



ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН

Обеспечение устойчивости автомобильных дорог в криолитозоне

член-корр. РАН Железняк М.Н., к.г.-м.н. Гагарин Л.А., к.г.н. Сыромятников И.И., Литовко А.В.

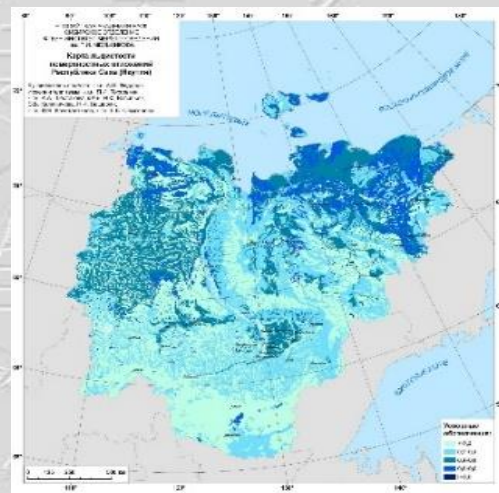
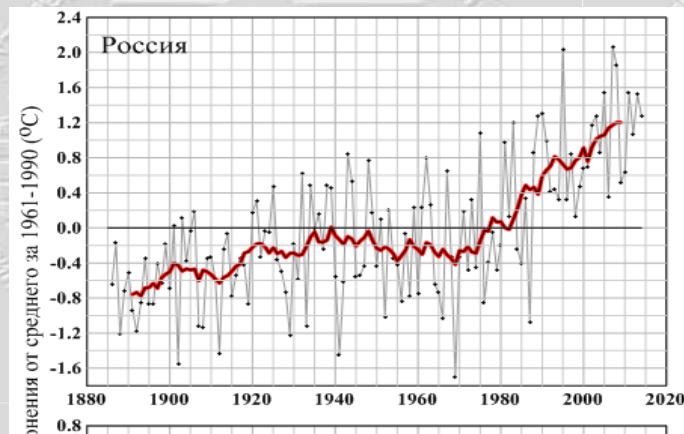




Устойчивое развитие северных экосистем в условиях изменяющегося климата, обеспечение жизнедеятельности и функционирование инженерных сооружений невозможны без знаний о высокодинамичном компоненте природной среды - МЕРЗЛОТЕ.



В мерзлых толщах лёд является порообразующим 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.



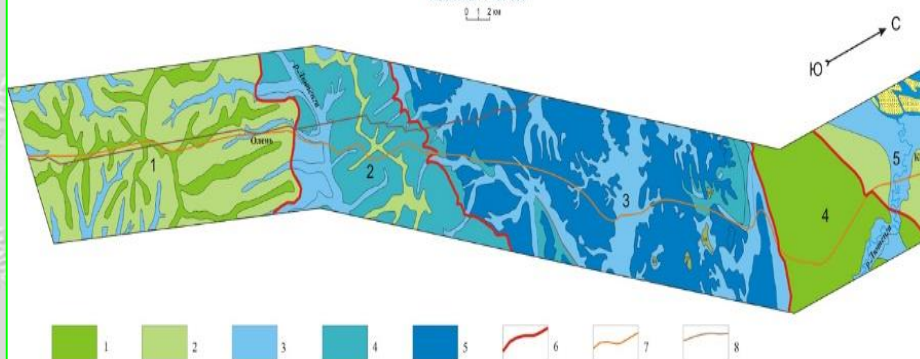
Устойчивость автомобильных дорог определяется:

- Инженерно-геологическими условиями;
- Проектными решениями;
- Техническим выполнением (строительством) проекта;
- Изменением состояния природных условий и полотна трассы в процессе её эксплуатации;
- Качеством и материалами дорожной одежды

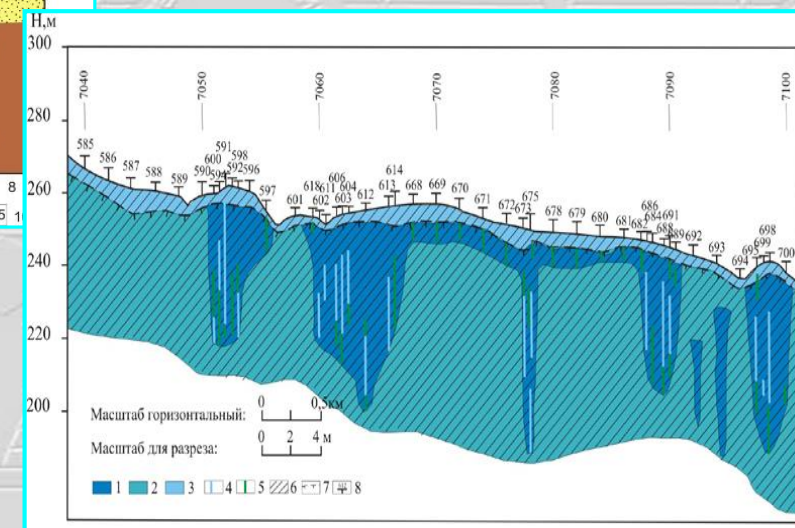
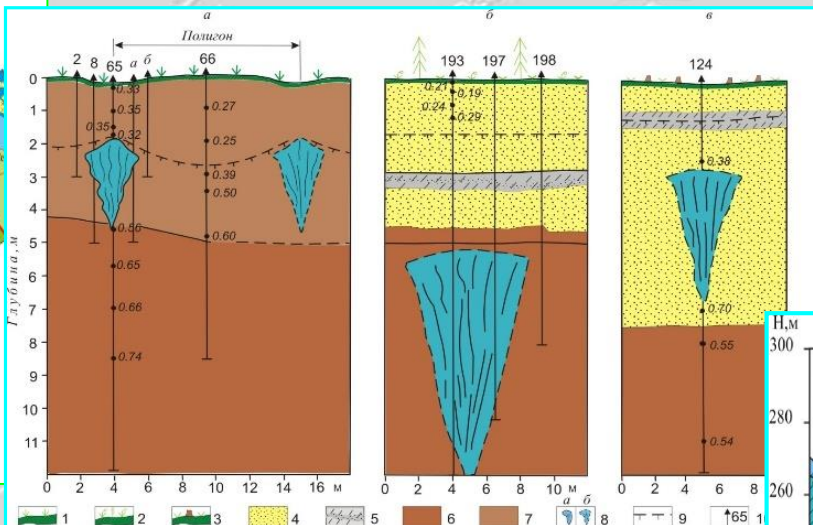


Карта льдистости верхней 10-метровой толщи многолетнемерзлых пород на участке ст. Олень - ст. Кердем.

Масштаб 1:100 000

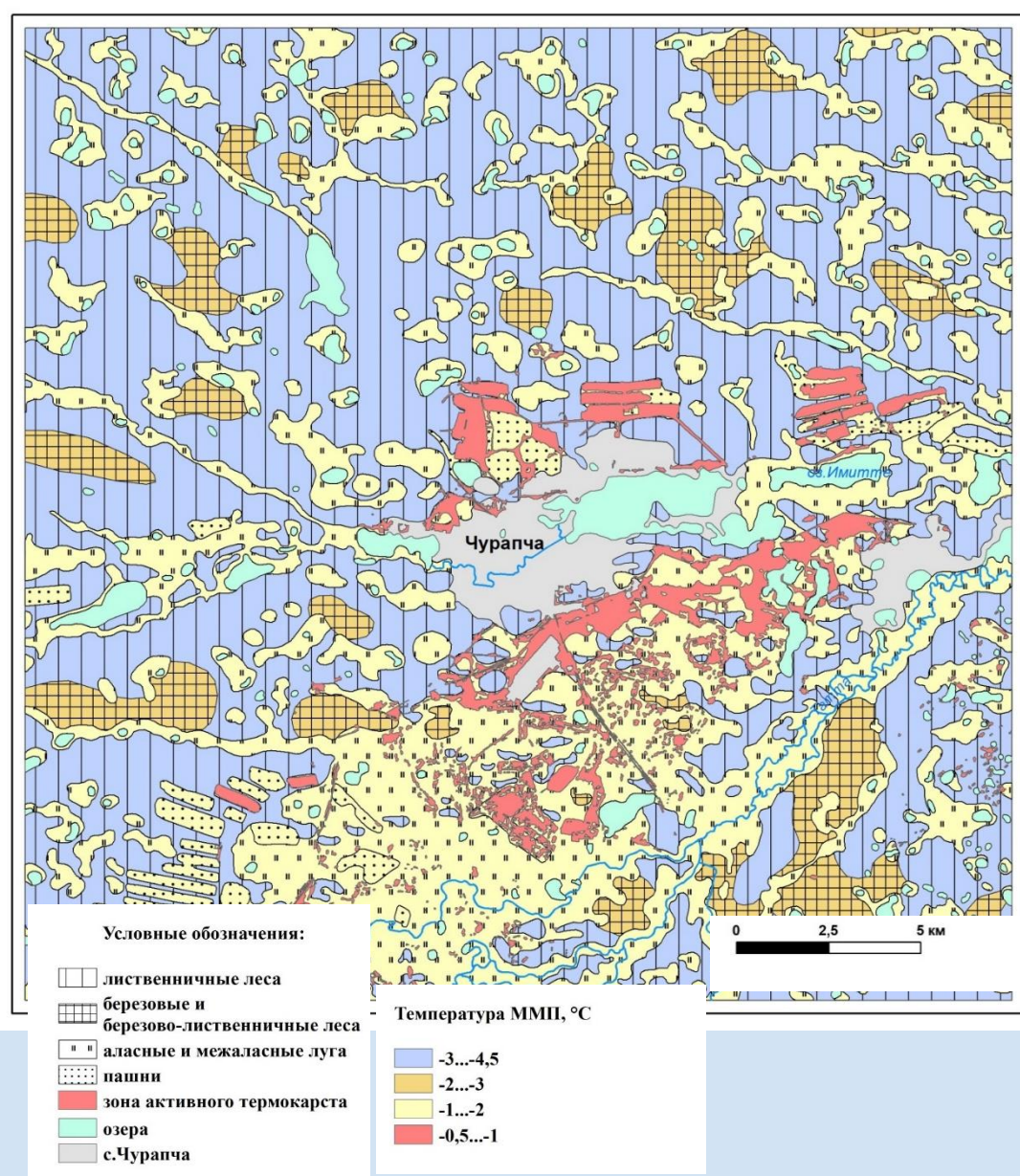


Условные обозначения: Лёдистость грунтов (в долях единиц): 1-0,1-0,4 за счет текстуробразующих льдов; 2-0,3-0,5 за счет текстуробразующих льдов, малоомощных ледяных жил на подложке склонов и днище долины рек и ручьев; 3-0,4-0,6 за счет текстуробразующих льдов, малоомощных ледяных жил на подложке склонов и днище долины рек и ручьев; 4-0,5-0,7 за счет текстуробразующих льдов с фрагментарным распространением повторно-жизненных льдов; 5-0,6-0,9 за счет текстуробразующих льдов с фрагментарным распространением повторно-жизненных льдов.
Мерзотно-ландшафтные районы и подрайоны: 1-Лено-Амгинский песчановый район; 2-подрайон переходной полигенетической равнины; 3-Лено-Амгинский аласно-долинный район; 4-Песчано-грядовый подрайон Тонголооского аласно-холмистого района; 5-Приамгинский долинно-лессовый район.
Прочие обозначения: 6-граница мерзотно-ландшафтных районов и подрайонов; 7-проектируемая трасса железной дороги; 8-Амуро-Якутская автомобильная дорога.



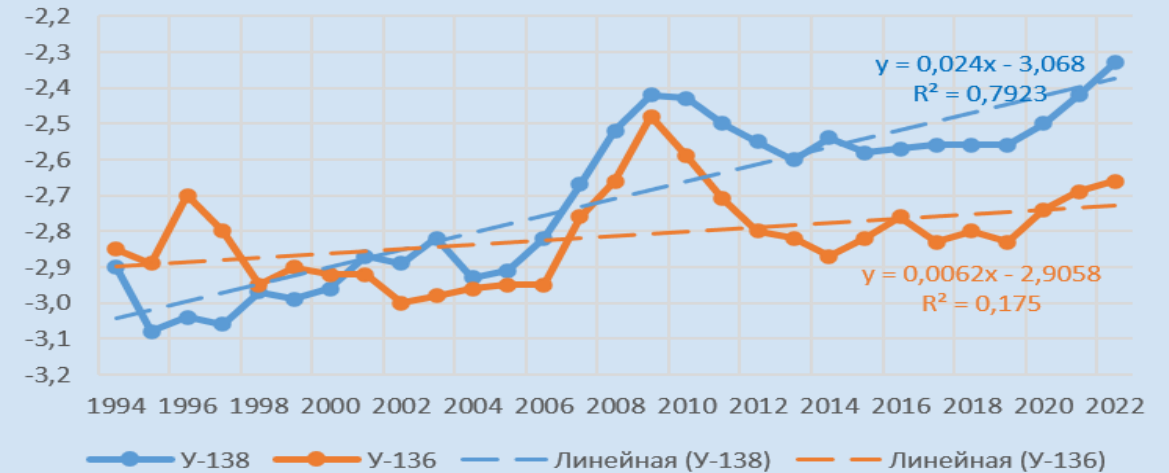
Нужно закончить бороться с мерзлотой, а научиться её учитывать и относиться к этому компоненту с позиций понимания её развития, состояния и реакции на окружающую её среду

Карта мерзлотных ландшафтов (Чурапчинский район Ц. Якутия)

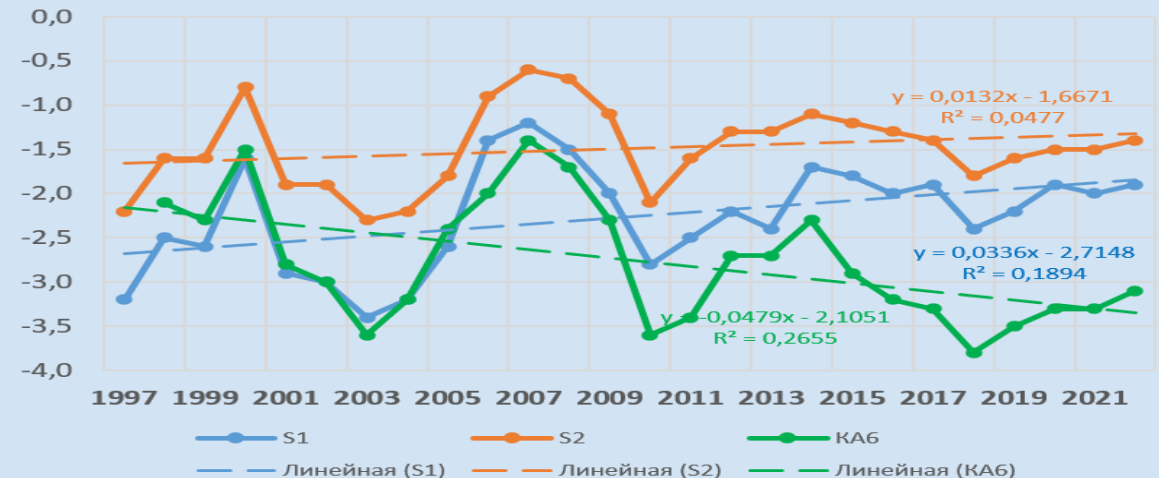


Изменение температуры пород в Центральной Якутии

Участок Умайбыт, Тг на глубине 20 м



Спасская Падь, Тг на глубине на 3,2 м



Разрушение и деформации а/дорог на Севере





Мониторинг состояния природной среды, учитывая её многокомпонентность, является единственной и сложной системой получения достоверной информации для оценки состояния, обеспечения прогноза и разработки превентивных мероприятий. Прогноз состояния ПТС практически невозможен без учета этого динамического компонента. Поэтому создавая систему контроля за состоянием автомобильных дорог мы совершенно точно понимаем взаимосвязь природной среды и конструкцией автомобильной дороги.

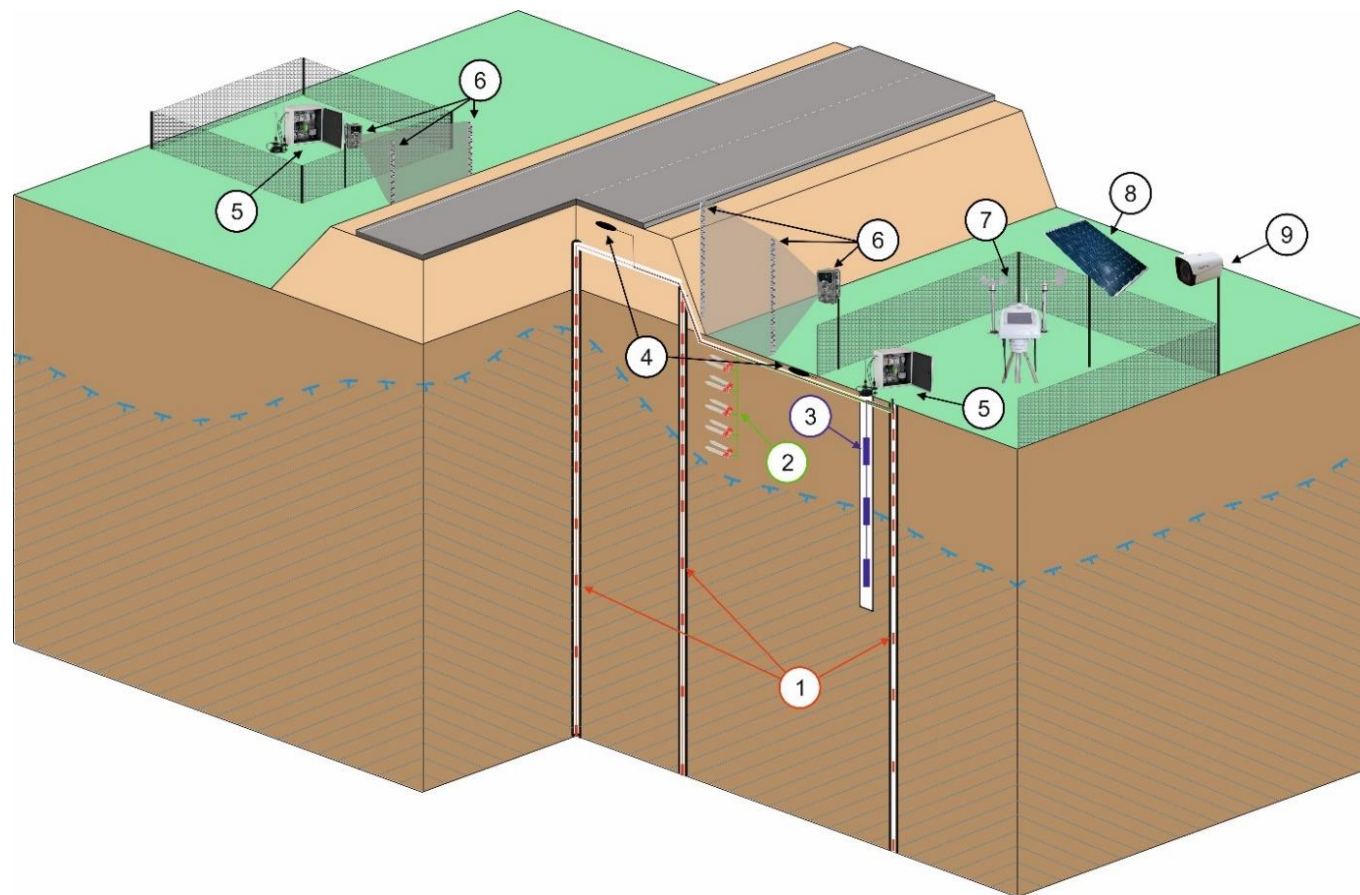
Важнейшим шагом в создании мониторинговой сети и обеспечения прогноза состояния и устойчивости автомобильной дороги является районирование территории в основе которого в северных регионах лежат климатические условия и МЕРЗЛОТА (мерзлотно-климатическое районирование)

Создать идеальную систему быстро – невозможно, но то что получая информацию мы будем улучшать качество строительства и эксплуатации дорог – это совершенно точно.

Понижение стоимости строительства а\дорог при введении системы мониторинга не всегда получается, вот эффективность и затраты на эксплуатацию и содержания дорог – это совершенно точно!



Схема оборудования стационарного поста геотехнического мониторинга автодорог



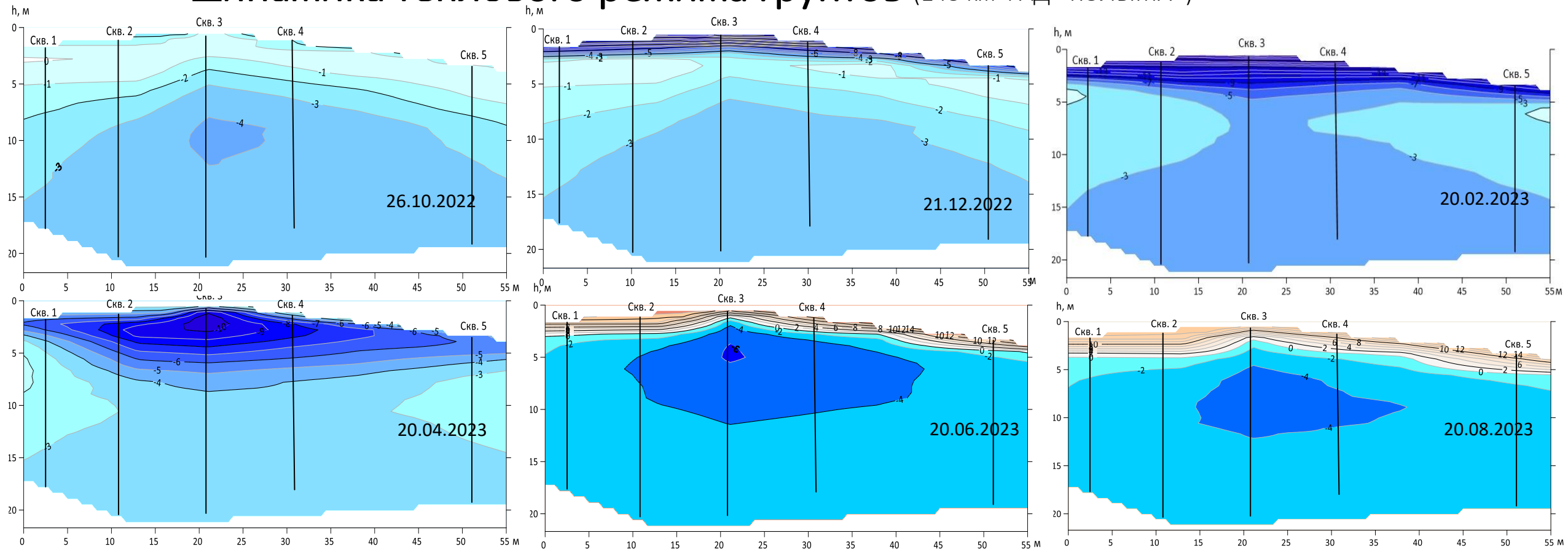
Условные обозначения:

I – асфальтобетонное покрытие автодороги; II – насыпь автодороги; III – почвенно-растительный слой придорожной полосы; IV – грунт; V – верхняя граница многолетнемерзлых грунтов; VI – сезонно- и многолетнемерзлые грунты;

1 – термометрические скважины, оборудованные термокосями; 2 – датчики влажности грунта; 3 – гидрогеологическая скважина, оборудованная пьезометрическими датчиками; 4 – датчики плотности теплового потока; 5 – модуль сбора данных; 6 – снегомерные рейки и фотоловушка для фиксации высоты снега; 7 – стационарная метеорологическая станция; 8 – солнечная панель для питания оборудования; 9 – камера видеонаблюдения.



Динамика теплового режима грунтов (148 км ФАД «КОЛЫМА»)

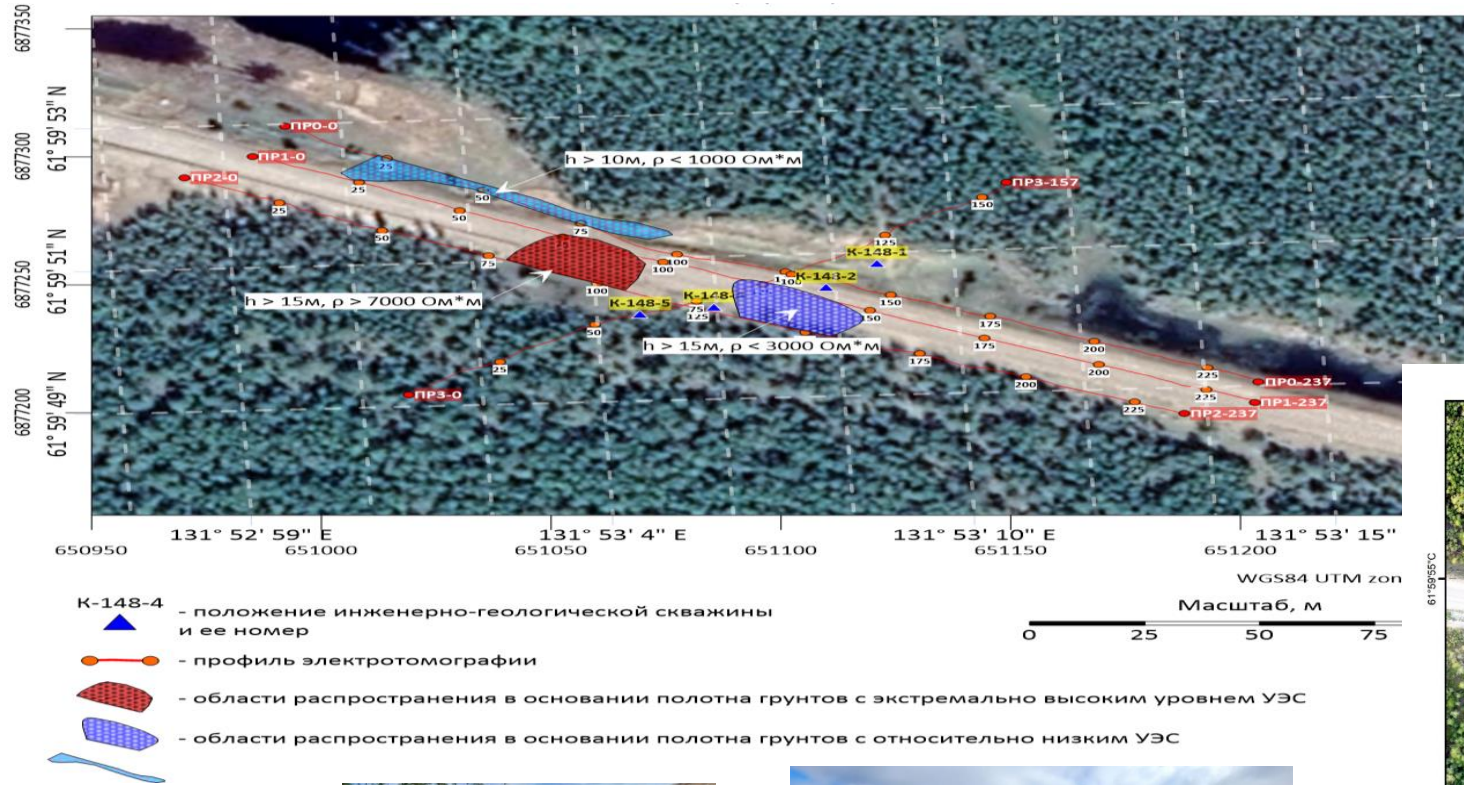


Анализ динамики температурного режима грунтов показал, что в зимний период охлаждение грунтов основания насыпи происходит более интенсивно по сравнению с полосой отвода. В октябре под земляным полотном на глубине 9-12 м еще оставалась охлажденная зона с температурой грунтов около -4°C . Охлаждение земляного полотна грунтов основания происходило снизу. Интенсивное промерзание СТС началось в ноябре и продолжалось до конца февраля. В этот период температура в оси земляного полотна и основания насыпи (скв. 3) на глубинах: 1; 3; 6 и 10 м достигла значений $-24,5$; $-10,4$; $-3,9$ и $-3,5^{\circ}\text{C}$ соответственно, а в полосе отвода на тех же глубинах она имела значения на $17,1 - 0,6^{\circ}\text{C}$ выше и составляла соответственно $-7,4$; $-0,8$; $-2,0$ и $-2,9^{\circ}\text{C}$.

В конце апреля отмечается повышение температуры грунтов с поверхности, а на глубине 2-4 метра формируется охлажденное ядро (до -10°C) с центром под полосой а\д.

С мая началось активное протаивание грунтов, а в середине июня мощность сезонно-талого слоя под дорожным покрытием достигла 1,3 м, а в полосе отвода – 0,8-1,0 м. В этот период формируется низкотемпературная область (-6°C) в основании насыпи автодороги на глубине 3-6 м.

Геофизические исследования, наземное лазерное сканирование и применение БПЛА



Создав мониторинговые посты мы уже сегодня можем оценить :

- 1. Особенности динамики снегонакопления для различных элементов природно-климатических зон и полосы отведения дороги.** *Только в пределах полосы отведения а\д «Колыма» высота и плотность снежного покрова изменяются значительно при среднем значении от 6 до 22 мм и от 10 до 98 г\см³ соответственно.*
- 2. Изменение температурного режима и влажности грунтов** (срочные, среднесуточные, декадные, среднемесячные, среднегодовая) для разных элементов конструкции автомобильной дороги. *Значение ΔT в течение года между осью автодороги и полосой отвода на глубине 1 м изменяется от 0,9 до 19,0 °С. Наибольшее значение разницы температуры наблюдается в январе и определяется влиянием снежного покрова.*
- 3. Особенности формирования температуры воздуха.** *Выявлено, что в равнинной местности среднемесячная температура воздуха в радиусе 30 км имеет разницу в пределах 1 °С (метеостанция Чурапча и пост на км 148 ФАД «Колыма»), а в горных областях в радиусе 40 км (метеостанция Восточная и пост на км 727 ФАД «Колыма») разница в значениях среднемесячных температур достигает более 11 °С.*
- 4. Информация с поста мониторинга позволяет выявить сезонные изменения мерзлотно-грунтовых условий, что позволяет научно-обоснованно, с помощью расчетов и моделирования, оценить устойчивость и прогнозировать возможные причины деформаций на аналогичных участках а\д.**
- 5. Следующий шаг – это адекватное мерзлотно-климатическое районирование автомобильных дорог.**

Таксономическая система ландшафтов (по Милькову, 1970)



Основные критерии выделения мерзлотных ландшафтов (Федоров, 1991)



К принципам дорожно-климатического районирования в зоне вечной мерзлоты

1 уровень (масштаб 1:1 000 000 и мельче)

- **Региональный комплекс:** Мерзлотно-ландшафтные провинции
- **Типологические комплексы:** Типы местности & типы ландшафтов

2 уровень (масштаб 1:300 000 – 1:500 000)

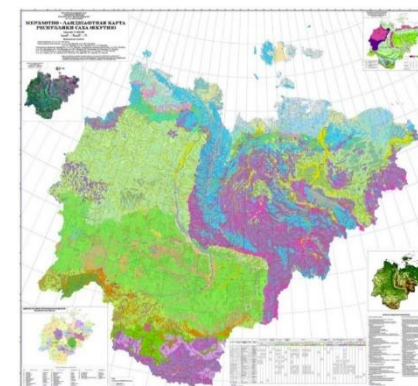
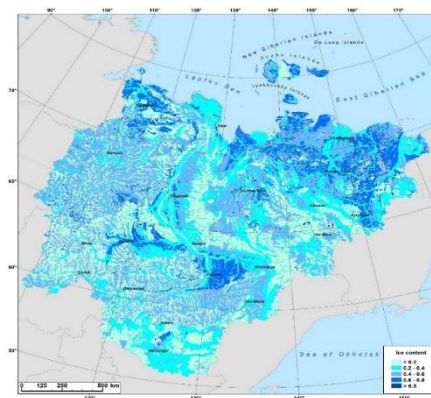
- **Региональный комплекс:** Мерзлотно-ландшафтный район
- **Типологические комплексы:** Подтипы местности & группы растительных ассоциаций

3 уровень (Масштаб 1:50 000 – 1:100 000)

- **Региональный комплекс:** Мерзлотно-ландшафтный подрайон
- **Типологические комплексы:** Типы урочищ & группы растительных ассоциаций

4 уровень (Масштаб 1:10 000 – 1:25 000)

- **Типологические комплексы:** Типы фаций & растительные ассоциации



Разработка районирования территории по степени устойчивости природной среды и обеспечение прогноза возможных изменений

Сотрудниками ИМЗ СО РАН, на основании мерзлотно-ландшафтного подхода, предложена

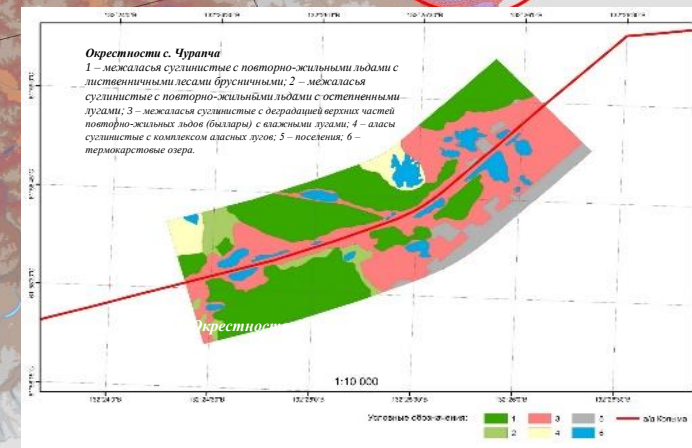
4-х уровневая схема мерзлотно-климатического районирования (линейных сооружений) в криолитозоне (ад «Колыма»)

1 уровень : - мерзлотно-ландшафтные провинции (региональные комплексы);

2 уровень – типологические комплексы: типы местности и типы ландшафтов;

3 уровень - типологические комплексы: на основании группы растительных ассоциаций;

4 уровень - типологические комплексы: растительные ассоциации.



Основные критерии районирования для мерзлых пород

1) Температура, dt

2) Льдистость, di

3) $СТС-СМС, dh$



№	Провинции	Преобладающие ландшафты	Преобладающие грунты поверхностных отложений	Льдистость отложений	Температура грунтов, °C	Мощность сезонно-талого слоя, м	Преобладающие криогенные процессы
6	Якутск – р.Алдан	Равнина: озерно-аллювиальная аласная	Суглинки, супеси	0,4-0,6	-2...-4	1,0-1,4	Термокарст, термоэрозия
7	р.Алдан – Теплый Ключ	Равнина: моренно-зандровая	Супеси, пески	0,2-0,4	-2...-4 / -4...-6	1,0-1,4 / 0,5-1,0	Морозобоинное растрескивание, термокарст, пучение
8	Теплый Ключ – м/с Сунтар	Среднегорье: горносклоновые коллювиальные	Глибово-щебенистый материал	до 0,2	-2...-6 / -8...-11	1,5-3,0 / 1,5-2,5	Криогенное выветривание, термоэрозия
9	м/с Сунтар – м/с Делянзир	Низкогорье: горносклоновые коллювиальные и делювиально-солифлюкционные	Глибово-щебенистый материал / суглинки и супеси щебенистые	до 0,2 / 0,2-0,4	от -2...-6 до -8...-11 / -4...-7	2,0-3,0 / 0,8-1,2	Криогенное выветривание, термоэрозия, солифлюкция, термоэрозия, пучение

Наледи на автомобильных дорогах

Необходимо выявление и оценка особенностей наледеобразования с детализацией причин и механизма развития. На основе актуальных данных о мерзлотно-гидрогеологическом строении территории и особенностях развития наледеобразования разработать (усовершенствовать) существующие способы противоналедной борьбы.

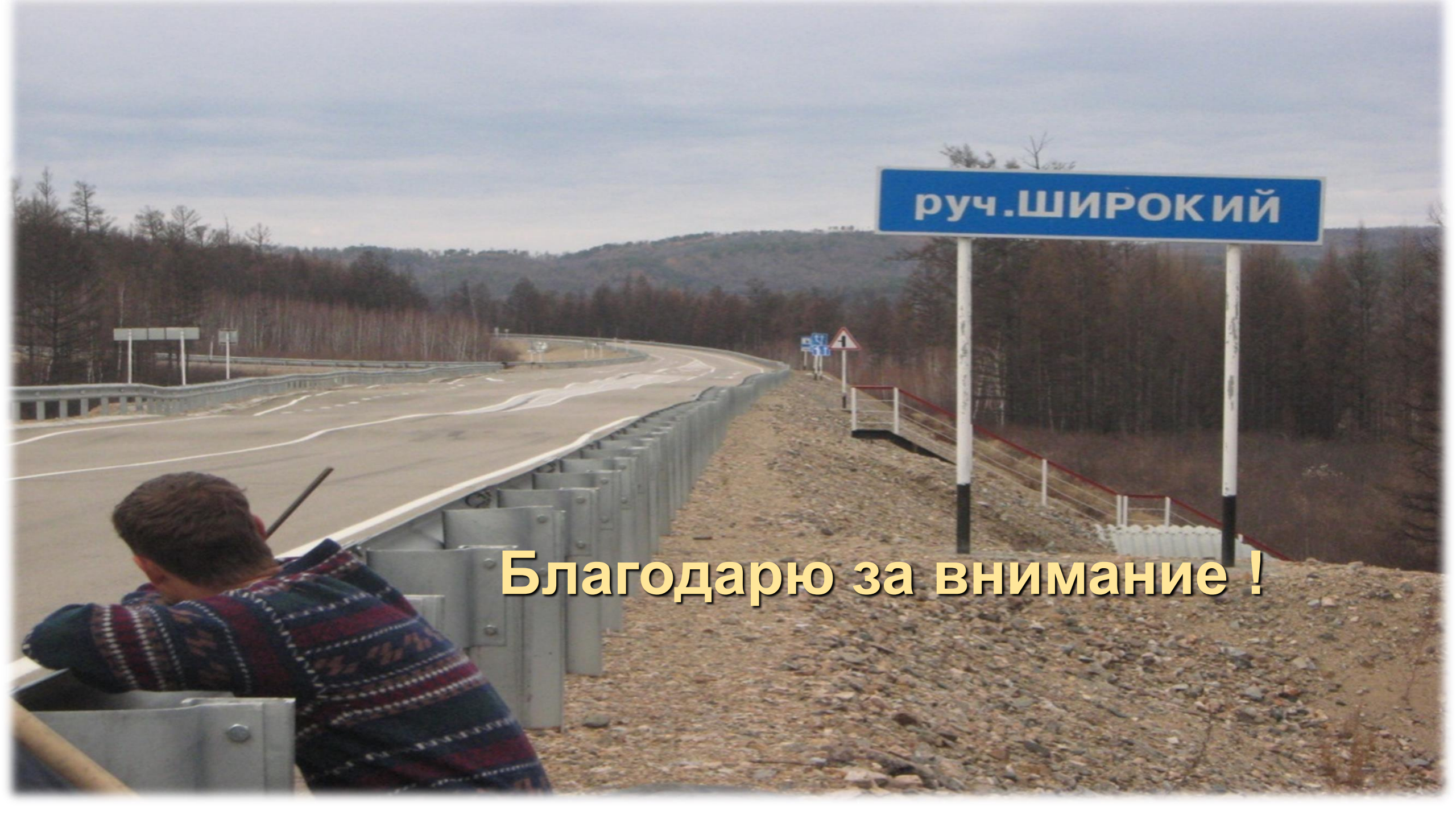
96 наледей - на а\д «Лена»

На 27 км а\д «Колыма» - образуются наледи



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Создание постов мониторинга мерзлотно-климатических условий позволяет выявить региональные особенности микроклимата, параметры и динамику (в течении года) мерзлотно-грунтовых условий. Предусмотреть и рассмотреть возможность дифференцированного подхода и корректировке комплекса наблюдений на мониторинговых площадках.
2. Следующий шаг который необходимо сделать – это выполнить **адекватно мерзлотно-климатическое районирование автомобильных дорог**, что позволит выполнить оптимальное расположение мониторинговых постов и обоснованно подойти к индивидуальным проектным решениям строительства и реконструкции дорог.
3. **Научное сопровождение при строительстве и реконструкции а\д** даст возможность получить и восполнить пробел в оценке инженерно-геокриологических условий и получить достоверную информацию о мерзлотно-грунтовых условиях для обоснованного проектирования, строительства и кап. ремонтов а\д. Это позволит подтянуть средства научных ФЦП для обеспечения устойчивости а\д.
4. Для некоторых участков а\д, сегодня необходимо ввести **ограничение нагрузок в определенные периоды времени** (весенний период, начало сезонного протаивания, интенсивные дожди и пр.).
5. **Проектные решения строительства а\д на склонах требуют обоснованного индивидуального подхода** и усиления инженерно-геологической изученности. В значительной степени это касается влияния надмерзлотных вод.
6. **Подземные воды (надмерзлотные), контроль их динамики, проблемы и методы водоотведения** требуют дифференцированного подхода. Сегодня применяемые автоматизированные системы контроля проходят проверку работоспособности на а\д Лена.
7. Необходимо **создание федерального информационного центра** для организации хранения данных и разработки унифицированных методов анализа получаемой информации в процессе проведения и\г изысканий и мониторинговых площадок.

A photograph of a road construction site. In the foreground, a person wearing a colorful patterned sweater is seen from the back, leaning over a metal guardrail. The road is a two-lane asphalt road that curves to the right. To the right of the road is a gravel shoulder with a blue rectangular sign on two white poles that reads 'руч.ШИРОКИЙ' in white Cyrillic letters. Further down the road, there are more signs, including a triangular warning sign with a black border and a white background. The background consists of a dense forest of bare trees under a cloudy sky.

руч.ШИРОКИЙ

Благодарю за внимание !