

• Основные приемы природоохранных мероприятий и стабилизации геоэкологических ситуаций в криолитозоне и в высокогорье. Проблемы северного оленеводства. Примеры инновационных проектов в северных регионах.

В итоге, магистранты овладевают методическими приемами оценки устойчивости криогенных ландшафтов всех уровней к антропогенным нагрузкам с целью экологически сбалансированного природопользования в криолитозоне.

Содержание и авторские методики преподавания рассмотренных геоэкологических дисциплин с применением современных it-технологий несомненно могут представлять практический интерес для подготовки специалистов в тех областях науки и практики, которые связаны с освоением и изучением природы криосферы Земли и криолитозоны в частности.

Литература

1. Тумель Н.В., Зотова Л.И. Геоэкология криолитозоны: Учебное пособие. – М.: Географический факультет МГУ, типография Россельхозакадемии, 2014. – 244 с.
2. Интернет-ресурсы .Сайт географического ф-та МГУ, учебные программы:
http://www.geogr.msu.ru/student/programs/bac_geography/b_krio_Geoekologiya_kriolitozony.pdf
http://www.geogr.msu.ru/student/programs/bac_geography/b_krio_Merzlotnyu_prognoz_pri_osvoenii_kriolitozony.pdf
http://www.geogr.msu.ru/student/programs/bac_geography/b_krio_Geoinformatsionnye_sistemy_merzlotovedeniya_i_glyatsiologii.pdf http://www.geogr.msu.ru/student/programs/m_geography/mm_krio_Otsenka_Merzlotno-ekologicheskogo_sostoyaniya_geosistem_ravnin_i_gor_kriolitozony.pdf

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ И НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ УЧЕБНО-НАУЧНОЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ ДЛЯ МАГИСТРОВ 1 КУРСА ИНЖЕНЕРНОГО ПОТОКА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА В СЕНТЯБРЕ 2015 Г.

В.С.Исаев¹, А.В.Кошурников¹, Д.О.Сергеев², А.А.Погорелов¹, И.С.Соколов³,
О.В.Подчасов¹, Р.Т.Аманжуров⁴

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геокриологии; *e-mail: tpomed@rambler.ru*
koshurnikov@msu-geophysics.ru pogorelov.andrey@gmail.com, podchasov.oleg@gmail.com

² Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН,
e-mail: serguevdo@mail.ru

³ ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС», *e-mail: ngv@fugro.ru*

⁴ ООО «Новые технологии», *e-mail: rusaman@gmail.com*

Приведена методика проведения и некоторые итоги полевой инженерно-геокриологической практики для магистров 1 года обучения геологического факультета МГУ, проходящая в республике Коми. Приводятся полевые данные и результаты их постобработки и анализа.

TECHNIQUE AND SOME RESULTS OF FIELD ENGINEERING GEOCRYOLOGICAL PRACTICE FOR 1-TH YEAR MAGESTERS OF ENGINEERING BRANCH OF GEOLOGICAL DEPARTMENT OF M.V.LOMONOSOV MSU IN SEPTEMBER 2015.

V.S.Isaev¹, A.V.Koshurnikov¹, D.O. Sergeev², A.A.Pogorelov¹, I.S.Sokolov³,
O.V.Podchasov¹, R.T.Amangurov⁴

¹ Lomonosov Moscow state university. geological faculty, geocryology department,
e-mail: tpomed@rambler.ru koshurnikov@msu-geophysics.ru
pogorelov.andrey@gmail.com, podchasov.oleg@gmail.com

² E.M. Sergeev Institute of geocology, RAS, *e-mail: sergueevdo@mail.ru*

³ JSC «Geoengservice», *e-mail: ssi@fugro.ru*

⁴ JSC «New technology», *e-mail: rusaman@gmail.com*

Presentation of methods and some results of the geocryological field practice in the Komi republic sites.

Введение. В сентябре 2015 года проводилась Воркутинская инженерно-геокриологическая практика студентов геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. В ходе практики были исследованы 4 района: станция Хановей, станция Песец, западное побережье Байдарацкой губы и 101-й километр железной дороги на участке Воркута – Лабытнанги (рис. 1, 2).

Рис. 1. Район работ. Западное побережье Байдарацкой губы



Рис. 2. Район работ. Станции Хановей, Песец.



Цель практики: изучение многолетнемерзлых пород их распространение, геокриологических процессов и явлений в исследуемых районах, ознакомление с методами инженерно-геокриологической съемки.

Задачи практики:

1. Построение карты инженерно-геокриологических условий
2. Построение карты ландшафтного микрорайонирования
3. Определение мощности ММП с помощью геофизических методов: георадар, ЗСБ, сеймика (МПВ), магниторазведка
4. Изучение строения и состава ММП пород бурением скважин, оценка состояния пород и криотекстуры
5. Изучение теплофизических параметров ММП (теплопроводность)
6. Изучение температурного режима ММП
7. Высокоточная DGPS съёмка в режиме RTK с постобработкой для выделения ландшафтов, для изучения динамики движения береговой линии в результате термоабразии
8. Моделирование изменения температурно-фазовых полей и сравнение программ Permafrost 3D, Q-frost, Tundra.

Методика инженерно-геокриологических исследований

Построение карты микрорайонирования. Методика микрорайонирования территории представляет собой процесс выделения элементов ландшафта по ряду природных факторов, важнейшими из которых являются: 1) геоморфологическое строение; 2) генезис, возраст, состав и строение четвертичных отложений; 3) гидрологические и гидрогеологические (горизонты грунтовых вод) условия; 4) геоботанические условия. Выделение ландшафтов производится при последовательном подразделении территории сначала по одному, затем по второму и далее факторам. Конечным результатом такого подразделения является элементарный тип ландшафта, в пределах которого природные условия обеспечивают существование определенного типа сезонного промерзания/оттаивания пород с конкретными количественными характеристиками [3]

Буровые работы. Бурение проводилось с помощью ручного мотобура: на станции Хановой до глубины 5,8 м (Рис. 3), на станции Песец до глубины 1,6 м. После окончания бурения скважина была обсажена пластиковой трубой диаметром 7,5 см, в которую была опущена термокоса с логгером с последующей заглушкой скважины.

Геодезическая съемка. Геодезические исследования проводились на западном побережье Байдарацкой губы и на 101-ом километре железной дороги на участке Воркута - Лабытнанги. Цель работы на Байдарацкой губе - измерение скорости отступления бровки берегового уступа, характер изменения берега и составление топоплана береговой линии. Съемка проводилась с помощью DGPS с последующей постобработкой полученных данных.



Рис. 3. Серо-голубого суглинок с глубины 5.8 м на станции Хановой.

Статическое зондирование. Статическое зондирование представляет собой процесс вдавливания зонда в грунт с постоянной скоростью и одновременным измерением показателей сопротивления грунта [4, 5].

Удельное сопротивление под конусом зонда (лобовое сопротивление при зондировании)

q_c - сопротивление грунта внедрению конусному наконечнику зонда, отнесённое к площади основания конуса.

Удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности зонда (боковое сопротивление) f_s - сопротивление грунта на боковой поверхности муфты трения зонда, отнесённое к площади боковой поверхности муфты трения A_s : $f_s = F_s / A_s$.

Фактор площади конуса (фактор a) - показатель, отражающий степень влияния конструкции зонда на величину суммарного порового давления и на величину удельного сопротивления грунта под конусом: $a = A_n / A_t = (A_t - A_l) / A_t$, где A_n - площадь поперечного сечения нагрузочного стержня; A_t - полная площадь основания конуса; A_l - площадь кольцевой выточки в основании конуса; A_t , A_n и A_l зависят от размеров зонда.

Фактор площади муфты трения (фактор b) - показатель, отражающий степень влияния конструкции зонда на величину удельного сопротивления по боковой поверхности зонда:

$$b = (A_l - A_u) / A_s, \text{ где } A_u = A_s b - A_s t$$

Зонд статического зондирования. Устройство, воспринимающее сопротивление грунта вдавливанию с постоянной скоростью (20 ± 5) мм/с. Колебания скорости зондирования зависят от поставленных задач и конкретных грунтовых условий. Рекомендуемые характеристики зонда: диаметр 35,7 мм (площадь основания конуса 10 см^2); угол при вершине 60° ; длина цилиндрической части от основания конуса 1000 мм; площадь муфты трения 150 см^2 . Геометрия и допуски по отдельным деталям зондов указаны в ИРТР. В условиях частого переслаивания грунтов различной плотности более приемлемы зонды с площадью основания конуса 15 см^2 и длиной 710 мм. Обычно применяемая аббревиатура для статического зондирования – СРТ (Cone Penetration Test).

Установка статического зондирования (рис. 4), как правило, включает: зонд (со штангами и каналами связи); механизм вдавливания (извлечения) зонда; опорное устройство, соответствующее дизайну установки (масса установки, анкера и т. п.); измерительно-регистрирующую аппаратуру.

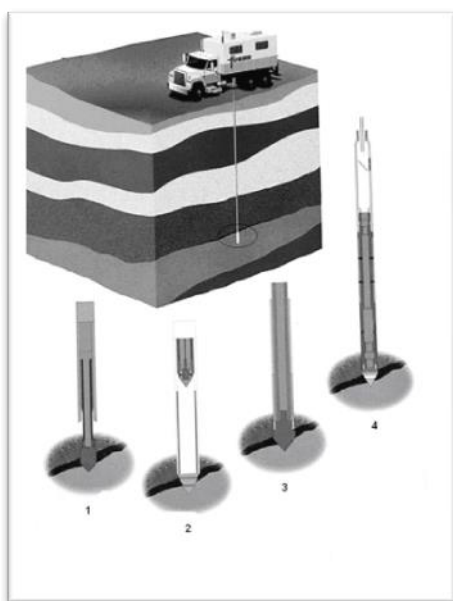


Рис. 4. Общий вид самоходной пенетрационной установки (конструкция компании «Фугро», Нидерланды): 1 – вдавливаемый пробоотборник грунтовых вод; 2 – вдавливаемый пробоотборник грунта; 3 – вдавливаемый пьезометр; 4 – универсальный конусный пенетрометр, снабжённый лазером, пьезометром и измерителем электрической проводимости.

Параметры, измеряемые в ходе зондирования, зависят от конструкции зонда и используемых каналов связи. Современные технологии зондирования ориентированы на применение пьезодатчиков. Так, четырёхканальный пьезозонд может определять: удельное сопротивление грунта под конусом (лобовое сопротивление внедрению конуса); удельное сопротивление по муфте трения (боковое сопротивление внедрению конуса); суммарное поровое давление (сумма наведённого порового давления, вызванного внедрением конуса, и природного порового давления); угол наклона скважины (инклинометрия).

Общая характеристика информации, получаемой в ходе зондирования. Информация, регистрируемая в ходе задавливания зонда, накапливается на дискретных цифровых файлах и визуализируется в виде непрерывных графиков в определённом масштабе как для параметров зондирования, так и по глубине. Вид паспорта испытания грунтов статическим зондированием с рабочим графиком, непосредственно получаемым в ходе зондирования, показан на рис.5.

Для записи и представления графиков зондирования используются специальные полевые самописцы (логгеры), принтеры или портативные компьютеры с соответствующим программным обеспечением. Программные пакеты обычно адаптированы к последним версиям Microsoft Windows, но операционально могут существенно различаться у разных производителей зондировочного оборудования в зависимости от вида интерфейса, применяемого для записи и передачи сигналов от датчиков.

Для получения аналитических графиков зондирования необходимы первичные цифровые файлы, обрабатываемые в программном пакете Excel.

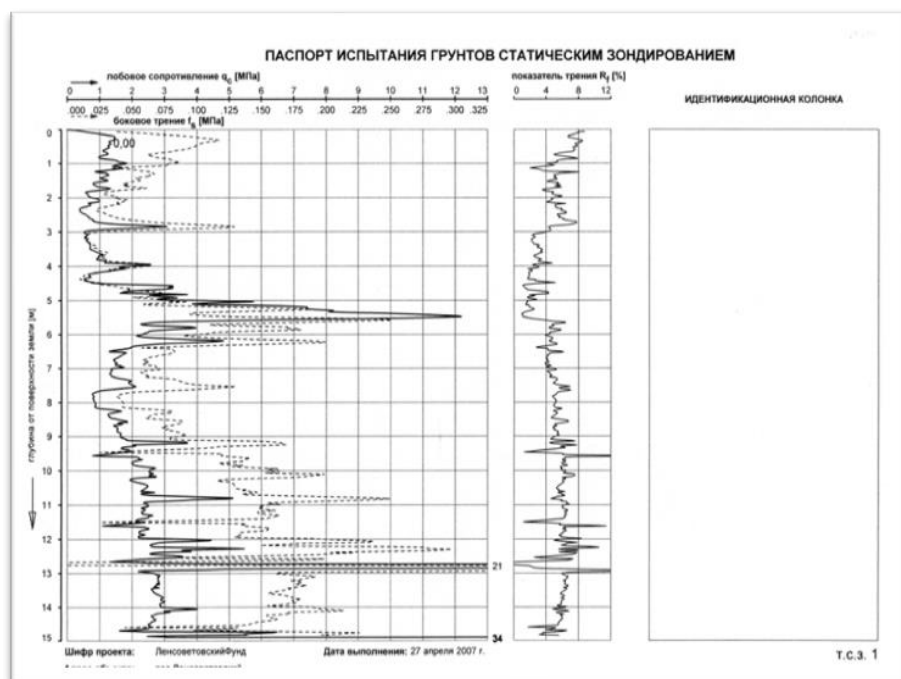


Рис 5. Вид полевого графика зондирования.

Определение теплофизических свойств грунтов. Определение коэффициента теплопроводности в полевых условиях проводилось мобильным измерителем теплопроводности “МИТ-1”, предназначенным

для оперативного определения теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов зондовым методом в соответствии с ГОСТ 30256-94 при технологическом контроле качества.

Прибор состоит из электронного блока, теплового зонда и сетевого блока питания, необходимого для обеспечения достаточной мощности нагревателя в процессе измерений. Принцип действия прибора основан на измерении изменения температуры зонда за определенное время при его нагреве постоянной мощностью [1].

Рабочие условия эксплуатации: диапазон температур $-10...+50^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха до 80%, атмосферное давление 650-800 мм.рт.ст (86-106кПа). Диапазон измерения теплопроводности 0.03-2 Вт/(м*К). Пределы относительной погрешности $\pm 7.0\%$.

Зонд имеет диаметр 6,0 мм, при измерении он должен быть помещен внутрь массива грунта с обеспечением максимального теплового контакта зонда с грунтом. Зонд должен плотно, без люфта входить в отверстие, стенки отверстия должны быть ровные, без рваных краев. Следует иметь в виду, что чем больше воздушных прослоек между зондом и исследуемым материалом, тем выше погрешность измерения. С целью получения лучшего контакта зонда с изучаемой породой зонд смазывался литолом.

Перед первым измерением необходимо выдержать грунт вместе с измерительным зондом при температуре измерения не менее двух часов.

При изучении мерзлых горных пород изучается эффективная теплопроводность, в связи с наличием фазовых переходов, поскольку измерения проводились в летний период.

Исследование грунтов методами электроразведки

Зондирование становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) – метод электромагнитного зондирования с искусственным (контролируемым) источником, основанный на изучении поля переходных процессов, которое возбуждается в земле при изменении тока в источнике

Аппаратура. Для работ методом ЗСБ использовалась аппаратура «Tem-Fast» (AEMR, Ltd., Нидерланды). Аппаратура состоит из генератора прямоугольных импульсов тока и совмещенного с ним измерителя.

Основные технические характеристики аппаратуры «Tem-Fast»:

- количество автоматически регистрируемых задержек - 48;
- минимальное значение времени задержки 4.06 мкс;
- максимальное значение времени задержки 15304 мкс (15мс);
- максимальный ток в генераторе 4А;
- динамический диапазон измерителя 140 дБ;
- чувствительность (минимальный регистрируемый сигнал 1 мкВ);
- подавление промышленных помех (50 Гц/60 Гц) не менее 60 дБ;
- измеряемые величины – ЭДС/ток, единицы измерения - В/А;
- время измерения единичной кривой от 10 секунд до 4 минут 30 секунд;
- разрядность АЦП 16 бит, разрешение 1 мкВ;
- стандарт защиты корпуса IP-65.

Управление TEM-FAST осуществляется с любого IBM-совместимого компьютера при помощи специальной управляющей программы (TEM-48Win).

При полевых исследованиях целесообразно использовать компьютер класса КПК.

Георадиолокационные исследования. Метод георадиолокационного подповерхностного зондирования (георадар) основан на изучении распространения электромагнитных волн в среде. Георадиолокационные исследования выполнялись по профилям, пересекающим объекты изучения. Работы выполнялись георадаром «Зонд-12е» («Radар Inc.», г.Рига, Латвия). Для изучения снежника и повторно-жильных льдов на Уральском берегу Байдарацкой губы использовалась экранированная антенна с центральной частотой 300,150,75,38 МГц. На проблемном участке Северной железной дороги использовалась экранированная антенна с центральной частотой 300 МГц, а так же воздушная не экранированная антенна с центральной частотой 150 МГц. Антенна с центральной частотой 300 МГц перемещалась по поверхности земли, привязка по профилю осуществлялась с помощью мерного колеса, начало и конец профиля фиксировались GPS-навигатором. Антенна с центральной частотой 150 МГц перемещалась над поверхностью, начало и конец профиля фиксировались GPS-навигатором. Частота актов возбуждения зондирующего сигнала и приема отражений составляла 14 раз в секунду с накопления сигнала. В режиме накопления частота уменьшается пропорционально числу накоплений сигнала.

Режим работы аппаратуры:

Центральная частота возбуждаемого сигнала – тип антенн – 150, 300 МГц;

Временной интервал записи – от 100 до 300 нс;

Усиление – по 10 точкам, 0 – 52 дБ;

Фильтрация – жесткий фильтр;

Число накоплений сигнала при записи – 4 - 8.

Число точек в каждой трассе 512 при дискретизации по времени 0.98 нс;

Скорость перемещения – 0,1 – 0,5 м/с;

Режим движения – непрерывный (профилирование);

Обработка метода георадиолокации. Обработка полевых данных георадиолокации производилась с помощью пакета программ интерактивной интерпретации данных электрических зондирований RadExplorer 1.4, разработанного ООО «ДЕКО-Геофизика», г. Москва.

Поток обработка полевых материалов включала в себя:

- смещение нуля времени;
- полосовая фильтрация;

- пространственная интерполяции;
- 2D пространственная фильтрация;
- удаление «звона» антенны;
- амплитудная коррекция.

Исследование грунтов методами сейсморазведки. Полевые исследования методом преломленных волн проводились вблизи станции Песец. Исследования выполнялись по одному профилю.

Сейсмические измерения методом преломленных волн проводились в виде непрерывного профилирования по системе встречно-нагоняющих географов с использованием Z-Z расстановки.

Полевые сейсмические наблюдения проводились по следующей методике:

- длина приемной расстановки 46 м, шаг между пунктами приема 2 м;
- пункты возбуждения упругих колебаний располагаются на ПК: -12, -6, 0, 10, 22, 34, 46, 52, 58
- регистрация осуществлялась по схеме Z-Z.

Регистрация сейсмических записей осуществлялась со следующими параметрами:

- число активных каналов 24;
- длина сейсмической записи 512 мсек с шагом дискретизации 0,5 мсек;
- частотный диапазон записи 5 - 500 Гц;
- усиление 40 - 60 дБ в зависимости от уровня микросейсм;
- количество накоплений 10-15. Для регистрации сейсмических данных использовалась станция “Лакколит ХМ” (рис.6)/

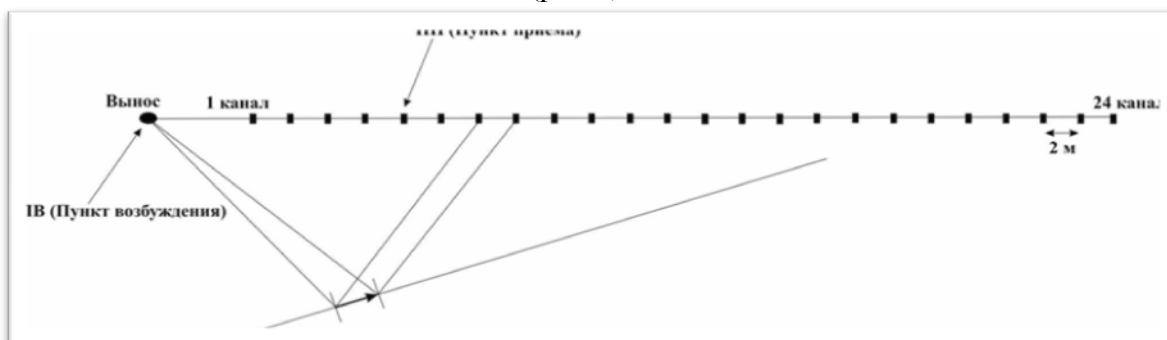


Рисунок 6. Принципиальная схема работ с применением МПВ

Обработка. Обработка данных МПВ велась в программном пакете “RadexPro2011.2”. На первом этапе проводилась оценка качества полученных сейсмограмм. Для дальнейшей обработки использовались сейсмограммы, соответствующие ПВ, расположенным на пикетах -12, -6, 0, 10, 22, 34, 46, 52, 58. Когда на данных сейсмограммах было невозможно проследить первые вступления, то для обработки выбирались соседние сейсмограммы с более уверенным прослеживанием первых вступлений.

Исследования по программе CALM (циркумполярный мониторинг деятельного слоя). Программа CALM (circumpolar active layer monitoring) была разработана в США IPA (international permafrost association) в 1994 и применяется в качестве одного из приоритетных международных научных проектов. Её целью является получение данных максимальной в сезоне глубине сезонного протаивания и наблюдение за динамикой мощности сезонно-талого слоя (СТС). Изучение динамики глубины подошвы сезонного протаивания при сопоставлении с метеорологическими данными за аналогичный период позволяет выявлять реакцию сезонно-талого слоя криолитозоны на изменения климата и климатические циклы. Измерения проводятся на

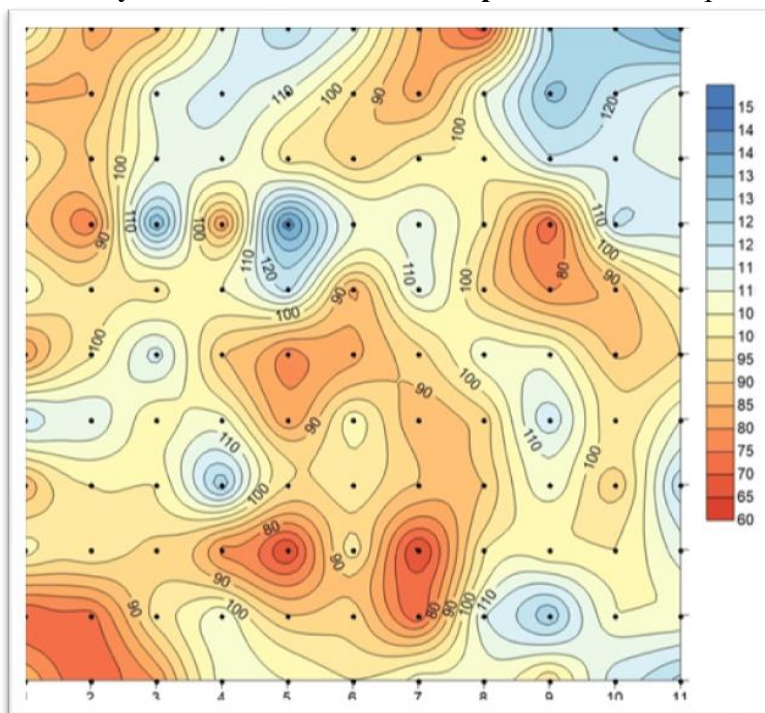
специальных репрезентативных площадках, которые расположены в типичных зональных антропогенно ненарушенных ландшафтах.

Стандартная площадка CALM – это квадрат, ориентированный на север. Он содержит в себе 121 точку измерения, устроенных через равное расстояние. Стандартные размеры площадок CALM: 1x1 км, 100x100 м, 10x10 м. Глубина, как правило, определяется при помощи щупа, который погружается в грунт до кровли вечномерзлых пород. Однако этот метод имеет ряд серьезных недостатков. Так достаточно трудно определить кровлю пластично-мерзлых суглинков, морозных песков или криопэгов. Поэтому большинство площадок разбито в торфяниках на высокольдистых отложениях. Благодаря этому кровля вечномерзлых грунтов отмечается глухим стуком при достижении её щупом. Еще одна проблема – не на всех площадках CALM учитывается сезонное пучение и протаивание деятельного слоя. Таким образом, из-за разной плотности льда и воды, мощность сезонно-талого слоя в период измерения оказывается несколько меньше, чем мощность в мерзлом состоянии.

Моделирование изменения температурно-фазовых полей. Сравнение программ Permafrost 3D, Q-frost, Tundra2. Для безаварийного функционирования линейных сооружений, объектов гражданского и специального назначения в условиях криолитозоны, необходимо обеспечивать однородное (талое или мерзлое) состояние пород. В случае, если эта однородность нарушается, например, в связи с образованием таликов, то велика вероятность возникновения неравномерных осадок и, как следствие – деформаций. При раннем обнаружении образующихся таликов, можно предупредить деформирование, используя ряд инженерных решений.

Поскольку полевые методы исследования многолетнемерзлых толщ нередко являются весьма дорогостоящими и занимают немало времени, является оправданным использование дистанционных методов, одним из которых является моделирование. Моделирование изменений температурно-фазовых полей, способно дать нам информацию о состоянии пород в тот или иной момент времени. Методика моделирования заключается в постановке и решении нестационарной задачи теплопроводности с условием Стефана (выделение тепла при фазовых переходах).

Результаты выполненных работ. В ходе работ на ст. Хановой проводились



также измерения мощности СТС, на площадке CALM. Результаты замеров были собраны вместе и обработаны в программе Surfer 10 (Рис. 7). Максимальное протаивание составило – 145 см, минимальное – 63 см, при средних значениях – 100 см.

Рис.7. Карта-схема площадки CALM в районе станции Хановой.

Буровые работы. В результате бурения на ст. Хановой была получена колонка, построенная в программе Autocad (рис.8).

№ столбца	Геологический индекс	Глубина залегания слоя		Мощность, м	Абс. отметка подошвы слоя	Криогенные текстуры	Литологический разрез	Наименование грунта
		От м	До м					
1		0,0	0,4	0,4				Торф сфа образующийся
2		0,4	1,31	0,91				Суглинок серо-голубой, мелкопластичный, в верхней части с растительными остатками
3		1,31	1,62	0,21				Суглинок серо-красноватый, глинистый, слабопластичный, с растительными остатками
4		1,62	1,72	0,2				Суглинок серо-красноватый, с прослойками серо-голубого суглинка, в верхней части с растительными остатками
5		1,72	2,6	0,88				Глина коричневая, с прослойками мелкого песка
6		2,6	3,1	0,5				Суглинок серовато-красноватый, ГТТ
7		3,1	3,8	0,5				Суглинок серо-голубой, мелкопластичный, до шпирала льда толщиной от 1-1,5 мм до 1 см
8		3,8	5,3	1,7				Суглинок серый, пластично мерзлый
9		5,3	5,8	0,5				

Рис. 8. Колонка, построенная в программе Autocad

Статическое зондирование. В ходе статического зондирования на 101 км жд полотна на участке Чум-Лабытнанги были получены предварительные данные о распределении температуры по глубине и составлен разрез с Инженерно-геологическими элементами (ИГЭ) (табл. 1).

Таблица 1

Глубина, м	Температура, °С	Порода
0,4-0,67	3,4	до 1,6 м-гравий, ниже песок с гравием, с 3,5 м – песок с гравием, глубже до 6 м – пластично мерзлый суглинок; до 12,3 м – талая толща – песок мелкий/средний
3,5	-0,4	
4,4	-0,63	
5,9	-0,67	
6,9	-0,17	
12,3	-0,16	

Геодезические исследования. Результатом геодезической съемки является топографический план с 4-го по 5-й пикет 101 км (рис.9).

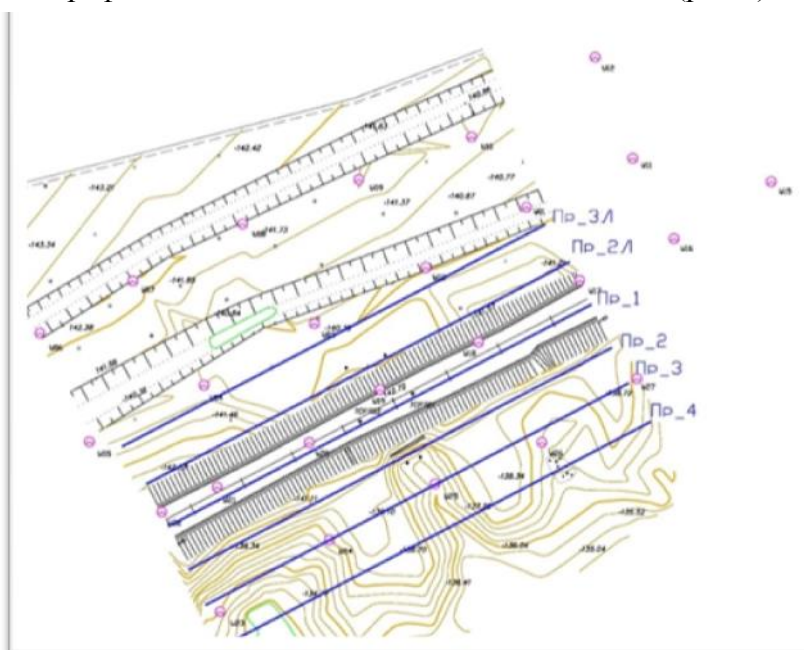


Рис. 9. Топоплан участка железной дороги Чум – Лабытнанги 101 км, построенный в программе Autocad

В результате картирования береговой линии на уральском берегу Байдарацкой губы (Рис.10, 11) было выяснено, что существует зависимость скорости отступления береговой линии от высоты береговых отложений и от их

состава и льдистости.

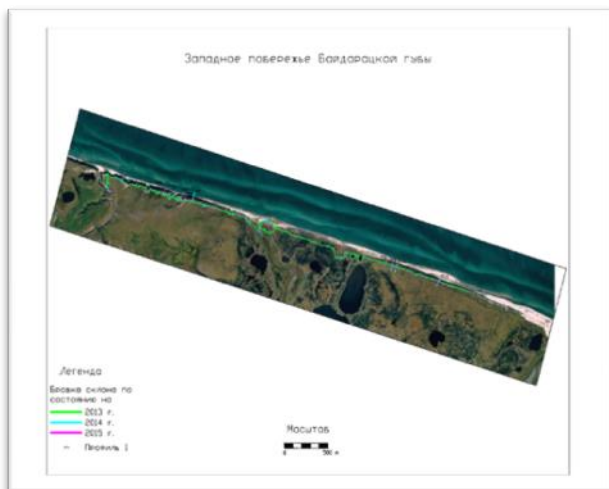


Рис. 10. Треки DGPS съемки отступления береговой линии

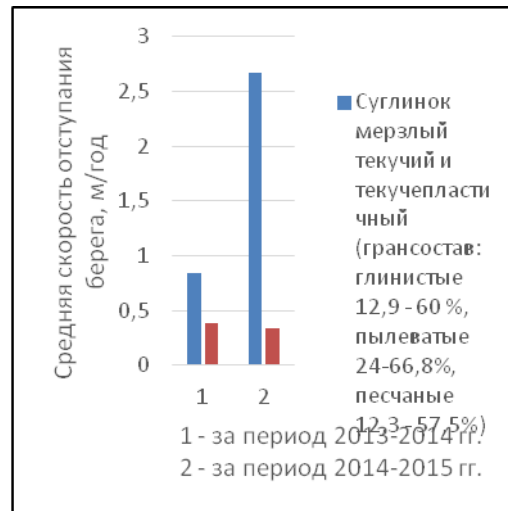


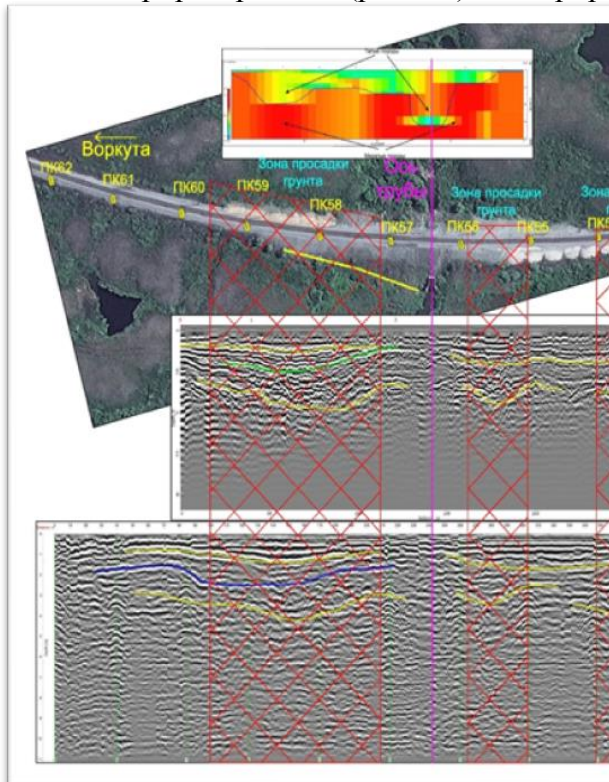
Рис. 11. Зависимости скорости отступления береговой линии от состава отложений и мощности отложений

Геофизические исследования. Результаты методов электроразведки.

Зондирование становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). Обработка данных. Все полевые данные были получены в поле в цифровом виде. Сохранение полевых данных на внешний носитель информации выполнялось только в случае получения кондиционной кривой в поле.

На этапе обработки выполнялась сортировка кривых кажущегося сопротивления, отбраковка и анализ достоверности кривых.

Интерпретация данных ЗСБ. Все кривые зондирований ЗСБ после обработки были интерпретированы (рис. 11). Интерпретация заключалась в 1D инверсии кривых



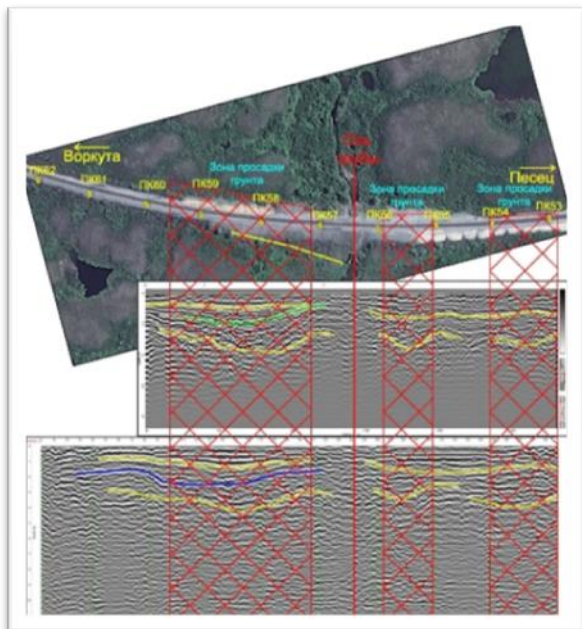
кажущегося сопротивления в геоэлектрический разрез. Для математического моделирования данных ЗСБ использовалась программа Tem-Res (П.О.Барсуков, ИЗМИРАН). Результатом интерпретации данных ЗСБ является геоэлектрический разрез.

Рис. 11. Пространственное сопоставление интерпретации данных исследований методом ЗСБ и георадиолокации.

На рисунке 11 представлено пространственное сопоставление интерпретации данных исследований методом ЗСБ и георадиолокации. Исследования методом ЗСБ позволили выявить наличие таликовой зоны и оценить глубину распространения талых грунтов под ручьём. На пикетах 58-59 прослеживается корреляция границ

просадки полотна по данным георадиолокации и выявленной по данным ЗСБ таликовой зоны в непосредственной близости от железнодорожной насыпи.

Интерпретация данных георадиолокации В результате проведения георадиолокационных работ была произведена оценка колебания кровли ММП, выявлены участки с просадками грунтов, таликовые участки (рис.12). На рисунке 12



представлено совмещенное расположение карты района работ и георадарных разрезов за 2014 и 2015 годы. На разрезах выделены субгоризонтальные границы в местах просадки грунта. Данные границы отчетливо видны и имеют высокую долю корреляции по исследованиям 2014 и 2015 года. На рисунке 12 красной штриховкой приведены зоны просадки грунта выделенные на основании волнообразных понижений субгоризонтальных границ в теле насыпи.

Рис. 12. Результат георадарной съемки на участке 2227 км жд линии Воркута – Москва.

В пределах 110 км участка пути Чум – Лабытнанги нами проводилось георадарная съемка. Были использованы 4 антенны с частотой 38, 75, 150 и 300 Герц. В пределах просадок железнодорожного полотна наблюдается увеличение мощности сезонно талого слоя. Наиболее показательными являлись снимки, сделанные на профиле вблизи полотна антенной с частотой 75 герц.

Результаты сейсмических методов. Длина сейсмического профиля составила 94 метра. Исследования проводились на продольных волнах методом преломленных волн (МПВ). Начало профиля располагалось в 4 метрах от ручья, протекающего через тело железнодорожной насыпи. Сейсмический разрез имеет двухслойную структуру.

Верхний слой имеет низкие скорости в диапазоне 200-500 м/с и мощность от 6 до 12 метров.

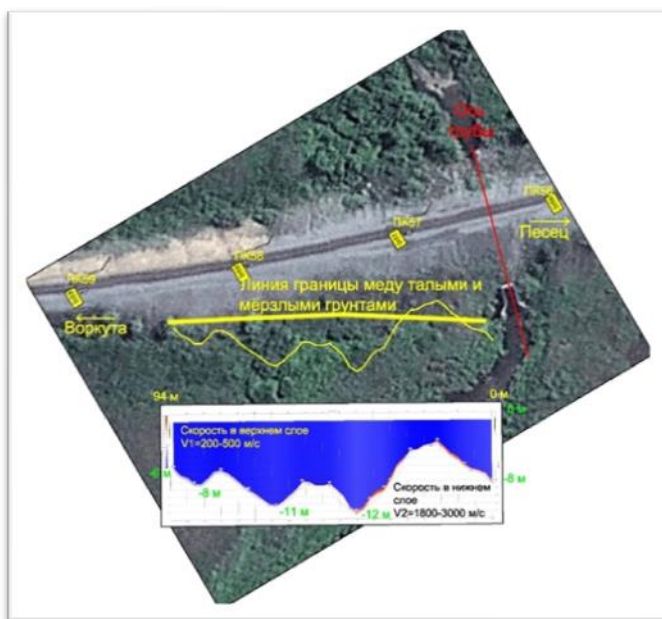


Рис. 13. Результаты сейсмических исследований, проведённых у основания железнодорожной насыпи 2227 км дороги Москва-Воркута

Нижний слой имеет на порядок большие скорости продольных волн 1800-3000 м/с. Предположительно верхний слой представлен материалом отсыпки насыпи и естественным грунтом в талом состоянии. Второй слой, исходя из скоростных характеристик, представлен мерзлыми грунтами. Характерно,

что граница между талыми и мерзлыми грунтами заглублена к ручью, что говорит о наличии таликовой зоны под ручьём. С удалением от ручья граница поднимается до отметки -4 метра, далее по профилю линия границы заглубляется до отметок -10 – -12 метров, что также говорит о наличии таликовых зон. Прослеживается корреляция на данном участке границ просадки грунта в верхней части насыпи и границы талых и мерзлых пород под самой насыпью.

Определение теплофизических характеристик. Измерения коэффициента теплопроводности грунтов, проводимые нестационарным методом цилиндрического зонда, а именно МИТ-1, были осуществлены в двух точках. Первая – в пробуренной в развиваемом термокарстовом озере возле станции Хановой северной железной дороги скважине. Вторая – на 101 километре железной дороги на линии Воркута-Сейда-Лабытнанги, на склоне насыпи, в 3 м от центра полотна. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Для получения корректных значений коэффициента теплопроводности данным методом необходимо использовать теплопроводящую смазку для обеспечения максимального теплового контакта зонда с породой. Также необходимо, чтобы в радиусе 15 см от измерительного зонда среда была изотропной, так как именно такова расчетная область прибора.

Полученные данные, с учетом всех погрешностей, можно использовать для моделирования.

	Глубина измерения	Описание грунта	Температура грунта,	λ
1 (скв. Хановой)	2,4-2,6м	Глина серовато-коричневого цвета, мягкопластичная	6,44	1,56
	2,6-3,0	Песок коричнево-серый, крупнозернистый	7,25	2,1
	3,0-3,1	Песок коричнево-серый, крупнозернистый		2,1
	3,1-3,2	Переход песка в суглинок серо-коричневый, тугопластичный		2,1
2 (101 км)	0,4-0,5м	Песок коричневый, средне-крупнозернистый с включениями дресвы и гравия до 30%	4,5	1,53
			5,5	1,84
			5,5	1,6

Таблица 2. Данные теплофизических измерений грунта ст.Хановой.

Интерпретация данных магниторазведки. По результатам электромагнитных зондирований были зафиксированы аномальные области высоких и низких УЭС на участке работ. По результатам частотных зондирований построены геоэлектрические срезы и модели. По результатам ЗСБ построены геоэлектрические разрезы. Истолкование результатов геоэлектрики позволило сделать выводы о геологическом и геокриологическом строении изучаемого района и построить инженерно-геофизические срезы и разрезы. Анализируя результаты геофизических исследований можно заключить, что аномально высокие зоны УЭС по данным бурения связаны с мерзлыми грунтами (как правило, песчаными и супесчаными) и ледогрунтами (Уральский берег), а области пониженного сопротивления связаны с преобладанием в разрезах глинистой составляющей и часто отсутствием мерзлых толщ. Аномально низкие зоны УЭС связаны с криопэгами по данным бурения. Высокоомные неоднородности в моделях имеют геокриологическую природу

Верхняя часть разрезов на суше в районе пляжа для Ямальского берегового участка имеет высокоомную область (УЭС около 2000 Ом.м). Её природа связана с

мерзлыми грунтами по данным бурения (СКВ МГУ-28, отчет по инженерно-геологическому бурению, приложение №2, ООО «МГУ-геофизика»). Также в районе коффердамов фиксируется аномалия повышенного сопротивления связанная с гравийной засыпкой между коффердамами. По результатам геоэлектрики наиболее контрастные аномалии получены в концевых частях коффердамов. Здесь по данным геоэлектрики возможно представить пространственное положение гобионов, укрепляющих коффердамы. На акватории Ямальского берегового участка зафиксированы локальные высокоомные зоны в верхней части разреза. Вероятно, их природа связана с «вялой» мерзлотой, поскольку уровень УЭС 200-100 Ом.м. Нижняя часть разреза как на акватории, так и на суше более проводящая по данным ЗСБ. Учитывая результаты бурения по суше на Ямальском берегу это вызвано сменой разреза с супесчанистого на суглинистый в целом. На Ямальском берегу в сухопутной части (нитки 1-2) зафиксированы зоны аномально низких сопротивлений на глубинах 10-20 м. Вероятно, природа этих аномалий разреза связана с криопэгами. На акватории, наоборот, отмечаются аномалии повышенного сопротивления. Вероятно, их природа вызвана литологическими (преобладанием супесчаных толщ) особенностями разреза.

Карта ландшафтного районирования. В результате маршрутных исследований была построена карта ландшафтного районирования. Для картирования местности были собраны данные о типах местности (рельеф), выделены элементы растительности и увлажненность поверхности, учтены мерзлотные явления (рис.11).

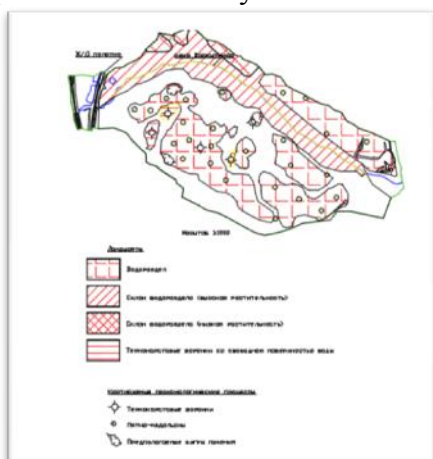


Рис. 14. Карта ландшафтного районирования и геокриологических процессов учбно-научно геокриологического полигона «Хановей»

Моделирование изменения температурно-фазовых полей. Сравнение программ Permafrost 3D, Q-frost, Tundra2. В ходе прохождения практики нам предстояло смоделировать изменение температурно-фазовых полей в теле насыпи на участке перегона Песец-Ханавей Воркутинской дистанции Северной ЖД. В первую очередь, в ходе рекогносцировочных маршрутов был измерена

форма расчетной области. По результатам бурения прошлых лет был составлен разрез (рис 15), демонстрирующий расположение разных типов грунтов в теле насыпи и на прилегающих территориях [2].

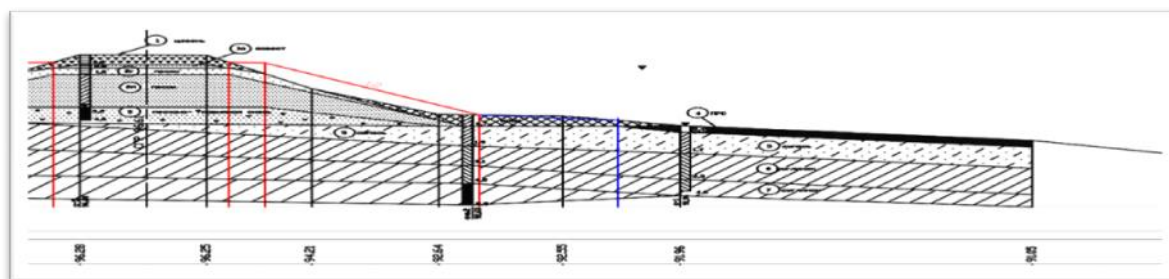


Рисунок 15. Грунтовые условия насыпи 1

Отбор образцов грунтов при бурении и лабораторные исследования, а также работа с таблицами СНиП 2.02.04-88, предоставило сведения о его основных теплофизических свойствах, необходимых для моделирования (табл. 3).

Таблица 3 Основные теплофизические свойства грунтов насыпи

Грунт	T _{bf} , °C	λ, Вт/(м·°C)		C, кДж/(м³·K)		Q _ф , МДж/м³
		th	Fr	Th	fr	
Щебень, асбест, шлак	0	1,44	2,03	2566,8	2268	58,925
Песок	0	1,45	1,62	2160	1800	50,920
Супесь	-0,2	1,8	1,91	3150	2350	107,400
Суглинок	-0,2	1,51	1,68	3150	2350	130,650

С метеостанции ст. Елец были получены данные по среднемесячным температурам воздуха и высоте снега, которая дает возможность оценить коэффициент теплообмена между воздухом и дневной поверхностью грунта. Поскольку склон насыпи изменяют снегонесущие потоки воздуха, толщина снега на склоне была разделена на 4 различных участка (рис 16).

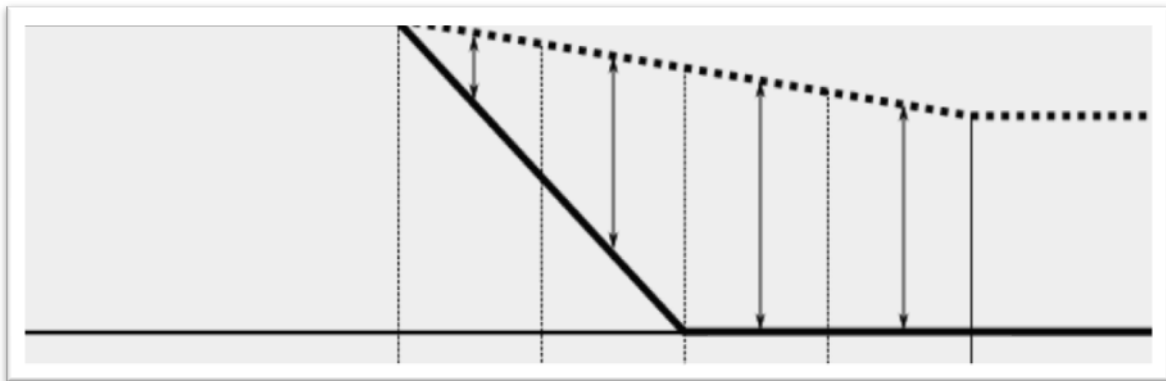
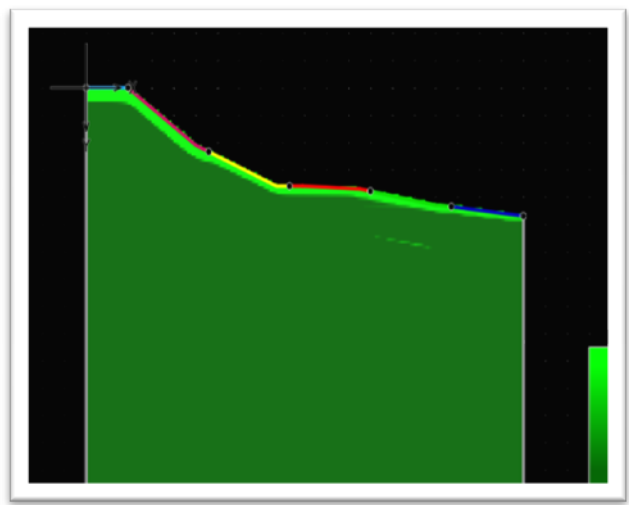
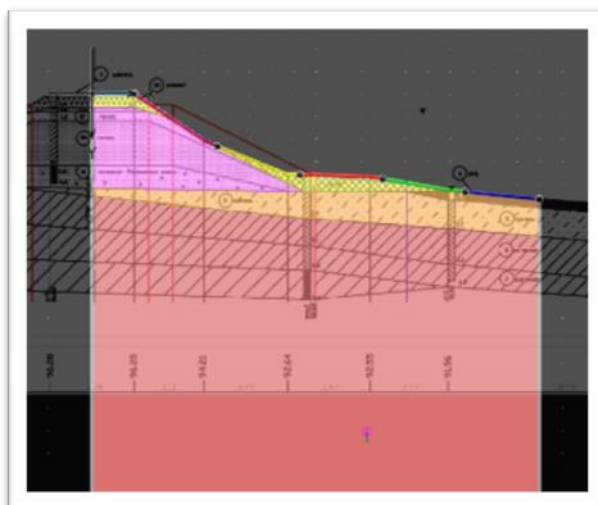


Рис. 16. Распределение снега на склоне насыпи

С учетом разницы в снегонакоплении сформировалось 6 различных типов поверхности: Рабочее полотно насыпи, где снега нет, 4 типа склонов и естественные условия. Для моделирования использовалась программа Q-frost 0.19.0. (рис 17). При расчете использовался климатический тренд 0,008 °C/год. За начало расчета был взят 1970 год и была поставлена цель установить год, в котором не произойдет полное смерзание мерзлой толщи в холодный период времени. Расчет показал, что это произойдет к 2114 году (рис 18).

Рис. 17. Отрисовка грунтовых условий в программе Q-Frost

Рис. 18. Соотношение талого и мерзлого грунта по прогнозным расчетам на 2114 г



На рисунке 19 представлены результаты расчета температурного поля для исследуемого участка Северной жд – 2227 км.

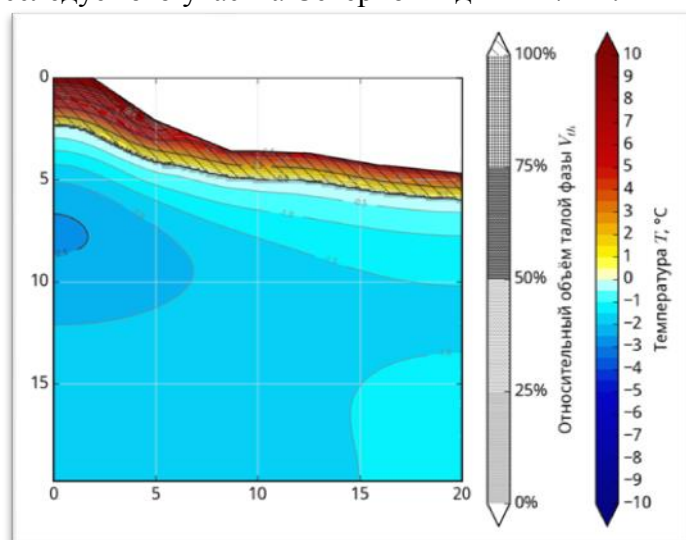


Рис. 19. Состояние температурно-фазовых полей в теле и основании насыпи на 10.09.2015 г

По результатам моделирования был сделан вывод о том, что во избежание развития деформаций, связанных с формированием талика надлежит установить на этом участке путей сезонно-охлаждающие устройства.

Также проводились повторные расчеты аналогичной

задачи в программе Permafrost 3D и Tundra. Программный пакет Permafrost 3D представляет собой визуализатор и, непосредственно, блок построения и расчетов, работающий на устройствах с технологией CUDA, что обеспечивает высокую работоспособность. Программа изначально была разработана для прогнозирования изменения мерзлотных условий в основании инженерных сооружений, что накладывает отпечаток на ее работоспособность в интересах науки. Невозможность внесения климатического тренда делает этот пакет непригодным для использования в рамках нашей задачи. Помимо этого, она не слишком удобна, в плане внесения неровностей в рельеф поверхности и отрисовки неоднородных граничных условий. Будем надеется, что в будущем эти небольшие неудобства будут устранены.

Программа Tundra разработана на кафедре Геокриологии Геологического факультета МГУ. Также, как и Permafrost 3D, она состоит из двух блоков: расчетного и визуализатора. Результаты расчета задачи по изменению геокриологических условий насыпи на участке ж/д Песец-Хановой представлены на рисунке 20, грунтовые условия на рисунке 21. Поскольку в этом продукте также нет возможности задавать климатический тренд, расчет в ней не подходит для решения поставленной задачи.

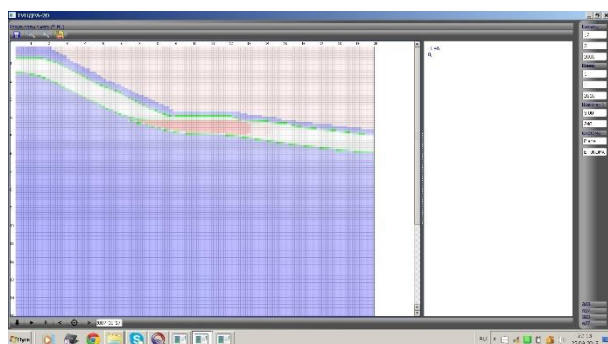


Рис. 20. Температурные поля в теле насыпи на 17.10.2007

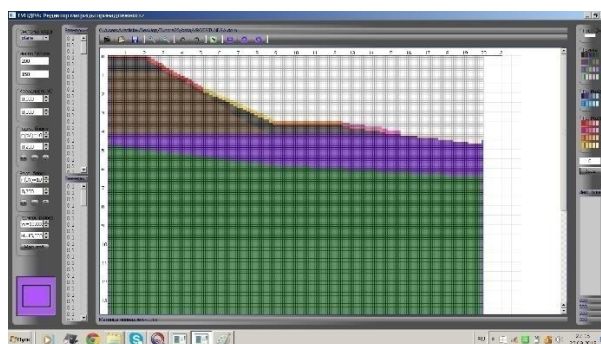


Рис. 21. Отрисовка грунтовых условий в Tundra

Заключение. В работе изложены основы проведения инженерно-геокриологической практики для студентов старших курсов инженерно-геокриологической специализации, основанные на методике проведения зимней практики в Звенигороде и дополненная современными разработками геофизических,

топографических и инженерных методов изучения грунтов в мерзлом и талом состоянии.

В ходе прохождения инженерно-геокриологической практики студентами были выполнены следующие задачи:

- Построена карта геокриологических процессов
- Построена карта ландшафтного микрорайонирования
- Оценена мощность сезонно талых пород в пределах изучаемых участков, при помощи геофизических методов (ЗСБ, георадар), бурения и зондирования.
- Изучены теплофизические свойства СТС и ММП.
- Проведена высокоточная DGPS съемка
- Проведено моделирование и построен прогноз температурно-фазовых полей в пределах изучаемых объектов

- Впервые в России было проведено изучение прочностных свойств и температуры мерзлых пород с применением статического зондирования с железнодорожной платформы в полотно железной дороги, в пределах распространения многолетнемерзлых пород.

Литература

1. Балобаев В.Т., Девяткин В.Н., Кутасов И.М. Современные геотермические условия существования и развития многолетнемерзлых пород // II Междунар. конф. по мерзлотоведению. Докл. и сообщения. Вып. 1. Теплофизические процессы формирования и развития криолитозоны. Якутск, 1973. С. 11–19.
2. Основы геокриологии. Ч. 5. Инженерная геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. 526 с.
3. Полевые методы геокриологических исследований. Методическое руководство по учебной практике студентов геологического факультета МГУ / Под ред. Э.Д. Ершова, Г.И. Гордеевой. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 143 с.
4. СП 25.13330.2012. «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» Приложение Л. «Определение механических свойств и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по результатам статического зондирования». М.: НИИОСП им. Н.М. Герсевича, институтом ОАО «НИЦ «Строительство»», 2012.
5. Инженерная геология России. Т. 1. Грунты России / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. М.: КДУ, 2011. 672 с.

ДЕНЬ НАУКИ И ИННОВАЦИЙ: НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ В ПОЛЕВЫХ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В РАМКАХ ПРАКТИКИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ 4 КУРСА ИНЖЕНЕРНОГО ПОТОКА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА В ЯНВАРЕ 2015 Г.

В.С.Исаев¹, А.И.Тюрин¹, Д.О.Сергеев², Е.И.Горшков¹, Н.Г.Волков³, С.М. Стефанов⁴

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геокриологии; *e-mail: tpomed@rambler.ru; tjurin_alex@mail.ru; e.i.gorshkov@yandex.ru*

² Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, *e-mail: sergueevdo@mail.ru*

³ ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС», *e-mail: ngv@fugro.ru*

⁴ ООО «Солид», *e-mail: solidair2005@gmail.com*

Рассмотрены современные инновационные полевые методы геокриологических исследований, опробованные в рамках Дня науки и инноваций на Звенигородской геокриологической учебно-научной практике.