



Институт мерзлотоведения им.П.И.Мельникова СО РАН

Реакция криолитозоны на современные изменения климата

Чл.-корр. РАН, д.г.-м.н. М.Н.Железняк, д.г.н А.Н.Федоров



Устойчивое развитие северных экосистем в условиях изменяющегося климата, обеспечение жизнедеятельности и функционирование инженерных сооружений невозможны без учета этого динамичного компонента природной среды.

Особенностью северных территорий являются:

- **низкие (до 50 и ниже °C) температуры воздуха;**
- **наличие мерзлых толщ с подземными льдами.**



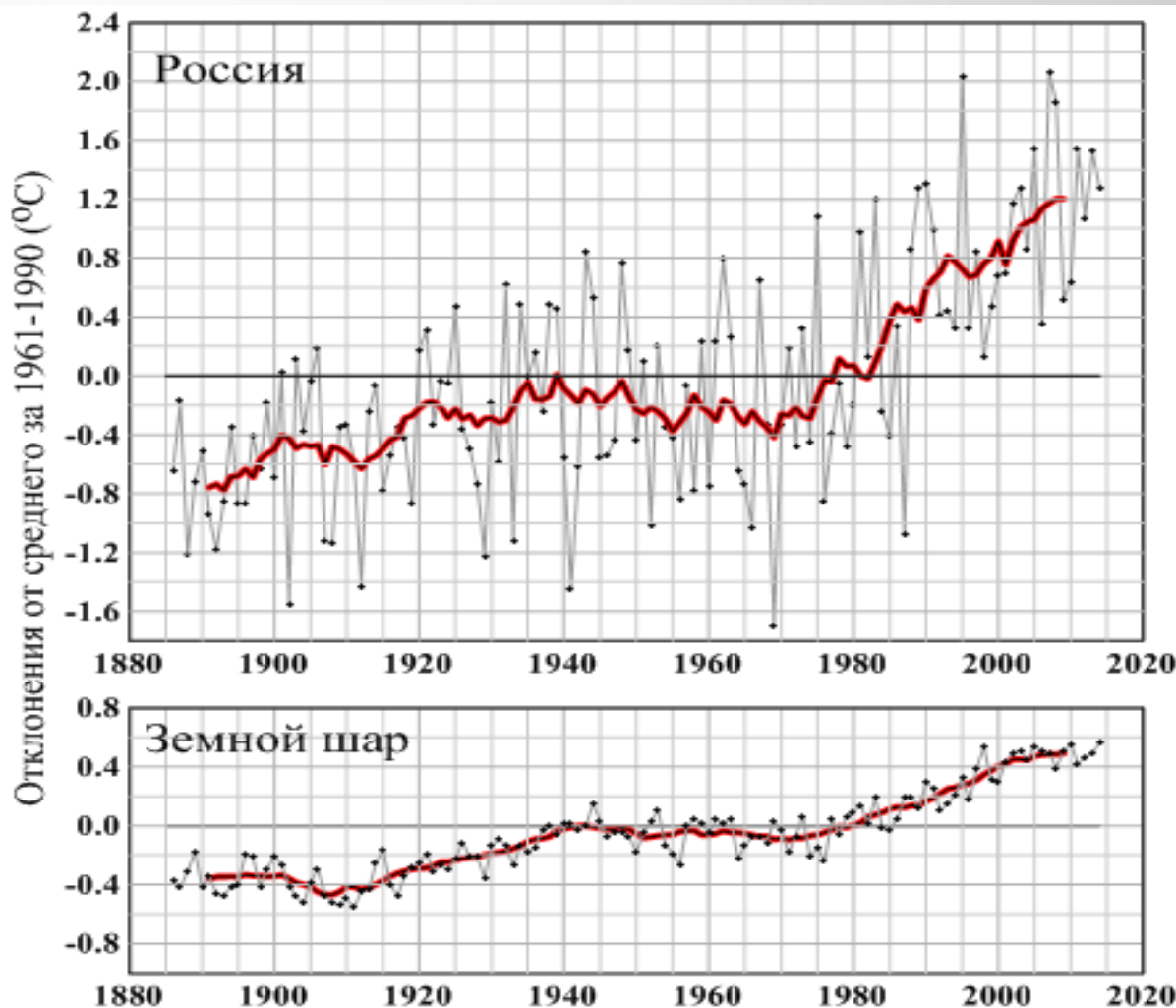
При современном распространении многолетнемерзлых толщ на Земле суммарная её площадь (включая Гренландию и Антарктиду) составляет около 30% поверхности Земли и примерно 65 % территории России.

«...Многолетняя криолитозона возникла и развивалась, возникает и развивается, исчезала и исчезает в имевшем место прежде и наблюдающемся теперь процессе теплообмена между Землей и Солнцем, Землей и межпланетным пространством, земной корой и атмосферой, почвой и приземным слоем воздуха, почвой и глубокими недрами Земли»

П.Ф.Швецов (1955)

Климат является одним из значимых факторов в формировании природной среды и его изменения несомненно приводят к её преобразованию, в том числе и мерзлых толщ. Однако, говорить о прямой зависимости и одномерной корреляционной связи климата и мерзлоты неверно, такая зависимость может наблюдаться лишь в гольцовых зонах горных областей.

Изменение температуры воздуха



Временные ряды пространственно осредненных аномалий средней годовой температуры у поверхности Земли для территории России и Земного шара** за 1886-2014 гг. Красным показан ход 11-летних средних*

В среднем по территории России самым теплым был 2007 год, за ним следуют 1995 и 2008 гг.

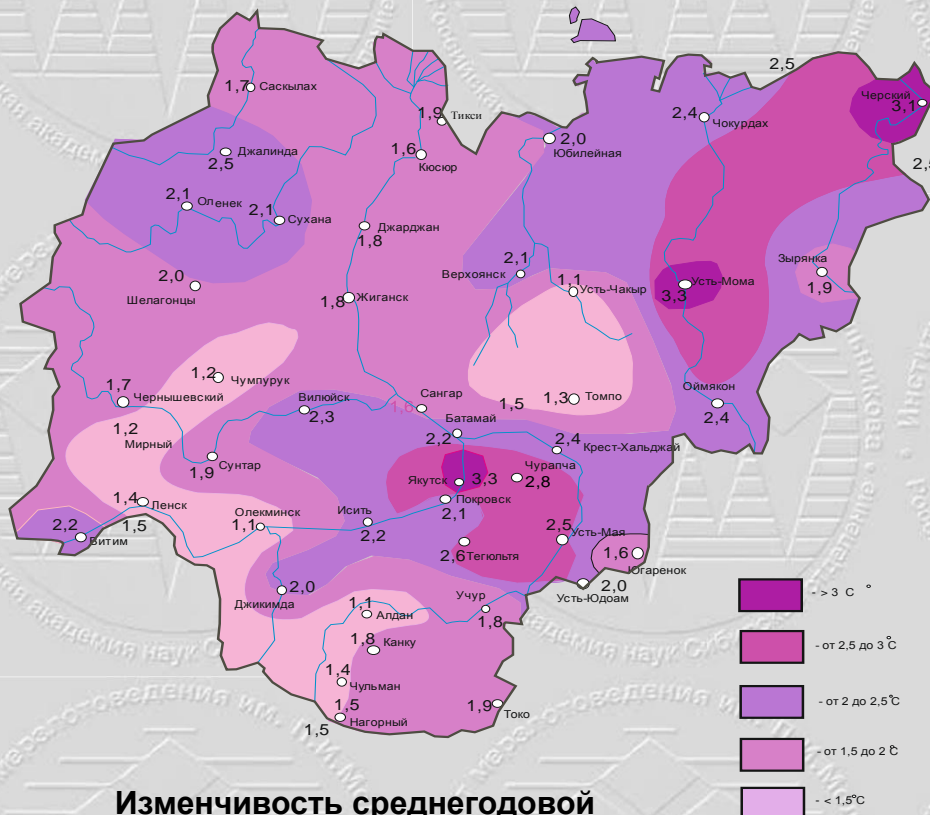
Для Земного шара в целом самыми теплыми были: 2014, 2010, 2005 и 1998 гг.

** Данные "ФГБУ Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН"*

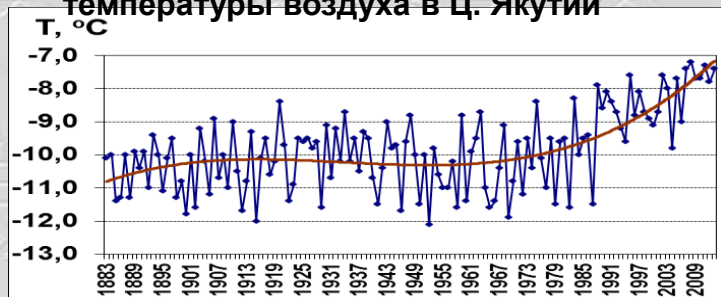
*** Данные метеослужбы Великобритании HadCRUT4.3.0.0 (<http://www.cru.uea.ac.uk>)*

Изменение климатических параметров на территории Якутии

Изменение среднегодовой температуры воздуха Якутии за период с 1978 по 2018 гг.



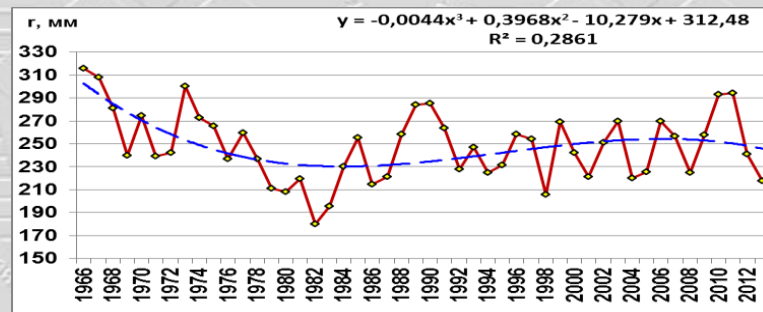
Изменчивость среднегодовой температуры воздуха в Ц. Якутии



Изменения среднегодовой суммы осадков в Якутии за период 1966-2020 гг., мм.



Многолетняя изменчивость годовых сумм осадков

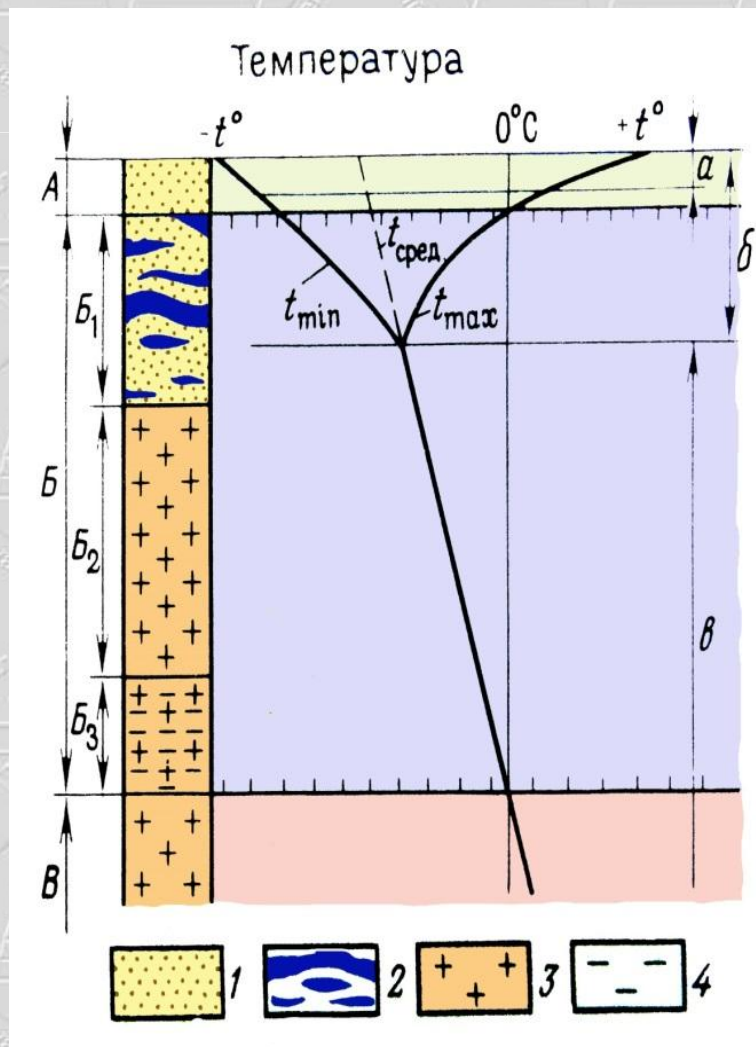


Температура мерзлых горных пород является параметром, отражающим их состояние и позволяющим улавливать тенденции их изменения.

Факторы определяющие формирование мерзлых толщ:

- температура приземного воздуха;
- условия теплообмена на поверхности (растительность, снежный покров и пр.);
- свойства грунтов;
- термодинамические процессы связанные с фазовыми переходами воды;
- внутриземной тепловой поток

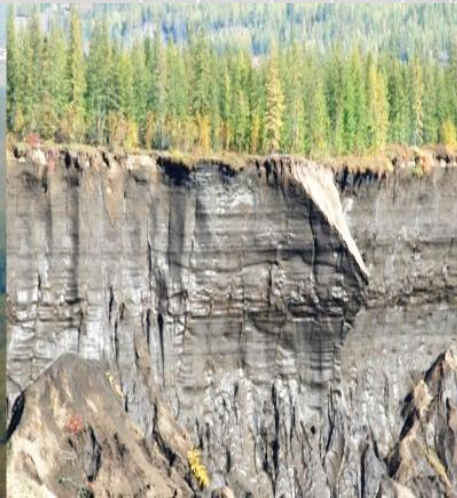
Изменение температуры пород с глубиной и основные параметры криогенной толщи верхних горизонтов литосферы. 1 - Рыхлые грунты; 2 - ледяные включения; 3 - скальные породы; 4 - криопэги



В мерзлых толщах лёд является породообразующим минералом и своеобразие грунтов подчеркивается динамичными изменениями их свойств в зависимости от температуры, давления и других факторов. Это определяет геодинамическое состояние территории и устойчивость оснований конструкций.



Криогенные процессы и изменение рельефа



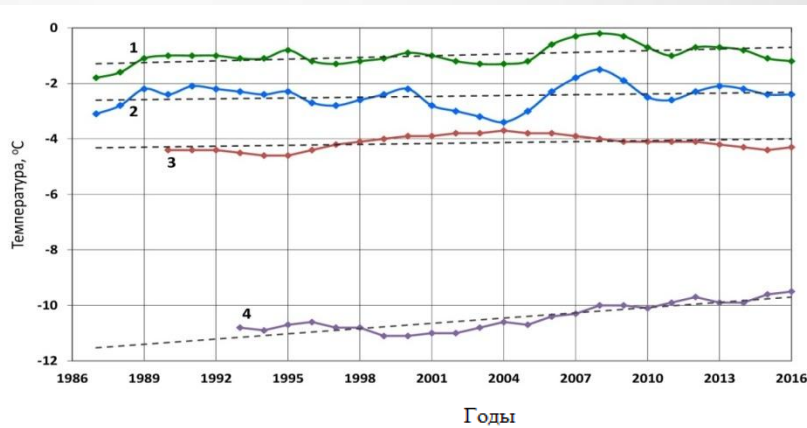
Изменение состояния мерзлых грунтов оказывает влияние на устойчивость инженерных сооружений



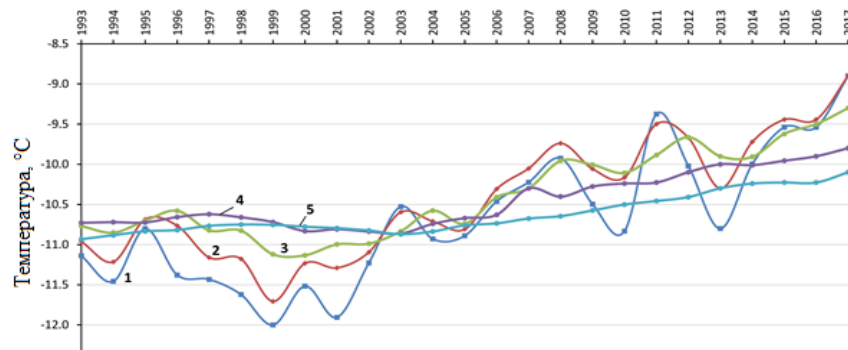


Реакция криолитозоны на изменение климата (Восточная Сибирь)

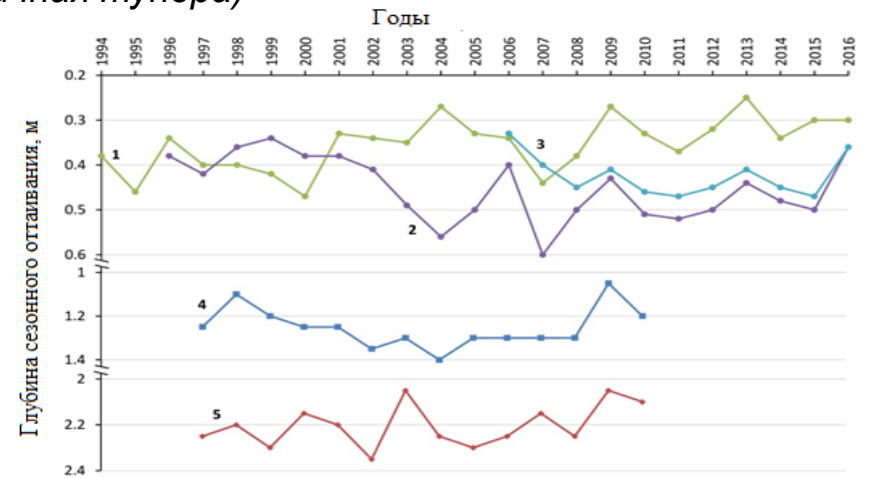
Реакция температурного режима пород в слое годовых теплооборотов и глубины сезонного протаивания мерзлых пород под воздействием изменений климата имеет различную динамику, в зависимости от геоморфологических ландшафтных и микроклиматических условий территории. Тренды изменения температуры пород в зависимости от комплекса природных факторов и состава пород варьируют от 0,01 до 0,06 °C\год



Динамика среднегодовой температуры грунтов на глубине 10 м в различных районах и типах местности Восточной Сибири: 1 – Ц. Якутия (песчано-грядовый); 2 – Ц. Якутия (межгрядово-низинный); 3 – Анадырь (типичная тундра); 4 – Тикси (типичная тундра)

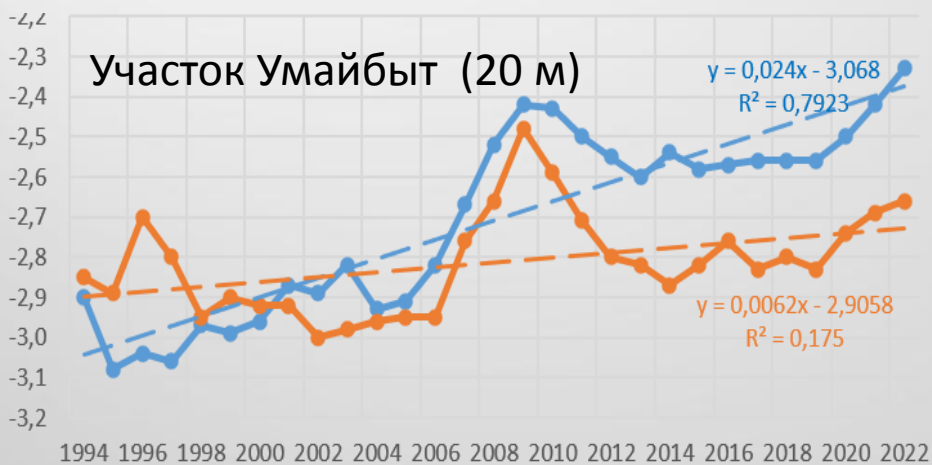
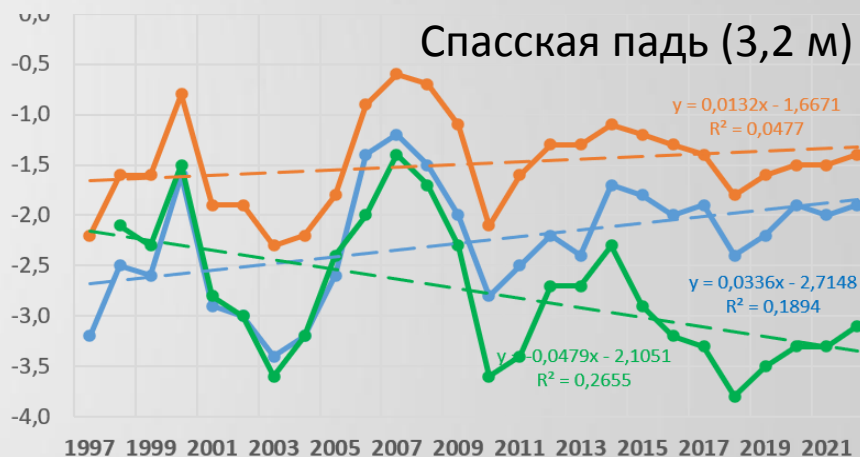
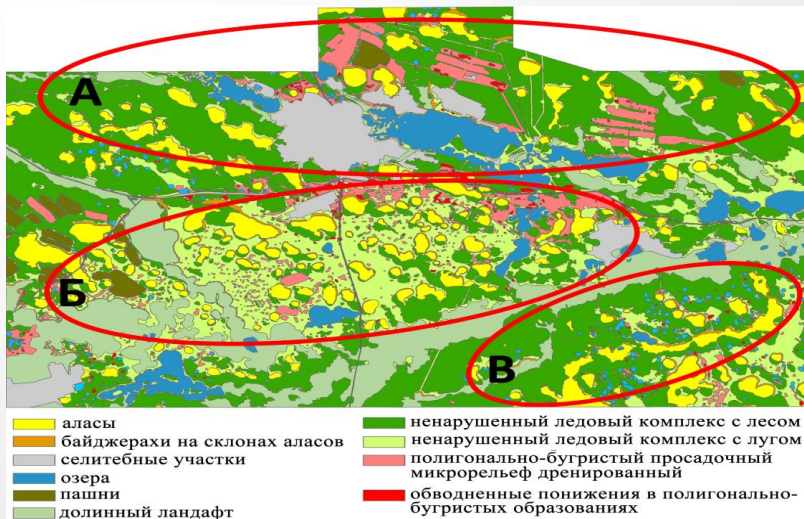


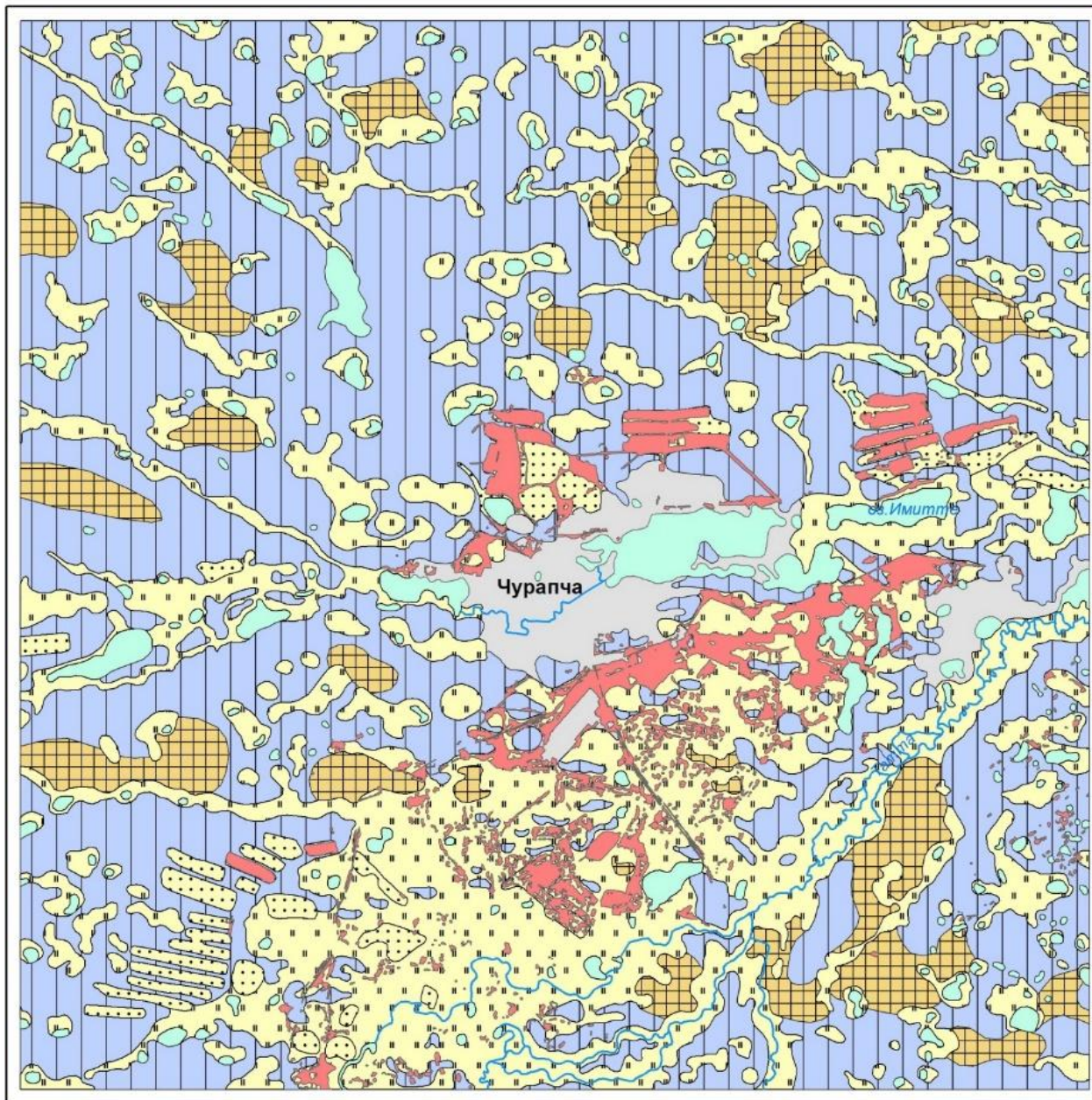
Изменения среднегодовой температуры ММГ на глубинах 3 м (1), 5 м (2), 10 м (3), 20 м (4) и 30 м (5) в горной тундре Восточной Сибири



Динамика глубины сезонного протаивания по участкам: 1 – типичная тундра (Средняя Сибирь) ; 2 – типичная тундра (Нижняя Колыма); 3 – типичная тундра (низовье р.Лены); 4 - межгрядовый тип местности (Ц. Якутия) ; 5 – песчано-грядовый ландшафт (Ц. Якутия)

Карта мерзлотных ландшафтов и изменение температуры пород на участках с различными ландшафтными условиями (Центральная Якутия)







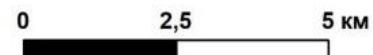


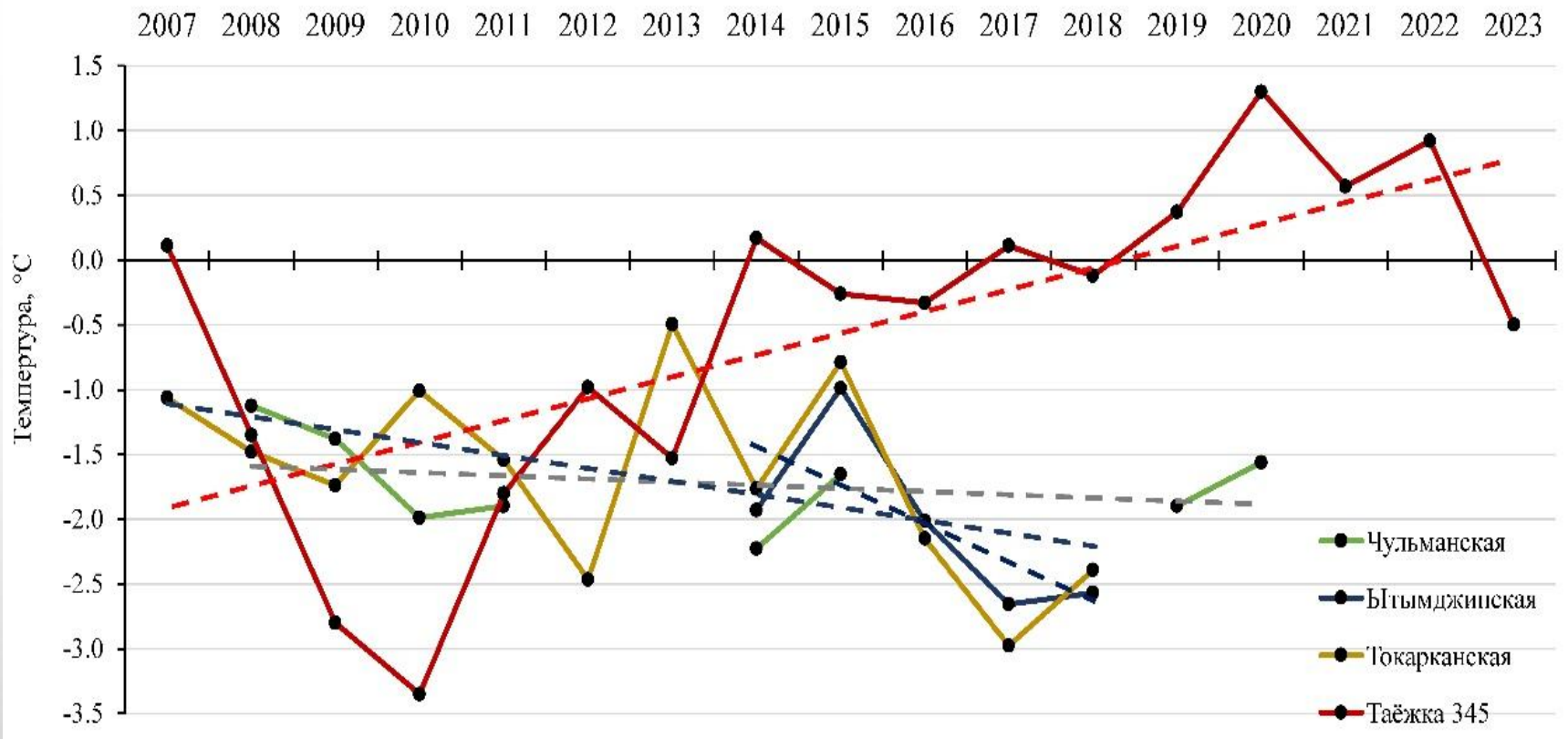
Условные обозначения:

-  лиственные леса
-  березовые и березово-лиственные леса
-  аласные и межаласные луга
-  пашни
-  зона активного термокарста
-  озера
-  с. Чурапча

Температура ММП, °С

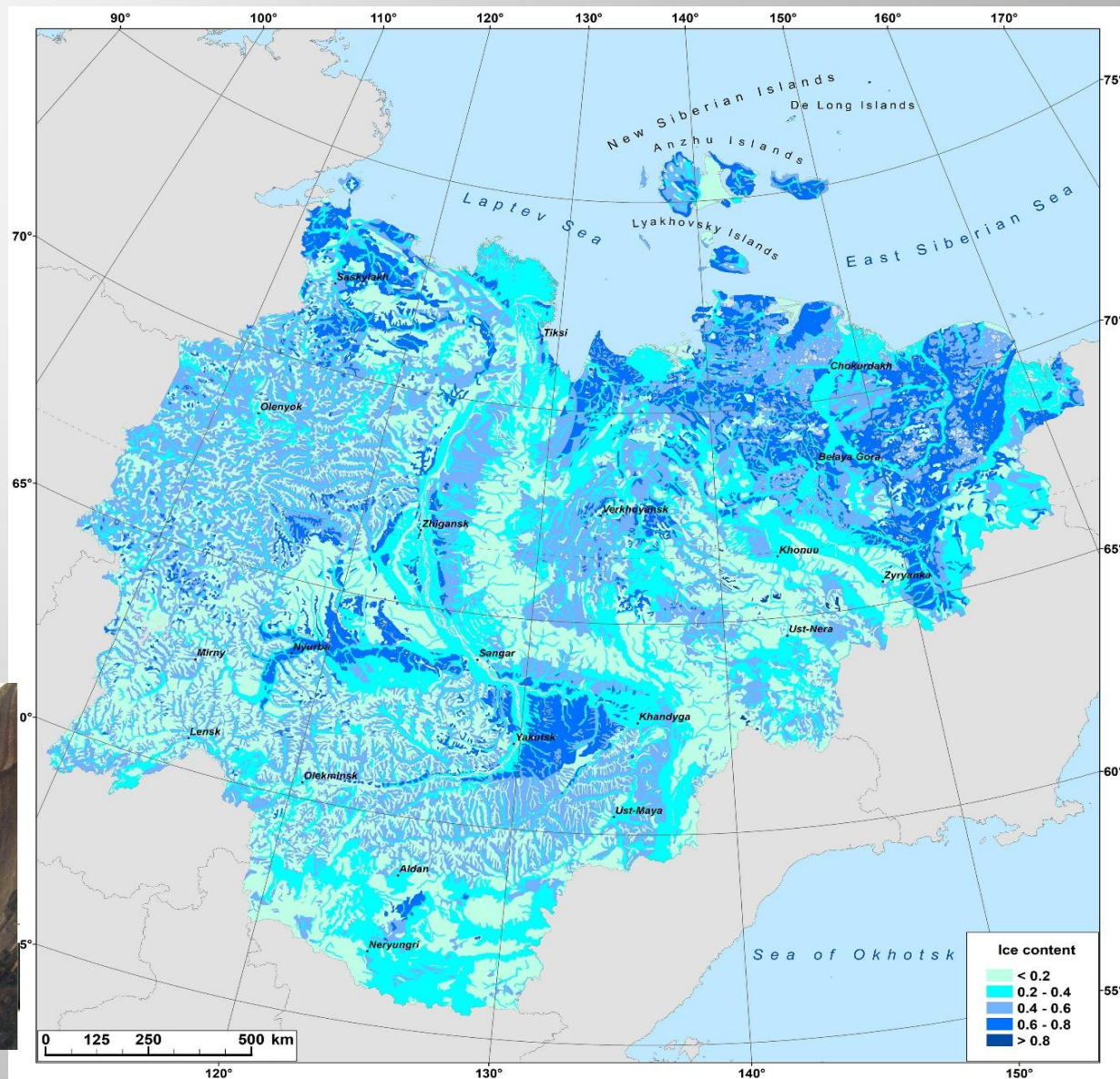
-  -3...-4,5
-  -2...-3
-  -1...-2
-  -0,5...-1



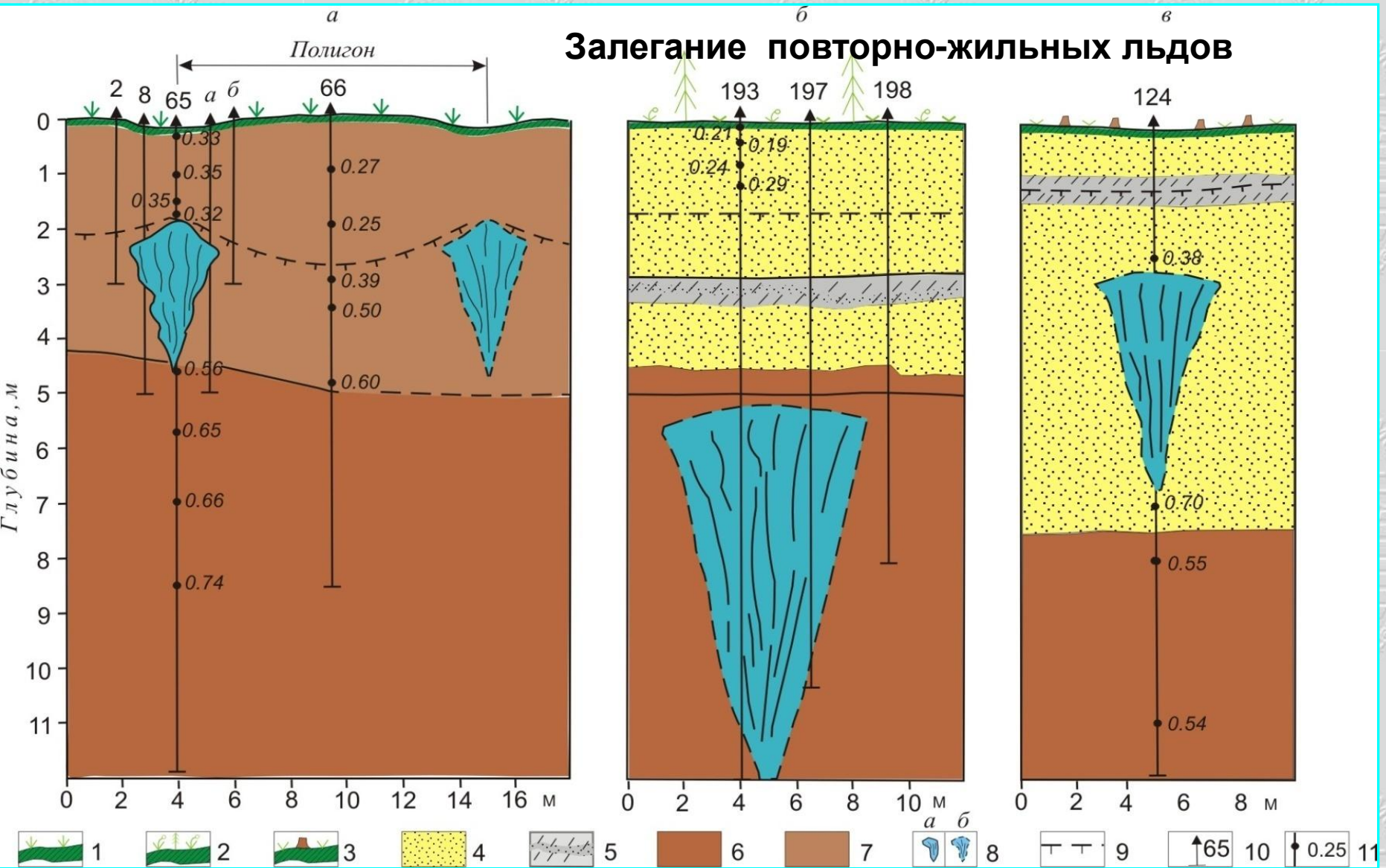


Динамика среднегодовой температуры пород деятельного слоя (глубина 1 м) в Алданском нагорье: маревые участки (Чульманская, Токарканская и Ытымджинская впадины), подгольцовая область (Таёжка 345).

Карта льдистости верхней части (до 10 м) криогенной толщи.

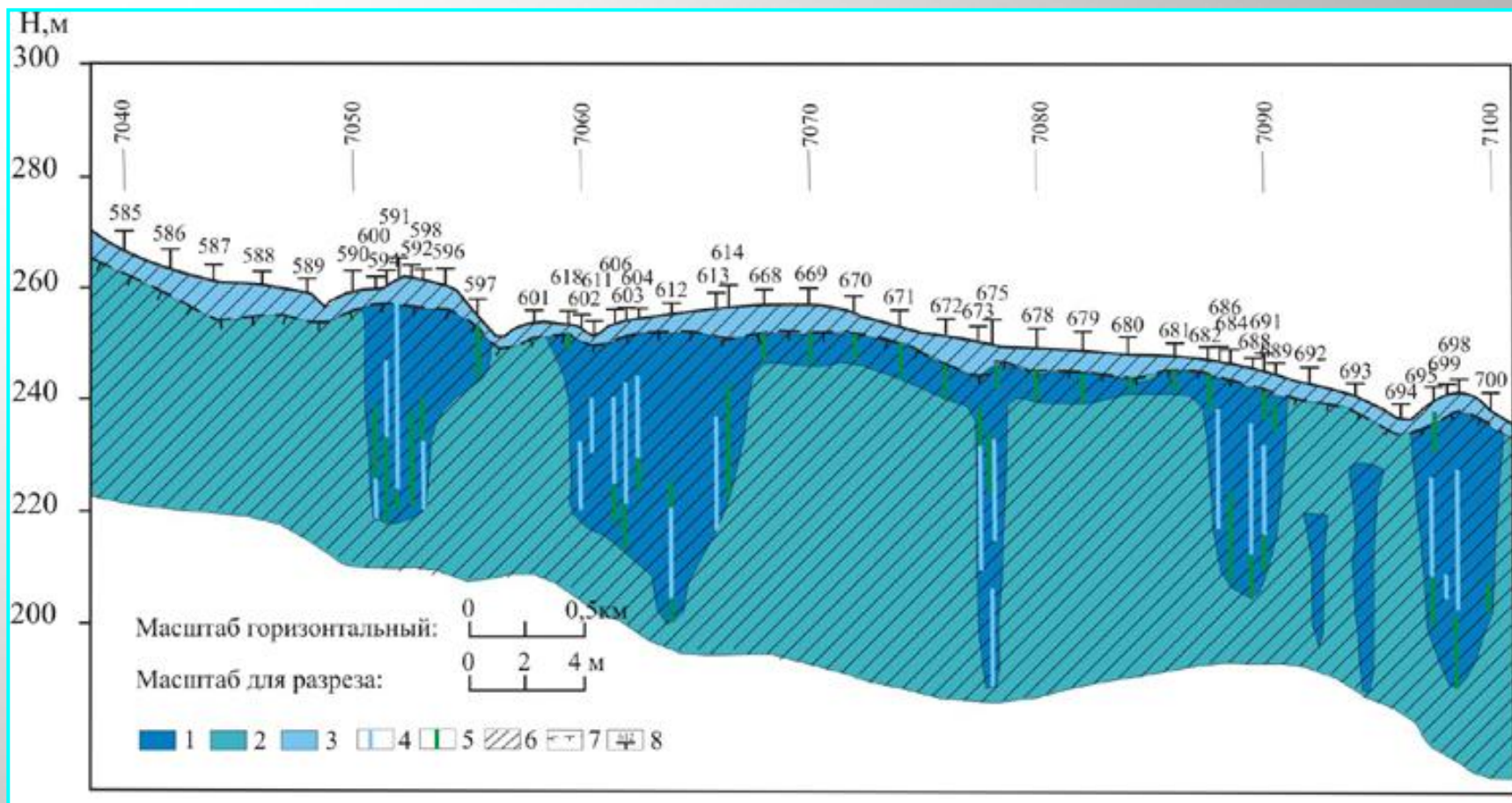


Залегание повторно-жильных льдов



Криолитологические разрезы отложений межлассного типа местности: а) – в районе оз. Былдьаана (728 км); б) – травяно-брусничном лиственничнике и в) – на вырубке этого леса (732-733 км).

1 – луговая растительность; 2 – брусничный лиственничный лес; 3 – вырубка; 4 – пески с массивной криотекстурой; 5 – пески с прослоями супеси с слоистой криотекстурой; 6 – суглинки с массивной, порфировидной и линзовидной криотекстурами; 7 – пылеватые глины с линзовидной и массивной криотекстурами; 8 – ледяные жилы с установленными (а) и предполагаемыми (б) контурами; 9 – верхняя граница ММП; 10 – окрестина и ее номер; 11 – радиусная ось емкой цилиндрической и точка определения



Криолитологический разрез на участке железной дороги Томмот - Качикацы

Льдистость грунтов (в долях единиц): 1 – 0,6-0,9 за счет текстурообразующих и повторно-жильных льдов; 2 – 0,5-0,7 за счет текстурообразующих льдов; 3 – 0,4-0,6 за счет текстурообразующих льдов.

Прочие обозначения: 4 – ледяная жила; 5 – льдогрунт; 6 – суглинок; 7 – верхняя граница многолетнемерзлых пород; 8 – скважина и ее номер.

Развитие термокарста в Ц. Якутии

Юкэчи, площадка 2, 1993-2018

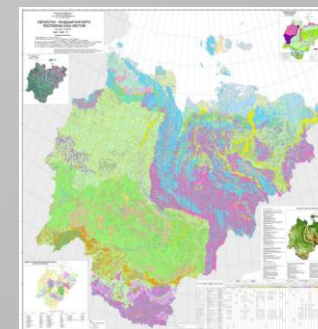
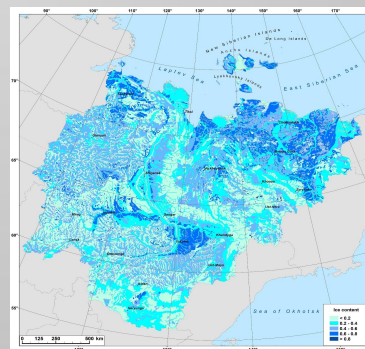
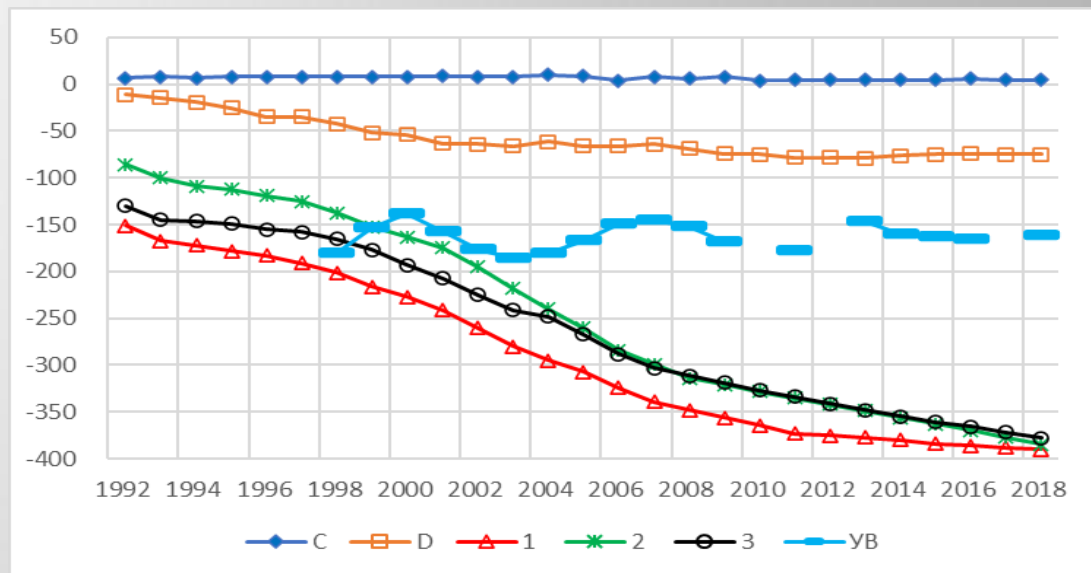
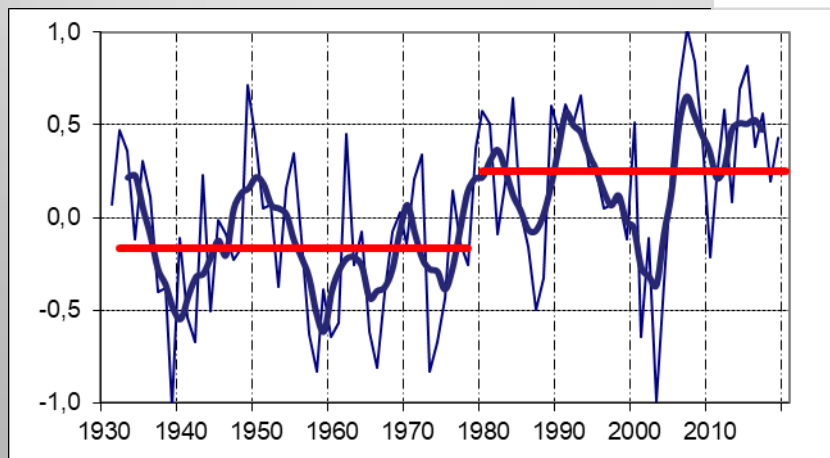


Реакция мерзлотных ландшафтов на потепление климата

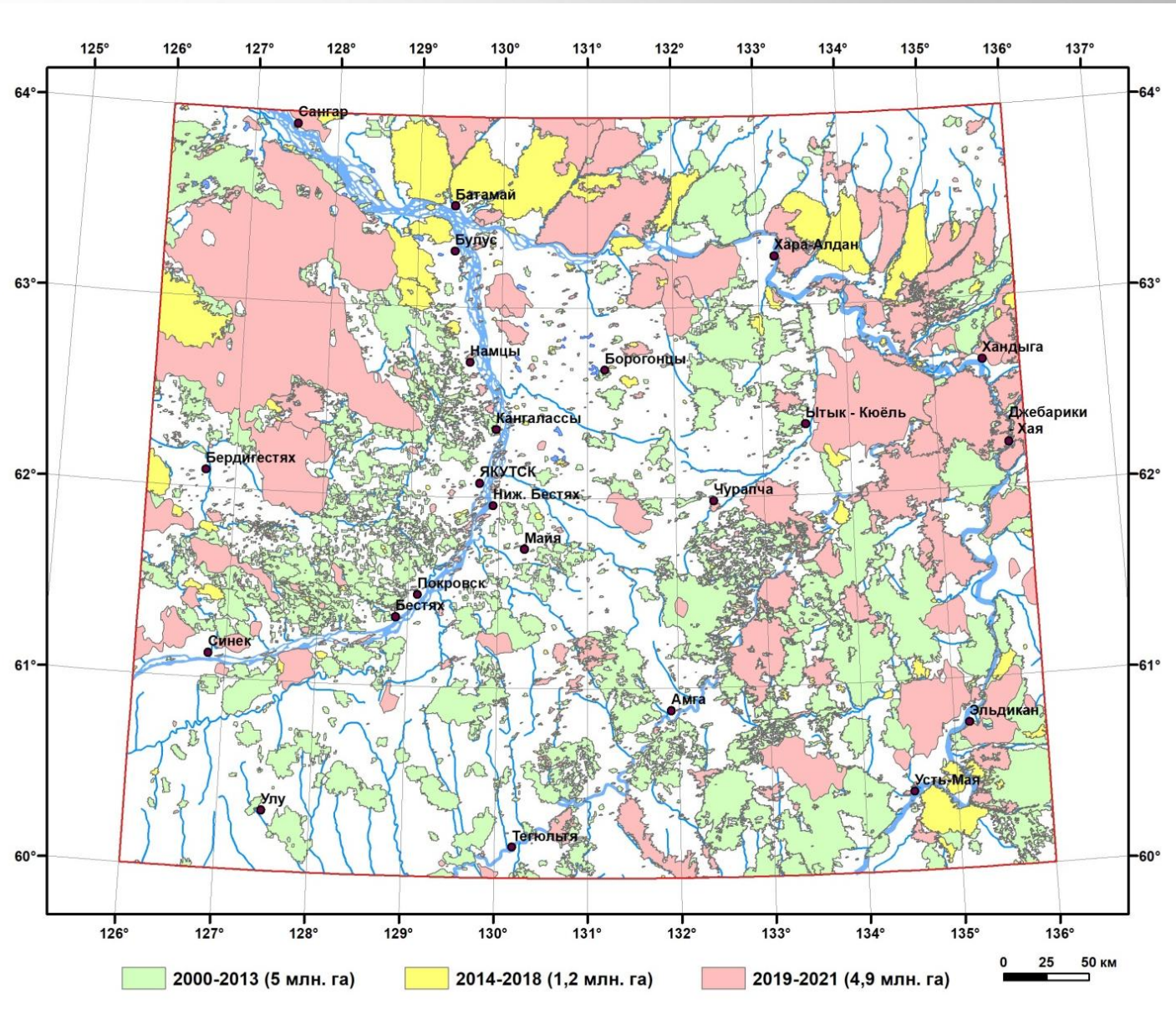
Темпы просадок в термокарстовой котловине варьируют от **8 до -16** см в год в 1992-2011 гг. и **5** см в 2012-2019 гг., а на беслесных межзаслесьях до **1** см в год в 1992-2019 гг.



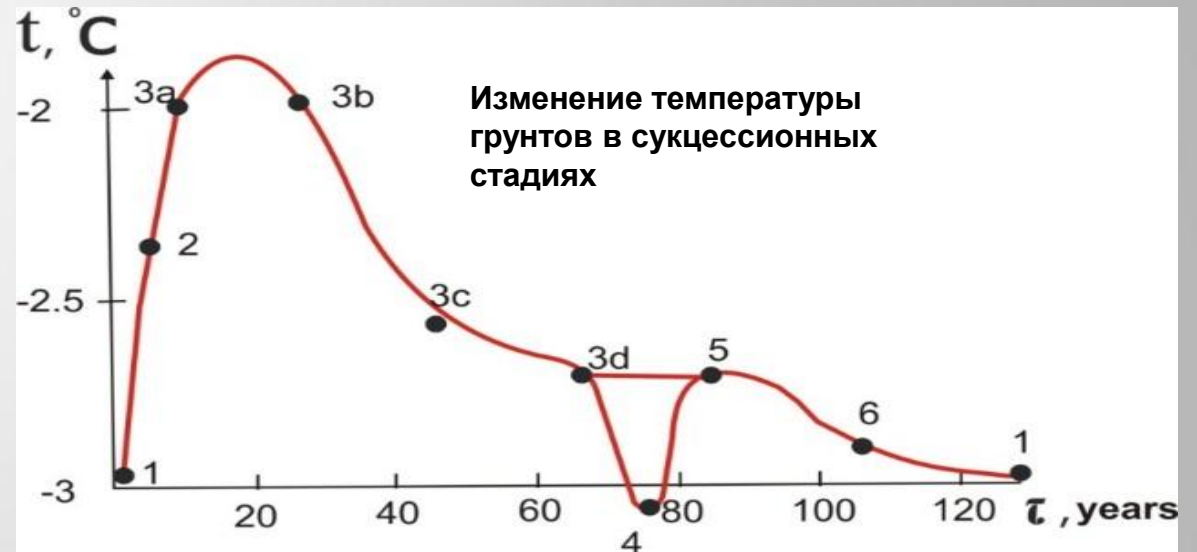
Межгодовая изменчивость температуры грунтов в Центральной Якутии, глуб.3,2 м



Площади лесных пожаров в 2000-2021 гг. в Ц.Якутии составили 47% от общей территории



Сукцессии ландшафтов после лесных пожаров в Центральной Якутия) (тац. НЕЛЕГЕР)



1 – Лиственничник брусничный; 2 – луг; 3а...3д – Стадии бере-няка; 4 – Березово-лиственничный лес разнотравный; 5 – Лиственничник разнотравно-брусничный, 6 – Лиственничник брусничный.

Оценка влияния заготовки древесины на состояние мерзлоты. Районирование территорий Республики Саха (Якутия), на которых заготовка древесины в промышленных объемах приведет к ее деградации и интенсивному развитию криогенных процессов

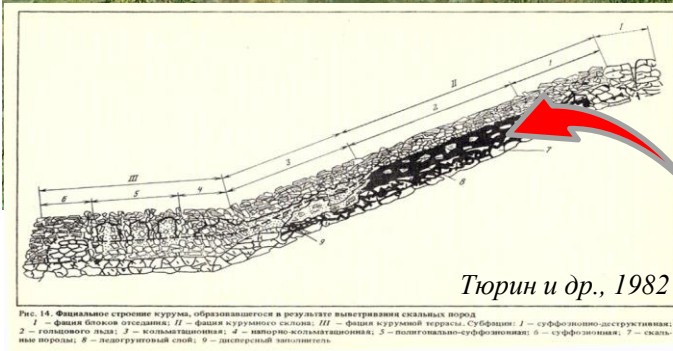
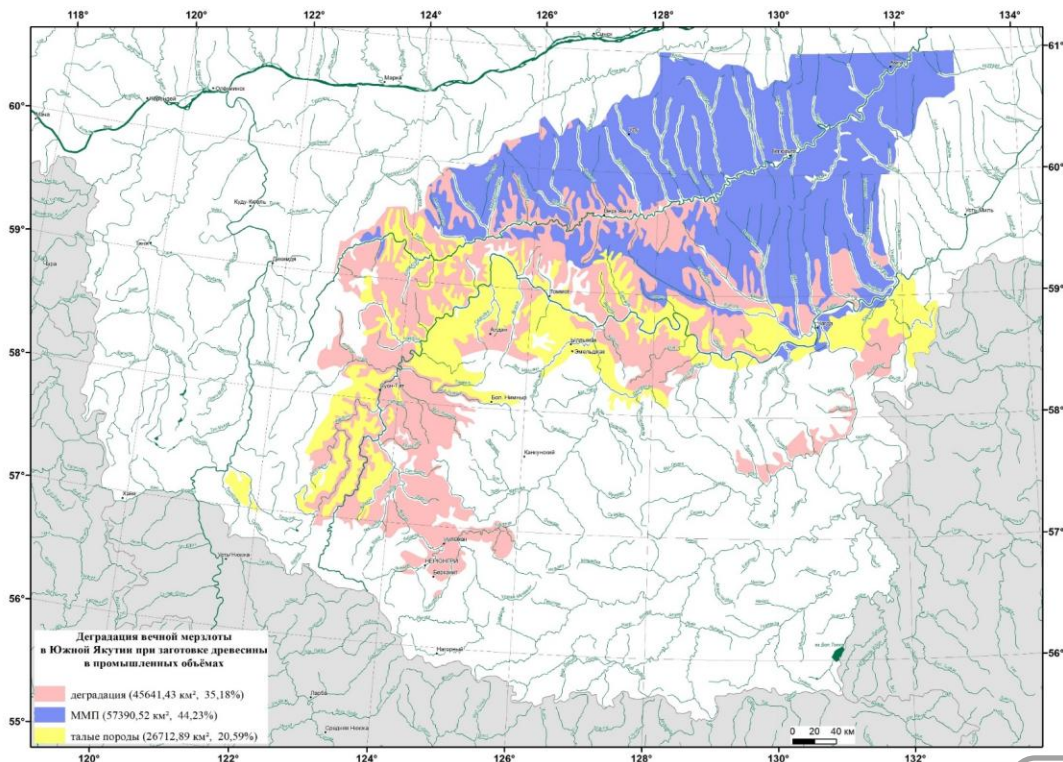


Рис. 14. Фактически строение курум, образующегося в результате выветривания скальных пород
I – фация блоковых осадков; II – фация курумного склона; III – фация курумной мерзлоты, субфации: 1 – суффозиально-деструктивная; 2 – гольцового льда; 3 – котельничанская; 4 – валунно-котельничанская; 5 – полигонално-суффозианная; 6 – суффозианная; 7 – скальные мерзлоты; 8 – неустойчивый слой; 9 – дисперсный выветсел.

Рекомендация: В условиях потепления климата на территориях, где возможны изменения и деградация мерзлоты, установить мораторий на заготовку древесины в промышленных объемах.

Льдистые горизонты в верхней части мерзлых пород при вырубках лесов с резким увеличением сезонно-талого слоя могут вызвать развитие склоновых процессов приводящих к смыву почвы.

Министерство развития Дальнего Востока и Арктики

Федеральное автономное научное учреждение «Восточный центр государственного планирования» (ФАНУ «Востокгосплан»)

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

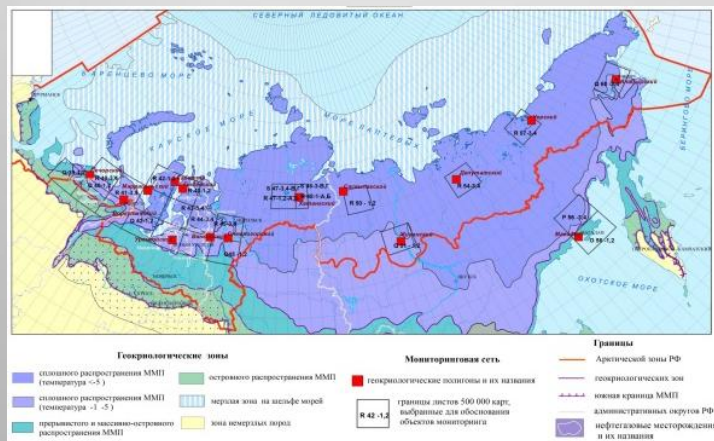
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Гидроспецгеология" ФГБУ "Гидроспецгеология"

ПРОЕКТ

«Анализ состояния вечной мерзлоты, тенденций ее изменения и социально-экономических последствий для регионов Арктики. Теоретическое обоснование основных параметров архитектуры и разработка принципов построения системы государственного мониторинга вечной мерзлоты в целях охраны и рационального использования криогенных ресурсов Арктики и устойчивого развития АЗРФ»

Ответственные исполнители: В.А.Дубровин, к.г-м.н., А.В.Брушков д.г-м.н. Д.С.Дроздов д.г-м.н. М.Н.Железняк д.г-м.н



2020 г.

Стоимость зданий и инженерных сооружений на вечной мерзлоте в районах (муниципальных образованиях) АЗРФ около 9,6 трлн. руб. (1,1 трлн. руб. жилой фонд)

При сохраняющихся тенденциях изменения климата к 2050 г (24 сценария)

Ущерб для жилых и промышленных зданий и сооружений около 5-7 трл. руб. в среднем для различных сценариев

Ущерб для жилых зданий около 770 млрд. руб. в среднем для всех сценариев

11



Населенный пункт	% деформ. Зданий
Якутск	9
Норильск	10
Тикси	22
Диксон	35
Амдерма	50
Магадан	55
Воркута	80
Чита	60

Кроник, 2016)

Создание межведомственной системы государственного комплексного мониторинга и управления состоянием вечной мерзлоты АЗРФ оценивается в 12 млрд.руб.



МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО РАЗВИТИЮ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И АРКТИКИ

Президент утвердил перечень поручений по итогам пленарного заседания Восточного экономического форума 3 сентября 2021 года.

1. Правительству Российской Федерации:

в) обеспечить внесение в законодательство Российской Федерации изменений, направленных на создание на базе государственной наблюдательной сети Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды **государственной системы мониторинга состояния многолетней мерзлоты**, наделение этой Федеральной службы необходимыми полномочиями, и предусмотреть выделение из федерального бюджета бюджетных ассигнований на разработку и функционирование указанной системы мониторинга при подготовке проекта федерального закона о федеральном бюджете на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов.

В соответствии с поручением Президента РФ Правительству РФ (Пр-1971, п. 1.в от 3 сентября 2021 г.), Росгидромету поручено создание на базе своей наблюдательной сети государственной системы мониторинга состояния многолетней мерзлоты (ГСМ СММ). Организация и выполнение работ по разворачиванию и функционированию ГСМ СММ возложено Росгидрометом на ФГБУ «АНИИ».

Проект 2022 -2025 г.г.

Что происходит с созданием системы «МОНИТОРИНГ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ В РФ»?????

Создание системы «Мониторинг вечной мерзлоты» - предложенная Правительством РФ (к исп. РОСГИДРОМЕТ) в рамках предлагаемой сегодня программы - **не является таковой и отвечающей требованиям национальной безопасности и способствующей обеспечению эффективного освоения северных регионов.** Это может быть лишь частью национальной системы «Мониторинг вечной мерзлоты».

Государственный мониторинг вечной мерзлоты – межведомственная система долгосрочных наблюдений, сбора, обработки, анализа данных и прогноза состояния многолетней (вечной) мерзлоты в природных (фоновый мониторинг) и нарушенных (геотехнический мониторинг) условиях, рационального использования криогенных ресурсов, обеспечения надежности зданий и инженерных сооружений, и устойчивого развития территорий;

Цель: Контроль современного состояния и прогноз динамики основных параметров криогенной толщи.

Сегодня, в мире НЕТ сформированной системы контроля состояния вечной мерзлоты – её нужно создавать, есть предложения и мысли как это сделать. Начинать необходимо с понимания ЧТО и КАК делать.

Для реализации системы мониторинга вечной мерзлоты сегодня необходимо:

1. Разработка и утверждение программы с ясной позицией и этапами выполнения работ. Районирование территории – для обеспечения достоверности и правильной оценки, с учетом геокриологических, геолого-географических и климатических условий.

2. Расширение комплекса наблюдений (увеличение пунктов наблюдений на станциях - ландшафтный подход)..

3. Подготовка научно-обоснованной программы Формирования системы геокриологического мониторинга РФ (не фонового!!!!) с учетом перспектив экономического развития территорий.

4. Создание **Межведомственного комитета (коммисии)** по организации и ведению системы мониторинга криолитозоны РФ.

Фоновый – Росгидромет; **Геотехнический** – Минпром, Роснедра, на объектах – компании ЖКХ, Муниципалитеты. **Центр сбора, систематизации и прогноза** – возможно на базе РАН – отдельное Поручение правительства, Мин.обр.науки. При этом центры сбора информации и систематизации создаются в регионах – на базе Научных центров, Институты РАН, гос. предприятий.

5. Научное сопровождение

Какой подход мы сейчас с Вами изберем.....?

1. Если просто понаблюдать и оценить как меняется мерзлота на отдельных площадках и доложить, что у нас есть система мониторинга – это одно..... Только непонятно кому и для чего это нужно ???

2. Если результаты этой системы применять для прогноза геокриологических условий в целях эффективного освоения и жизнеобеспечения северных территорий, то это другой подход, который может быть реализован только с организацией систем ФМ и ГМ и центром способным это систематизировать, давать оценку и разрабатывать прогнозы развития для территорий освоения и жизнедеятельности.



Государственный мониторинг вечной мерзлоты РФ, должен представлять собой межведомственную систему регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки и анализа информации для:

- оценки состояния вечной мерзлоты в естественных условиях (**фоновый мониторинг**) и на освоенной территории (**геотехнический мониторинг**);

- составления прогнозов ее изменений под влиянием естественных природных факторов, недропользования, промышленного, гражданского строительства и жилищно-коммунального хозяйства;

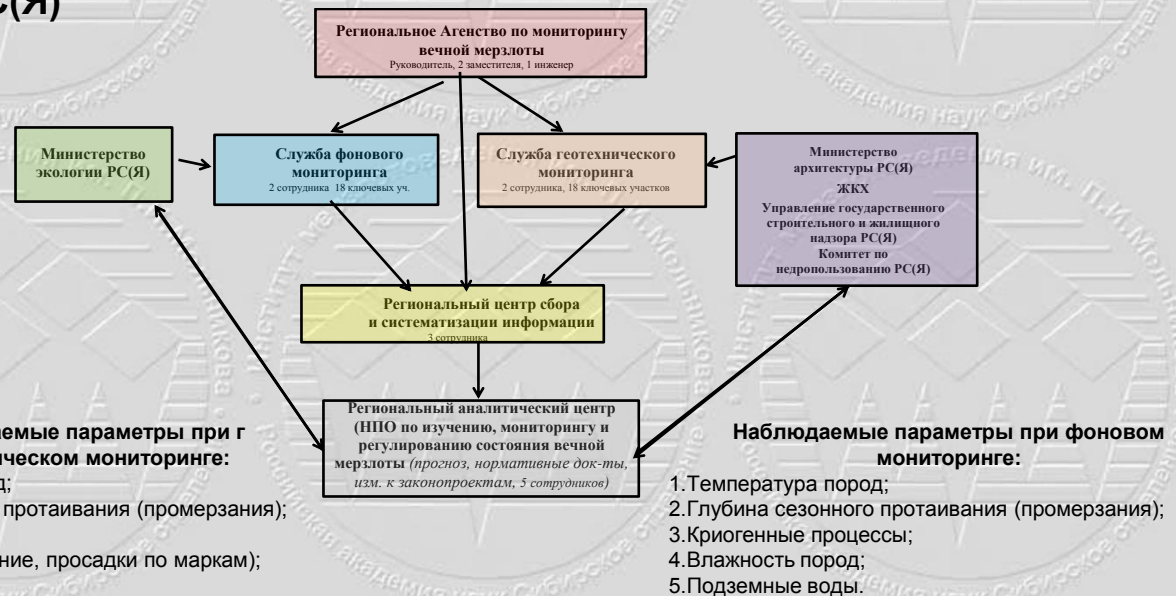
- разработки методов регулирования состояния вечной мерзлоты для охраны и рационального использования криогенных ресурсов и устойчивого развития территорий криолитозоны РФ.

В сложившейся ситуации северным **Регионам** необходимо включаться в создание и адаптацию системы мониторинга вечной мерзлоты для предотвращения аварийных ситуаций которые назревают.

В основе создания предлагаемой системы заложен геолого-геоморфологический принцип и ключевые полигоны охватывают как основные природные комплексы, так и техногенные системы (жилые здания, нарушенные территории при разработке месторождений и др.). Предлагаемая система геокриологического полигона будет сосредоточена на территории съёмочного листа м-ба 1:2000 000 (1:100 000), охватывать наблюдения в различных ландшафтных условиях, и организацию геотехнического мониторинга на территории населенных пунктов.

Подобная система инициативно создается в Анабарском районе (п.Саскылах), в г. Якутске, Амгинском и Чурапчинском районах. В осуществлении этой программы активно участвуют образовательные школы районов, население.

Принципиальная структура системы «Мониторинг криолитозоны РС(Я)



Благодарю за внимание



❑ *Подготавливаемый законопроект должен определять что такое по сути мониторинг вечной мерзлоты, именно по этому он не может обсуждаться без понимания предмета и понятий.* Это первый законопроект касающийся мониторинга криолитозоны. Правительством дано задание на создание системы **МОНИТОРИНГА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ**. В законопроекте под **№ 1** должно быть **ОПРЕДЕЛЕНИЕ**, что мы и все последующие будут понимать под **ЭТИМ**...

❑ **Внести в Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды" (Собрание законодательства Российской Федерации, 2002, № 2, ст. 133; 2022, № 13, ст. 1960) следующие изменения:**

❑ **1) статью 1 дополнить понятиями:**

❑ **- Государственный мониторинг вечной мерзлоты** – межведомственная система долгосрочных наблюдений, сбора, обработки, анализа данных и прогноза состояния многолетней (вечной) мерзлоты в природных (фондовый мониторинг) и нарушенных (геотехнический мониторинг) условиях, рационального использования криогенных ресурсов, обеспечения надежности зданий и инженерных сооружений, и устойчивого развития территорий;

❑ **-Фоновый мониторинг вечной мерзлоты** - межведомственная система долгосрочных наблюдений, сбора, обработки и анализа данных, прогноза состояния многолетней (вечной) мерзлоты (включая прогнозное разномасштабное картирование) в естественных природных условиях;

❑ **- Геотехнический мониторинг вечной мерзлоты** - межведомственная система долгосрочных наблюдений за состоянием многолетней (вечной) мерзлоты на нарушенных территориях, в том числе в основаниях зданий и инженерных сооружений, комплексного их контроля, прогнозирования и обеспечения эксплуатационной надежности на всех стадиях жизненного цикла;

❑ **- Состояние вечной мерзлоты** – совокупность характеристик многолетней (вечной) мерзлоты, включая состав и строение горных пород и почв, температуру, тепловой поток, пространственное положение границ многолетней (вечной) мерзлоты, и характеристик окружающей среды, которые их определяют, включая характеристики напочвенных покровов, влажность слоя сезонного протаивания (промерзания) и теплофизические и другие свойства горных пород и почв, а также мерзлотные процессы;

❑ **- Вечная мерзлота** – горные породы и почвы,.....

❑ **- Прогноз состояния вечной мерзлоты** – научно обоснованная качественная и количественная оценка состояния многолетней (вечной) мерзлоты в будущем в результате воздействий природного и техногенного характера;

Что происходит с созданием системы «МОНИТОРИНГ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ В РФ»?????

Создание системы «Мониторинга криолитозоны» - предложенная Правительством РФ (к исп. РОСГИДРОМЕТ) в рамках предлагаемой сегодня программы - **не является таковой и отвечающей требованиям национальной безопасности и способствующей обеспечению эффективного освоения северных регионов. Это может быть лишь частью национальной системы «Мониторинг вечной мерзлоты».**

Государственный мониторинг вечной мерзлоты – межведомственная система долгосрочных наблюдений, сбора, обработки, анализа данных и прогноза состояния многолетней (вечной) мерзлоты в природных (фоновый мониторинг) и нарушенных (геотехнический мониторинг) условиях, рационального использования криогенных ресурсов, обеспечения надежности зданий и инженерных сооружений, и устойчивого развития территорий;

Цель: Контроль современного состояния и прогноз динамики основных параметров криогенной толщи.

Задачи (исследование, проведение):

1. Исследование физико-механических свойства горных пород (грунтов).
2. Организация и проведение режимных температурных измерений (30 м, 150 м и на всю толщу ММП);
3. Режимные наблюдения за влажностью пород (грунтов);
4. Наблюдения за динамикой криогенных процессов;
5. Режимные наблюдения за динамикой СТС и СМС слоев;
6. Оценка состояния и прогноз развития криогенных процессов;
7. Усовершенствование и разработка новых методических подходов к обеспечению неразрушающего контроля состояния ММП методами геофизики.