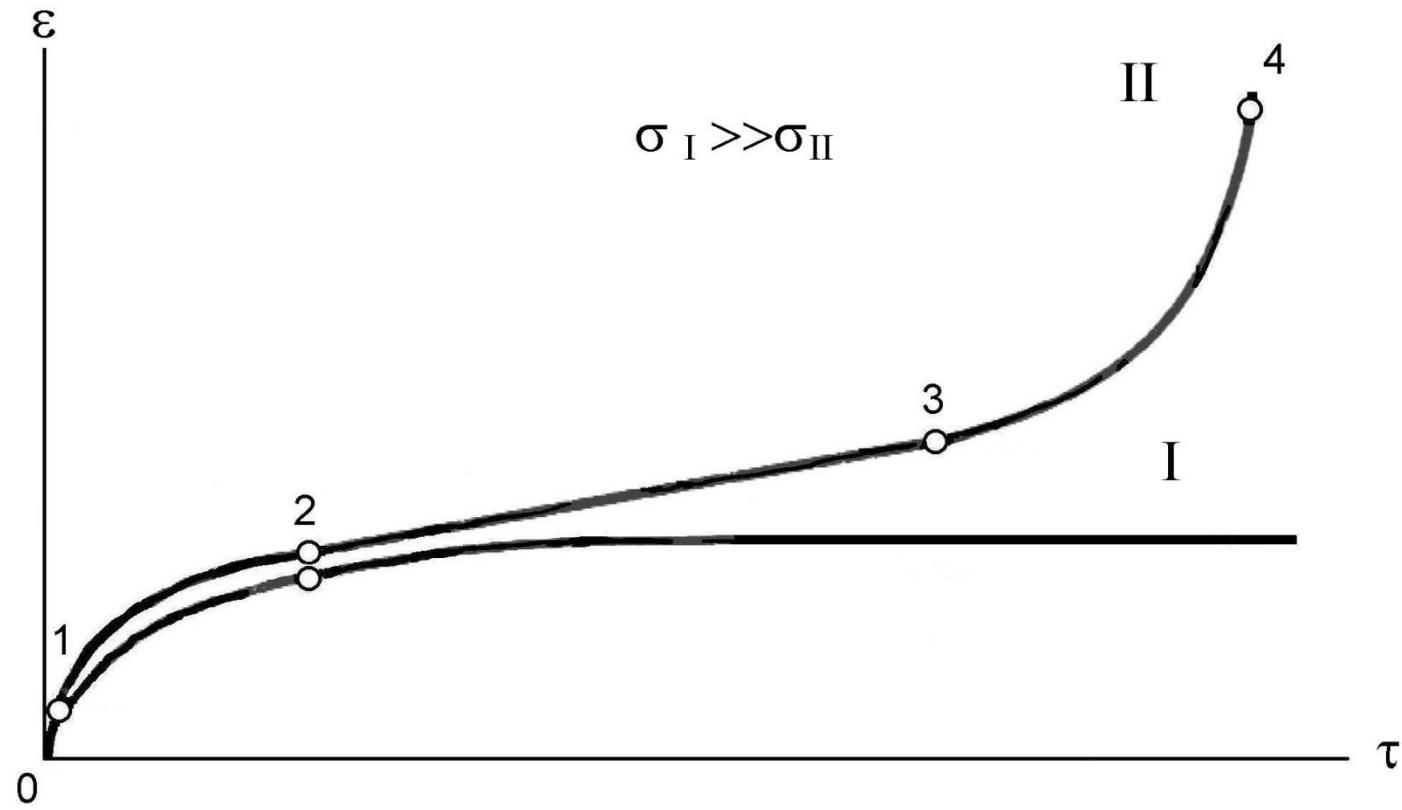
По Цытовичу Н.А. , 1973

Зависимость прочностных свойств от времени действия нагрузки

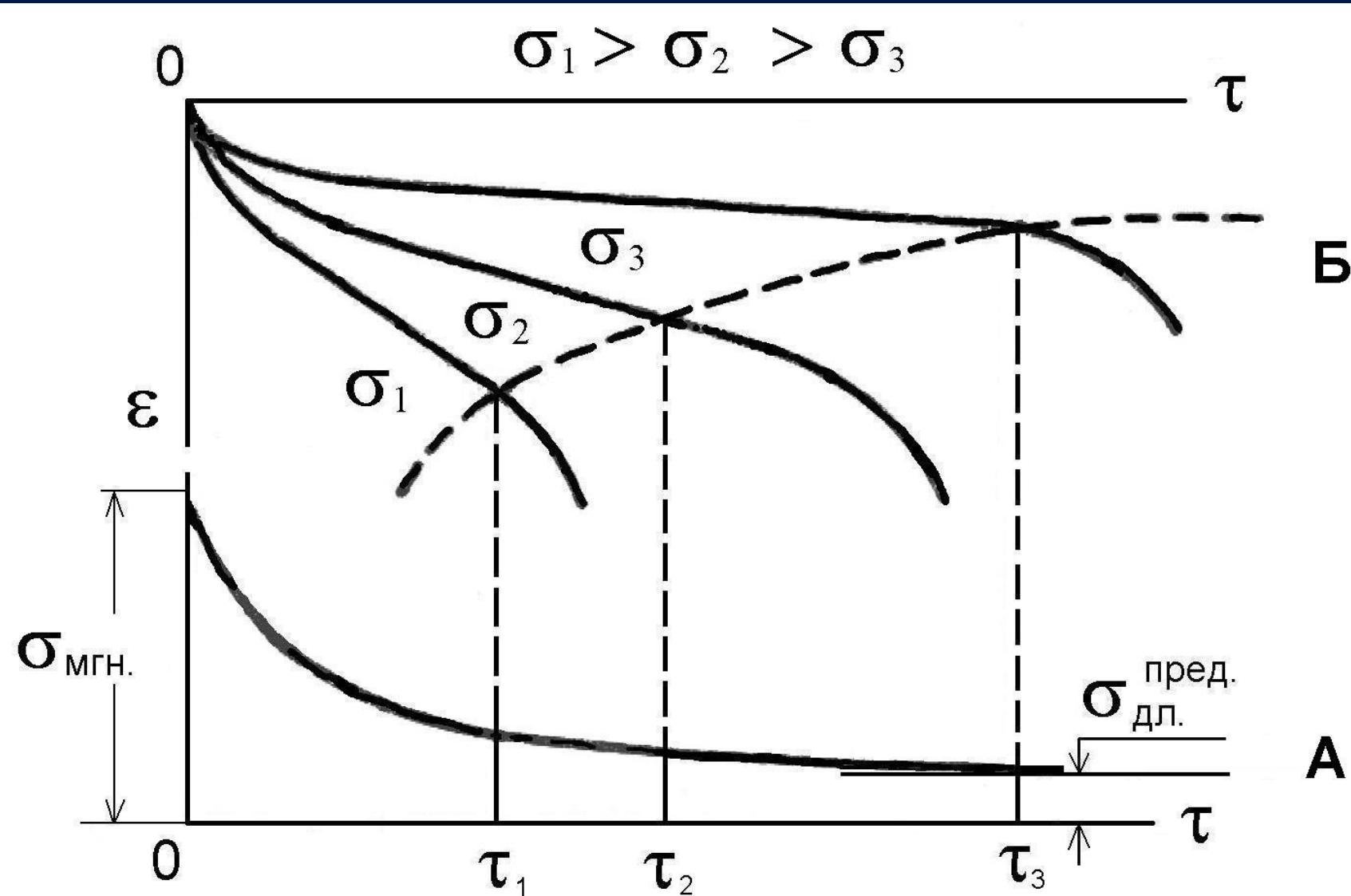
Прочность мерзлого грунта	Мгновенная	Длительная
Сжатие, песок (-3°C) , кГ/см 2	75	6,5
Сжатие, суглинок (-3°C) , кГ/см 2	35	3,6
Разрыв, супесь ($-4,3^{\circ}\text{C}$) , кГ/см 2	20,0	1,8
Разрыв, суглинок ($-4,2^{\circ}\text{C}$) , кГ/см 2	24,0	1,7
Сдвиг, суглинок ($-1,8^{\circ}\text{C}$) , кГ/см 2	9,7	3,0
Сдвиг, глина ($-1,4^{\circ}\text{C}$) , кГ/см 2	6,5	2,3
Сцепление, глина ($-4,2^{\circ}\text{C}$) , кГ/см 2	16,0	4,2
Сцепление, суглинок ($-4,2^{\circ}\text{C}$) , кГ/см 2	11,0	2,0
Сцепление, песок пылев. ($-4,2^{\circ}\text{C}$) , кГ/см 2	20,0	3,7-4,5

По Цытовичу Н.А. , 1973

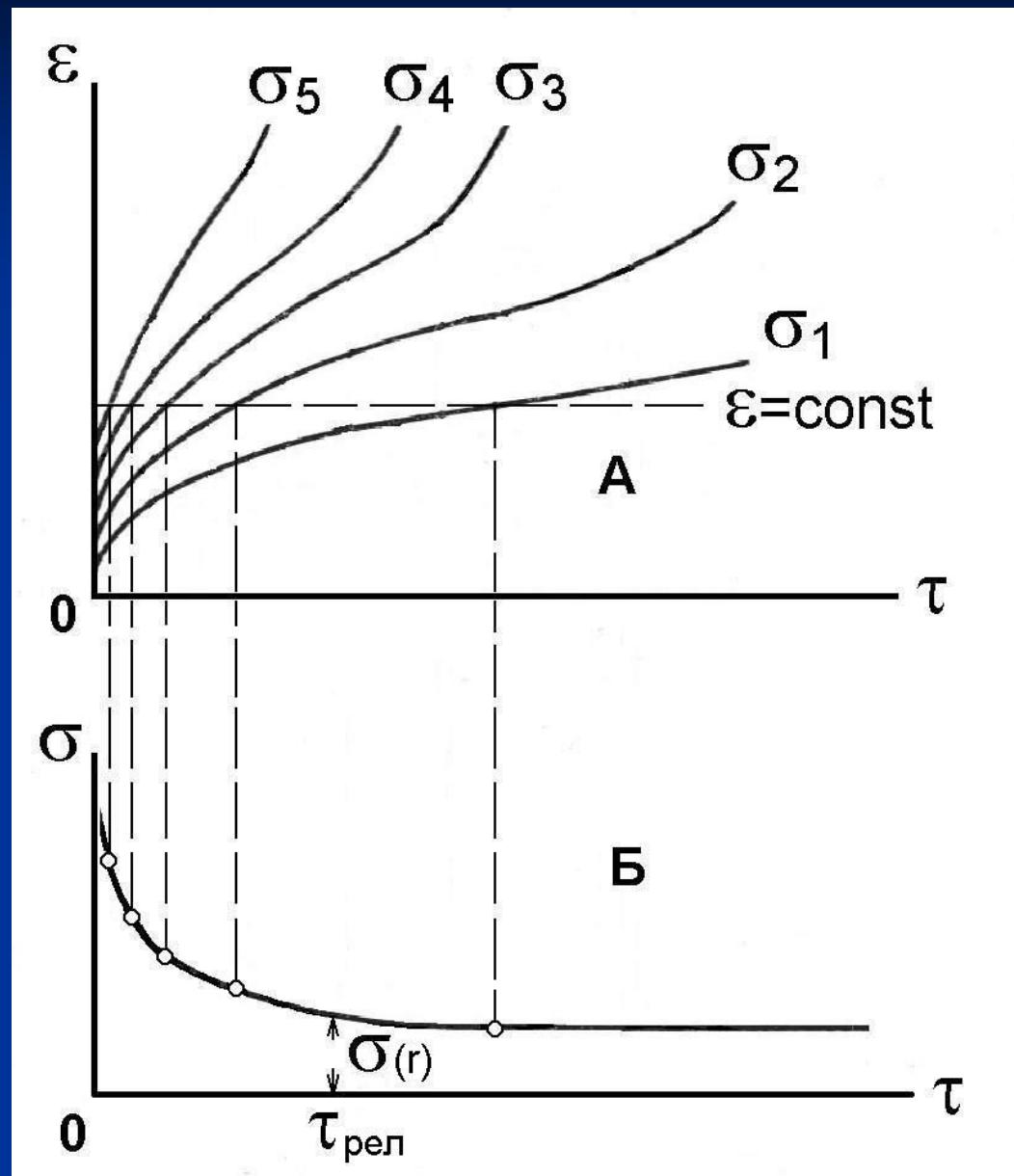
Кривые затухающей (I) и незатухающей ползучести (II)



Построение кривой длительной прочности (A) по кривым незатухающей ползучести



Построение кривой релаксации (Б) по данным кривых ползучести (А)



■ $\tau_{\text{рел}}$ – время, за которое для поддержания данной деформации напряжение уменьшится в e раз (т.е. $\approx 2,71$ раза)

- Кривая релаксации описывается упрощенной зависимостью:

$$\sigma_{(\tau)} = \frac{\sigma_0}{\ln \frac{\tau_\infty}{\tau_{разр.}}}$$

Эквивалентное сцепление

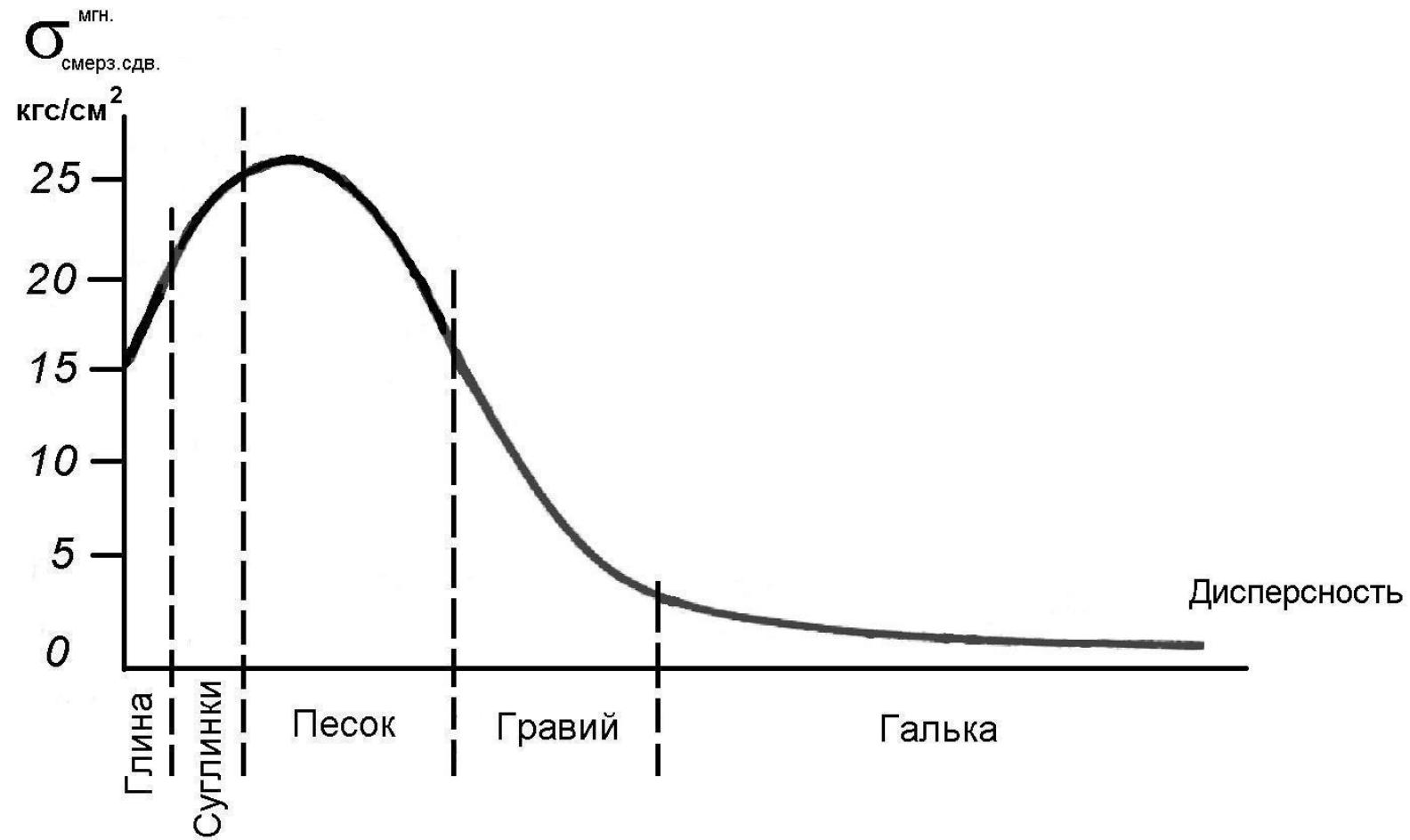
$$C_{eq} = 0,18 \frac{P}{\pi * d * h}$$

где P – приложенная нагрузка, кгс;

d – диаметр шарика, см;

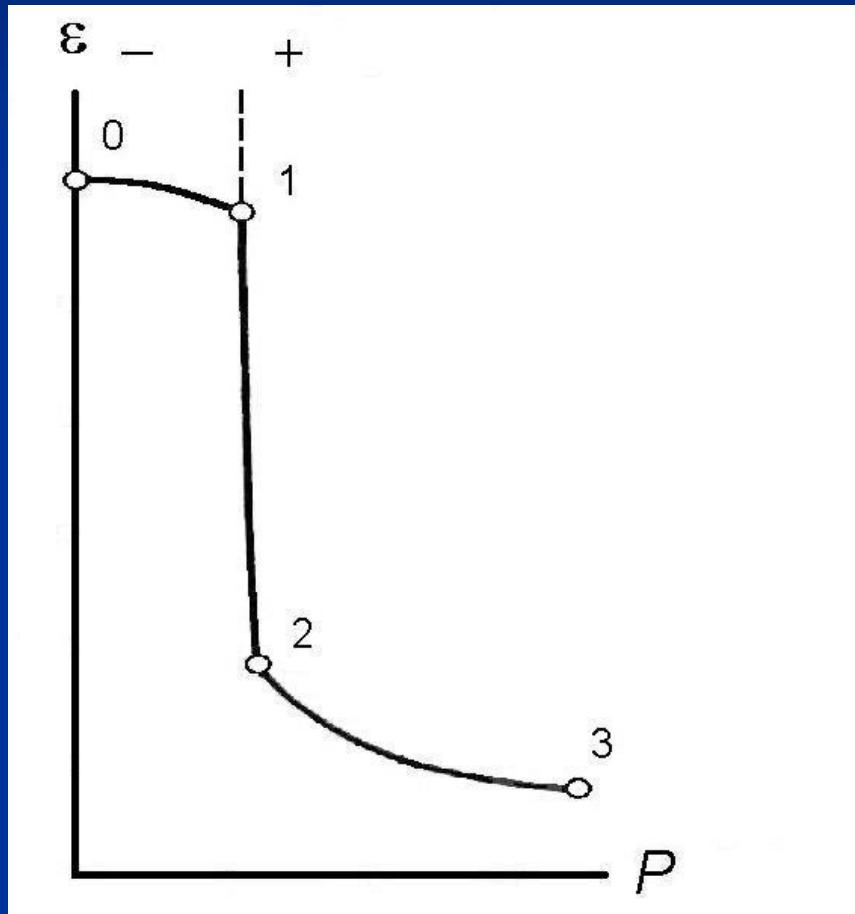
h – глубина вдавливания, см

Зависимость прочности смерзания от дисперсности грунта



Осадка при оттаивании

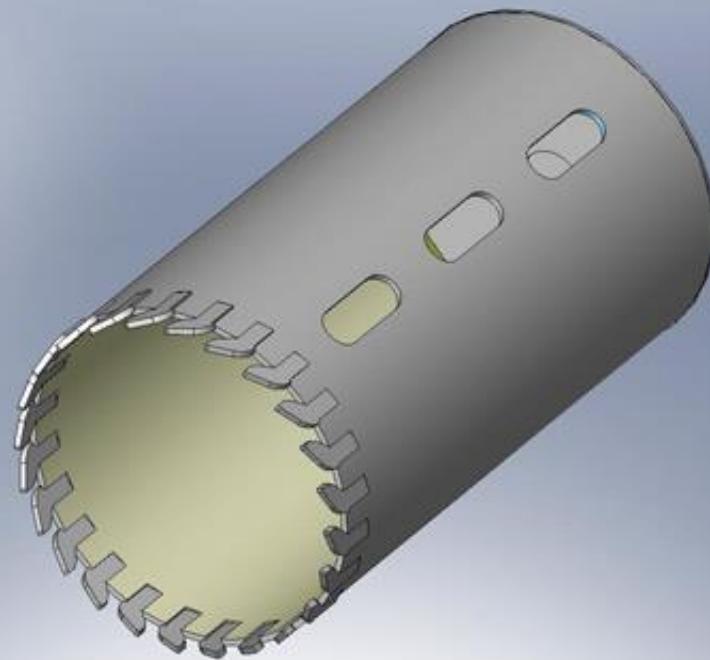
$$s_{omm} = A * h_{omm} + a * h_{omm} * P$$

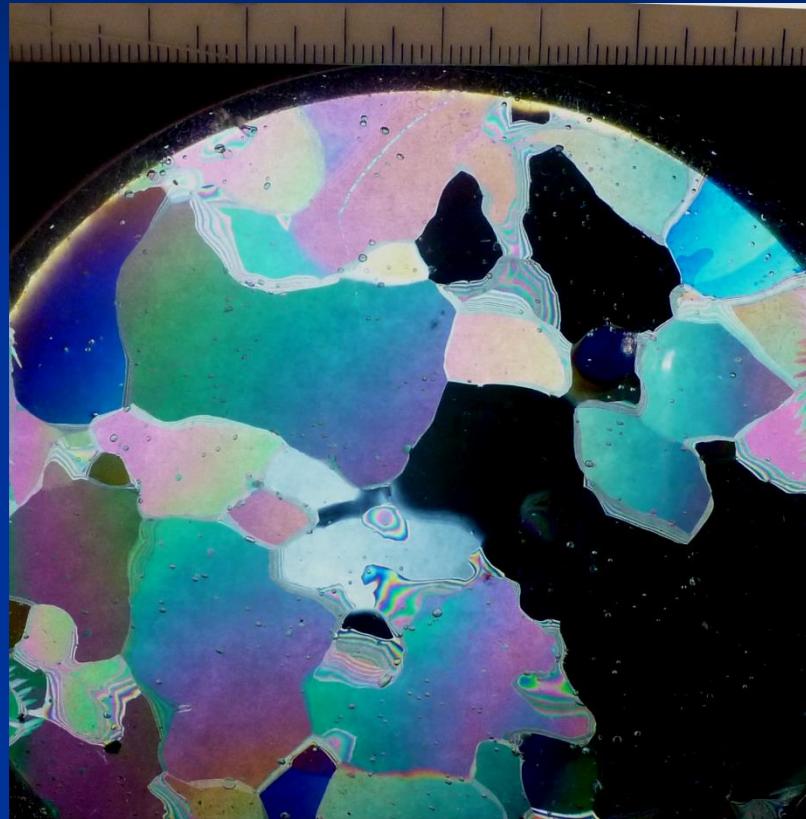


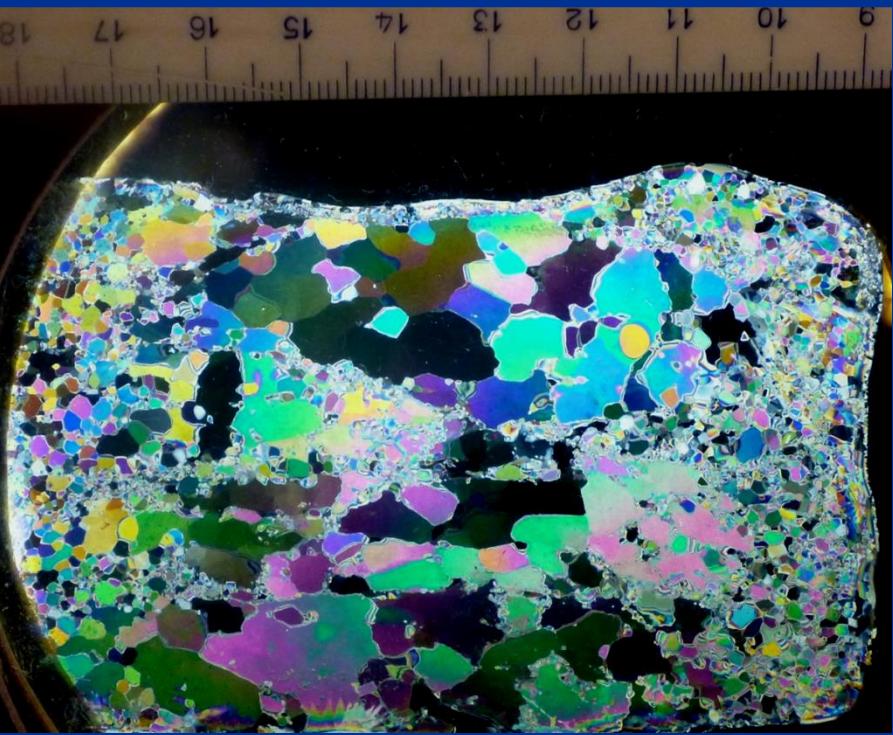
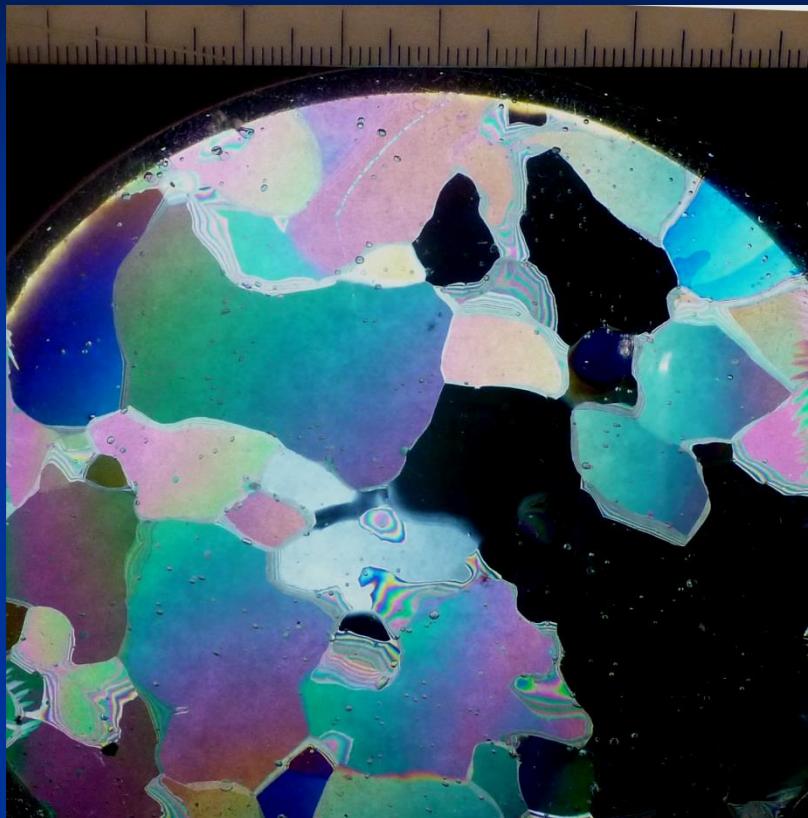
- где A – коэффициент уменьшения объема при протаивании и отжатии воды
- $a * h * P$ – осадка талого состояния

Отбор образцов

- Отбор образцов определяется целью и задачей исследования
- Набор простейших анализов требует лишь небольшого объема талого грунта
- Полный комплекс анализов требует отбора монолита мерзлого грунта и большего объема талого
- Все данные отбора должны заноситься в полевой журнал
- Запись в журнал должна содержать: определение местоположения, привязку к существующим рядом объектам, геоморфологическое положение , описание разреза или колонки, зарисовку криогенной текстуры, местоположение взятых образцов, дату, фамилию автора .

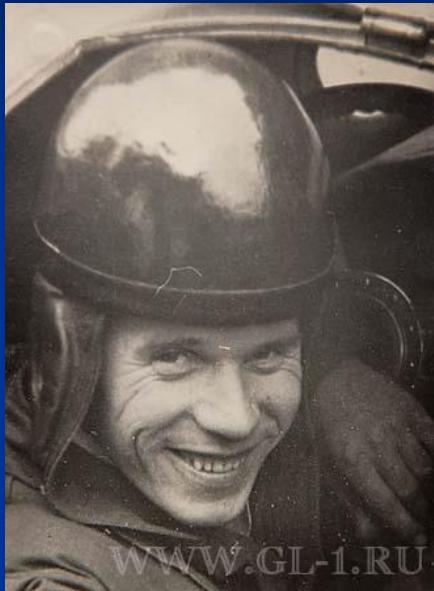






KP.
RU





■ Аркадий Федорович Николаев (1914 – 1987)



№	Вид исследования	Сложение	Сохранение льдистости	Форма образца и вид упаковки	Масса или размер образца
1	Агрегатный и микроагрегатный составы	Нарушенное	Да	Любая , полиэтиленовый мешочек	200 г
2	Гранулометрический состав		Нет	Любая, обычный мешочек	
3	Минеральный состав				
4	Химический состав			Любая , полиэтиленовый мешочек	
5	Влажность и льдистость			Любая, алюминиевый бюкс	
6	Содержание незамерзшей воды	Естественное	Да	Кубик или цилиндр монолитом	10x10x10 см
7	Криогенные текстуры			Кубик или цилиндр монолитом	Размеры должны в несколько раз превышать размеры прослоев льда, но не менее 10x10x10 см
8	Микростроение			Кубик или цилиндр монолитом	
9	Структура порового пространства	Нарушенное	нет	Любая, обычный мешочек	50 г
10	Плотность минеральных частиц				

№	Вид исследования	Сложение	Сохранение льдистости	Форма образца и вид упаковки	Масса или размер образца
11	Плотность и пористость породы	Естественное	Да	монолит	1 кг
12	Размываемость и размокаемость		Да	Монолит	
13	Морозостойкость		Да	Монолит	
14	Температурные деформации		Да	Монолит	
15	Температура замерзания и оттаивания			Монолит	
16	Теплоемкость и теплопроводность	Естественное		Кубик или цилиндр монолитом	10x10x10 см
17	Массообменные свойства			Кубик или цилиндр монолитом	10x10x10 см
18	Электрические и акустические свойства			Кубик или цилиндр монолитом	20x20x20 см
19	Пучинистые и усадочные свойства				
20	Механические свойства	Естественное	Да	Кубик или цилиндр монолитом	

Спасибо за внимание