



ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН
ФГБУН Институт геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН

Опыт организации инженерно-геокриологического мониторинга и оборудования мониторинговых стационарных постов в полосе отвода автомобильных дорог в криолитозоне

Железняк М.Н., Сыромятников И.И., Федоров А.Н.,
Литовко А.В., Кириллин А.Р., Сергеев О.Д.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ДОРОЖНОГО АГЕНТСТВА
БЛАГОВЕЩЕНСК | 19–21 АВГУСТА 2024 ГОДА



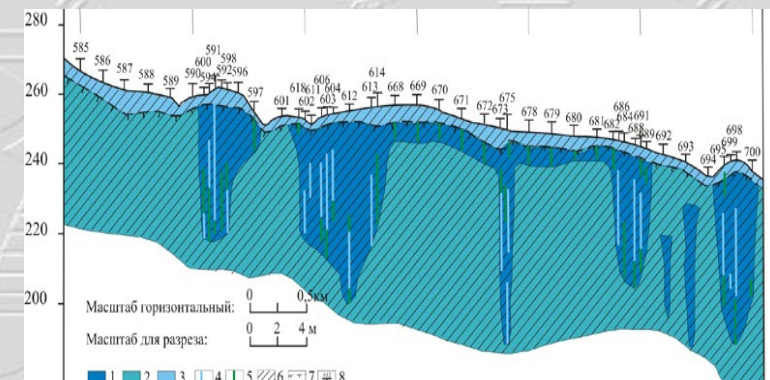
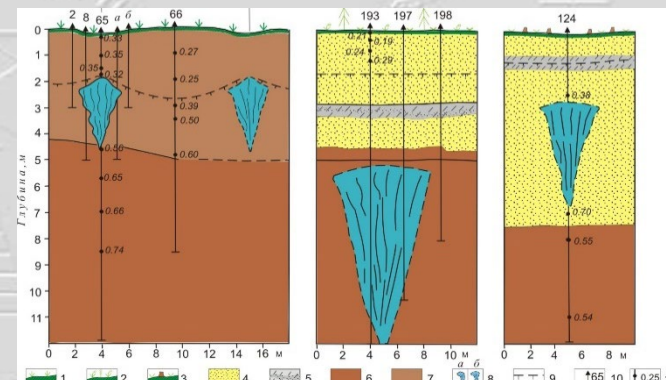
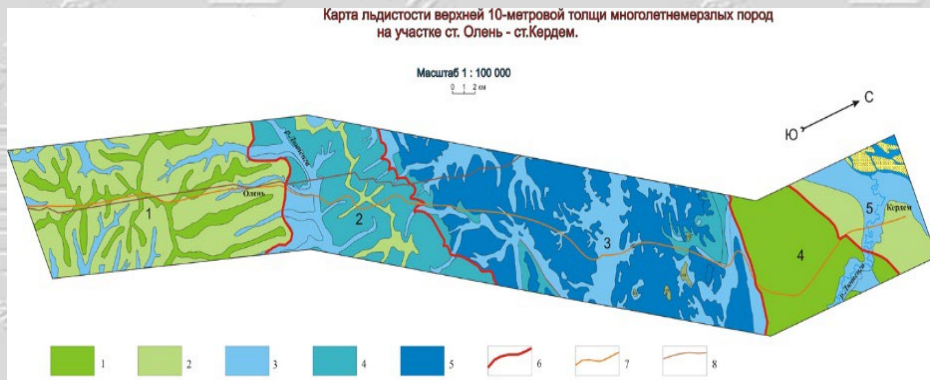
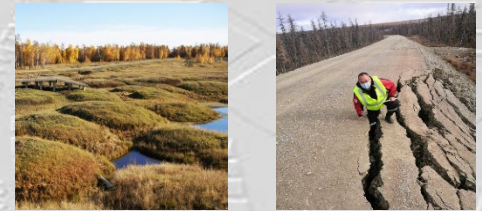
Устойчивое развитие северных экосистем в условиях изменяющегося климата, обеспечение жизнедеятельности и функционирование инженерных сооружений невозможно без знаний о высокодинамичном компоненте природной среды – МЕРЗЛОТЕ.



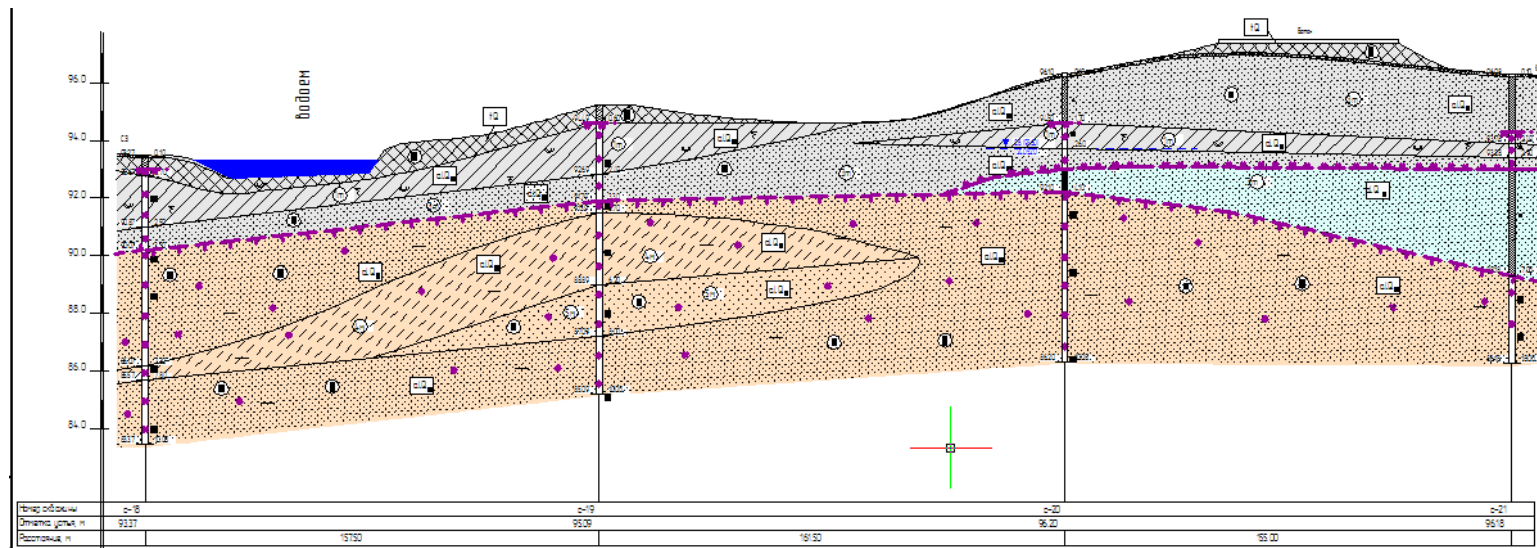
Нужно закончить с ней бороться, а научиться её учитывать и относиться к этому компоненту с позиций понимания её развития, состояния и реакции на окружающую её среду

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



МЕРЗЛОТНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ В ПОЛОСЕ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)



ПАСПОРТ СКВ №166

Объект: Реконструкция ИВПП-2 аэропорта Якутск (III очередь строительства), Республика Саха (Якутия) (Объекты федеральной собственности) (корректировка)
Реконструкция ИВПП-2 аэропорта Якутск (III очередь строительства), РС(Я)

Начата: 26.04.20 г.
Окончена: 26.04.20 г.

Масштаб 1:50

Абс. отметка устья 96,10 м

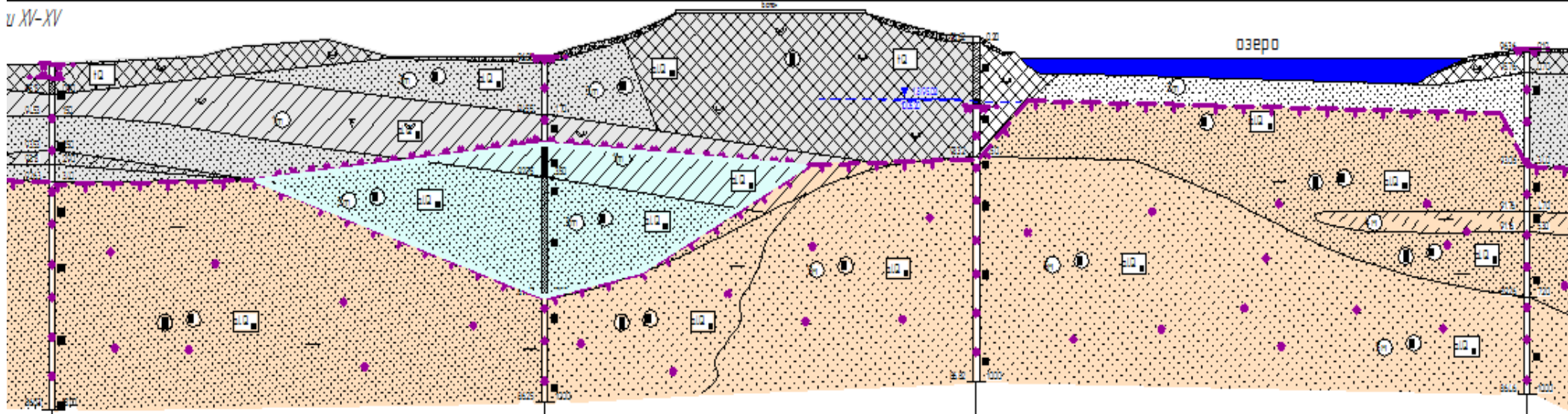
Глубина скважины	Описание грунта	Глубина слоя м	Мощность слоя м	Абс. отметка подошвы м	Уровень грунтовых вод, абс. отм. м	Земля или мерзлота
1,1	Насыщенный грунт песчаный, коричневый, засоленный, с включениями ила, слабообводненный, с массивной круглозернистой текстурой	1,1	1,1	95,00		мерзлота
4,1	Песок мелкий коричневого, засоленного, мерзлый, слабообводненный, с массивной круглозернистой текстурой. С глубиной 1,4 м слой, слабый, орошевой пластичности. С глубиной 3,0 м грунт слабообводненный, с массивной круглозернистой текстурой.	4,1	3,0	93,00		мерзлота
7,9	Смесь коричневого цвета, с примесью органического вещества, мерзлая, слабообводненная, со сложной круглозернистой текстурой	7,9	3,8	91,20		мерзлота
6,6	Песок мелкий ореховый, засоленный, мерзлый, орошевой пластичности, с массивной круглозернистой текстурой	6,6	0,7	90,50		мерзлота
10,0	Песок ореховый крупнозернистый серого цвета, мерзлый, слабообводненный, с массивной круглозернистой текстурой	10,0	3,4	86,10		мерзлота

Составил: Новикова И. А. Проверил: Шестерина Д. Д.

04/20-П-ЯИГИ22-Г-8

Лист 164

и XV-XV



РАЗРУШЕНИЕ И ДЕФОРМАЦИИ АДРОГ НА СЕВЕРЕ





МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ, УЧИТЫВАЯ ЕЁ МНОГОКОМПОНЕНТНОСТЬ, ЯВЛЯЕТСЯ ЕДИНСТВЕННОЙ И СЛОЖНЕЙШЕЙ СИСТЕМОЙ ПОЛУЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ, ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОГНОЗА И РАЗРАБОТКИ ПРЕВЕНТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ. ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ПТС ПРАКТИЧЕСКИ НЕВОЗМОЖЕН БЕЗ УЧЕТА ЭТОГО ДИНАМИЧНОГО КОМПОНЕНТА. ПОЭТОМУ СОЗДАВАЯ СИСТЕМУ КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ МЫ СОВЕРШЕННО ТОЧНО ПОНИМАЕМ ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И КОНСТРУКЦИЕЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ.



Именно поэтому первый шаг районирования территории прохождения автомобильной дороги является реальной необходимостью при формировании мониторинговой сети автомобильных дорог.

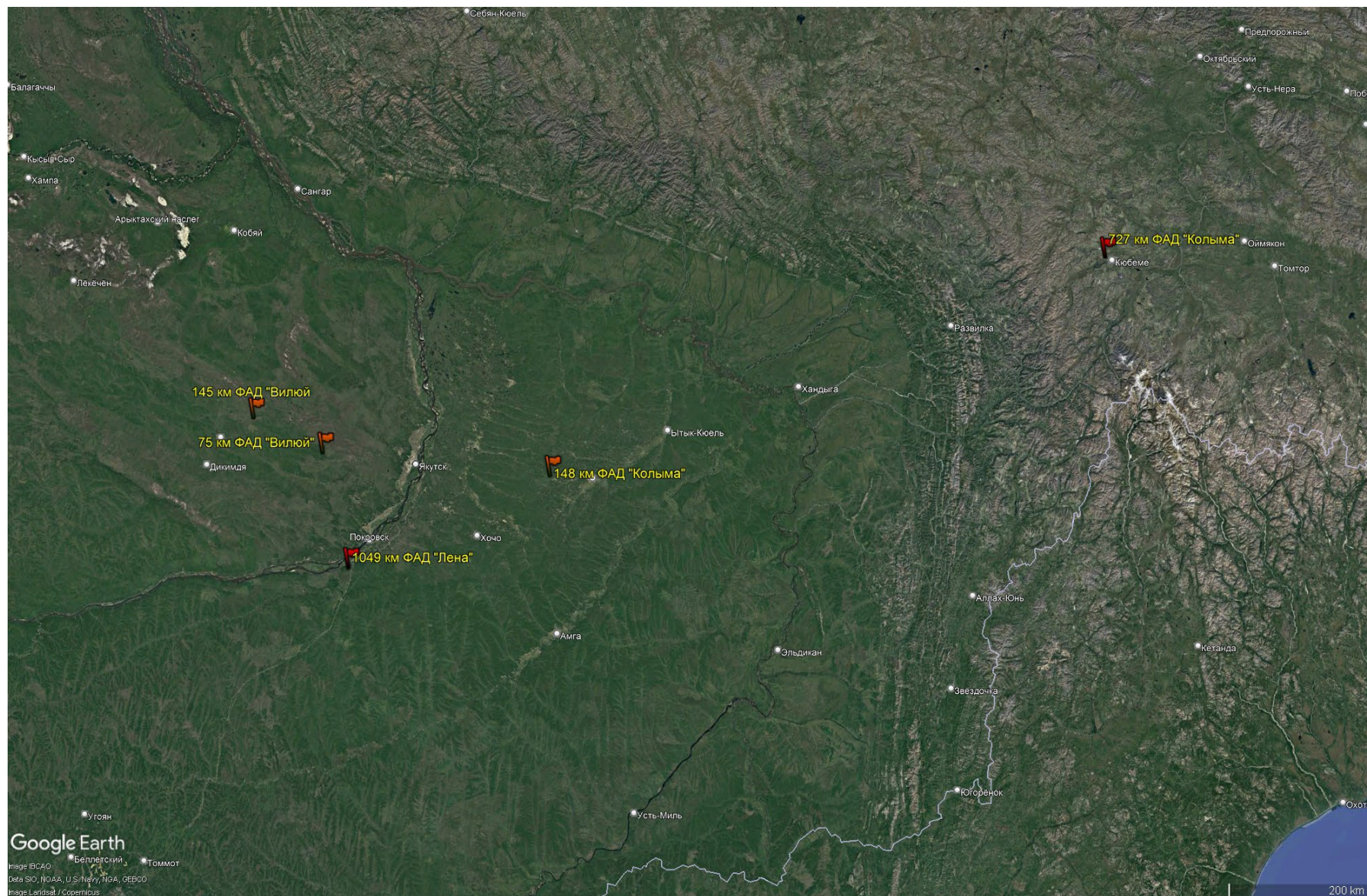


Создать идеальную систему быстро – невозможно, но то что получая информацию мы будем улучшать качество строительства и эксплуатации дорог – это совершенно точно.



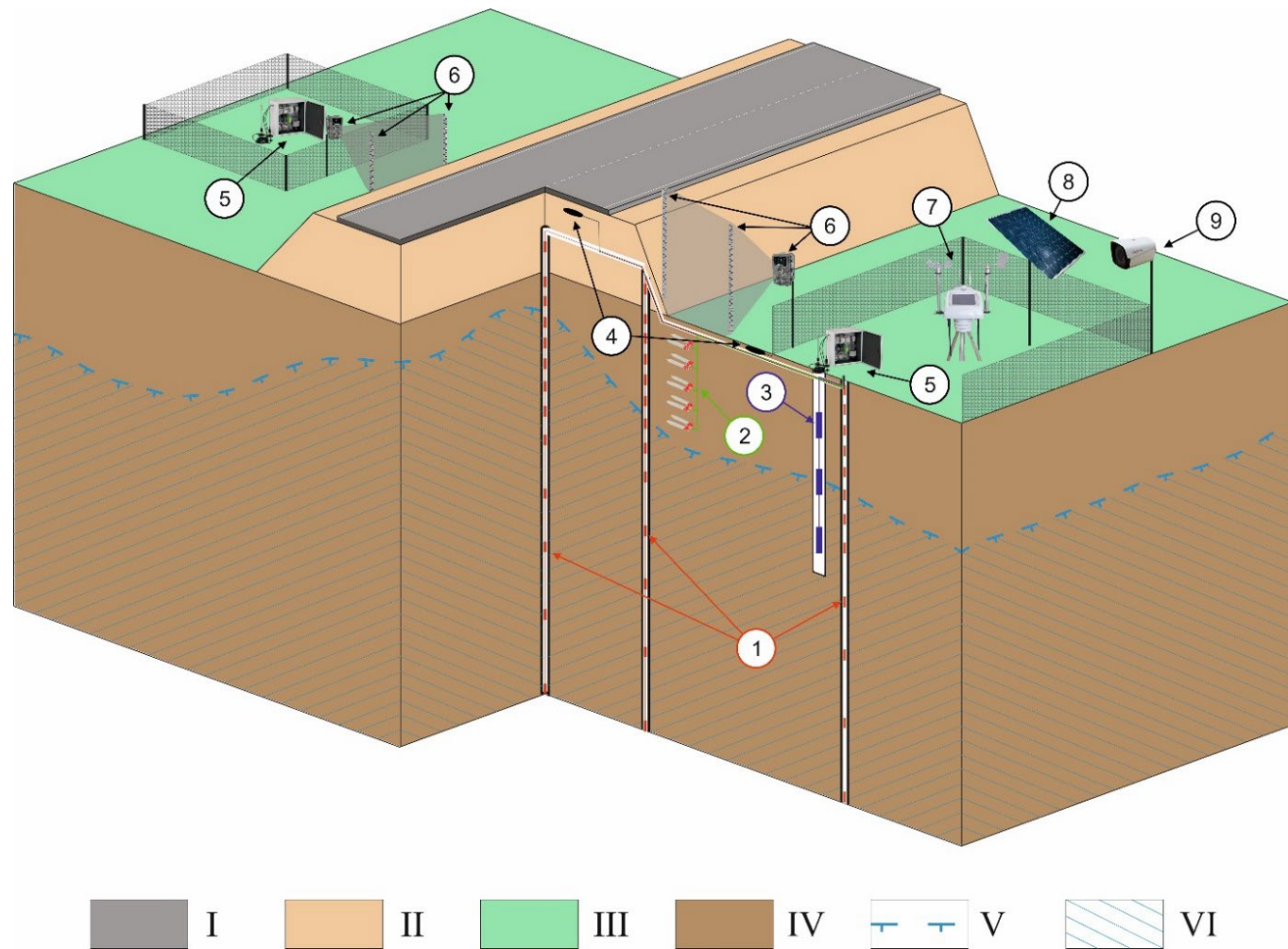
Понижение стоимости строительства а\дорог при введении системы мониторинга не всегда получается, вот эффективность и затраты на эксплуатацию и содержания дорог – это совершенно точно!

МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ПОСТОВ



В рамках программы создания системы контроля состояния а\д в криолитозоне в 2022-2023 г.г. было оборудовано **7** комплексных постов наблюдения за метеорологическими и мерзлотными условиями на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения Р-504 «Колыма» (**3 поста**), А-331 «Вилюй» (**2 поста**), А-360 «Лена», Р-297 «Амур»

СХЕМА ОБОРУДОВАНИЯ СТАЦИОНАРНОГО ПОСТА ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АВТОДОРОВ



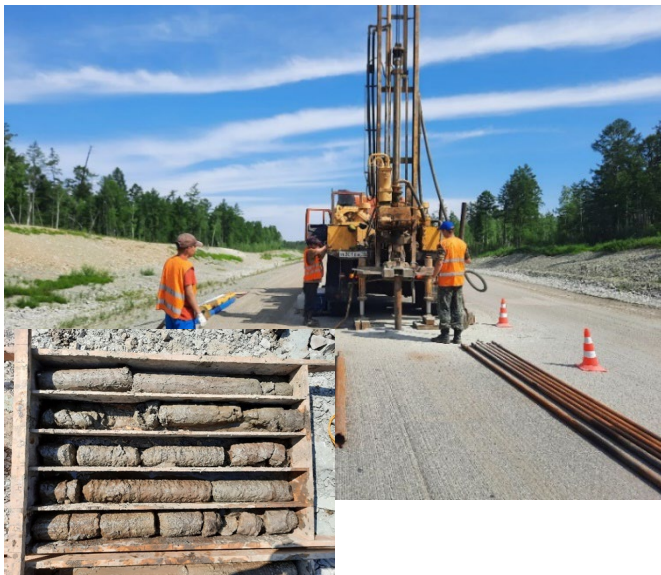
Условные обозначения:

- 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 термокодами;
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.

ОБОРУДОВАНИЕ МОНИТОРИНГОВЫХ ПОСТОВ

№ п/п	Наименование оборудования	Производитель
1	Автоматизированные системы наблюдения за температурным режимом грунтов – 1	
	Термокосы с многозонными цифровыми датчиками температуры МЦДТ 0922 во взрывозащищенном исполнении	АО НПП «Эталон» г. Омск
	Логгер цифровых датчиков ЛЦД-2-GSM	
	Антенна Антей 2600 WIFI/GSM/3G/4GSMA	
2	Автоматизированные системы наблюдения за температурным режимом грунтов – 2	
	Измеритель температуры многозонный РГТ-ИТМ2	ООО «Русгеотех» г. Москва
	Логгер стационарный РГТ-ЛС-00	
	Логгер стационарный РГТ-ЛС-04	
3	Система тепловых потоков	
	Датчики плотности теплового потока ДТП 0924	АО НПП «Эталон» г. Омск
	Логгер цифровых датчиков ЛЦД-1/100	
4	Автономная автоматическая метеостанция	
	Станция автоматическая метеорологическая «СОКОЛ-М1»	ООО «Ойл» г. Казань
	Комплект спутниковой связи Иридиум (модем-антенна)	
	Датчик расстояния «Сокол-ДР 800»	
	Датчик влажности и температуры почвы «СОКОЛ-ДВП» (КС.402115.001)	
	Беспроводной модуль выносных датчиков «СОКОЛ-БМВД»	
5	Система измерения солнечного излучения в комплекте	
	Датчик суммарного светового излучения (Pyranometer)	ООО «Инфометеос» г. Москва
	Датчик прямого коротковолнового солнечного излучения	
	Датчик отраженного коротковолнового солнечного излучения (альбедомер)	
	Логгер для автономной записи показаний датчиков излучения	
6	Система наблюдения за уровнем подземных вод	
	Автономный регистратор уровня, температуры и электропроводности воды LevelLine CTD ABS	«AQUAREAD» water monitoring instruments
	Считыватель барометрического давления LevelLine-BARO	
	Модуль для подключения регистраторов LevelLine к ПК	

Инженерно-геологические изыскания



Метеостанция



Датчики влажности



Датчики теплового потока



Термометрическая коса



Снегомерные рейки и фотоловушка



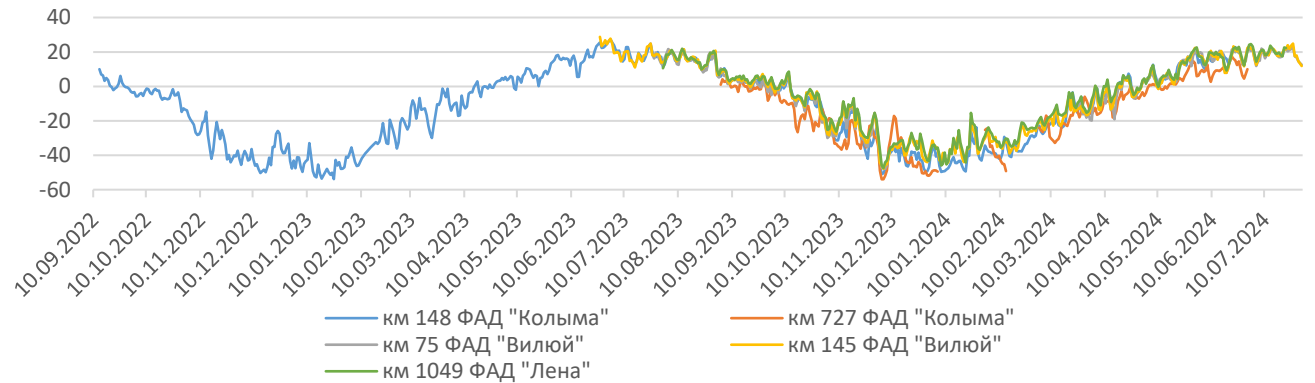
ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

Дата	Среднемесячная температура воздуха на постах наблюдения				
	км 148 ФАД "Колыма"/ <i>мс. Чурапча</i>	км 727 ФАД "Колыма"/ <i>мс. Восточная</i>	км 75 ФАД "Вилюй"	км 145 ФАД "Вилюй"	км 1049 ФАД "Лена"
Сентябрь 2022	2,8				
Октябрь 2022	-5,0				
Ноябрь 2022	-28,5				
Декабрь 2022	-40,5				
Январь 2023	-46,3/ <i>-46,8</i>				
Февраль 2023	-35,5/ <i>-36,5</i>				
Март 2023	-16,7/ <i>-16,4</i>				
Апрель 2023	-4,6/ <i>-4,4</i>				
Май 2023	6,4/ <i>6,9</i>				
Июнь 2023	17,5/ <i>18,1</i>				
Июль 2023	19,2/ <i>19,6</i>		18,7	18,8	
Август 2023	15,5/ <i>16,2</i>		15,4	16,2	16,5
Сентябрь 2023	3,8/ <i>4,7</i>	0,0/ <i>-1,1</i>	2,8	4,2	5,2
Октябрь 2023	-4,8/ <i>-4,4</i>	-13,5/ <i>-12,3</i>	-5,4	-4,1	-2,7
Ноябрь 2023	-26,0/ <i>-25,7</i>	-28,4/ <i>-25,8</i>	-22,5	-21,6	-19,6
Декабрь 2023	-41,5/ <i>-41,4</i>	-40,5/ <i>-35,7</i>	-38,2	-37,1	-35,2
Январь 2024	-41,6/ <i>-40,9</i>	-49,4/ <i>-38,6</i>		-35,9	-34,9
Февраль 2024	-36,0/ <i>-36,2</i>	-37,6/ <i>-34,5</i>		-31,0	-28,7
Март 2024	-18,0/ <i>-18,1</i>	-19,3/ <i>-19,8</i>	-14,5	-17,0	-14,5
Апрель 2024	-3,2/ <i>-3,4</i>	-9,2/ <i>-9,3</i>	-5,2	-3,9	-1,8
Май 2024	8,6/ <i>8,9</i>	2,7/ <i>0,5</i>	8,0	8,0	8,9
Июнь 2024	16,6/ <i>16,7</i>	9,7/ <i>8,8</i>	17,0	17,0	17,4
Июль 2024			18,5	19,2	20,3
Абс. мин	-56,0	-55,3	-50,6	-49,6	-48,9
Абс. макс	35,8	24,1	31,6	35,9	32,6

Сравнение среднемесячных температур воздуха на различных участках



Динамика температуры воздуха



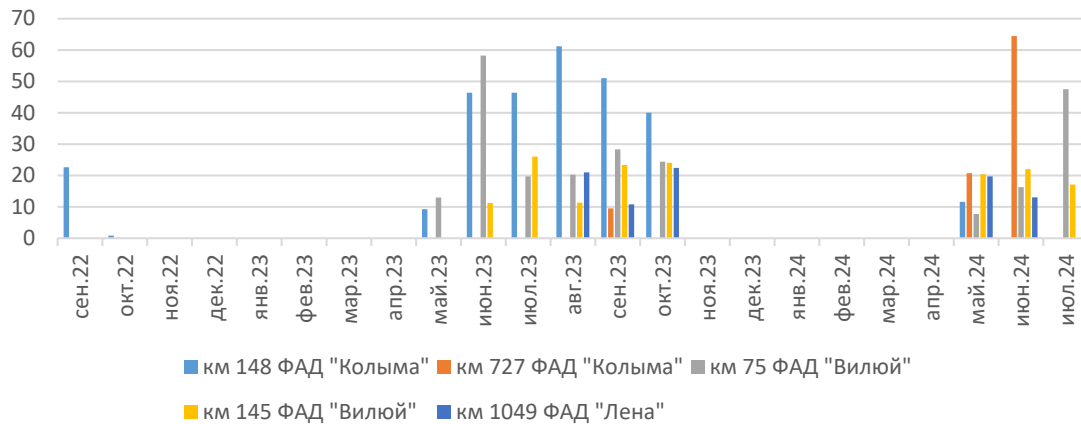
За период наблюдений амплитуда колебаний температуры воздуха (пост км 148 ФАД «Колыма») составила **91,8°C**. При этом минимальная температура **-56,0°C** (14.01.2023), а максимальная температура **+35,8°C** (02.07.2023).

По данным анализа среднемесячных температур наиболее суровые зимние условия отмечены на участке км 727 ФАД «Колыма» (в январе $T_{ср} = -49,4°C$), а на участке км 1049 ФАД «Лена» в декабре и январе среднемесячные температуры равны около **-35°C**.

В целом, динамика температуры воздуха имеет одинаковую тенденцию, однако разница между показаниями на ближайших м/ст и наших постах изменяется от 0,2 до 6,0 °C, достигая максимальных значений в зимний период.

Жидкие осадки

Дата	км 148 ФАД "Колыма"	км 727 ФАД "Колыма"	км 75 ФАД "Вилюй"	км 145 ФАД "Вилюй"	км 1049 ФАД "Лена"
сен.22	23				
окт.22	1				
май.23	9		13		
июн.23	46		58	11	
июл.23	46		20	26	
авг.23	61		20	11	21
сен.23	51	10	28	23	11
окт.23	40	0	24	24	22
май.24	12	21	8	20	20
июн.24		64	16	22	13
июл.24			48	17	



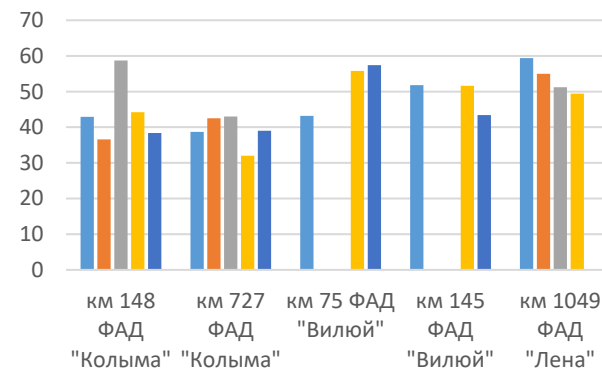
В 2023 году (май-октябрь) на участке наблюдательного поста км 148 ФАД «Колыма» выпало жидких осадков 253 мм при 230 на м/ст Чурапча (30 км от поста).

На участке км 75 ФАД «Вилюй» в 2023 году было зафиксировано 163 мм жидких осадков. По данным метеостанции Якутск (75 км от поста) сумма осадков равна 167 мм.

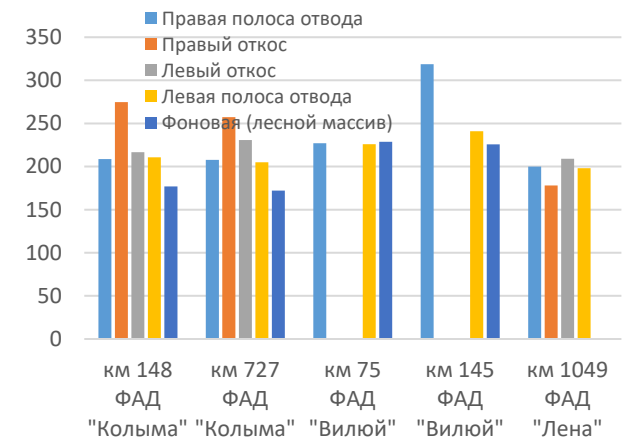
Твердые осадки (апрель 2023 г.)

Пост	Показание	Правая полоса отвода	Правый откос	Левый откос	Левая полоса отвода	Фоновая (лесной массив)
км 148 ФАД "Колыма"	Высота снега, см	43	37	59	44	38
	Плотность, кг/м ³	209	275	217	211	177
км 727 ФАД "Колыма"	Высота снега, см	39	43	43	32	39
	Плотность, кг/м ³	208	257	231	205	172
км 75 ФАД "Вилюй"	Высота снега, см	43		56		57
	Плотность, кг/м ³	227		226		229
км 145 ФАД "Вилюй"	Высота снега, см	52		52		43
	Плотность, кг/м ³	319		241		226
км 1049 ФАД "Лена"	Высота снега, см	59,4	55	51,2	49,4	
	Плотность, кг/м ³	200	178	209	198	

Высота снежного покрова, см



Плотность снежного покрова, кг/см³



По всем мониторинговым участкам дана оценка динамики снегонакопления для различных элементов полосы отведения дороги. Следует отметить, что высота и плотность снежного покрова изменяются значительно при среднем значении от 6 до 22 мм и от 10 до 98 г/м³ соответственно.

Среднемесячная температура грунтов (°C) в скважинах

Дата	Скв. K148/1 (полоса отвода)					Скв. K148/2 (откос северной экспозиции)					Скв. K148/3 (ось автодороги)					Скв. K148/4 (откос южной экспозиции)					Скв. K148/5 (полоса отвода)				
	1 м	3 м	5 м	10 м	16 м	1 м	3 м	5 м	10 м	16 м	1 м	3 м	5 м	10 м	16 м	1 м	3 м	5 м	10 м	16 м	1 м	3 м	5 м	10 м	16 м
июл.23	9,2	-1,5	-2,1	-2,6	-3,3	4,7	-3,2	-4,1	-3,7	-3,6	7,2	-4,2	-5,4	-4,4	-3,9	5,7	-3,1	-4,1	-3,9	-3,8	6,3	-2,3	-2,8	-2,9	-3,3
авг.23	9,8	-1,1	-2,0	-2,6	-3,3	6,9	-2,0	-3,4	-3,7	-3,7	8,8	-2,8	-4,4	-4,4	-3,9	6,2	-2,1	-3,5	-3,9	-3,8	7,7	-1,7	-2,6	-3,0	-3,3
сен.23	6,1	-0,9	-1,8	-2,6	-3,3	4,0	-1,4	-2,8	-3,7	-3,7	5,3	-1,9	-3,6	-4,4	-3,9	3,4	-1,6	-3,0	-3,9	-3,8	4,1	-1,2	-2,3	-3,0	-3,3
окт.23	1,5	-0,7	-1,7	-2,7	-3,3	0,5	-1,2	-2,5	-3,7	-3,7	1,0	-1,5	-3,2	-4,2	-3,9	0,4	-1,4	-2,5	-3,9	-3,8	0,3	-1,0	-2,2	-3,0	-3,3
ноя.23	-0,5	-0,7	-1,6	-2,6	-3,3	-0,1	-1,1	-2,2	-3,6	-3,7	-1,4	-1,3	-2,8	-4,0	-3,9	-0,2	-1,2	-2,3	-3,8	-3,8	-0,3	-0,9	-2,0	-3,0	-3,3
дек.23	-1,6	-0,7	-1,6	-2,6	-3,3	-0,3	-1,0	-2,0	-3,5	-3,8	-11,1	-1,3	-2,5	-3,9	-3,9	-0,2	-1,1	-2,1	-3,7	-3,8	-0,4	-0,9	-1,9	-3,0	-3,4
январ.24	-4,7	-0,6	-1,5	-2,6	-3,3	-2,2	-0,9	-1,9	-3,4	-3,8	-20,9	-4,1	-2,6	-3,7	-3,9	-1,2	-1,1	-2,0	-3,5	-3,8	-1,9	-0,9	-1,9	-2,9	-3,4
фев.24	-7,3	-0,6	-1,5	-2,6	-3,3	-6,1	-1,1	-1,8	-3,3	-3,8	-22,6	-8,2	-3,9	-3,6	-3,9	-3,5	-1,0	-1,9	-3,5	-3,8	-4,4	-0,9	-1,8	-2,9	-3,4
мар.24	-8,0	-0,8	-1,4	-2,6	-3,3	-9,8	-3,9	-2,4	-3,2	-3,8	-17,7	-10,3	-5,6	-3,5	-3,9	-6,0	-1,9	-2,0	-3,4	-3,8	-6,0	-1,0	-1,8	-2,8	-3,3
апр.24	-5,4	-1,7	-1,6	-2,5	-3,3	-7,0	-5,6	-3,5	-3,1	-3,7	-9,0	-9,4	-6,5	-3,6	-3,8	-4,4	-3,6	-2,7	-3,3	-3,7	-4,6	-2,2	-1,9	-2,8	-3,3
май.24	-1,9	-2,0	-1,8	-2,5	-3,3	-2,5	-4,7	-4,0	-3,2	-3,7	-3,9	-7,2	-6,3	-3,7	-3,8	-1,7	-3,6	-3,3	-3,3	-3,7	-1,8	-2,4	-2,3	-2,8	-3,3
июн.24	3,6	-1,8	-1,9	-2,5	-3,2	-0,8	-3,6	-3,8	-3,3	-3,7	0,5	-5,4	-5,7	-3,9	-3,8	-0,6	-3,1	-3,3	-3,4	-3,7	-0,6	-2,2	-2,4	-2,8	-3,3
Среднее	0,1	-1,1	-1,7	-2,6	-3,3	-1,1	-2,5	-2,9	-3,4	-3,7	-5,3	-4,8	-4,4	-3,9	-3,9	-0,2	-2,1	-2,7	-3,6	-3,8	-0,1	-1,5	-2,2	-2,9	-3,3
Абс. макс.	10,3	-0,6	-1,4	-2,4	-3,2	7,4	-0,9	-1,8	-3,1	-3,5	9,4	-1,2	-2,3	-3,5	-3,8	6,7	-1,0	-1,9	-3,3	-3,7	8,1	-0,8	-1,6	-2,7	-2,9
Абс. Мин.	-9,9	-2,6	-2,1	-2,7	-3,3	-12,6	-7,2	-5,1	-3,7	-3,8	-25,8	-11,3	-7,2	-4,4	-4,0	-10,1	-6,1	-4,7	-3,9	-3,9	-7,4	-3,3	-2,8	-3,0	-3,4

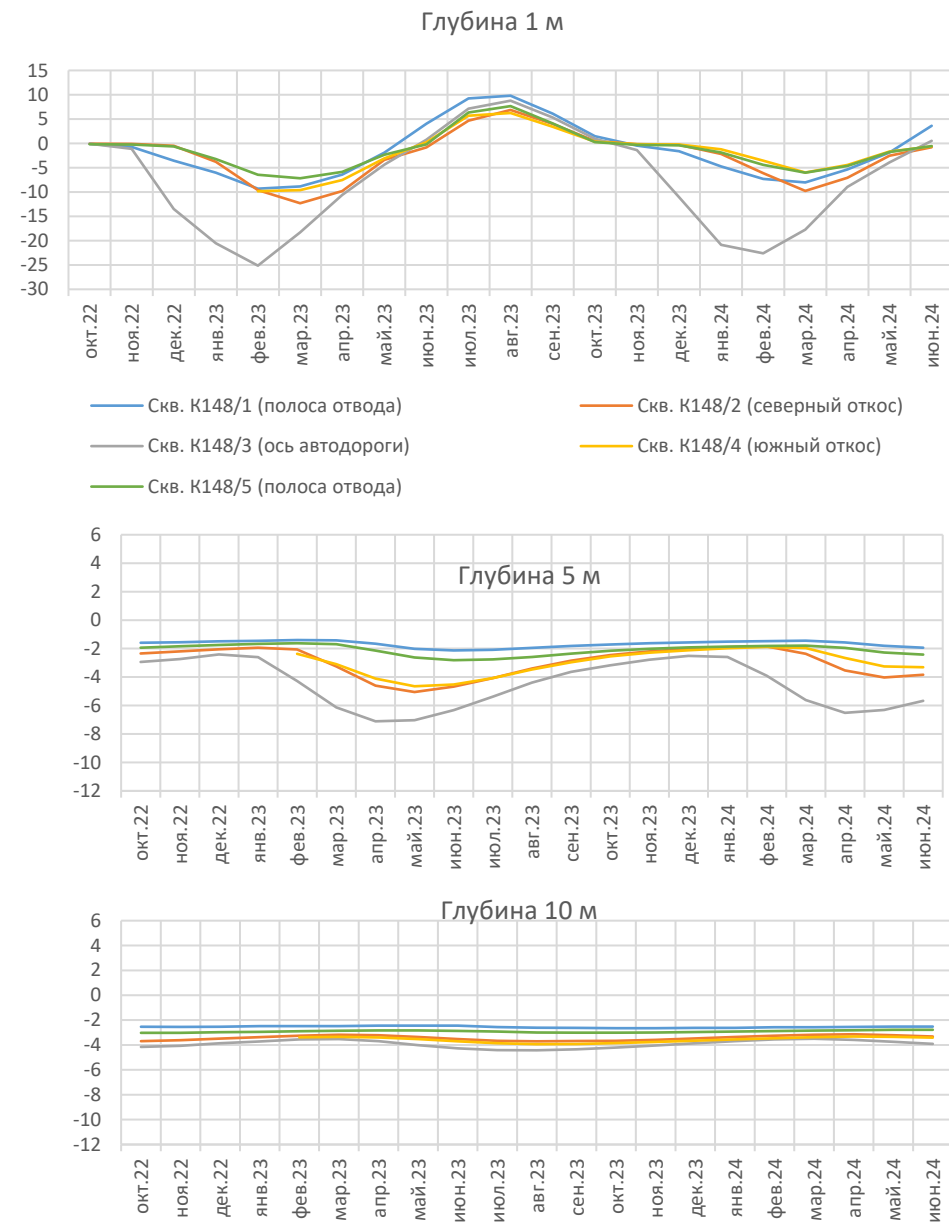
Установлено, что за период наблюдений диапазон изменений температуры грунтов на глубине 1 м изменялся: на оси автодороги от -25,8 до +9,4°C; на откосе северной экспозиции от -12,6 до +7,4°C, в полосе отвода – от -7,4 до +8,1°C.

На глубине 10 м: ось автодороги от -4,4 до -3,5°C (скв. 3); на северном откосе от -3,7 до -3,1°C; в полосе отвода от -3,0 до -2,7°C.

Мощность слоя годовых теплооборотов под дорожным полотном составила 18 м, температура на его подошве -3,9°C, в полосе отвода подошва слоя годовых теплооборотов отмечена на глубине 15 м, с температурой -3,3°C.

За теплый период 2023 года на площадке мониторинга глубина сезонного протаивания грунтов составила от 1,8 (ось автодороги) до 2,2 м (полоса отвода).

Температурный режим грунтов на ПГМ (148 км «Колыма»)

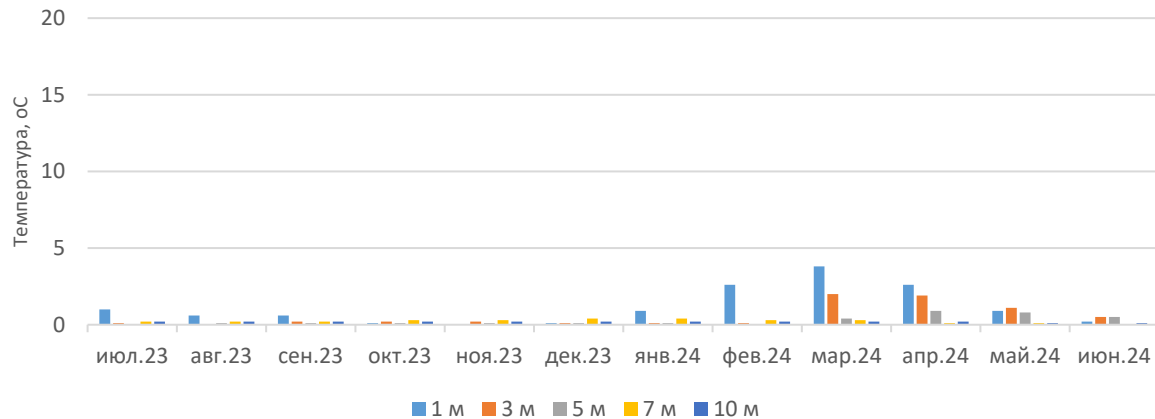


РАЗНИЦА ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТОВ (ΔT) НА ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ АД (148 КМ ФАД «КОЛЫМА»)

Разница значений ср. месячной температуры грунтов ($^{\circ}\text{C}$) на противоположных откосах автодороги

h, м		июл.23	авг.23	сен.23	окт.23	ноя.23	дек.23	янв.24	фев.24	мар.24	апр.24	май.24	июн.24
Северный	1	4,7	6,9	4,0	0,5	-0,1	-0,3	-2,2	-6,1	-9,8	-7,0	-2,5	-0,8
Южный	1	5,7	6,2	3,4	0,4	-0,2	-0,2	-1,2	-3,5	-6,0	-4,4	-1,7	-0,6
	ΔT	1,0	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,9	2,6	3,8	2,6	0,9	0,2
Северный	3	-3,2	-2,0	-1,4	-1,2	-1,1	-1,0	-0,9	-1,1	-3,9	-5,6	-4,7	-3,6
Южный	3	-3,1	-2,1	-1,6	-1,4	-1,2	-1,1	-1,1	-1,0	-1,9	-3,6	-3,6	-3,1
	ΔT	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	2,0	1,9	1,1	0,5
Северный	5	-4,1	-3,4	-2,8	-2,5	-2,2	-2,0	-1,9	-1,8	-2,4	-3,5	-4,0	-3,8
Южный	5	-4,1	-3,5	-3,0	-2,5	-2,3	-2,1	-2,0	-1,9	-2,0	-2,7	-3,3	-3,3
	ΔT	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,4	0,9	0,8	0,5
Северный	7	-4,2	-3,9	-3,6	-3,3	-3,0	-2,8	-2,6	-2,5	-2,5	-2,8	-3,3	-3,5
Южный	7	-4,3	-4,1	-3,8	-3,6	-3,3	-3,1	-3,0	-2,9	-2,8	-2,9	-3,2	-3,4
	ΔT	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1
Северный	10	-3,7	-3,7	-3,7	-3,7	-3,6	-3,5	-3,4	-3,3	-3,2	-3,1	-3,2	-3,3
Южный	10	-3,9	-3,9	-3,9	-3,9	-3,8	-3,7	-3,5	-3,5	-3,4	-3,3	-3,3	-3,4
	ΔT	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1

Распределение ΔT между противоположными откосами по месяцам

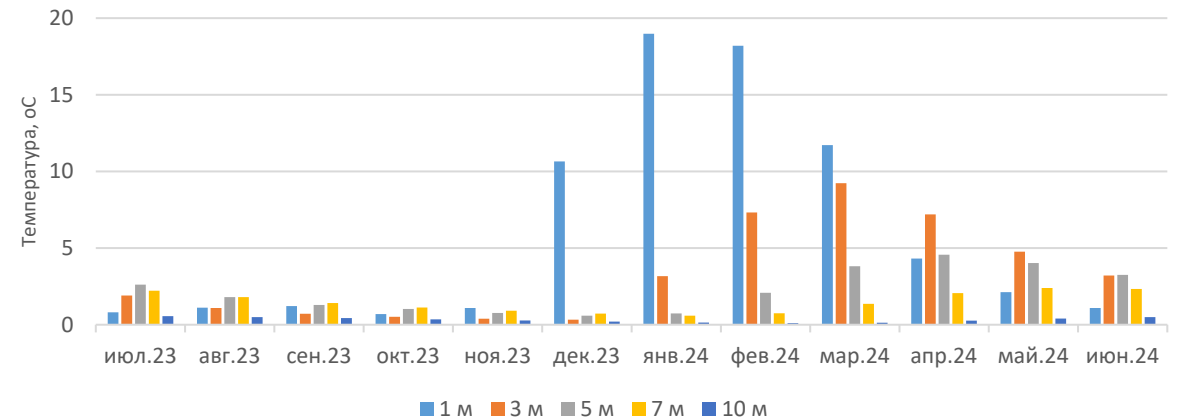


Значение ΔT в течение года между противоположными откосами на глубине 1 м изменяется от 0,1 до 3,8 $^{\circ}\text{C}$. Наибольшее значение разницы температур наблюдается в марте. С глубиной величина ΔT снижается и на 10 м варьирует от 0,1 до 0,2 $^{\circ}\text{C}$.

Разница значений ср. месячной температуры грунтов ($^{\circ}\text{C}$) на оси автодороги и на полосе отвода

h, м		июл.23	авг.23	сен.23	окт.23	ноя.23	дек.23	янв.24	фев.24	мар.24	апр.24	май.24	июн.24
Ось а/д	1	7,2	8,8	5,3	1,0	-1,4	-11,1	-20,9	-22,6	-17,7	-9,0	-3,9	0,5
Полоса отв.	1	6,3	7,7	4,1	0,3	-0,3	-0,4	-1,9	-4,4	-6,0	-4,6	-1,8	-0,6
	ΔT	0,9	1,1	1,2	0,7	1,1	10,7	19,0	18,2	11,7	4,4	2,1	1,1
Ось а/д	3	-4,2	-2,8	-1,9	-1,5	-1,3	-1,3	-4,1	-8,2	-10,3	-9,4	-7,2	-5,4
Полоса отв.	3	-2,3	-1,7	-1,2	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-2,2	-2,4	-2,2
	ΔT	1,9	1,1	0,7	0,5	0,4	0,4	3,2	7,3	9,3	7,2	4,8	3,2
Ось а/д	5	-5,4	-4,4	-3,6	-3,2	-2,8	-2,5	-2,6	-3,9	-5,6	-6,5	-6,3	-5,7
Полоса отв.	5	-2,8	-2,6	-2,3	-2,2	-2,0	-1,9	-1,9	-1,8	-1,8	-1,9	-2,3	-2,4
	ΔT	2,6	1,8	1,3	1,0	0,8	0,6	0,7	2,1	3,8	4,6	4,0	3,3
Ось а/д	7	-5,1	-4,7	-4,2	-3,8	-3,5	-3,2	-3,0	-3,1	-3,7	-4,4	-4,8	-4,8
Полоса отв.	7	-2,9	-2,9	-2,8	-2,7	-2,6	-2,5	-2,4	-2,4	-2,3	-2,3	-2,4	-2,5
	ΔT	2,2	1,8	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	0,7	1,4	2,1	2,4	2,3
Ось а/д	10	-4,4	-4,4	-4,4	-4,2	-4,0	-3,9	-3,7	-3,6	-3,5	-3,6	-3,7	-3,9
Полоса отв.	10	-2,9	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,9	-2,9	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8
	ΔT	1,5	1,4	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9	1,1

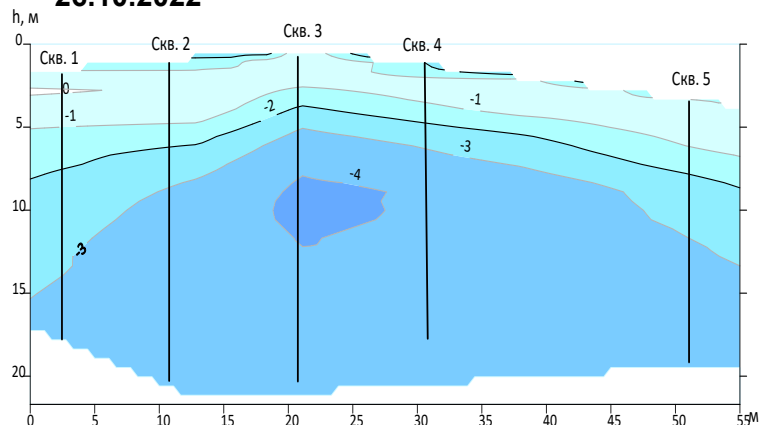
Распределение ΔT между осью автодороги и полосой отвода по месяцам



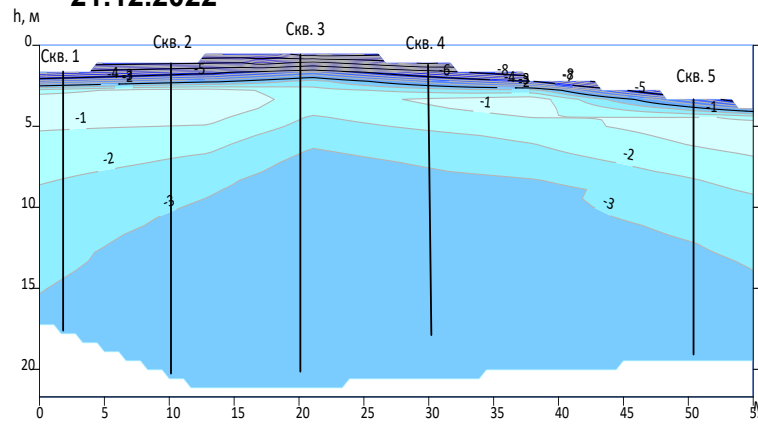
Значение ΔT в течение года между осью автодороги и полосой отвода на глубине 1 м изменяется от 0,9 до 19,0 $^{\circ}\text{C}$. Наибольшее значение разницы температур наблюдается в январе и определяется влиянием снежного покрова. Очистка снега с поверхности дорожного покрытия способствует интенсивному охлаждению тела насыпи и грунтов основания.

ДИНАМИКА ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ (148 КМ ФАД «КОЛЫМА»)

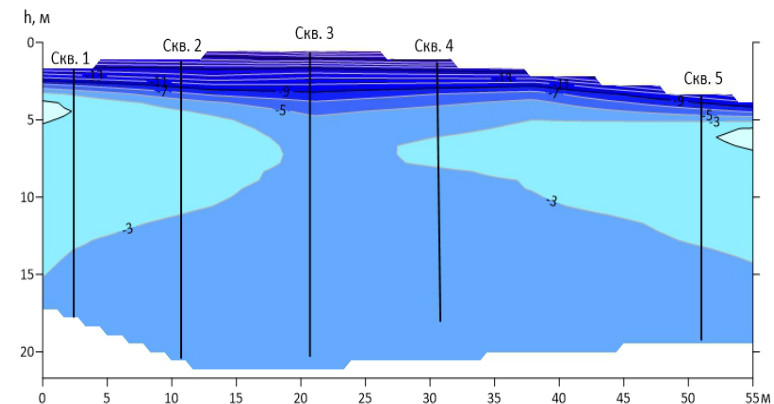
26.10.2022



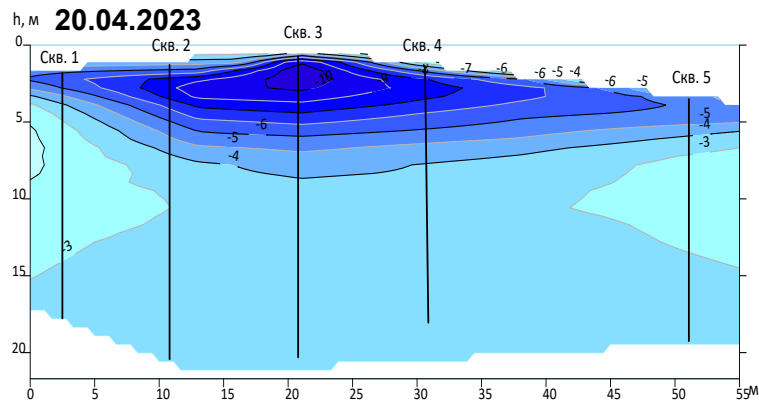
21.12.2022



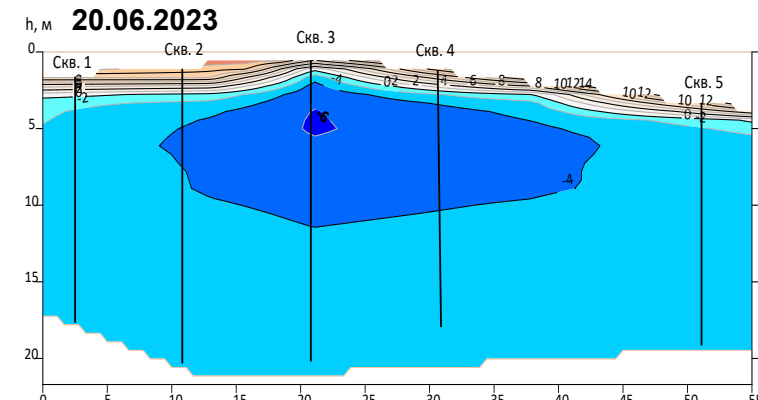
20.02.2023



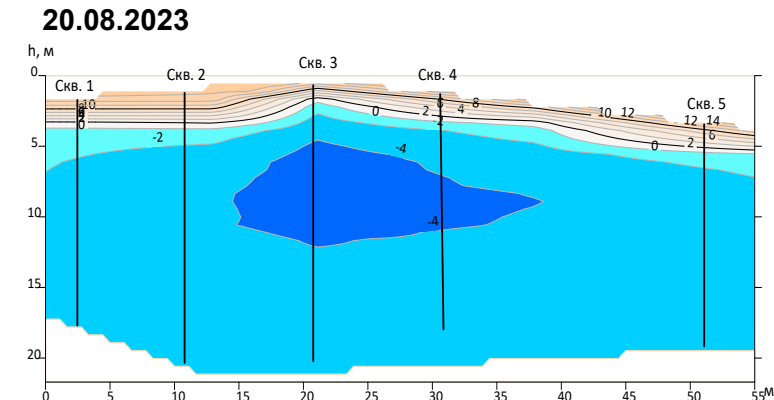
20.04.2023



20.06.2023



20.08.2023



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.

Диапазон изменения температуры по различным сезонам 2023 г. (75 км ФАД «Виллюй»)

Месяц	Скв. В75/1 (лесной массив)					Скв. В75/2 (откос запад. экспозиции)					Скв. В75/3 (ось автодороги)					Скв. В75/4 (откос восточ. экспозиции)					Скв. В75/5 (полоса отвода)				
	1 м	3 м	5 м	10 м	20 м	1 м	3 м	5 м	10 м	20 м	1 м	3 м	5 м	10 м	20 м	1 м	3 м	5 м	10 м	20 м	1 м	3 м	5 м	10 м	20 м
ХОЛОДНЫЙ СЕЗОН ГОДА																									
Январь	-12,3	-2,1	-1,7	-2,6	-3,0	-14,5	-1,5	-1,4	-2,5	-3,2	-21,3	-3,1	-1,5	-2,8	-3,3	-11,0	-0,3	-1,3	-2,7	-3,3	-2,5	-1,0	-1,8	-3,0	-3,6
Февраль	-14,1	-4,2	-2,2	-2,5	-3,0	-19,3	-7,2	-2,8	-2,4	-3,3	-25,5	-10,7	-3,3	-2,7	-3,3	-15,0	-3,7	-2,0	-2,6	-3,4	-5,9	-0,9	-1,8	-3,0	-3,6
Март	-11,9	-5,7	-3,2	-2,5	-3,0	-16,4	-9,9	-5,0	-2,5	-3,2	-18,6	-12,6	-6,2	-2,8	-3,3	-13,4	-7,2	-3,8	-2,6	-3,3	-6,8	-2,1	-2,1	-2,9	-3,5
Апрель	-9,0	-6,1	-4,0	-2,6	-3,0	-11,1	-9,4	-6,2	-2,7	-3,2	-9,8	-10,6	-7,2	-3,0	-3,3	-8,5	-7,3	-4,9	-2,8	-3,3	-5,9	-4,2	-3,0	-2,9	-3,6
Октябрь	0,1	-1,1	-2,3	-3,0	-3,1	0,5	-0,6	-2,0	-3,1	-3,2	1,3	-0,6	-2,1	-3,3	-3,3	0,9	-0,5	-1,8	-3,1	-3,4	0,4	-1,4	-2,5	-3,4	-3,5
Ноябрь	-0,3	-1,0	-2,0	-2,9	-3,1	-0,5	-0,6	-1,7	-2,9	-3,2	-3,3	-0,5	-1,9	-3,2	-3,3	-0,4	-0,5	-1,6	-3,0	-3,4	-0,2	-1,3	-2,2	-3,3	-3,6
Декабрь	-3,4	-1,0	-1,9	-2,8	-3,1	-5,4	-0,6	-1,6	-2,8	-3,2	-14,3	-0,5	-1,7	-3,0	-3,3	-5,6	-0,4	-1,5	-2,9	-3,4	-0,2	-1,2	-2,1	-3,2	-3,6
Среднее	-7,3	-3,0	-2,5	-2,7	-3,0	-9,5	-4,2	-3,0	-2,7	-3,2	-13,1	-5,5	-3,4	-3,0	-3,3	-7,5	-2,8	-2,4	-2,8	-3,4	-3,0	-1,7	-2,2	-3,1	-3,6
Абс. макс.	0,9	-1,0	-1,6	-2,5	-3,0	1,8	-0,3	-1,3	-2,4	-3,2	3,6	-0,4	-1,4	-2,7	-3,3	2,6	-0,3	-1,3	-2,6	-3,3	1,5	-0,9	-1,8	-2,9	-3,5
Абс. мин.	-14,4	-6,1	-4,3	-3,1	-3,1	-20,0	-10,1	-6,3	-3,2	-3,3	-26,7	-12,9	-7,3	-3,4	-3,3	-15,5	-7,7	-5,1	-3,2	-3,4	-7,1	-4,7	-3,5	-3,4	-3,6
ТЕПЛЫЙ СЕЗОН ГОДА																									
Май	-4,2	-5,6	-4,4	-2,8	-3,0	-3,6	-6,8	-6,0	-3,1	-3,2	-2,0	-7,1	-6,6	-3,3	-3,3	-2,5	-5,2	-4,9	-3,0	-3,4	-2,4	-4,3	-3,8	-3,1	-3,6
Июнь	-1,0	-4,3	-4,2	-3,0	-3,0	1,1	-4,2	-4,9	-3,3	-3,2	3,5	-4,3	-5,3	-3,6	-3,3	2,0	-3,3	-4,1	-3,2	-3,4	1,5	-3,5	-3,8	-3,2	-3,6
Июль	4,5	-3,0	-3,7	-3,1	-3,1	7,7	-2,4	-3,9	-3,4	-3,2	11,7	-2,5	-4,2	-3,7	-3,3	9,4	-2,0	-3,3	-3,3	-3,4	3,5	-2,7	-3,5	-3,4	-3,6
Август	5,5	-1,9	-3,1	-3,2	-3,1	8,9	-1,4	-3,0	-3,4	-3,2	12,7	-1,4	-3,2	-3,6	-3,3	10,5	-1,2	-2,7	-3,3	-3,4	5,4	-2,1	-3,1	-3,4	-3,5
Сентябрь	3,0	-1,4	-2,6	-3,1	-3,1	4,8	-0,9	-2,4	-3,3	-3,2	7,3	-0,8	-2,6	-3,5	-3,3	6,0	-0,7	-2,2	-3,2	-3,4	3,4	-1,7	-2,7	-3,4	-3,5
Среднее	1,6	-3,2	-3,6	-3,0	-3,1	3,8	-3,1	-4,0	-3,3	-3,2	6,7	-3,2	-4,4	-3,5	-3,3	5,1	-2,5	-3,4	-3,2	-3,4	2,3	-2,9	-3,4	-3,3	-3,6
Абс. макс.	5,8	-1,2	-2,4	-2,7	-3,0	9,4	-0,7	-2,2	-2,9	-3,2	14,0	-0,5	-2,3	-3,2	-3,3	11,1	-0,6	-2,0	-2,9	-3,3	5,8	-1,5	-2,6	-3,0	-3,5
Абс. мин.	-7,4	-6,0	-4,4	-3,2	-3,1	-6,7	-8,4	-6,3	-3,4	-3,2	-5,0	-8,9	-7,1	-3,7	-3,3	-4,6	-6,5	-5,1	-3,3	-3,4	-3,9	-4,6	-3,9	-3,5	-3,6

Холодный сезон – январь - апрель, октябрь - декабрь. **Теплый сезон май - сентябрь.**
Установлено:

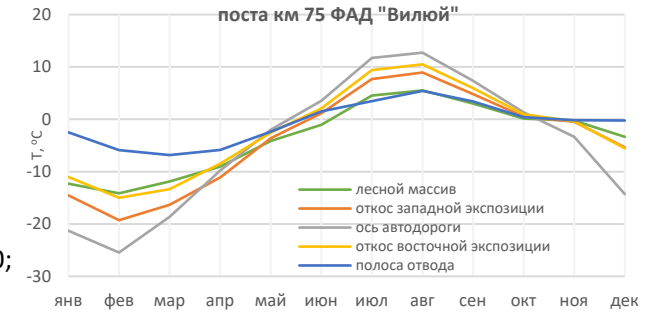
На оси автодороги температура грунтов в холодный сезон (гл. 1) м варьирует от -26,7 до 3,6°C, а на глубине 10 м – от -3,4 до -2,7.

В теплый сезон диапазон изменения температуры составляет: 1 м – от -5,0 до +14,0; 10 м – от -3,7 до -3,2°C.

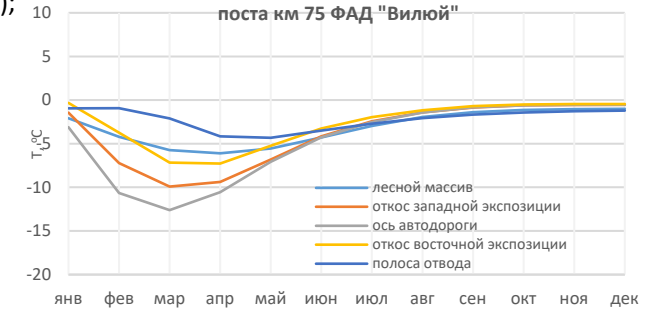
В естественном ландшафте температура грунтов изменяется: в холодный сезон от -14,4 до 0,9 °C (1 м) и от -3,1 до -2,5°C (10 м); в теплый сезон от -7,4 до 5,8°C (1 м) и от -3,2 до -2,7°C (10 м). Б –

Анализ изменения температуры грунтов в различных сезонах года позволяет оценить прочностные характеристики грунтов основания насыпи и земляного полотна.

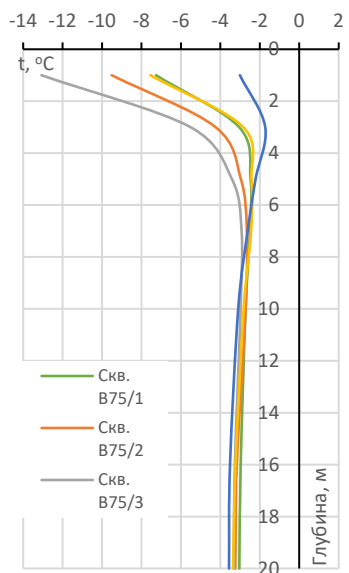
Динамика температуры грунтов в 2023 г. на глубине 1 м на разных элементах профиля мониторингового поста км 75 ФАД "Виллюй"



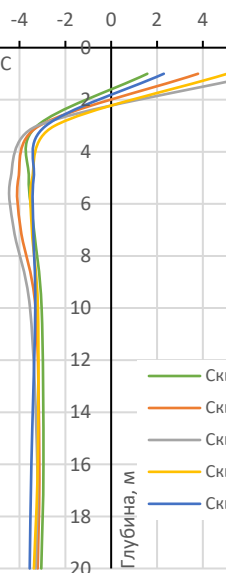
Динамика температуры грунтов в 2023 г. на глубине 3 м на разных элементах профиля мониторингового поста км 75 ФАД "Виллюй"



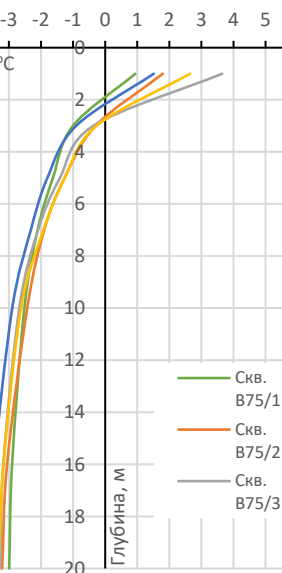
Тср за холодный сезон



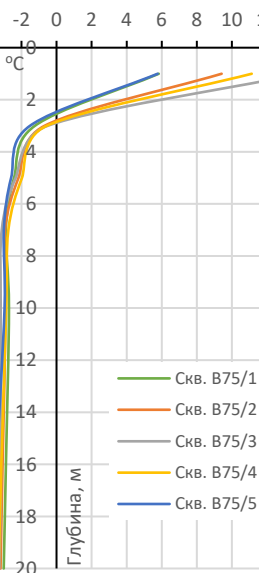
Тср за теплый сезон



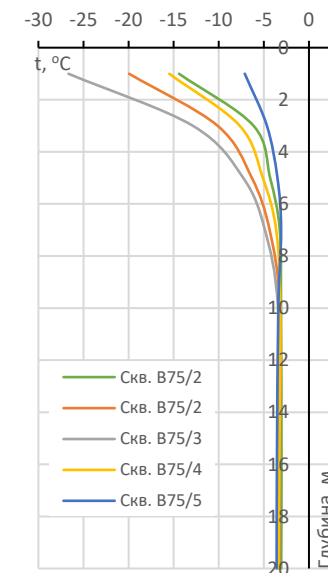
Тмакс за холодный сезон



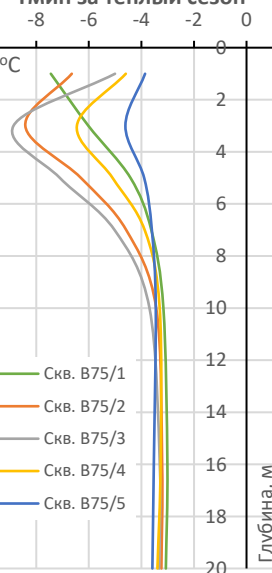
Тмакс за теплый сезон



Тмин за холодный сезон



Тмин за теплый сезон



Разница значений температуры (ΔT) по сезонам 2023 года между различными элементами дорожной конструкции (км 75 ФАД «Виллю») 1

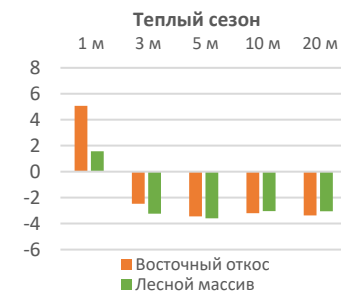
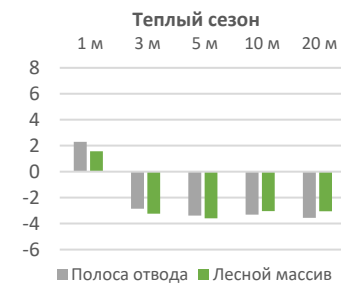
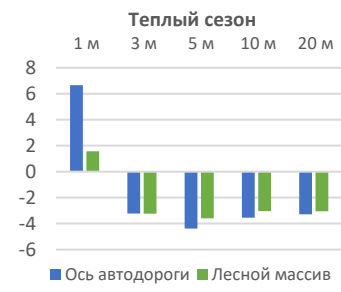
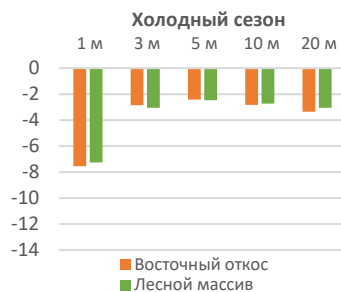
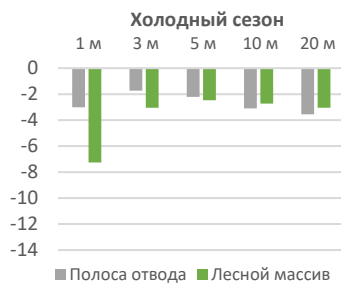
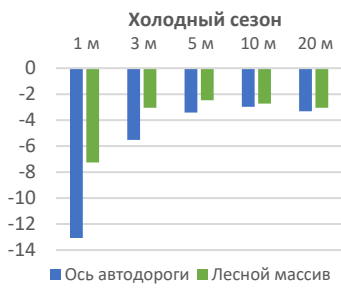
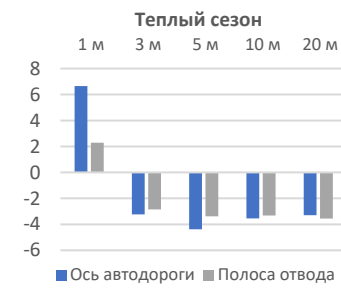
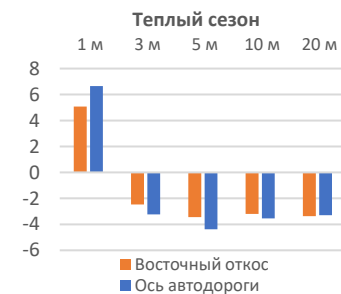
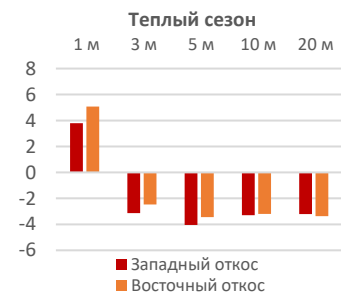
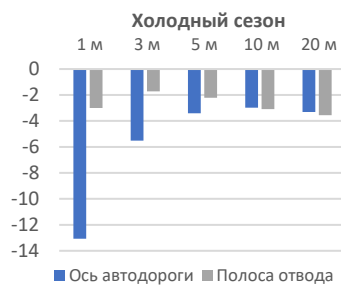
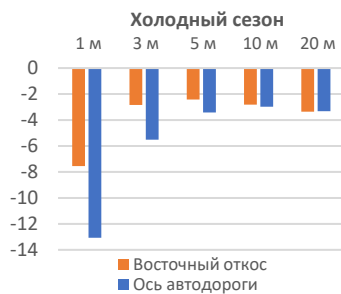
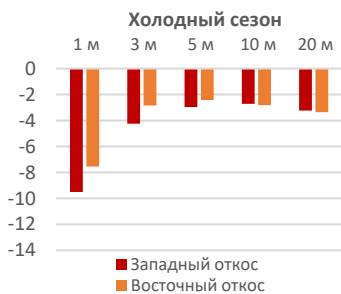
Холодный сезон					
Элемент конструкции	1 м	3 м	5 м	10 м	20 м
Западный откос	-9,5	-4,2	-3,0	-2,7	-3,2
Восточный откос	-7,5	-2,8	-2,4	-2,8	-3,4
ΔT	2,0	1,4	0,4	0,1	0,2
Восточный откос	-7,5	-2,8	-2,4	-2,8	-3,4
Ось автодороги	-13,1	-5,5	-3,4	-3,0	-3,3
ΔT	5,6	2,7	1,0	0,2	0,1
Ось автодороги	-13,1	-5,5	-3,4	-3,0	-3,3
Полоса отвода	-3,0	-1,7	-2,2	-3,1	-3,6
ΔT	10,1	3,8	1,2	0,1	0,3
Ось автодороги	-13,1	-5,5	-3,4	-3,0	-3,3
Лесной массив	-7,3	-3,0	-2,5	-2,7	-3,0
ΔT	5,8	2,5	0,9	0,3	0,3
Полоса отвода	-3,0	-1,7	-2,2	-3,1	-3,6
Лесной массив	-7,3	-3,0	-2,5	-2,7	-3,0
ΔT	4,3	1,3	0,3	0,4	0,6
Восточный откос	-7,5	-2,8	-2,4	-2,8	-3,4
Лесной массив	-7,3	-3,0	-2,5	-2,7	-3,0
ΔT	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4

В холодный сезон года между противоположными откосами насыпи разница температуры изменяется от 0,1 (гл. 10 м) до 2,0°C (гл. 1 м). Наибольшее значение ΔT между различными элементами конструкции автодороги наблюдается между ее осью и полосой отвода (10,1°C на гл. 1 м).

В теплый сезон года величина ΔT между откосами достигает 1,3°C (гл. 1 м). Наибольшая разница (5,1°C) отмечается между температурами грунтов на оси автодороги и лесным массивом.

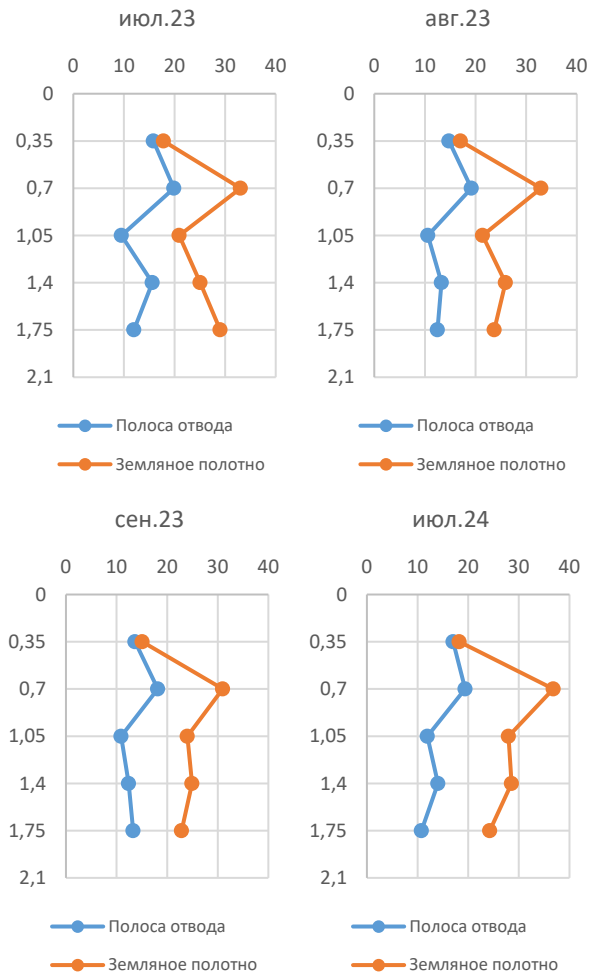
На глубине 10 м значение ΔT между различными элементами конструкции автодороги находится в пределах 0,5°C независимо от сезона года.

Теплый сезон					
Элемент конструкции	1 м	3 м	5 м	10 м	20 м
Западный откос	3,8	-3,1	-4,0	-3,3	-3,2
Восточный откос	5,1	-2,5	-3,4	-3,2	-3,4
ΔT	1,3	0,6	0,6	0,1	0,2
Восточный откос	5,1	-2,5	-3,4	-3,2	-3,4
Ось автодороги	6,7	-3,2	-4,4	-3,5	-3,3
ΔT	1,6	0,7	1,0	0,3	0,1
Ось автодороги	6,7	-3,2	-4,4	-3,5	-3,3
Полоса отвода	2,3	-2,9	-3,4	-3,3	-3,6
ΔT	4,4	0,3	1,0	0,2	0,3
Ось автодороги	6,7	-3,2	-4,4	-3,5	-3,3
Лесной массив	1,6	-3,2	-3,6	-3,0	-3,1
ΔT	5,1	0,0	0,8	0,5	0,2
Полоса отвода	2,3	-2,9	-3,4	-3,3	-3,6
Лесной массив	1,6	-3,2	-3,6	-3,0	-3,1
ΔT	0,7	0,3	0,2	0,3	0,5
Восточный откос	5,1	-2,5	-3,4	-3,2	-3,4
Лесной массив	1,6	-3,2	-3,6	-3,0	-3,1
ΔT	3,5	0,7	0,2	0,2	0,3



Влажность грунтов (км 75 ФАД «ВИЛЮЙ»)

h, м	Пло- щадка	Влажность, %						
		июл.23	авг.23	сен.23	окт.23	май.24	июн.24	июл.24
0,35	полоса отвода	16	15	14		14	16	17
	земляное полотно	18	17	15		10	17	18
	ΔW	2	2	1		4	1	1
0,70	полоса отвода	20	19	18	16	15	18	19
	земляное полотно	33	33	31	29	15	35	37
	ΔW	13	14	13	13	0	17	18
1,05	полоса отвода	10	11	11	12		11	12
	земляное полотно	21	21	24	23		20	28
	ΔW	11	10	13	11		11	16
1,40	полоса отвода	16	13	12	11		12	14
	земляное полотно	25	26	25	23		24	29
	ΔW	9	13	13	12		12	15
1,75	полоса отвода	12	12	13	14		10	11
	земляное полотно	29	24	23	23		15	24
	ΔW	17	12	10	9		5	13

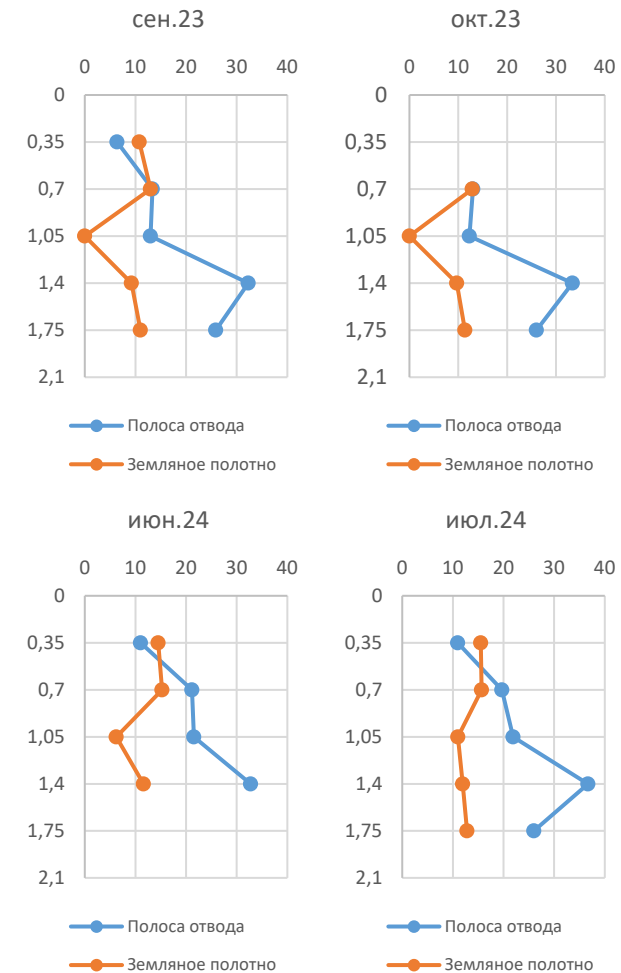


На участке км 75 ФАД «Виллюй» влажность грунтов в полосе отвода автодороги изменяется от 10 до 20%, а в земляном полотне от 10 до 37%. Наибольшие значения влажности грунтов отмечаются на глубине 0,7 м. На глубине 0,35 м разница величины влажности между полосой отвода и земляным полотном незначительна (от 1 до 4%). Ниже 0,7 метров значение ΔW достигает максимума и изменяется от 5 до 18%.

Вследствие особенностей рельефа грунты тела насыпи и основания (глубже 0,5 м) имеют влажность 2 раза больше, чем грунты в полосе отвода а/д. Т.е. идет процесс миграции воды в тело насыпи со всеми последствиями при промерзании.

Влажность грунтов (км 145 ФАД «ВИЛЮЙ»)

h, м	Пло- щадка	Влажность, %				
		сен.23	окт.23	май.24	июн.24	июл.24
0,35	полоса отвода	6		9	11	11
	земляное полотно	11		11	15	16
	ΔW	5		2	4	5
0,70	полоса отвода	13	13	16	21	20
	земляное полотно	13	13	11	15	16
	ΔW	0	0	5	6	4
1,05	полоса отвода	13	12		22	22
	земляное полотно				6	11
	ΔW				16	11
1,40	полоса отвода	32	33		33	37
	земляное полотно	9	10		12	12
	ΔW	23	23		11	15
1,75	полоса отвода	26	26		19	26
	земляное полотно	11	11		13	13
	ΔW	15	15		6	13



На участке км 145 ФАД «Виллюй» влажность грунтов в полосе отвода а/д изменяется от 6 до 37%, а в земляном полотне от 9 до 16%. Наибольшие значения влажности грунтов отмечаются на глубине 1,4 м. На глубине 0,35 и 0,7 м разница величины влажности между полосой отвода и земляным полотном незначительна (от 0 до 6%). Ниже 1,05 метров значение ΔW повышается и варьирует от 6 до 23%.

На этом участке грунты ниже глубины 1,05 м имеют влажность грунтов полосы отвода существенно ниже, чем грунты земляного полотна под асфальтобетонным покрытием.

Плотность теплового потока, Вт/м²

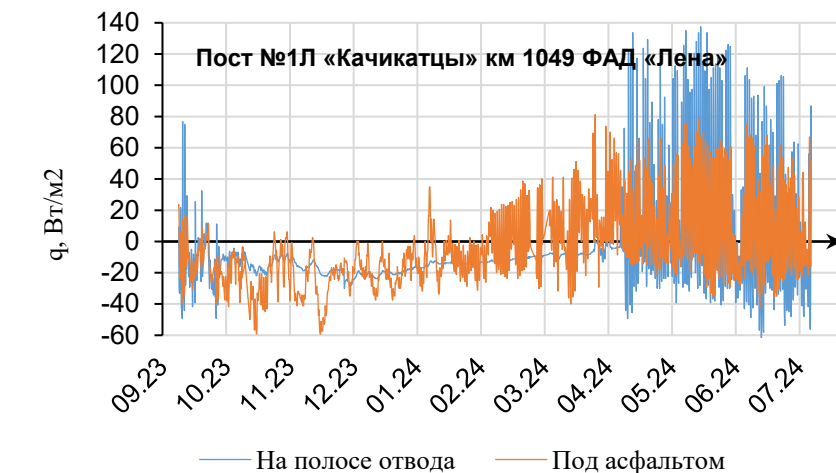
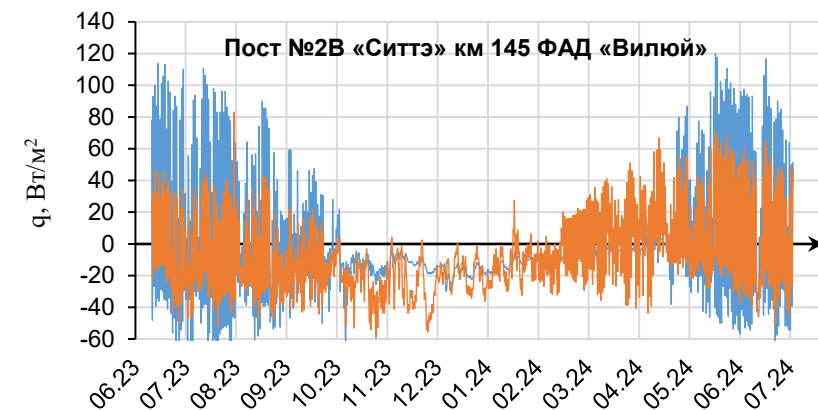
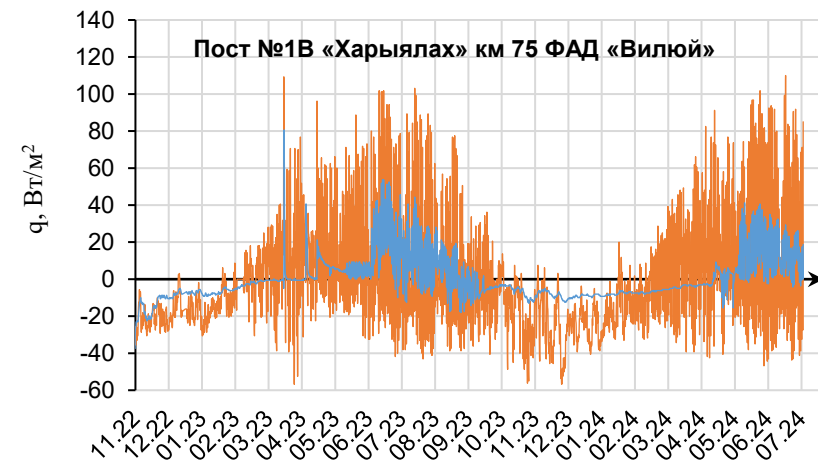
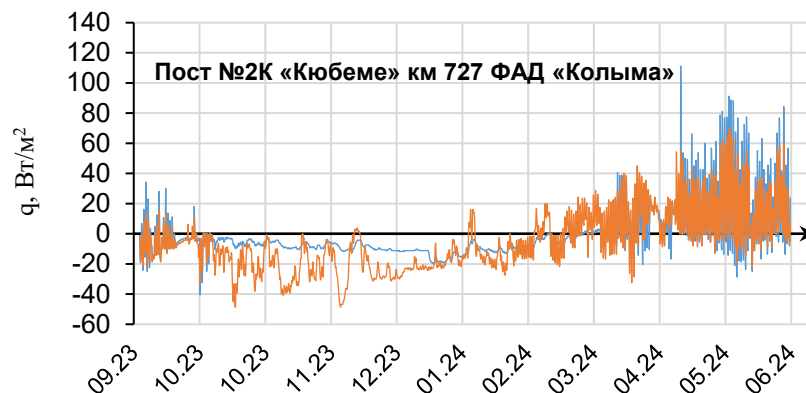
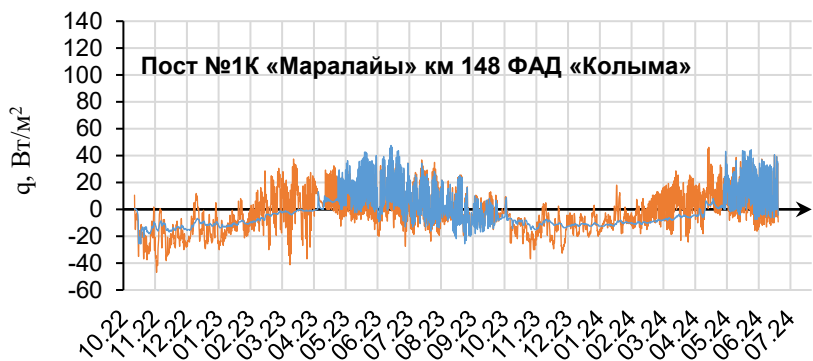
Спецификой измерения плотности теплового потока является его векторная величина. Поэтому его положительные или отрицательные значения характеризуют поступление или потерю тепла в системе «атмосфера – дорожное полотно – грунты основания». Зарегистрированные датчиками положительные и отрицательные значения плотности теплового потока определяют его направление (в грунт или в атмосферу). Под дорожным полотном в теплый период года значение плотности теплового потока (q) варьирует в широких пределах от 0,0 до 110 Вт/м² (км 75 ФАД «Виллюй»). В зимний период эти значения варьируют от 0,0 до 59,3 Вт/м² (км 1049 ФАД «Лена»).

В полосе отвода, в естественных условиях в летний период значения q варьируют от 0,0 до 137,5 Вт/м² (км 1049 ФАД «Лена»). В зимний период эти значения изменяются от 0,0 до 68,1 Вт/м² (км 75 ФАД «Виллюй»).

В зимний период предельные значения плотности теплового потока отличаются почти в 2 раза.

Суточные колебания величины плотности теплового потока зависит от влажности грунтов и разности предельных значений суточных температур воздуха. Поэтому суточные колебания q в период снеготаяния (конец апреля) и формирования снежного покрова (начало октября) минимальны или равны нулю. В теплый период года, когда влажность грунтов минимальна и суточная разность температуры воздуха максимальна наблюдаются максимальные суточные амплитуды колебания плотности теплового потока.

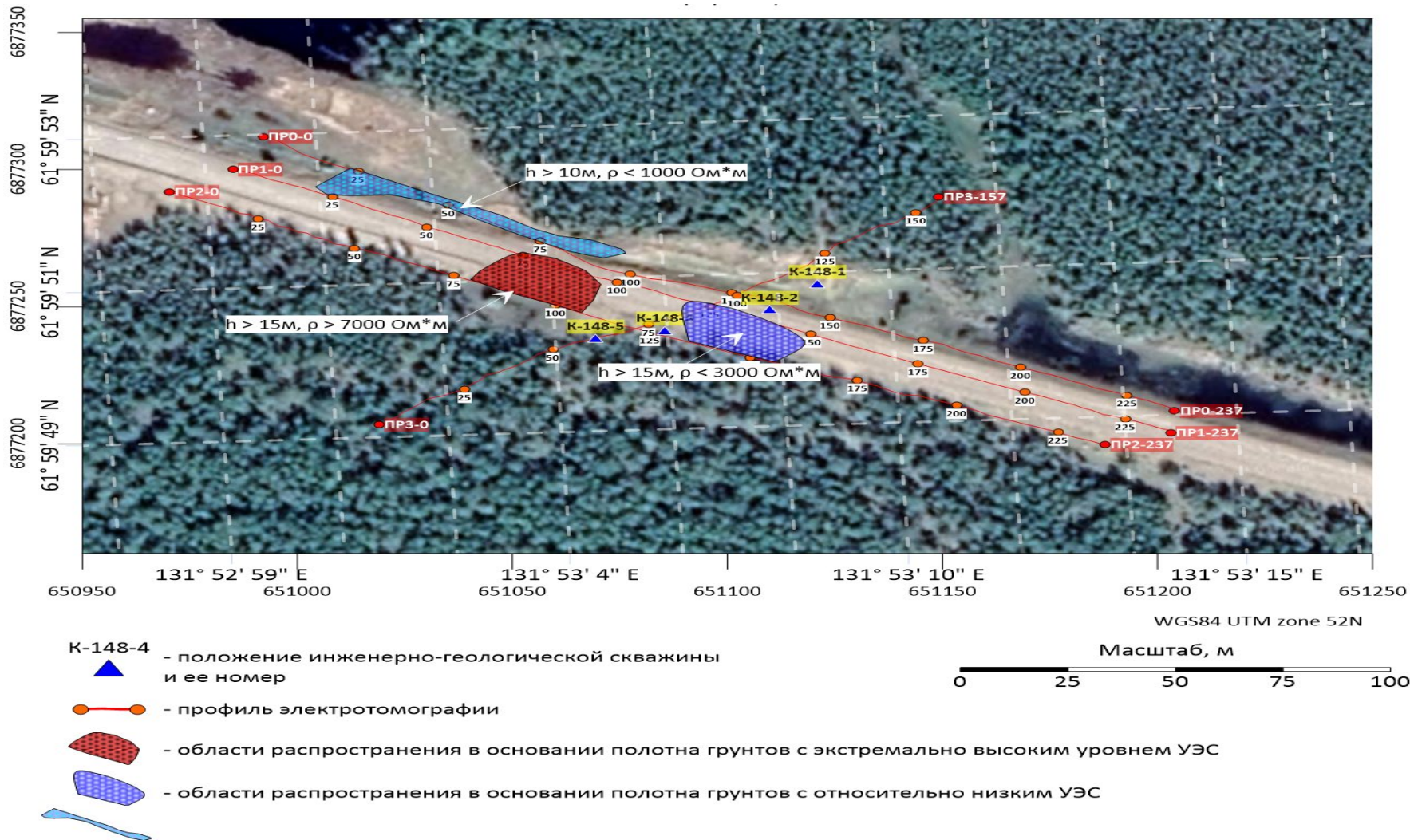
Дата	км 148 ФАД «Колыма»		км 727 ФАД «Колыма»		км 75 ФАД «Виллюй»		км 145 ФАД «Виллюй»		км 1049 ФАД «Лена»	
	На полосе отвода	Под асфальтом	На полосе отвода	Под дорогой	На полосе отвода	Под асфальтом	На полосе отвода	Под асфальтом	На полосе отвода	Под асфальтом
Ср. 2023 г	-1,3	-1,9			0,7	-1,8				
Абс. макс.	47,5	46,2	111,2	70,0	80,6	110,0	120,0	83,1	137,5	81,2
Абс. мин.	-25,6	-46,8	-40,6	-48,7	-37,5	-56,8	-68,1	-59,3	-63,1	-59,3



— На полосе отвода — Под асфальтом

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геофизические исследования включали картирование разуплотненных, обводненных или льдонасыщенных участков в земляном полотне и в грунтах основания насыпи, а также локализацию и выявление потенциальных таликовых зон. Были использованы методы **электротомографии и радарных исследований** - позволяющие получить информацию о пространственном распределении УЭС в исследуемом массиве грунтов, с целью уточнения инженерно-геологического разреза; аномальных зон, а также контролировать динамику их развития.



Анализ полученных материалов позволил выделить области аномально высоких и низких УЭС в коренных породах основания дорожного полотна. Выявленные аномальные указывают на наличие потенциально опасных мерзлотно-грунтовых особенностей исследуемого массива пород: неоднородность строения скального основания, наличие льдистых участков (высокое УЭС) и зон высокотемпературных грунтов имеющих тенденции к растеплению (низкое УЭС). Дальнейшие регулярные мониторинговые геофизические исследования позволят дать оценку состояния и динамики этих участков.

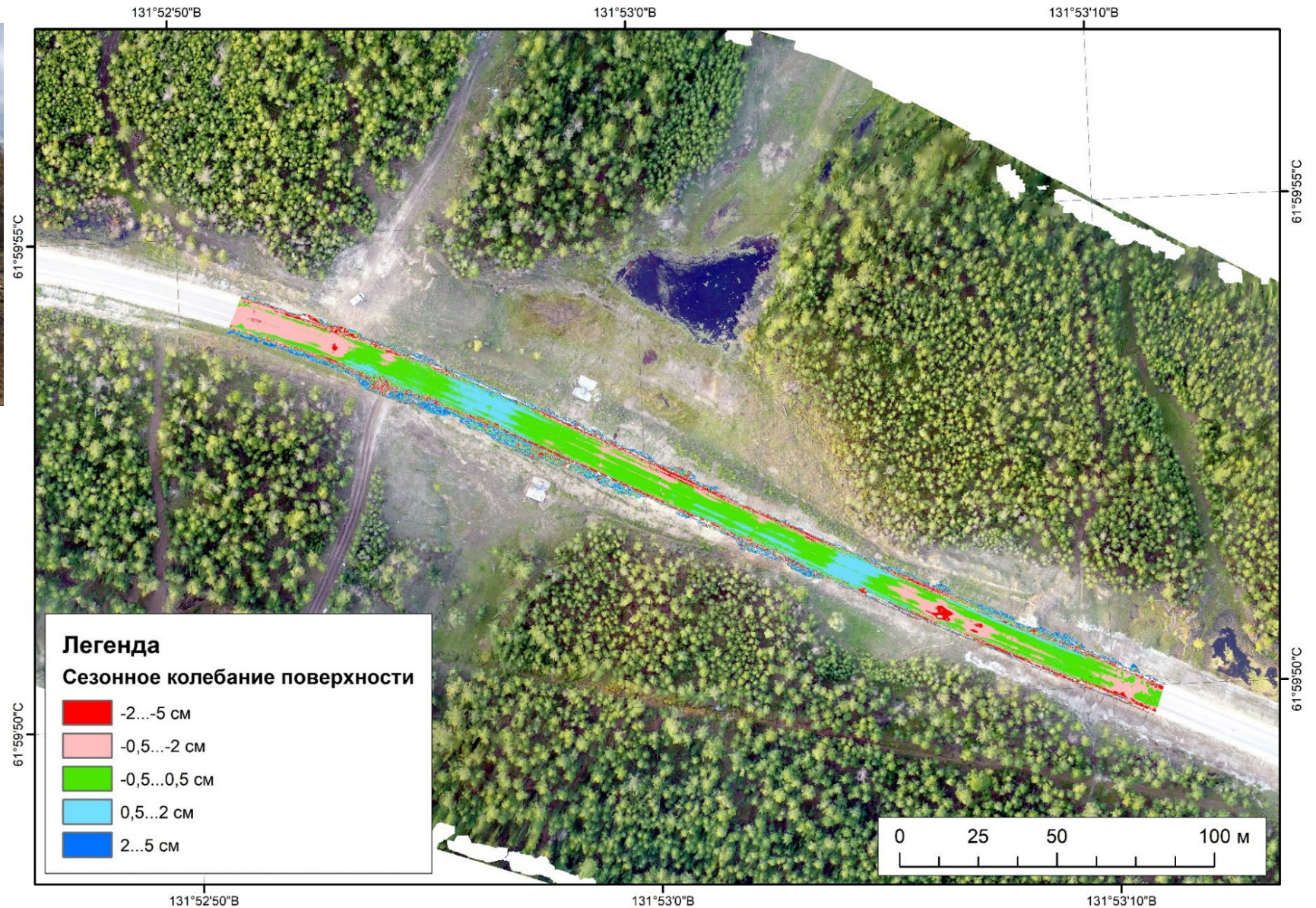


НАЗЕМНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ



Для контроля за вертикальными деформациями поверхности дорожного полотна и прилегающей территории была проведена геодезическая съемка участка с помощью наземного лазерного сканера (НЛС) и беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

В результате сравнительного анализа материалов съемки местности наземным лазерным сканером, проведенных в сентябре 2022 и 2023 годов выявлено, что в течении одного года величина колебания поверхности дорожного полотна составляет от – 5 до 5 см.



ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПОСТОВ

В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ (ПРИБОРОВ) КОМПЛЕКСНЫХ ПОСТОВ НАБЛЮДЕНИЯ СВЯЗАНО С ИЗВЕСТНЫМИ ПРИЧИНАМИ: СУРОВЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И УДАЛЕННОСТЬ УЧАСТКОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТ ИНФРАСТРУКТУРЫ.



Приборы на пяти комплексных постах наблюдения оснащены автономными элементами питания по причине отсутствия электросети. Как известно, такие элементы питания имеют резкое ухудшение характеристик при отрицательных температурах, так работоспособность их при $-40 \div -55$ °С проблематична. Такие температуры в наших климатических условиях отмечаются длительный период времени (ноябрь-март). Оборудования с высоким энергопотреблением, такие как метеостанция и датчики солнечного излучения обеспечены фотоэлектрическими батареями (солнечными панелями) для поддержания номинальной ёмкости аккумуляторов. На посту ФАД «Колыма» уч «Кюбюме» (км 727) в условиях малой освещённости и при температурах воздуха ниже -55 °С (январь 2024 г.) солнечная панель вырабатывает минимальную электроэнергию, которой не хватает для заряда аккумуляторов.



По причине удалённости участков от населенных пунктов возникает проблема дистанционного получения данных из-за отсутствия или некачественного покрытия сигналом сотовой связи. На двух постах (№1В «Харыялах» км 75+750 А-331 «Вилюй» и №2В «Ситте» км 145+000 А-331 «Вилюй») ввиду отсутствия покрытия сотовой связи установлено оборудование с возможностью отправки данных по спутниковой связи. Так как при использовании спутниковой связи затрачивается большое количество электроэнергии, в зимний период элементы питания оборудования разряжаются интенсивнее. По причине этого в начале холодного периода часть оборудования была переведена в режим автономного хранения данных без отправки на сервер, для поддержания работоспособности. На других постах присутствует некачественное покрытие сигналом сотовой связи, из-за которого дистанционная отправка данных осуществляется с перерывами.



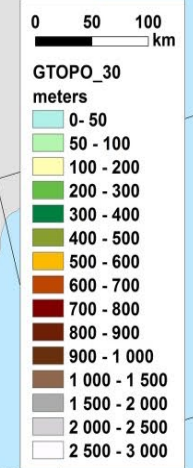
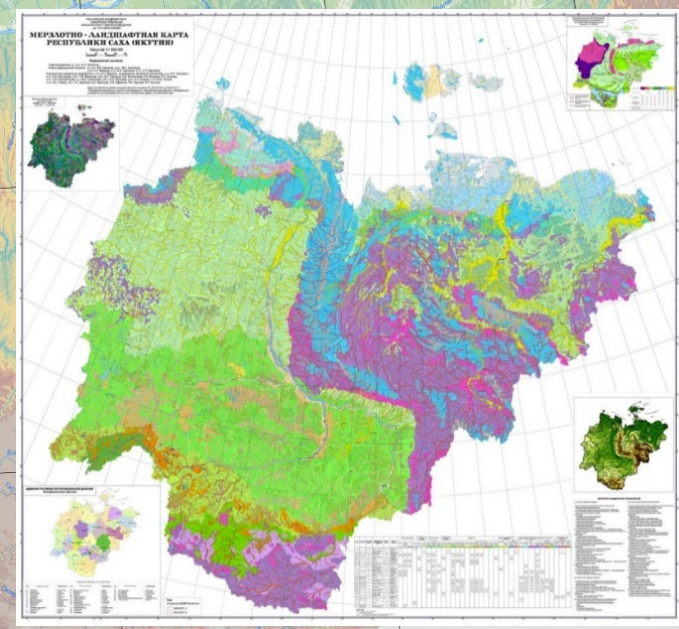
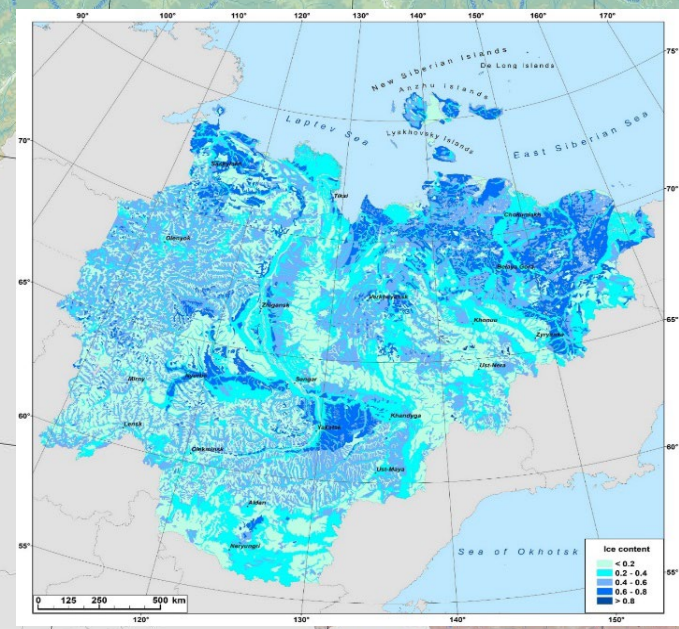
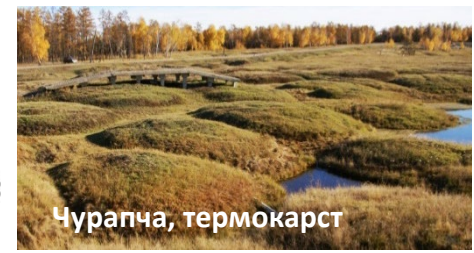
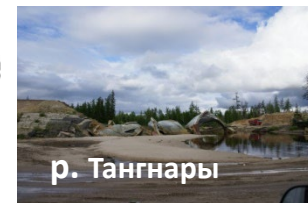
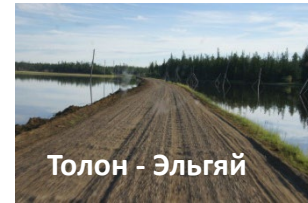
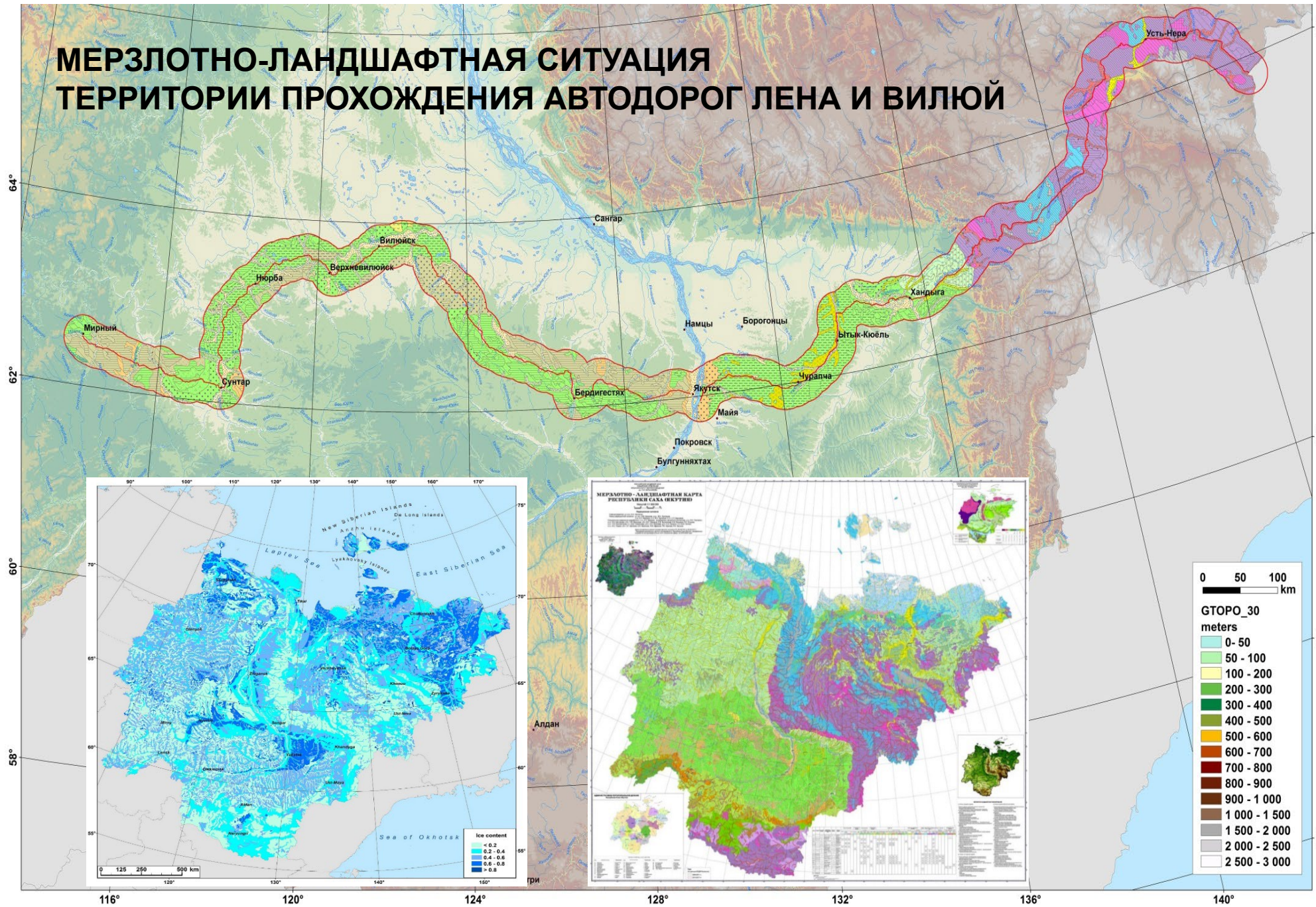
При сезонных деформациях дорожного полотна возникает проблема обрыва кабелей при нагрузке, ряд установок, с отсутствием усиленной защиты и непрочным материалом выходят из строя.



На постах присутствуют акты вандализма.

Для обеспечения работоспособности оборудования нашими специалистами осуществлялись периодические (не реже 1 раза в 2 месяца) выездные проверки постов наблюдения, также часть оборудования в зимний период была переведена в автономный режим хранения данных без дистанционной отправки в целях сохранения электроэнергии элементов питания.

МЕРЗЛОТНО-ЛАНДШАФТНАЯ СИТУАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ ПРОХОЖДЕНИЯ АВТОДОРОГ ЛЕНА И ВИЛЮЙ



Таксономическая система ландшафтов (по Милькову, 1970)



К принципам дорожно-климатического районирования в зоне вечной мерзлоты

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

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

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

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

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

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

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

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

Основные критерии выделения мерзлотных ландшафтов (Федоров, 1991)

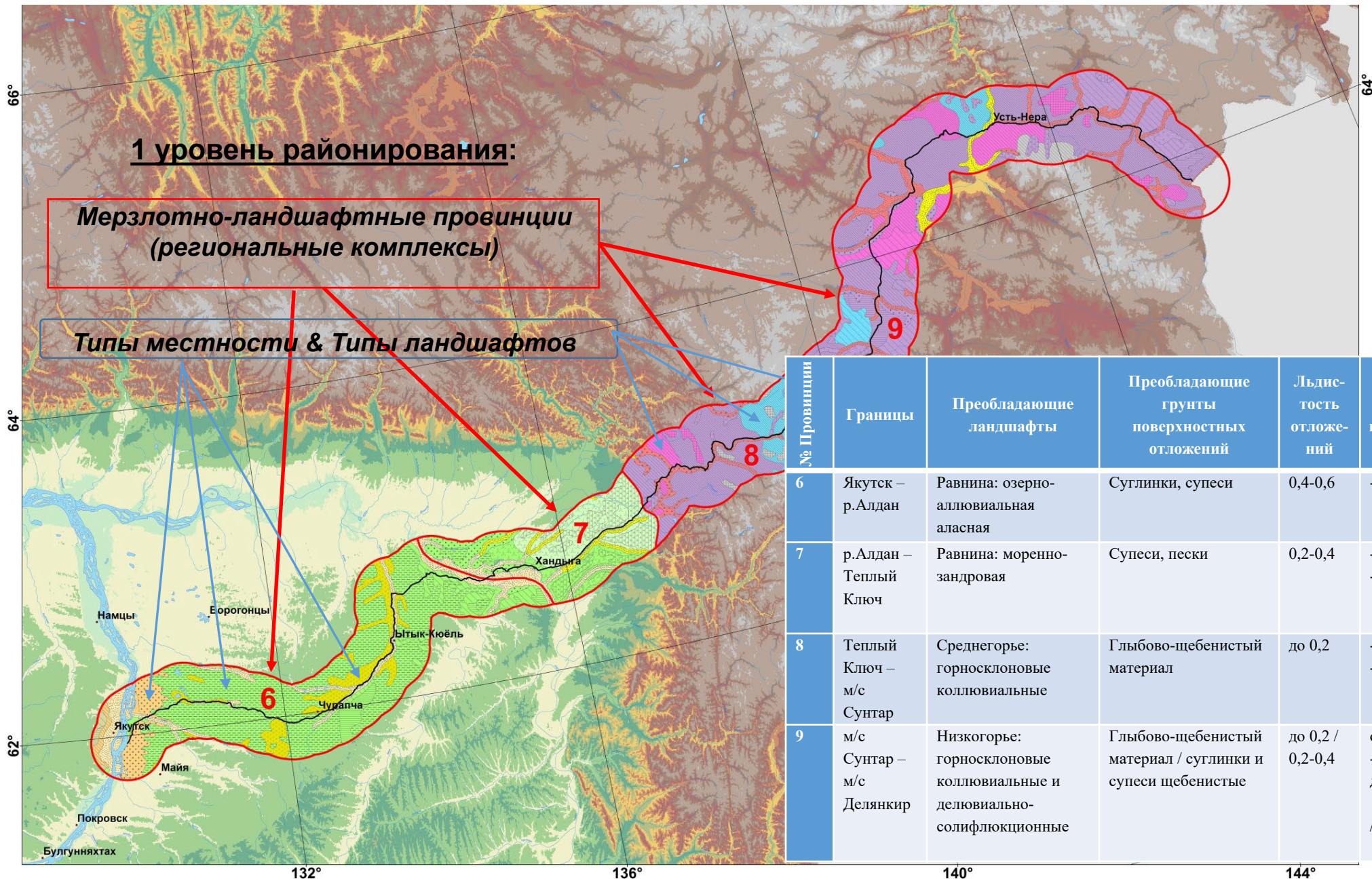


МЕРЗЛОТНЫЕ ЛАНДШАФТЫ АВТОДОРОГИ КОЛЫМА

1 уровень районирования:

Мерзотно-ландшафтные провинции
(региональные комплексы)

Типы местности & Типы ландшафтов

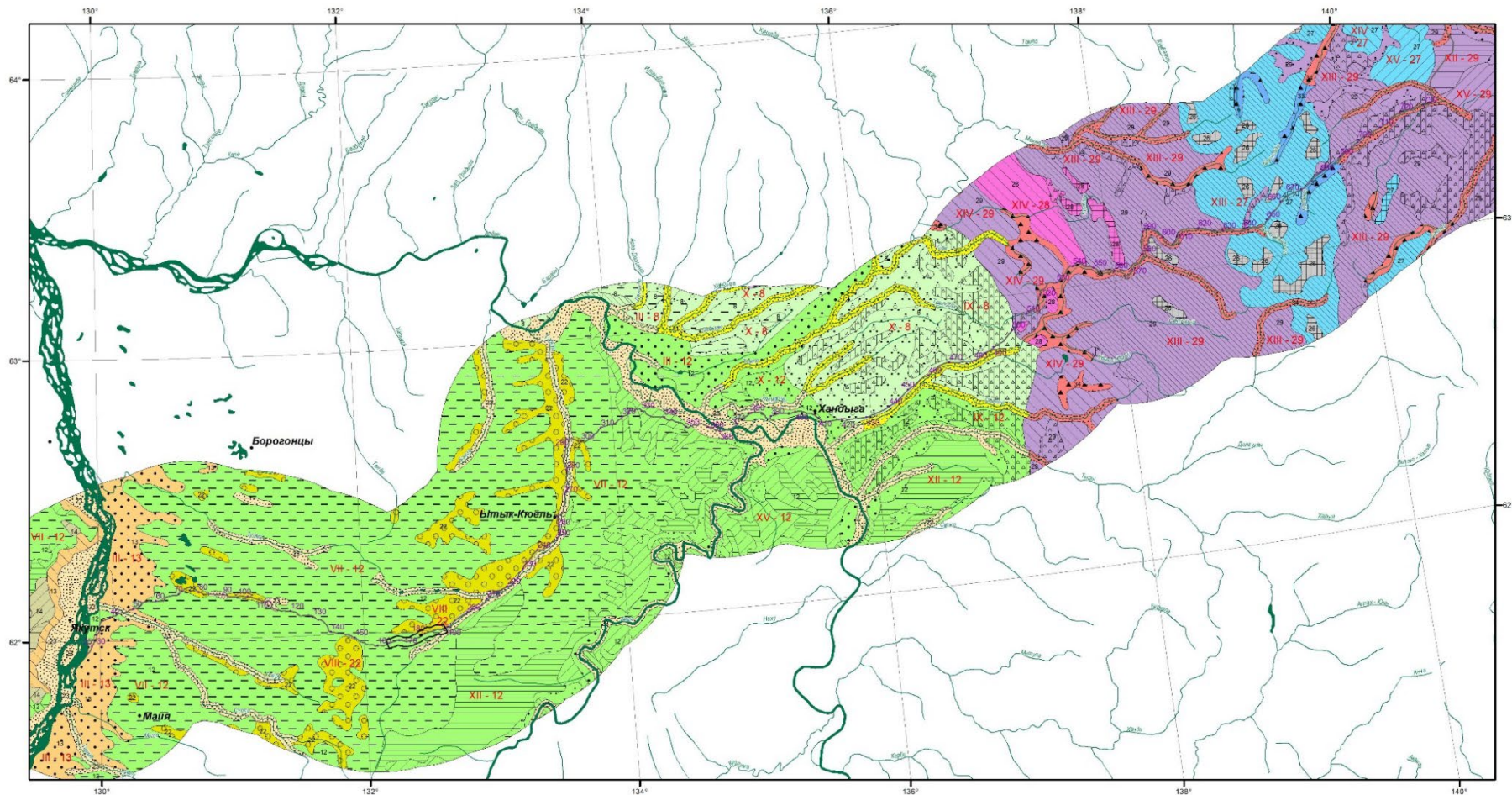


№ Провинции	Границы	Преобладающие ландшафты	Преобладающие грунты поверхностных отложений	Льдистость отложений	Температура грунтов, °С	Мощность сезонно-талого слоя, м	Преобладающие криогенные процессы
6	Якутск – р.Алдан	Равнина: озерно-аллювиальная аласная	Суглинки, супеси	0,4-0,6	-2...-4	1,0-1,4	Термокарст, 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	Морозобойное растрескивание, термокарст, пучение
8	Теплый Ключ – м/с Сунтар	Среднегорье: горносклоновые коллювиальные	Глыбово-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 Делянكير	Низкогорье: горносклоновые коллювиальные и делювиально-солифлюкционные	Глыбово-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

Уровень 2: Типологические комплексы: типы местности и типы ландшафтов

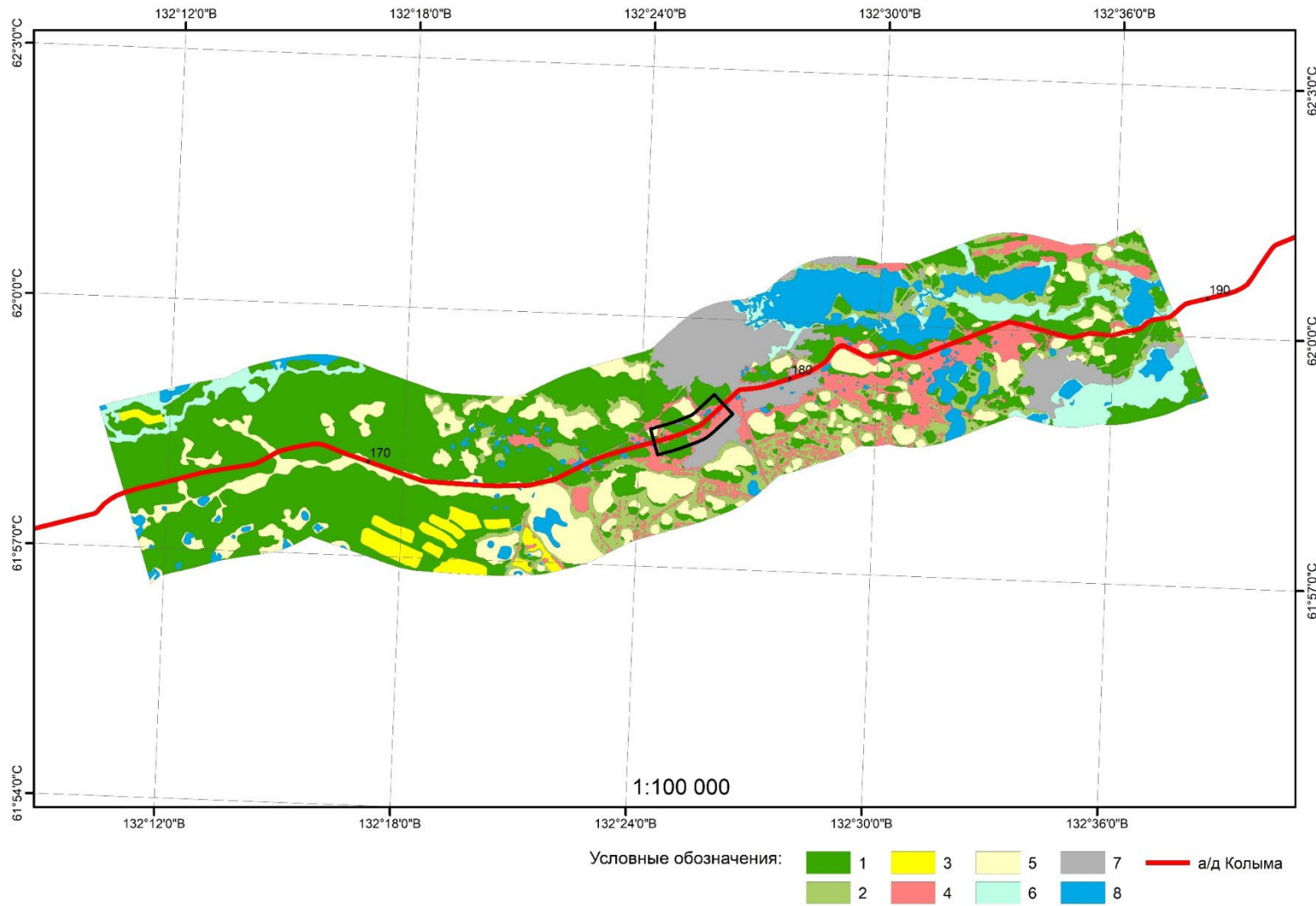
Основные критерии для
мерзлых пород на уровне
районирования 1:

- 1) Температура, $dt \leq 2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- 2) Льдистость, $di \leq 0,2$
- 3) СТС-СМС, $dh \leq 0,5 \text{ м}$



Условные обозначения:

	II, Низкотеррасовый		8, Лиственничные редколесья кустарничково-лишайниково-моховые ерниковые
	III, Средневысотный террасовый		11, Комплекс северотаежной долинной растительности
	V, Высокотеррасовый		12, Лиственничные леса кустарничковые и кустарничково-моховые
	VII, Межаласный		13, Сосновые леса кустарничково-лишайниковые
	VIII, Аласный		14, Сосново-лиственничные леса кустарничково-лишайниково-моховые
	IX, Моренный		22, Аласные луга
	X, Зандровый		23, Комплекс среднетаежной долинной растительности
	XI, Приводораздельный скальный		26, Эпилитные лишайники
	XII, Приводораздельный элювиальный		27, Горные тундры лишайниковые и кустарничково-моховые
	XIII, Склоновый коллювиальный		28, Кедровый стланник кустарничково-лишайниковый в сочетании с ольховником и ерниками
	XIV, Склоновый делювиально-коллювиальный		29, Лиственничные редколесья и редины кустарничково-лишайниковые и моховые
	XV, Склоновый делювиально-коллювиально-солифлюкционный		33, Комплекс горно-тундровой долинной растительности
	XVII, Ледниково-долинный		34, Комплекс горноредколесной долинной растительности



**Уровень 3:
Типологические комплексы:
Подтипы местности & группы
растительных ассоциаций
(окрестности с. Чурапча)**

Основные критерии для мерзлых пород на уровне районирования 3:

- 1) Температура, $dt \leq 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$
- 2) Льдистость, $di \leq 0,2$
- 3) СТС-СМС, $dh \leq 0,3 \text{ м}$

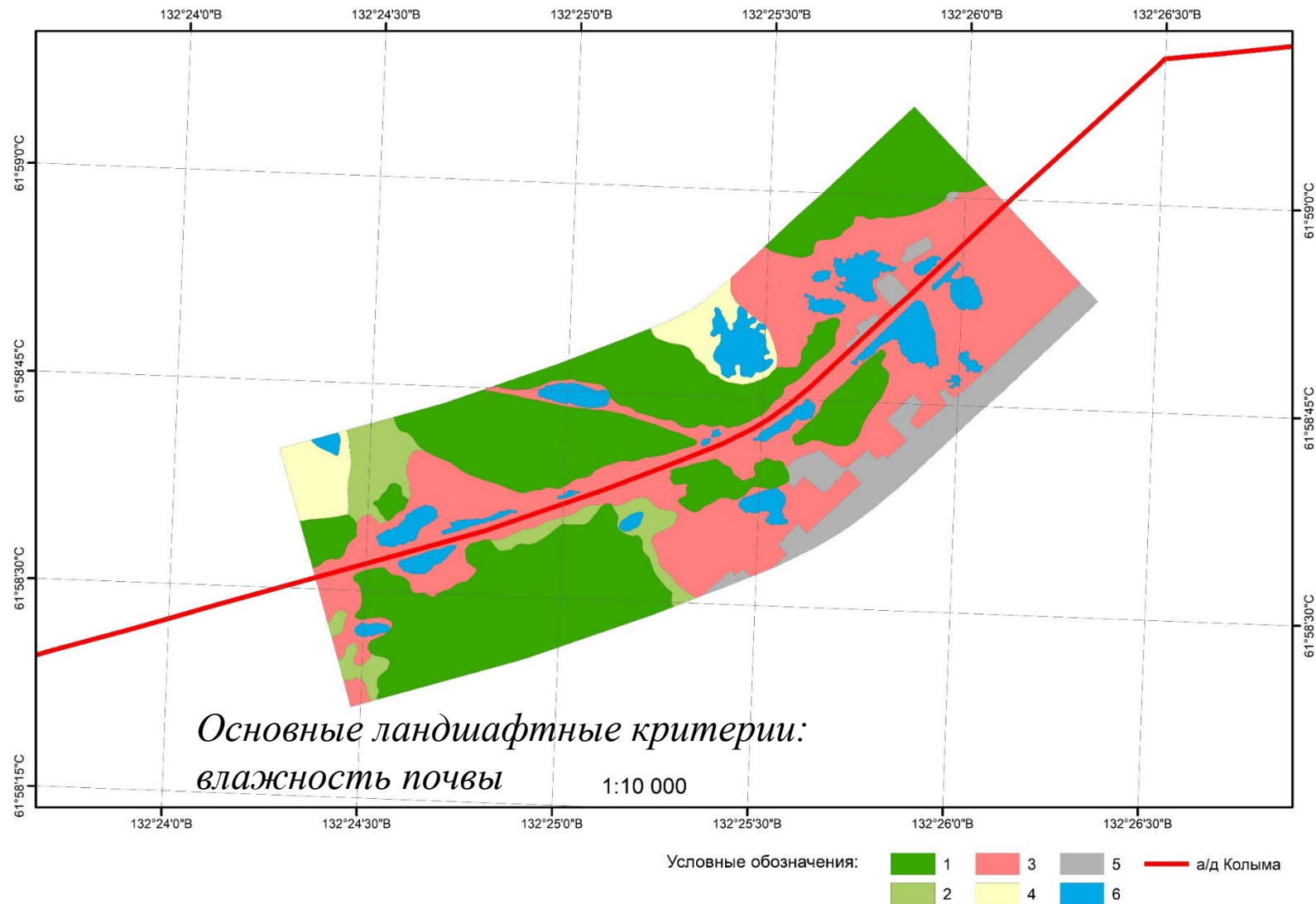
Притаттинский аласный район

1 – межаласья суглинистые с повторно-жильными льдами с лиственничными лесами; 2 – межаласья суглинистые с повторно-жильными льдами с разнотравно-злаковыми лугами; 3 – межаласья суглинистые с повторно-жильными льдами с распаханными полями; 4 – межаласья суглинистые с деградацией верхних частей повторно-жильных льдов (быллары); 5 – аласы суглинистые с комплексом аласных лугов; 6 – поймы речные и озерные с влажными лугами; 7 – поселения; 8 – термокарстовые озера.

Уровень 4: Типологические комплексы: Типы фаций & растительные ассоциации (окрестности с. Чурапча)

Основные критерии для
мерзлых пород на уровне
районирования 4:

- 1) Температура, $dt \leq 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
- 2) Льдистость, $di \leq 0,1$
- 3) СТС-СМС, $dh \leq 0,2 \text{ м}$



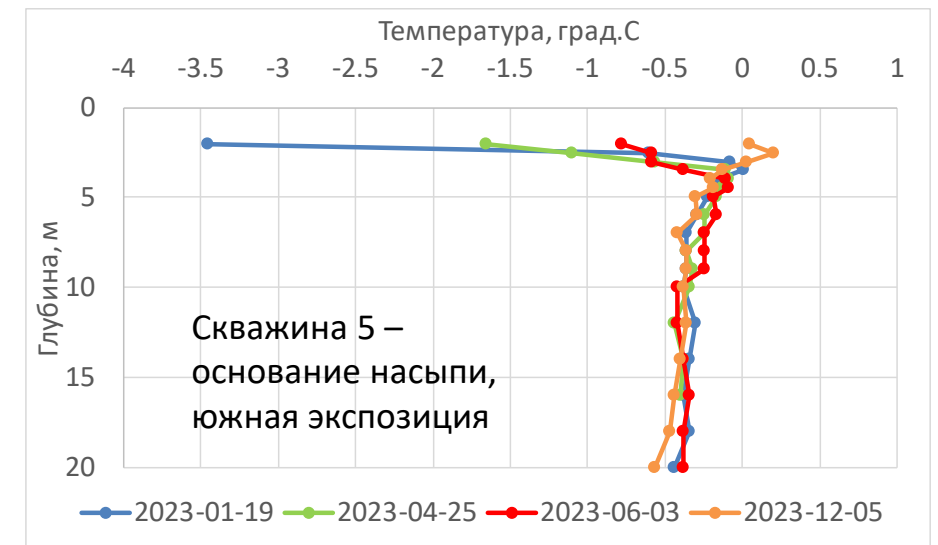
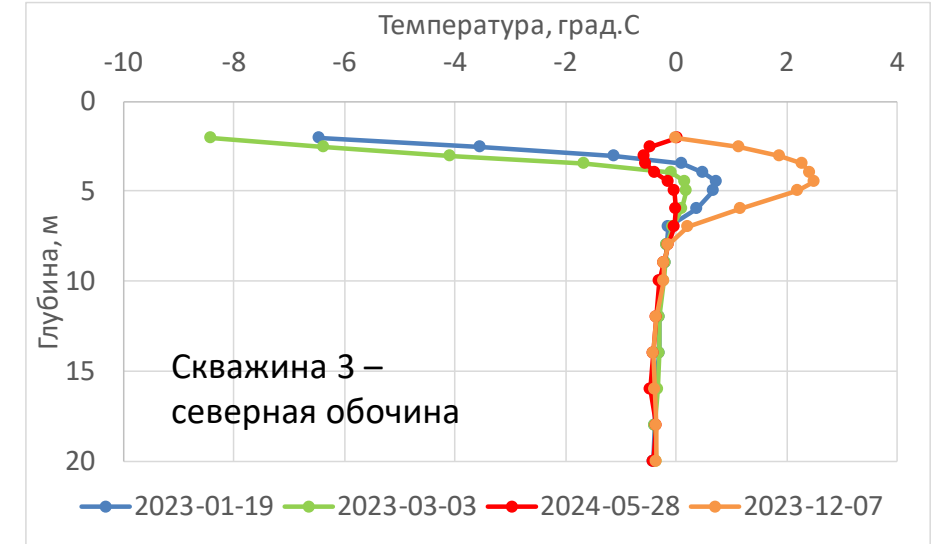
Окрестности с. Чурапча

- 1 – межаласья суглинистые с повторно-жильными льдами с лиственничными лесами брусничными;
2 – межаласья суглинистые с повторно-жильными льдами с остепненными лугами; 3 – межаласья суглинистые с деградацией верхних частей повторно-жильных льдов (быллары) с влажными лугами;
4 – аласы суглинистые с комплексом аласных лугов; 5 – поселения; 6 – термокарстовые озера.

ОПЫТ ИНСТИТУТА ГЕОЭКОЛОГИИ РАН ПО АНАЛИЗУ ДАННЫХ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ПОСТУ 288 КМ ТРАССЫ ЧИТА-ХАБАРОВСК

Анализ термометрических данных за 2023 год позволил сформулировать следующие выводы:

1. Полученные данные свидетельствуют о существенных различиях температурного режима под противоположными откосами дороги, что обусловлено различиями в инсоляции и влажностном режиме прилегающих участков.
2. Информация с поста мониторинга позволяет обосновать диагностику причин деформаций. В частности, сравнение результатов прогнозных теплотехнических расчётов и данных фактических наблюдений позволяет оценить роль конвективного теплопереноса при движении воды под насыпью в растеплении мерзлоты. **НА ЧТО ТРАТИТЬ ДЕНЬГИ: НА УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛООБМЕНОМ ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНОСТЬ ИЛИ НА ОРГАНИЗАЦИЮ ДРЕНАЖА?**
3. Мониторинг продемонстрировал успешную работу каменной наброски в погодных условиях 2023 года: в то время как сезонное промерзание в примыканиях дороги не дотянулось до кровли мерзлоты, грунт под обочинами дороги к маю промёрз полностью по всему разрезу.



КОМПЛЕКСНЫЙ ПОСТ НАБЛЮДЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ

1461 км автодороги Р-415 «Колыма», Магаданская обл. вблизи пос. Стекольный

СОВТРАНСТЕХ



Измерительные средства в комплекте

- Автоматическая метеорологическая станция МК-15;
- 5 датчиков послойного измерения температуры (20 м длиной по 20 точек);
- 2 гидрогеологические скважины глубиной 3 м, с датчиками объемной влажности
- Встроенный датчик состояния дорожного покрытия с измерением теплового потока;
- Датчики радиационного баланса и интенсивности солнечной радиации.



Автономный блок электропитания, общей мощностью 1 кВт

- Солнечные панели
- Ветрогенератор
- Аккумуляторные батареи емкостью 1000 Ач



ОСОБЕННОСТИ ДАТЧИКА ПОСЛОЙНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТ-20 СОВТРАНСТЕХ

СОВТРАНСТЕХ



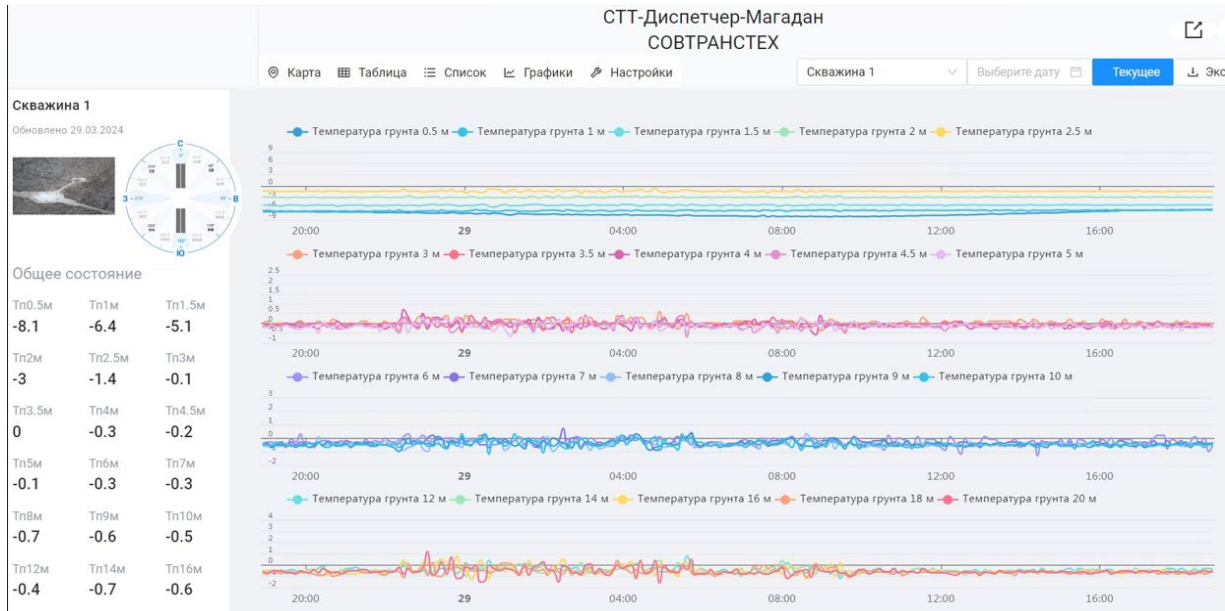
Технические характеристики:
Точность измерения 0,1, град. С
Отметки:
От 0 до -5 м – 10 шт. с шагом 0,5 м
От -5 до -10 м – 5 шт. с шагом 1 м
От -10 до -20 м – 5 шт. с шагом 2 м
Тип термоэлемента
– РТ1000 класс точности А



Отличительные особенности:
Погружение в скважину без обсадной трубы.

Контактный метод измерения без влияния конвекционных потоков внутри скважины.

Секционная сборная конструкция, для простоты погружения.



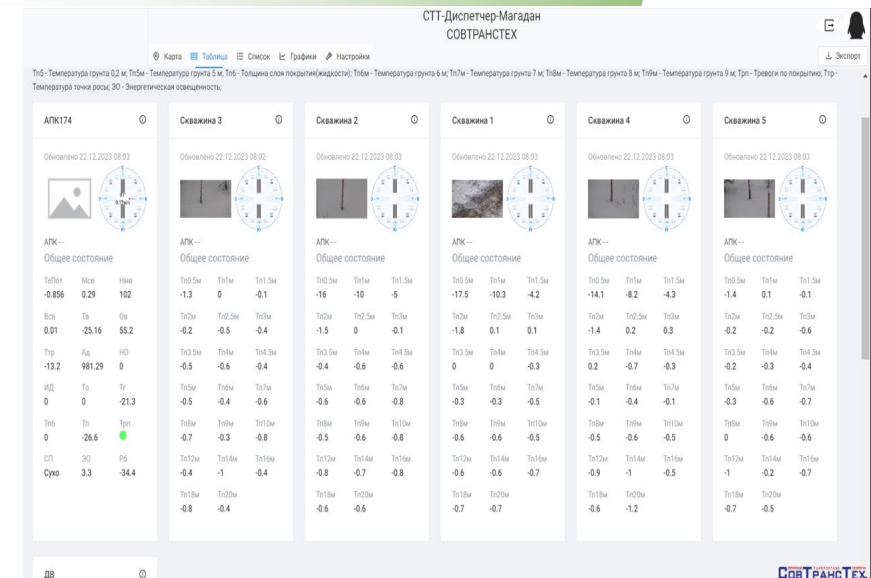
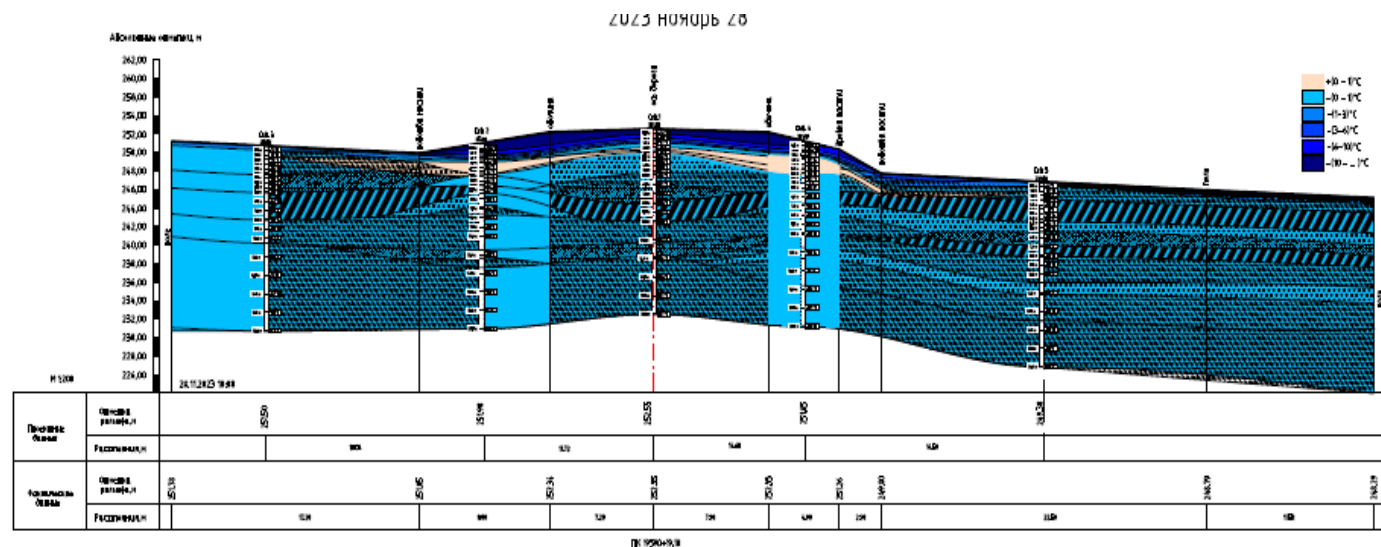
Особенности программы СТТ-Диспетчер:

Сбор данных с поста наблюдения:

- 5 температурных датчиков по 20 точек измерения
- Данные с метеорологического поста
- Данные с 2-х гидрогеологических скважин
- Данные по радиационному балансу и солнечной радиации
- Фото снегомерных реек
- Данные по тепловому потоку в верхних слоях

Возможность экспорта данных.

Возможность использования аналитических модулей.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В рамках реализации проекта всего установлено **7 комплексных постов** наблюдения за метеорологическими и мерзлотными условиями на ФАД в криолитозоне.
2. Получены **детальные характеристики** изменения температурного режима грунтов (срочные, среднесуточные, декадные, среднемесячные, среднегодовая) для разных элементов конструкции автомобильной дороги. Данные свидетельствуют о значительных различиях температурного режима не только под автодорогой и полосой отвода, но и под противоположными откосами автодороги, что обусловлено различиями в инсоляции и влажностном режиме прилегающих участков.
3. Впервые **получены данные влажностного режима грунтов** в полосе отвода и под осью автомобильной дороги, что является одним из важных критериев в разработке плановых и превентивных мероприятий при обеспечении устойчивости а\д.
4. Впервые **получены данные о плотности теплового потока вблизи поверхности** (глубина 15 см), величина которого изменяется в пределах мониторингового профиля от +120 до – 68 Вт/м². Значительны колебания теплового потока и в суточном режиме. Установлено, что в зимний период предельные значения плотности теплового потока отличаются почти в 2 раза. Зная и управляя распределением тепловых потоков (используя подбор грунтов по теплофизическим свойствам) возможно добиться охлаждающего эффекта грунтов полотна а\д. Детальный анализ распределения теплового потока позволит разработать эффективные решения конструкции земляного полотна а\д, для конкретных условий.
5. 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.
6. В ходе эксплуатации комплексных постов наблюдения выявлены некоторые **проблемы обеспечения работоспособности оборудования**. Основными из них являются проблемы автономного энергообеспечения приборов и датчиков в суровых зимних условиях (при температуре воздуха ниже -45°С) и дистанционная передача данных в условиях слабого покрытия сотовой связи. Полученный опыт при снятии, обработке, передаче и хранении данных требует некоторого пересмотра и оптимизации наблюдений по срокам и количеству замеров. Данные необходимо просматривать, так как возникают сбои иногда выраженные в несопоставимых значениях измеряемых параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

7. Полученные данные мерзлотно-климатических параметров для автомобильной дороги Колыма (95-345 км) на участке близкого залегания к поверхности (2 – 4 м) пород ледового комплекса свидетельствуют от том, что в полосе отведения автомобильной дороги **идет протаивание мерзлых толщ с поверхности**, что приводит к развитию просадок и деформаций на а\д. Аналогичные грунтовые условия были при строительстве железной дороги Томмот-Кердэм. Персональный подход (научное сопровождение) к изысканиям и проектным решениям позволил построить этот участок (протяженностью 100 км). Затраты на проведение проектно-изыскательских работ были превышены почти в 3 раз по отношению к остальным участкам при строительстве этой дороги. Через 20 лет мы видим эффективность того что сделано, уже тогда, при тех, относительно настоящего времени, суровых климатических условиях были заложены системы охлаждения.
8. 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, что требует адекватного мерзлотно-климатического районирования автомобильных дорог.
9. Разработаны предварительные **предложения по принципам мерзлотно-климатического районирования** автомобильных дорог в криолитозоне. Необходимо выполнить подобное районирование со сбором всех данных об инженерно-геологических условиях с **ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМИ** полевыми работами для количественной оценки инженерно-геокриологических условий, выявления причин и параметров деформаций а\д, оптимального расположения мониторинговых постов.
10. Проектные решения строительства а\д на склонах **требуют обоснованного индивидуального подхода** и усиления инженерно-геологической изученности. В большей степени это касается влияния надмерзлотных вод.
11. Подземные воды (надмерзлотные), контроль их динамики, проблемы и методы водоотведения **требуют дифференцированного подхода**. Несомненно предварительной обоснованной информации перед разработкой проектного решения при строительстве или кап. Ремонте участков дорог. Сегодня применяемые автоматизированные системы контроля проходят проверку работоспособности на а\д Лена.
12. Необходимо **создание федерального информационного центра** для организации хранения данных и разработки унифицированных методов анализа получаемой мониторинговой информации.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Учитывая единство ПТС необходимо вернуться к старому предложению о создании совместной **единой системы геотехнического мониторинга** совместно с РЖД для ряда Федеральных дорог. Думаю сегодня для этого есть все административно-политические возможности
2. Не вводить **в закрытую информацию** инженерно-геокриологические условия, обсуждение и публикацию этих материалов. Привлекать и дать возможность реализации себя в этом направлении **НАУКИ**.
3. Для некоторых участков а\д сегодня необходимо ввести ограничение нагрузок (в том числе интервале движения) в определенные периоды времени (весенний период, начало сезонного протаивания, период интенсивной конденсации влаги в теле насыпи; интенсивные дожди и пр.).
4. И все-таки..... при проектировании, строительстве, кап. ремонте, ввести **научное сопровождение**. Было бы правильно сегодня ввести научное сопровождение по оценке состояния автомобильных дорог. В это сопровождение подтянуться средства и научных фондов, в том числе для проведения полу-промышленных экспериментов для внедрения разработок.



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ !



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ДОРОЖНОГО АГЕНТСТВА
БЛАГОВЕЩЕНСК | 19–21 АВГУСТА 2024 ГОДА**