

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ИНСТИТУТ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЯ им. П.И.Мельникова
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ВИЛЮЙСКАЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ
МЕРЗЛОТНАЯ СТАНЦИЯ

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИМЗ СО РАН

д.г.-м.н. Железняк М.Н.

«___» _____ 2022г.

**ОТЧЕТ
О РАБОТАХ ПО ПРОЕКТУ IX.135.**

1. Устойчивость природно-технических систем в криолитозоне и разработка технологий использования криогенных ресурсов

Руководители: д.т.н. Р.В. Чжан, к.т.н. И.И. Христофоров

Регистрационный номер АААА-А20-120111690011-9

Номер в ИС 0303-2021-0001

Блок 2. Этап 2022 года.

Наименование этапа НИР. Разработка методики и техники КИА беспроводных систем онлайн связи и автономным (независимым) программным управлением.

Продолжение мониторинговых исследований Вилюйской ГЭС-1,2 опытно методического полигона для отработки методов современного геофизического мониторинга.

Геокриологический мониторинг оснований зданий и сооружений, оценка работы измерительного комплекса, совершенствование методики.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ответственный
исполнитель

_____ Великин С.А. нач. ВНИМС, к.т.н.

Исполнители

_____ Иванов Ю.Г., главный инженер
_____ Циферов А.В., зам. нач-ка
_____ Поезжаев О.С., инж.-исследователь
_____ Вавилов С. А., инженер
_____ Неклюдов В.В., н.с.
_____ Давыдов Д.М., ведущий инженер
_____ Минова Е.Н., инженер
_____ Былинская Н.Г., инженер
_____ Волянская О.А., ведущий инженер
_____ Годунов А.А., техник

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

Введение

Основные работы ВНИМС были связаны с совершенствованием методики и техники круглогодичного комплексного геокриологического состояния оснований значимых объектов Западно-Якутской алмазональной провинции - традиционно КВГЭС, ГТС АЛРОСА, и сооружений городской инфраструктуры г. Мирного.

Разработка методических и технических средств выявления зарождения и развития негативных геокриологических процессов, оказывающих влияние на безопасную эксплуатацию территорий криолитозоны под влиянием природно-техногенных воздействий промышленных предприятий, зданий, сооружений.

Эти работы предполагали выполнение долговременных комплексных мониторинговых исследований, в процессе которых разрабатывались методика и техника опережающего прогноза для выработки мероприятий предотвращения негативных сценариев и выполнялись с широким привлечением хоздоговорных НИР, что значительно расширило как круг решаемых задач, так и результативность их решения.

Объекты исследований ВНИМС являются крупными пионерными сооружениями и достижениями в области строительства и эксплуатации в условиях криолитозоны. В связи с этими обстоятельствами полученные результаты и наработанные приемы, методики и технические решения могут использоваться в дальнейшем для организации геокриологического мониторинга осваиваемых Арктических территорий России.

НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЗА 2022 ГОД

Продолжаются и совершенствуются комплексные долговременные наблюдения за состоянием правобережного устоя и берегового примыкания Каскада Вилуйских ГЭС.

С целью оценки условий формирования и развития водоносных коллекторов в правобережном примыкании Вилюйской ГЭС 1,2, проведены экспериментальные исследования методом микросейсмического зондирования. При проведении скважинных исследований выявлены области с аномально высоким значением уровня микросейсмиков. Анализ результатов с учетом данных пьезометрических замеров по скважинам показывает, что выделенные области соответствуют именно водоносным коллекторам, лишенным заполняющей их воды.

Косвенным подтверждением этого наблюдения является тот факт, что при выполнении поверхностных наблюдений (проведенных в апреле и октябре 2022 года) процесс заполнения водой слоев коллекторов выражается в уменьшении амплитуд микросейсмических сигналов на определенных частотах.

Полученные результаты были доложены и обсуждены на семинаре «Современные проблемы геофизики» на платформе «Геовебинар» в сети Internet 25 октября 2022 года. Исследования будут продолжены зимой 2022 – 2023 года.

1. Публикации 2022

1. «Decreased Stability of the Infrastructure of Russia's Fuel and Energy Complex in the Arctic Because of the Increased Annual Average Temperature of the Surface Layer of the Cryolithozone».

Авторы: Mel'nikov V.P., Osipov V.I., Brushkov A.V., Badina S.V., Velikin S.A., Drozdov D.S., Dubrovin V.A., Zhdaneev O.V., Zheleznyak M.N., Kuznetsov M.E., Osokin A.B., Ostarkov N.A., Sadurtdinov M.R., Sergeev D.O., Ustinova E.V., Fedorov R.Yu., Frolov K.N., Chzhan R.V.

Журнал: Herald of the Russian Academy of Sciences Том: 92 Номер: 2 стр 115- 125

Год издания: 2022 Издательство: Pleiades Publishing, Ltd

Местоположение издательства: Road Town, United Kingdom

DOI: 10.1134/s1019331622020083

Статья опубликована в журнале из списка Web of Science и/или Scopus

2. «Снижение устойчивости инфраструктуры ТЭК России в Арктике как следствие повышения среднегодовой температуры приповерхностного слоя криолитозоны».

Авторы: Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В., Бадина С.В., Великин С.А., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Жданев О.В., Железняк М.Н.,

Кузнецов М.Е., Осокин А.Б., Остарков Н.А., Садуртдинова М.Р., Сергеев Д.О., Устинова Е.В., Фёдоров Р.Ю., Фролов К.Н., Чжан Р.В.

Журнал: Вестник Российской академии наук (ранее: Вестник Академии наук СССР) Том: 92 Номер: 4 Год издания: 2022 Издательство: Наука: МАИК "Наука/Интерпериодика" Местоположение издательства: М.Стр. 303- 318

DOI: 10.31857/S0869587322040053

Статья опубликована в журнале из списка Web of Science и/или Scopus

3. «Развитие геокриологического мониторинга природных и технических объектов в криолитозоне российской федерации на основе систем геотехнического мониторинга топливно-энергетического комплекса».

Авторы: Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В., Алексеев А.Г., Бадина С.В., Бердников Н.М., Великин С.А., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Железняк М.Н., Жданеев О.В., Захаров А.А., Леопольд Я.К., Кузнецов М.Е., Малкова Г.В., Осокин А.Б., Остарков Н.А., Ривкин Ф.М., Садуртдинов М.Р., Сергеев Д.О. и др. Криосфера Земли. 2022. Т. 26. № 4. С. 3-18.

Статья опубликована в журнале из списка Web of Science и/или Scopus

4. Геофизические методы в геокриологическом мониторинге

Авторы: Судакова М.С., Брушков А.В., Великин С.А., Владов М.Л., Зыков Ю.Д., Неклюдов В.В., Оленченко В.В., Пушкарев П.Ю., Садуртдинов М.Р., Скворцов А.Г., Царев А.М. с. 141-151 Вестник Московского университета Серия 4 ГЕОЛОГИЯ № 6 • 2022 • НОЯБРЬ–ДЕКАБРЬ

Статья опубликована в журнале из списка Web of Science и/или Scopus

5. Использование технологии пространственно-временной 3d обработки данных электротомографии для выявления динамических зон пониженного сопротивления, связанных с фильтрационными потоками.

Поезжаев О. С. Принята к публикации в Журнале «Гидротехника»

№ 4 декабрь с.46-52 Журнал из списка Web of Science и/или Scopus

Великин С.А. с 2022г стал академиком РИА

2. Доклады

1. Международная конференция Инженерная сейсморазведка и сейсмология, Москва 23-25 марта 2022, «Особенности сейсмических воздействий на мерзлоте», Трифонов Б.А., Милановский С.Ю., Великин С.А., Несынов В.В. Сборник тезисов четвертой научно-практической конференции «Инженерная сейсморазведка и сейсмология 2022» – М.: Издательский дом Академии Естество знания, 2022. с.75-78

2. Доклад на «Геовебинаре» 25.10.2022.

«Диагностирование состояния грунтового массива с использованием микросейсмических сигналов от техногенного источника в криолитозоне (на примере Вилуйской ГЭС 1, 2)», Иванов Ю.С., гл. инженер ВНИМС ИМЗ СО РАН.

3. Патенты

ИЗ №2786080 «Способ выявления потенциальных участков возникновения фильтрационных процессов». Авторы: Великин С.А. Иванов Ю.Г.

Решение о выдаче патента 21.11.2022

Заявка: 2022115922 от 14.06.2022. Способ и устройство скважинного контроля.

Состояние: делопроизводства: Экспертиза по существу (последнее изменение статуса: 11.11.2022)

Итого 5 статей из списка Web of Science и/или Scopus, 1-н патент 1 заявка в стадии завершения и 2 доклада

4. Хоздоговорные работы

1. Договор №3201027069 от 21.10.2021, «Оценка геоэкологического состояния участков закачек дренажных и шахтных вод в массив ММП Удачинским ГОКом АК «АЛРОСА».

2. Договор 4936 от 28.03.2022, «Современное состояние и прогноз развития Криолитозоны Западной Якутии».

3. Договор № 16101 от 22 декабря 2021, «Геофизический мониторинг состояния правобережного примыкания КВГЭС им. Е.Н. Батенчука».

4. Договор № 7133 от 26 июня 2022 г., «Проведение инженерно-геофизических исследований по теме: «Гидроузел на реке Ирелях» ».

5. Результаты исследований

В рамках хоздоговорных исследований по договору 4936 от 28.03.2022 «Современное состояние и прогноз развития криолитозоны Западной Якутии» создана цифровая информационная модель (карта) состояния

оснований сооружений г. Мирный. Созданная картографическая система позволила на данном этапе сделать несколько важных выводов:

1. За последние годы 2018-2020 площадь устойчивых по температурному состоянию участков городской застройки уменьшается примерно в 1.5 раза.

2. Тем не менее, на домах со свайным фундаментом и управляемым режимом продуваемых подполий наблюдаются устойчивые отрицательные температуры и даже их некоторое понижение.

3. Выяснилось, что в местах плотной застройки каменных зданий также наблюдается сохранение отрицательных температур ниже проектных, но для подтверждения требуются отдельные расчеты, что планируется на следующем этапе.

4. С целью оценки условий формирования и развития водоносных коллекторов в правобережном примыкании Вилуйской ГЭС 1,2, проводятся экспериментальные исследования методом микросейсмического зондирования. Наблюдения проводятся как на поверхности, так и в скважинах. При проведении скважинных исследований выявлены области с аномально высоким значением уровня микросейсмиков. Так как на момент проведения работ фильтрационные процессы в правобережном примыкании (в связи с сезонными колебаниями уровня воды в водохранилище) прекратились, можно считать, что выделенные области соответствуют именно водоносным коллекторам, лишенным заполняющей их воды. Косвенным подтверждением этого наблюдения является тот факт, что при проведении поверхностных наблюдений (проведенных в апреле и октябре 2022 года) заполнение водой определенных слоев выражается в уменьшении амплитуд микросейсмических сигналов для этих слоев.

Полученные результаты были доложены и обсуждены на семинаре «Современные проблемы геофизики» на платформе «Геовебинар» в сети Internet 25 октября 2022 года. Исследования будут продолжены зимой 2022 – 2023 года.

6. Аппаратурные и программные разработки для контроля инженерно - геокриологического состояния пород.

1. Усовершенствован комплекс программно-аппаратных средств, который позволяет контролировать температуру грунтов, уровни грунтовых вод. Устройства работают в режиме онлайн и передают информацию в базу данных на удаленном сервере. На этапе создания прототипов находятся модули, позволяющие регистрировать соленость, мутность, Ph водной среды.

Комплекс дополнен программным обеспечением, позволившим создать более гибкую, легко настраиваемую систему.

2. Создан сайт в сети Internet, который информирует пользователя о типе измеряемых данных (термометрия, пьезометрия и др.), настройке периодичности опросов, техническом состоянии аппаратуры. Сайт представляет собой карту, на которой всю информацию по наблюдаемым объектам можно получить в интерактивном режиме. Величину и динамику наблюдаемых параметров несложно оценить по автоматически генерируемым графикам с любой периодичностью выборки.

3. Создана и реализована функция резервирования данных. После чтения показаний датчиков с гирлянд запись ведется в основной раздел памяти устройства и дублируется в специальном разделе. Также дублируются метаданные записей. Добавлено восстановление поврежденных данных, а также проверка данных до отправки последних на сервер базы данных.

4. Данные на сервер отправляются пакетами. Каждый пакет состоит из данных и контрольной суммы. Подпакет состоит из метаданных и вспомогательных данных.

5. Реализовано начало старта записи данных в десктопном программном обеспечении для возможной синхронизации данных по времени.

6. Написана функция сохранения файл-данных в бинарном формате для отладки и попытке восстановления данных при их повреждении.

7. Увеличена стабильность работы шины 1-Wire. Для этого в устройство введена дополнительная микросхема «мастер-1Wire», что и повысило стабильность работы шины.

8. Реализован предпросмотр данных перед их выгрузкой на ПК. Предпросмотр включает в себя построение графика и вывод данных в табличной форме. Режим предпросмотра удобно использовать во время полевых измерений для контроля получаемой информации.

9. Добавлена функция полуавтоматической подготовки паспортов для термических кос.

Так же, параллельно с совершенствованием комплекса проведены разработки, позволяющие изменить подход к возможностям системы по передаче данных. В этой связи проходят испытания модули и базовая станция LoRa.

10. Разработаны температурные косы с большим количеством датчиков (более 100) длиной до 250 метров (установлены в г. Удачном), данные от которых могут быть переданы по сотовой связи или записаны в памяти прибора. На данный момент представленные на рынке термокосы с цифровыми датчиками по своим параметрам не имеют длины более 100м и количество датчиков свыше 100. Это связано с ограничениями протокола 1-Wire, по которому происходит опрос температурных датчиков.

11. Разработана и подготовлена к производственным испытаниям усовершенствованная система измерения углов смещений грунтовых массивов (второе поколение). Теперь измерения доступны также и в горизонтальных скважинах (шпурах).

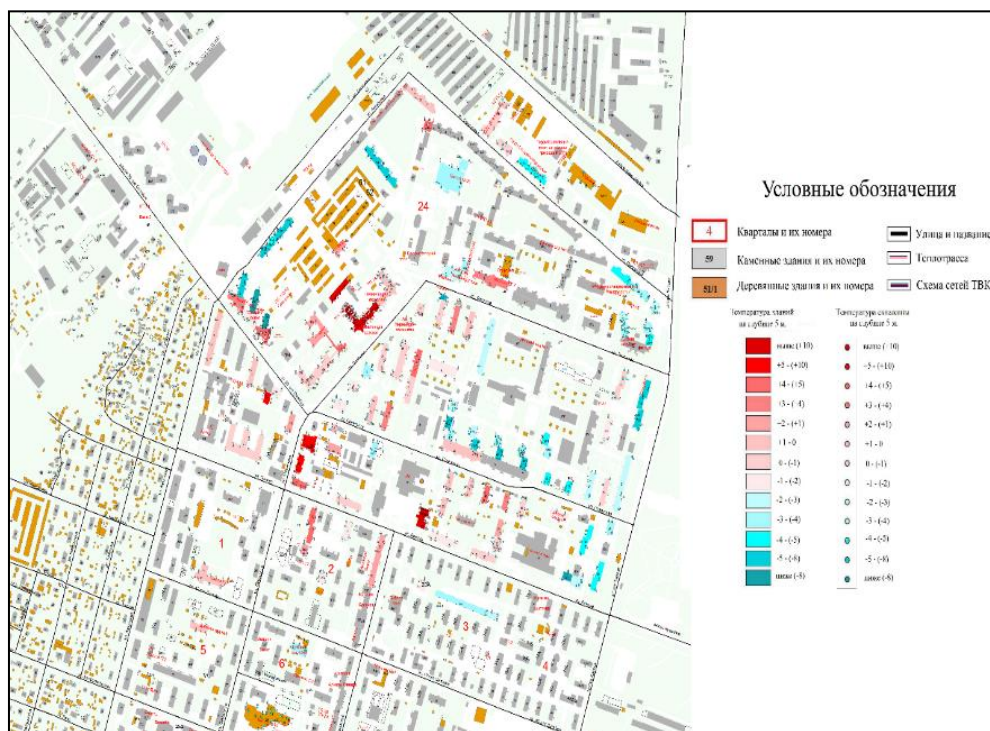


Рисунок 1. 1- сегмент системы контроля углов смещений, 2- логгерное устройство для работы с системой контроля углов смещений, 3- антенное устройство базовой станции LoRa, 4- термометрическая коса, длиной 50 метров, 5- термометрическая коса длиной 100 метров и количеством датчиков 100 штук (без защитной оболочки), 6- пьезометр.

12. За счёт хоз. договорной деятельности проведены экспериментальные исследования с привлечением ведущих специалистов в области геофизических исследований из МГУ (Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова), ООО «Радионда», ИКФИА, (Институт космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера). Работы связаны с использованием новых методик исследования и применения уникального оборудования для изучения состояния гидротехнических сооружений в условиях техногенных воздействий и наличия обходной фильтрации. Также за счёт хоз. договорной деятельности приобретена дорогостоящая современная геофизическая аппаратура и оргтехника в том числе прибор ДИМЧ, предназначенный для диэлектрической интроскопии околоскважинного пространства, сейсмостанция «Лакколит 24 М2», термостат для тарировки термодатчиков, станок для изготовления термогирлянд.

7. Разработка цифровой информационной модели карты температурного поля грунтов основания г. Мирный на основе долговременного мониторинга.

Модель составлена программным продуктом ArcGIS из семейства геоинформационных программных продуктов компании ESRI (рис.3).



- атрибутивные таблицы по скважинам (проставлены номера скважин и значения температур, всего 1498 скважин);
- цветовая градация температуры горных пород, включающая 13 типов (рис.2).

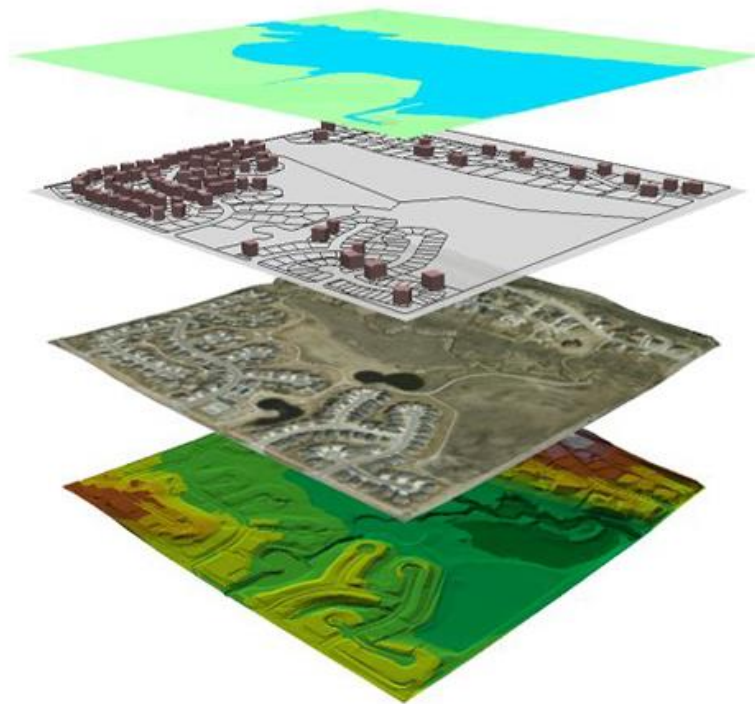


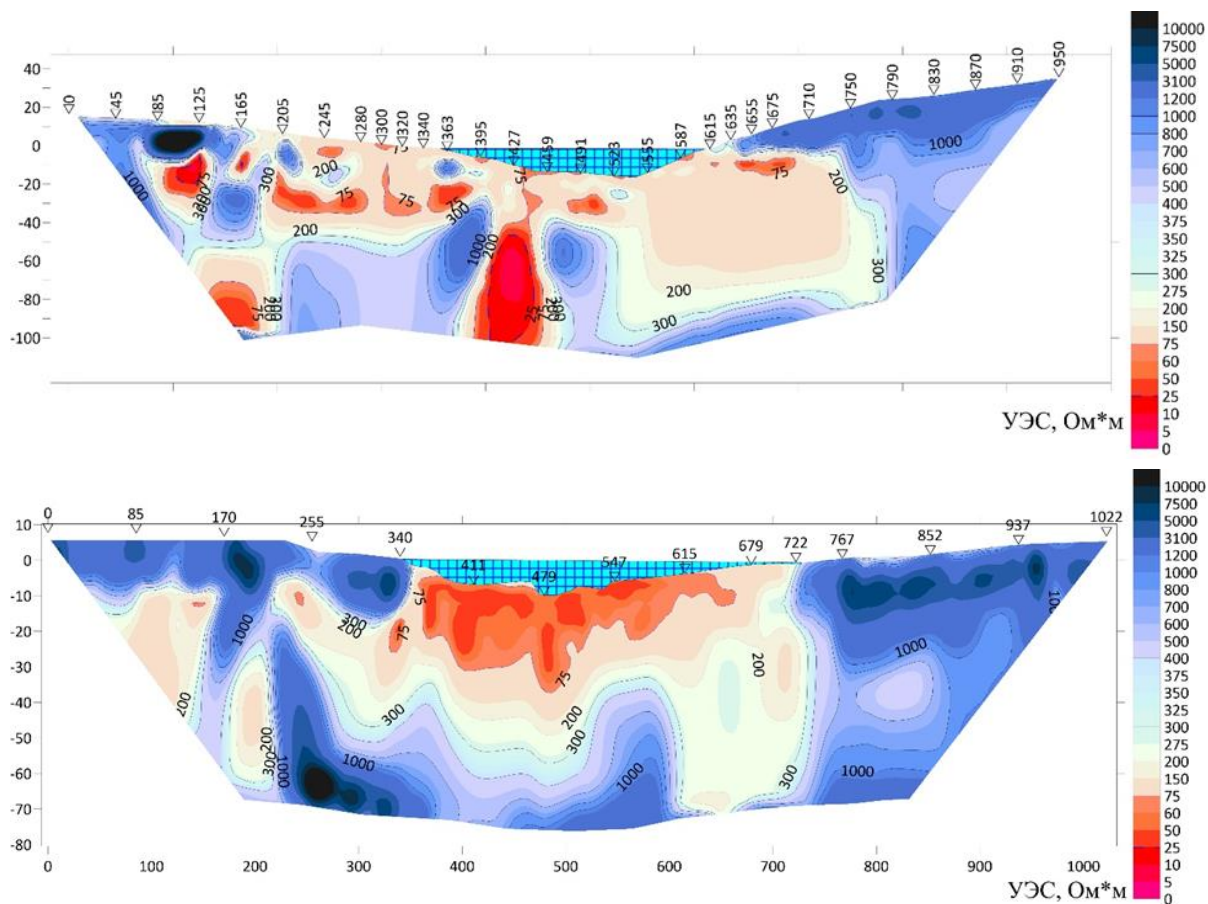
Рисунок 3. Наложение слоев на карту данных

Таким образом, создаваемая информационная геокриологическая модель, включающая температурные данные будет иметь функцию анализа имеющейся информации.

8. Совместные исследования

1) МГУ им. Ломоносова

Совместные получение и обработка данных геоэлектротомографии в донном и наземном вариантах с целью определения границы талое-мерзлое в



основании и бортам водохранилища на реке Ирелях, выявления положения разломных зон в ложе водохранилища и картирования участков талых зон.

Рисунок 4. Примеры геоэлектрических разрезов.



Рисунок 5. Расположение геоэлектрических профилей (слева), и геоэлектрические подводные кабели (справа).

Геофизические исследования, совмещающие наземную и подводную геоэлектрическую томографию отвечают решению задачи картирования талых и водонасыщенных зон под ложем водохранилища и в береговых примыканиях. Кроме того, на геоэлектрических разрезах выделяются структурные элементы в виде субвертикальных зон, которые могут быть интерпретированы как зоны тектонических нарушений.

2) ООО «Радионда»

Геофизические исследования совместно с ООО «Радионда» проведены с целью изучения возможностей методов ДИМЧ (метод диэлектрической интроскопии околоскважинного пространства многочастотный) и РВГИ (радиоволновой геоинтроскопии) для поисков потенциально опасных мест развития фильтрационных процессов в толще грунтового массива на правобережном примыкании ВГЭС 1,2. Работы проведены в 2D и 3D вариантах. Анализ полученных данных показал хорошую сходимость с данными термометрии, но при этом позволил выявить несколько участков с пониженным электрическим сопротивлением, в температурном поле не выраженных, что позволяет сделать вывод о возможности развития фильтрации именно по этим горизонтам.

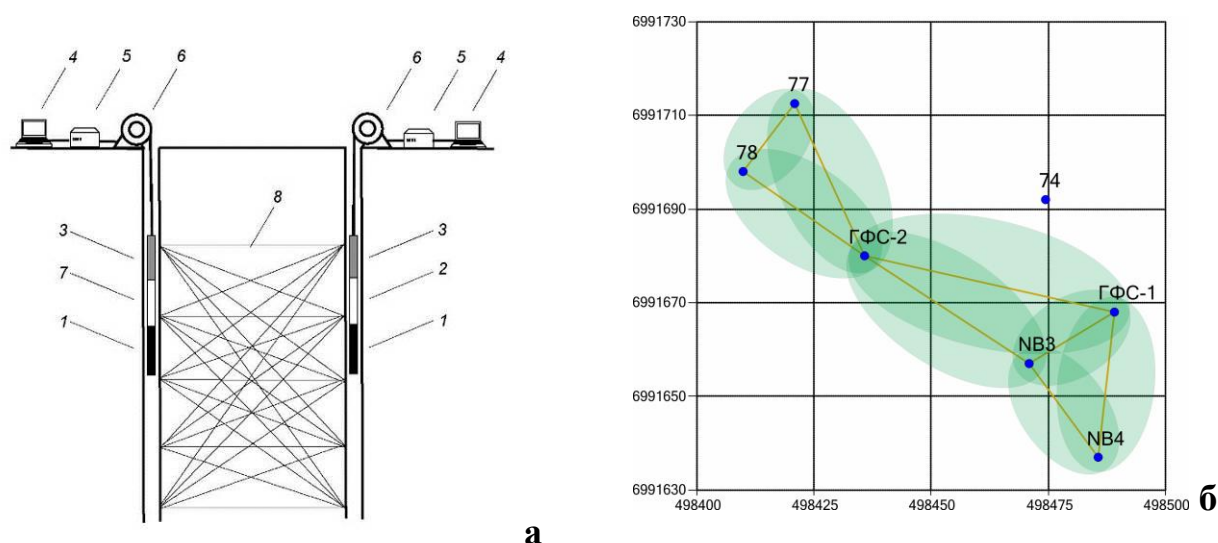


Рисунок 6. а - измерительная установка для межскважинных радиоволновых измерений РВГИ и схема «томографической» съемки. Рабочая частота $f < 5 \text{ МГц}$ 1 – антенна, 2 – ПУ, 3 – блок

оптической развязки, 4 – компьютер, 5 – ретранслятор, 6 – каротажный подъемник, 7 – ИзУ, 8 – лучи просвечивания, б - схема измерений 3D-РВГИ

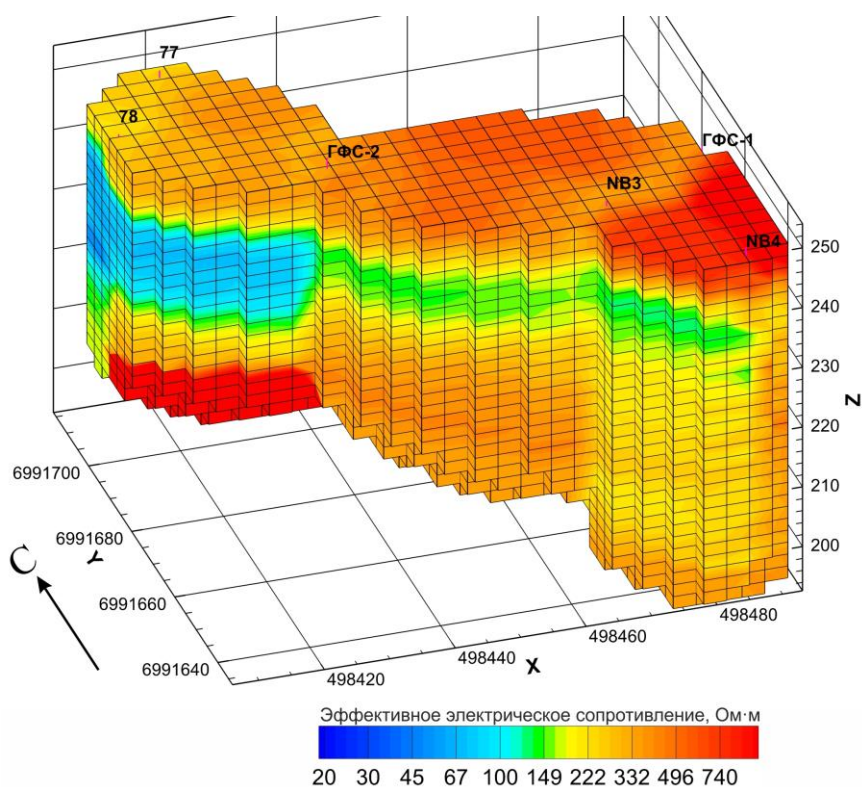


Рисунок 7. 3D карта РВГИ («куб данных») в элементарных ячейках обработки (3х3х2 м), $f=1.25$ МГц

скв. № 78

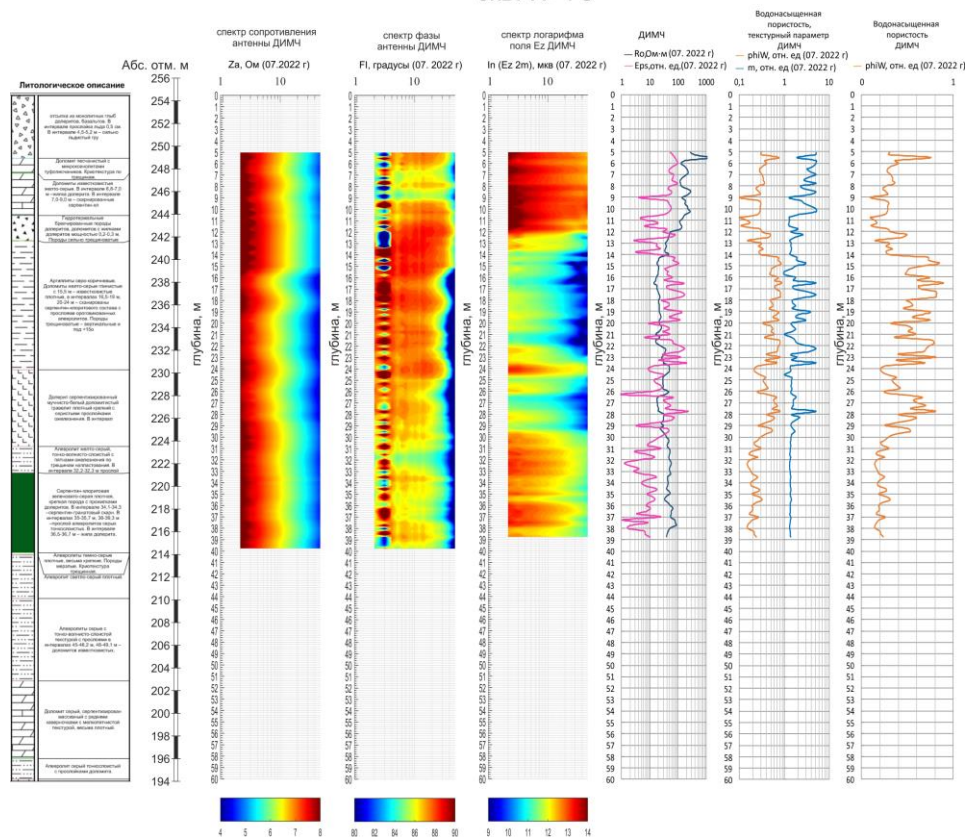


Рисунок 8. Сводный планшет ДИМЧ на примере скв. 78

3) ИКФИА (Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера)

Совместная разработка ВНИМС ИМЗ СО РАН и ИКФИА системы контроля углов внутримассивных смещений позволяет фиксировать углы с точностью 0.1° . Система второго поколения предназначена, в том числе, и для работы в горизонтальных скважинах.

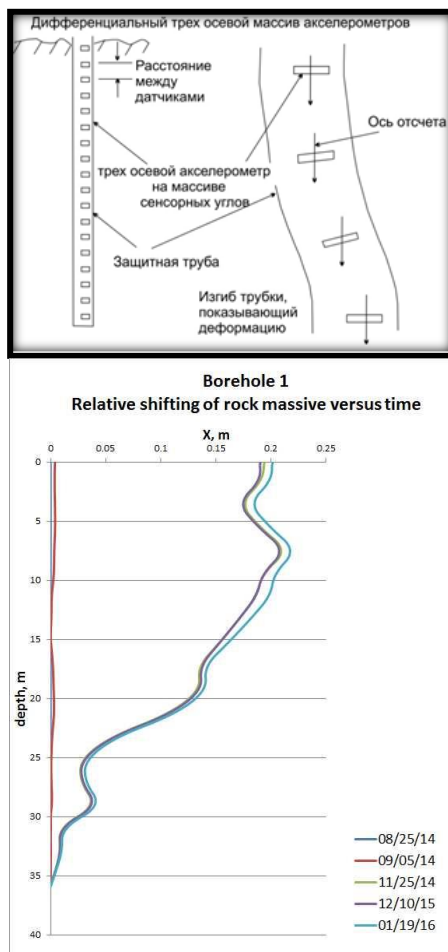
ПРИЛОЖЕНИЯ

Контроль смещения грунтов в массиве горных пород

А



Б

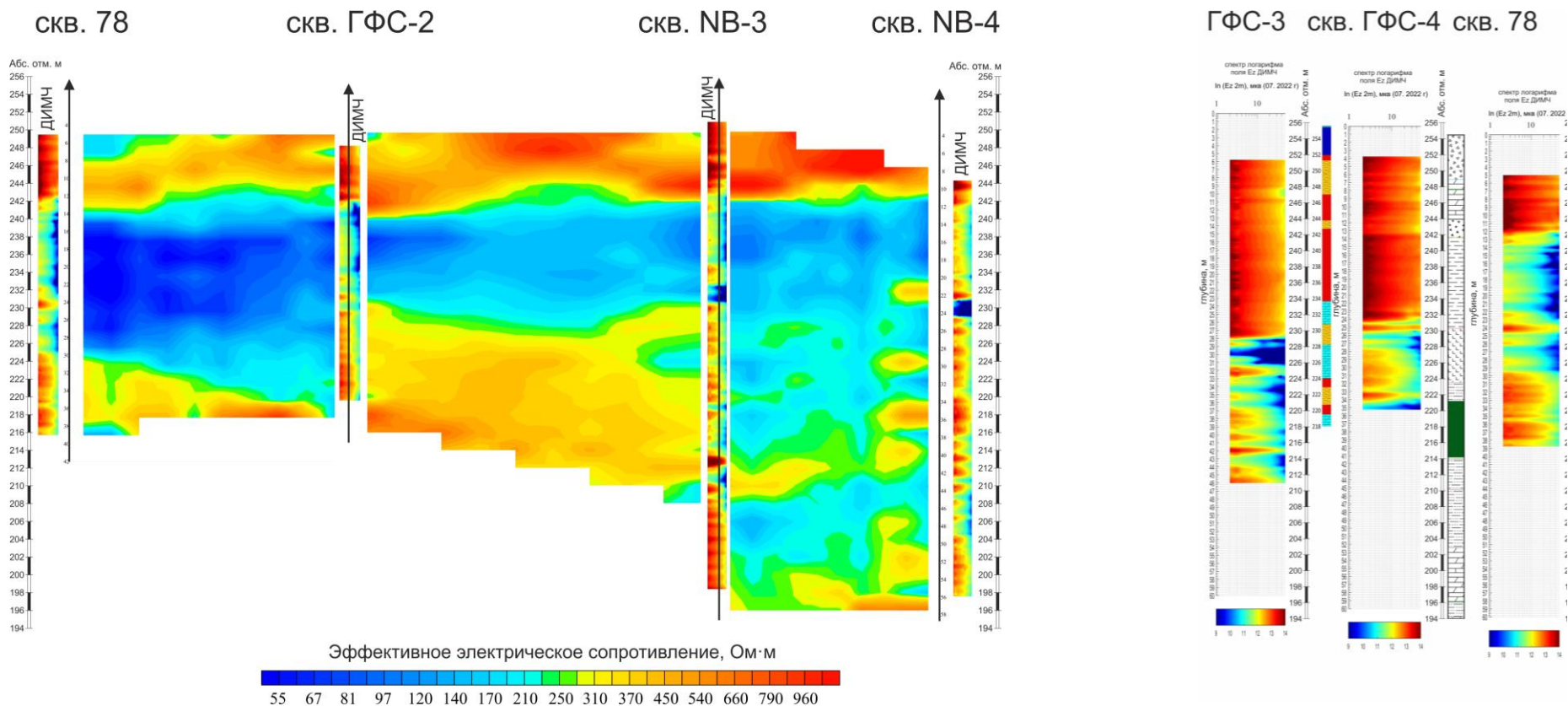


В



Создана усовершенствованная система контроля смещения грунтов. Измеряются углы смещения вдоль ствола скважины относительно горизонта. Рассчитывается направление и величина внутримассивного горизонтального смещения. Коса может быть использована также для измерения смещений в горизонтальных скважинах (шпурах). Кроме датчиков смещения в косе присутствуют датчики температуры. Существующая коса содержит 33 сегмента и предусмотрена возможность масштабирования системы. В 2023 году будут проведены производственные испытания системы на одном из предприятий АК «АЛРОСА», о чем имеется соответствующая договоренность с руководством. На рисунках: А-установка косы в скважину и момент полевых измерений, Б-принцип действия и результат работы системы, В-внешний вид измерительной косы и коса, готовая к транспортировке.

Комплексные радиоволновые исследования межскважинного пространства методами РВГИ и ДИМЧ в наблюдательных скважинах для решения геокриологических задач (правобережное примыкание Вилюйской ГЭС 1,2)



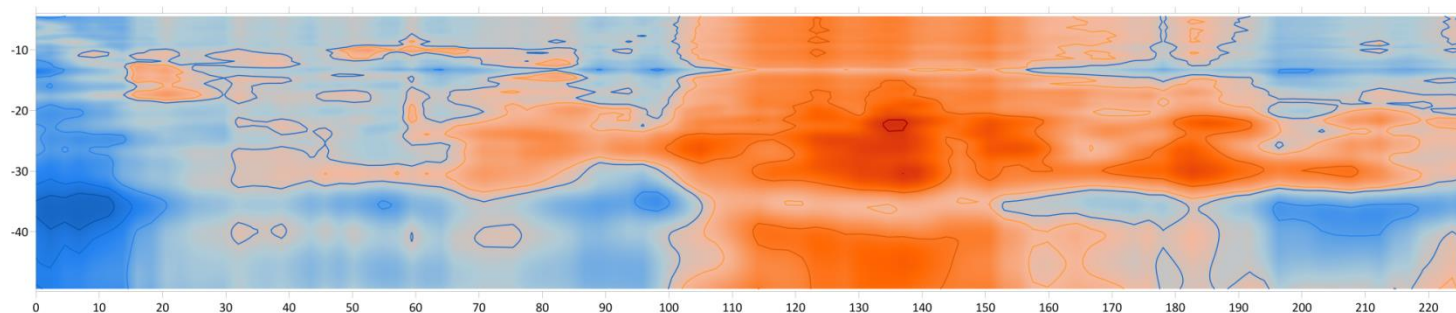
Спектры измеренного поля ДИМЧ

Геoeлектрический разрез по линии скважин 78–NB4, составленный из 2D-томограмм РВГИ $f=1.25$ МГц

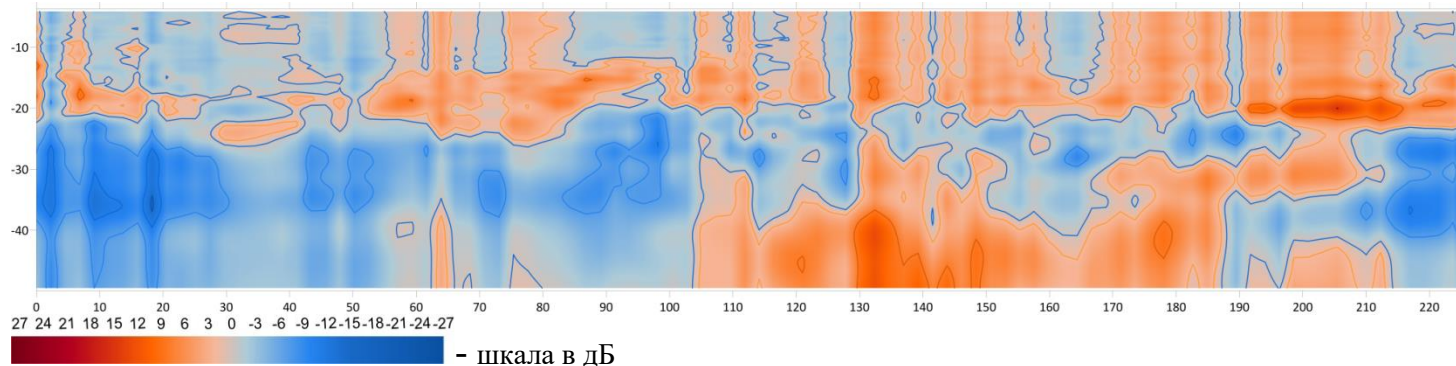
Стандартные методы мониторинга (скважинная термометрия), методы односкважинных исследований (гамма-каротаж, индукционный каротаж) позволяют изучить физические свойства пород только в непосредственной близости от ствола изыскательской скважины. Как известно, мерзлотные процессы могут развиваться неравномерно в пространстве и времени, линейная интерполяция данных односкважинных измерений (температуры, УЭС и т.д.), полученных односкважинными методами не характеризует весь массив пород в целом. В сложных геокриологических условиях только односкважинных методов ГИС может быть недостаточно. Оценка состояния грунта возможна путем дистанционного определения их электрических характеристик (электросопротивления и диэлектрической проницаемости) методом радиоволнового просвечивания пространства между скважинами (РВГИ).

Экспериментальные исследования с целью оценки условий формирования и развития водоносных коллекторов

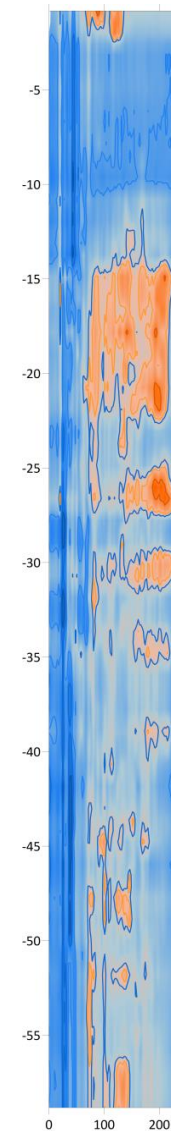
а



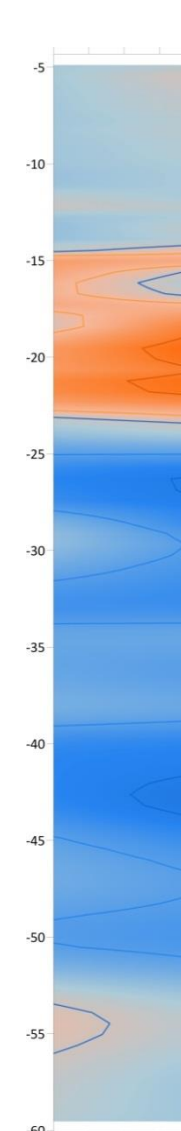
б



в



г

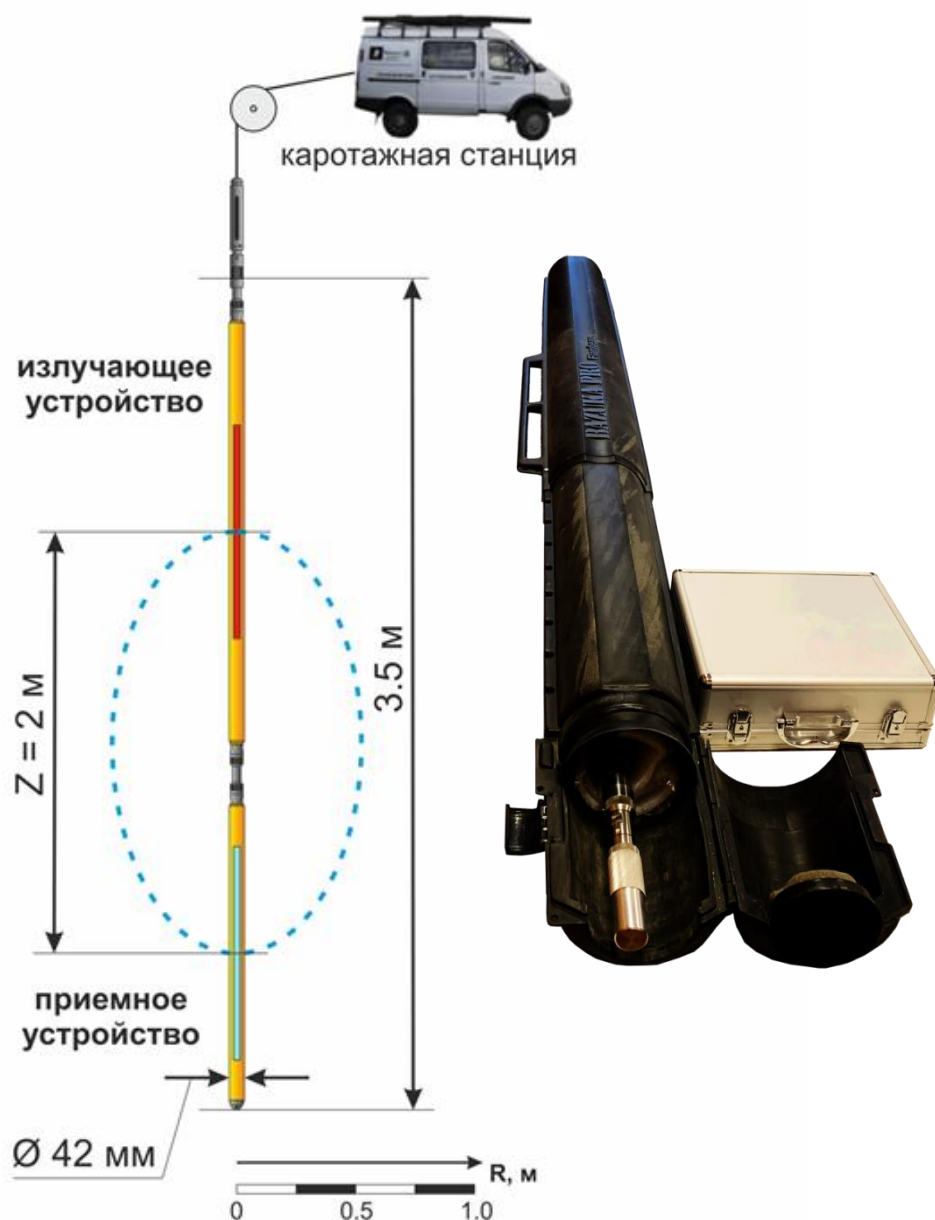


Метод микросейсмического зондирования (ММЗ) обычно используется для исследования больших глубин в задачах нефтегазовой отрасли. При этом наблюдается поле микросейсм естественного происхождения. В нашем случае впервые предложено использовать микросейсмические сигналы от техногенного источника для решения геокриологических задач на малых глубинах. В качестве примера показано применение ММЗ для определения путей миграции грунтовых вод на правобережном примыкании Вилюйской ГЭС 1,2. На рисунке (а) – профиль, пройденный в апреле 2022 года, т.е. в то время, когда уровень водохранилища минимален и фильтрационные процессы прекращаются. Рисунок (б) – тот же профиль, но отработанный в октябре 2022 года. В это время уровень воды в водохранилище максимален. Изменения связаны с заполнением пор и трещин водой, что приводит к увеличению скоростей волн Рэлея и, соответственно, к уменьшению амплитуд микросейсмического сигнала.

Справа, на рисунке (в) - измерения микросейсмического сигнала в скважине NB-3 и на поверхности (г), в непосредственной близости от нее. Температура грунтов по стволу скважины ниже слоя годовых колебаний – отрицательная. Тем не менее, аномальные значения амплитуд микросейсмического сигнала могут свидетельствовать о возможности развития фильтрации именно в этом диапазоне глубин в будущем.

**Приборы и оборудование, приобретенные ВНИМС ИМЗ СО РАН в
2022 году за счет хоз. договорной деятельности**

**Скважинный многочастотный диэлектрический интроскоп
для исследования околоскважинного пространства
ДИМЧ (патент РФ № 2733110 от 29.09.2019)**



Каротажный зонд ДИМЧ – диэлектрический интроскоп многочастотный в защитном кейсе.



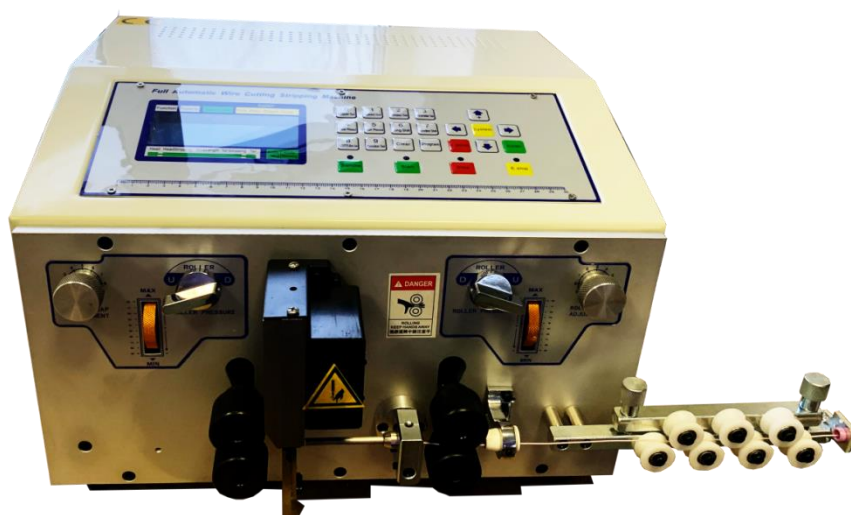
Лицевая панель регистратора



Задняя панель регистратора



Сейсмостанция «Лакколит 24 М4» и сейсмокоса 24 канала



Станок с ЧПУ для подготовки проводов при изготовлении термометрических кос



Цветной принтер HP, Color LaserJet Enterprise M751 A3



Калибратор температуры жидкостный КТ-5.5

Предназначен для воспроизведения температуры в диапазоне -20... +150°C. Прецизионный переливной термостат со встроенным эталонным платиновым термометром сопротивления