

Эффективность комплексных геофизических исследований на примере обследования плотины водохранилища «ЗК «Майское»

В статье описываются результаты комплексных геофизических исследований методами ВЭЗ, сейсмического и георадиолокационного профилирования при обследовании тела и основания грунтовой плотины водохранилища «ЗК «Майское» в Певекском районе Чукотского автономного округа. Выяснялись причины возникших при ее эксплуатации проблем – высачивание воды в нижнем бьефе, осадочные трещины на гребне плотины, осадки отдельных термостабилизаторов.

Полученные результаты демонстрируют возможности методов и их комплексирования при выделении областей фильтрации через тело и основание плотины, изначально находившейся в мерзлом состоянии. Материалы, представленные в статье, докладывались автором на научно-практической конференции «Инженерная сейсморазведка-2018», которая прошла в Москве 24–26 октября.

Гусаров Георгий Германович

Ведущий геофизик АО «Фундаментпроект»

Емельянов Евгений Ильич

Геофизик АО «Фундаментпроект»

Костенко Константин Алексеевич

Руководитель геофизической группы АО «Фундаментпроект»

Хилько Александр Викторович

Ведущий геофизик ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ им. М.В. Ломоносова»

Введение

Комплексные геофизические исследования тела и основания плотины «ЗК «Майское» проводились в рамках обследований, связанных с возникшими при ее эксплуатации проблемами - высачивание воды в нижнем бьефе (рис. 1), осадочные трещины на гребне плотины, осадки отдельных термостабилизаторов, ряд которых должен стабилизировать завесу в теле плотины в мерзлом состоянии.

По предположениям заказчика и эксплуатанта данные процессы связывались со следующими возможными причинами:

1. Недоуплотнение грунтов и возникновение пустот при отсыпке тела плотины, а также отступление от проектного состава грунтов.
2. Движение сезоннооттаявшего слоя грунта, обводненного в период осенних дождей, по поверхности мерзлых подстилающих грунтов вдоль откосов плотины.
3. Процессами водной суффозии (вынос мелких частиц грунта при фильтрации) вдоль труб строительного водосброса, которые были заглушены до формирования льдогрунтовой противофильтрационной завесы.

4. Глубинной фильтрацией вод из водохранилища ниже льдогрунтовой завесы и глиняного ядра плотины по трещинам в подстилающих песчаниках и алевролитах.

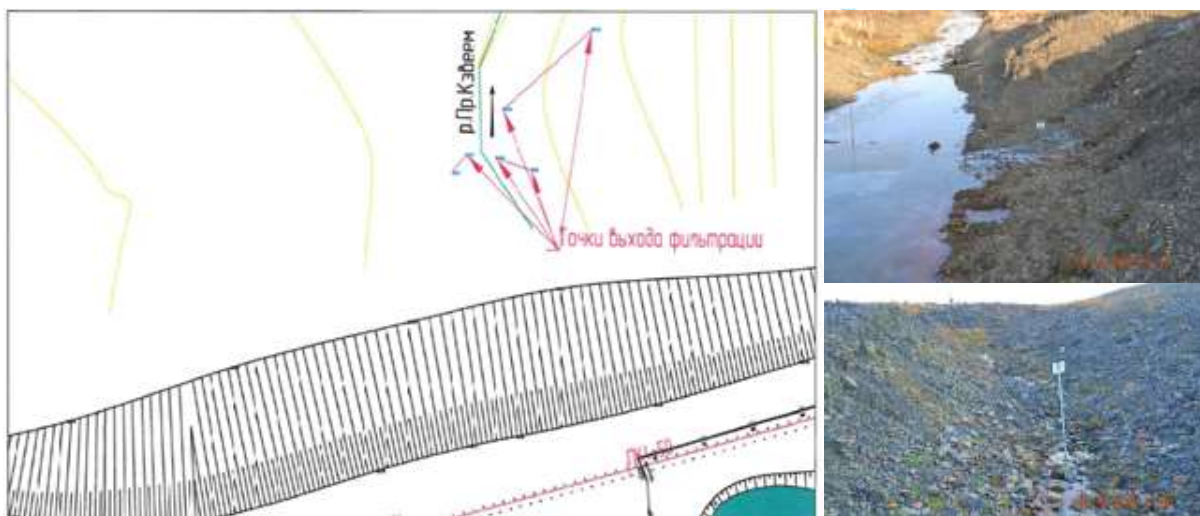


Рис. 1. Положение точек выхода фильтрата в нижнем бьефе плотины, фото точек выхода фильтрата (материалы ЗК «Майское»)

Целью проведенных исследований являлось установление границ фильтрационных потоков через тело и основание плотины. Задачами инженерно-геофизических исследований являлись выделение в разрезе областей трещиноватости в ложе плотины и выделение возможных участков локальных таликов в теле плотины.

Инженерно-геологические условия площадки изысканий, особенности строения плотины

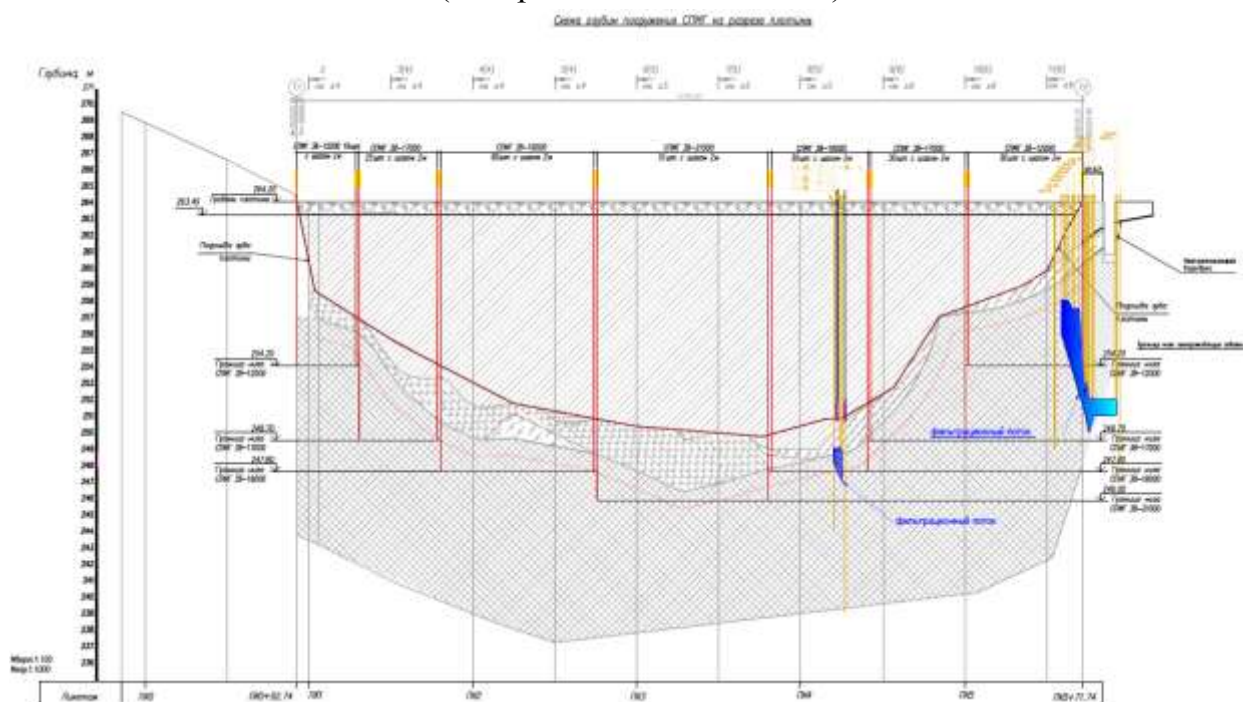
Основная черта геологического строения района – сочетание мезозойского геосинклинально-складчатого комплекса пород со свойственными ему структурами и меловых вулканитов, залегающих с резким несогласием. Отложения верхнего триаса представлены глинистыми сланцами и алевролитами с прослоями песчаников. Рыхлые отложения междуречий представлены элювиально-делювиальными и делювиально-солифлюкционными образованиями, сплошным чехлом перекрывающими склоны и вершины водоразделов. Мощность их колеблется от долей метра на узких водоразделах до 15-20 м в местах сочленения склонов с речными долинами.

Район исследований расположен в северной геокриологической зоне и характеризуется сплошным распространением ММП. Их мощность составляет в долинах рек от 120 до 250 м, на склонах и водоразделах она увеличивается до 300-350 м. Температура пород на глубине 10-12 м в долинах и на окружающих их склонах составляет от минус 4°C до минус 6,5°C. Глубина сезонного протаивания грунтов от нескольких десятков сантиметров в заболоченных днищах долин до 2-3 м на склонах, сложенных грубодисперсными образованиями. Льдистость скальных и полускальных трещиноватых пород в среднем составляет 5-6%, аллювиальных, элювиальных, делювиально-солифлюкционных рыхлых отложений – нередко превышает 50-60%. В рыхлых отложениях отмечается наличие пластовых льдов мощностью от 0.2 до 3 м. Из физико-геологических процессов и образований,

Основанием плотины служат отложения верхнего триаса, представленные глинистыми сланцами и алевролитами с прослоями песчаников. Тело плотины – земляное с глинистым ядром. По гребню плотины идет ряд СПМГ (стабилизаторов пластично-мерзлых грунтов) с интервалом 2 метра между стабилизаторами. Вид плотины в плане показан на рисунке 2. Разрез по оси тела плотины показан на рисунке 3.



Схема двубитного кодирования СДПЧ на разряде Аппельна



Состав комплекса геофизических исследований

- сейсмическое профилирование методом многократных перекрытий на поперечных SH волнах и сейсмическое профилирование МПВ на поперечных волнах по оси плотины;

- георадиолокационное профилирование георадаром “Python-3” с антенной 38 МГц по телу плотины, в нижнем бьефе параллельно телу плотины на расстоянии 30 м от ряда СПМГ, а также по семи поперечным профилям, секущим тело плотины в районе выхода фильтра;
- электрические зондирования (СЭЗ) по двум профилям - по оси плотины начиная с ПКЗ+50 и по нижнему бьефу на расстоянии 30 м от рядов СПМГ (рис.4).

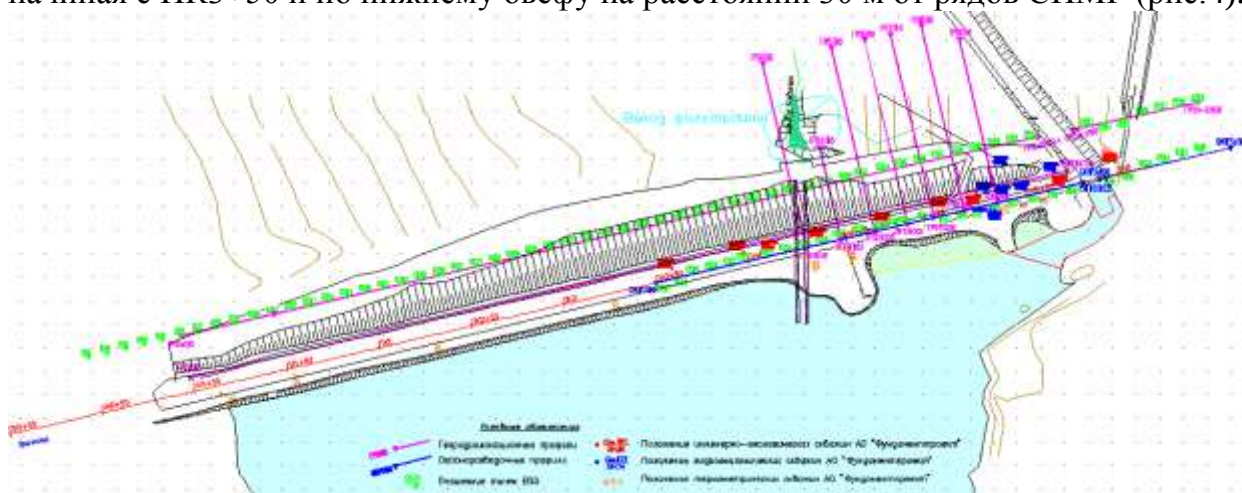


Рис. 4. Схема профилей и точек наблюдения на объекте
 Синяя линия – сейсмический профиль, розовые линии – георадиолокационные профили, зеленые точки – точки ВЭЗ, очерченная голубым областью в нижнем бьефе – область выхода фильтра

Методики и результаты исследований

Сейсмическое профилирование

Сейсмическое профилирование выполнялось по телу плотины двумя методами - по методике многократных перекрытий на поперечных волнах с шагом между пунктами приема 1 метр, шагом между пунктами возбуждения 1 метр по центральной схеме с расстановкой длиной 47 метров с 12-ти кратным перекрытием, и по МПВ с 24-х канальной расстановкой с шагом между пунктами приема 2 метра, с семью пунктами возбуждения на расстановку (пункты возбуждения - 46, -24, 0, 24, 46, 68, 92 метра).

Данные метода многократных перекрытий обрабатывались в RadExPro 2012 по графу общей средней точки. Скорости в разрезе получены по результатам стандартного скоростного анализа в модуле Interactive Velocity Analysis по суперсборкам ОГТ на базе 5-ти метров с шагом 5 метров. Полученные значения интервальных скоростей интерполировались между точками разреза в программе Surfer 10. Результаты МПВ обрабатывались по методу первых вступлений в программе Годограф (МГУ, Москва).

Результаты сейсмического профилирования показаны на рисунке 5. На разрезах ОСТ (общей средней точки) уверенно выделяются кровля коренных пород и подошва элювия. Наиболее значимые результаты получены в ходе скоростного анализа данных. Кроме сезонной протайки в верхней части разреза на участке плотины от пикета 183 м до пикета 232 м профили и далее наблюдается растепление пород до талого состояния на всю глубину исследования. Это следует из диапазона значений скоростей поперечных волн в данной области от 150 до 300 м/сек, полученных в результате скоростного анализа. В районе пикета 183 м профили зафиксирован выход в кровлю коренных пород контакта несогласного

залегания слоев. Дифракционная картина от субвертикального контакта и хаотичное сочетание слоев в направлении увеличения пикетажа позволяют предположить наличие здесь серии тектонических нарушений, контролирующих тепловой поток.

Выполненный по этим же пикетам разрез значений скорости поперечной волны, полученный по результатам обработки результатов профилирования методом первых вступлений (МПВ) также подтверждает погружение высокоскоростной границы и увеличение мощности талых низкоскоростных пород в интервале от пикета 180 м до пикета 232 м профиля.

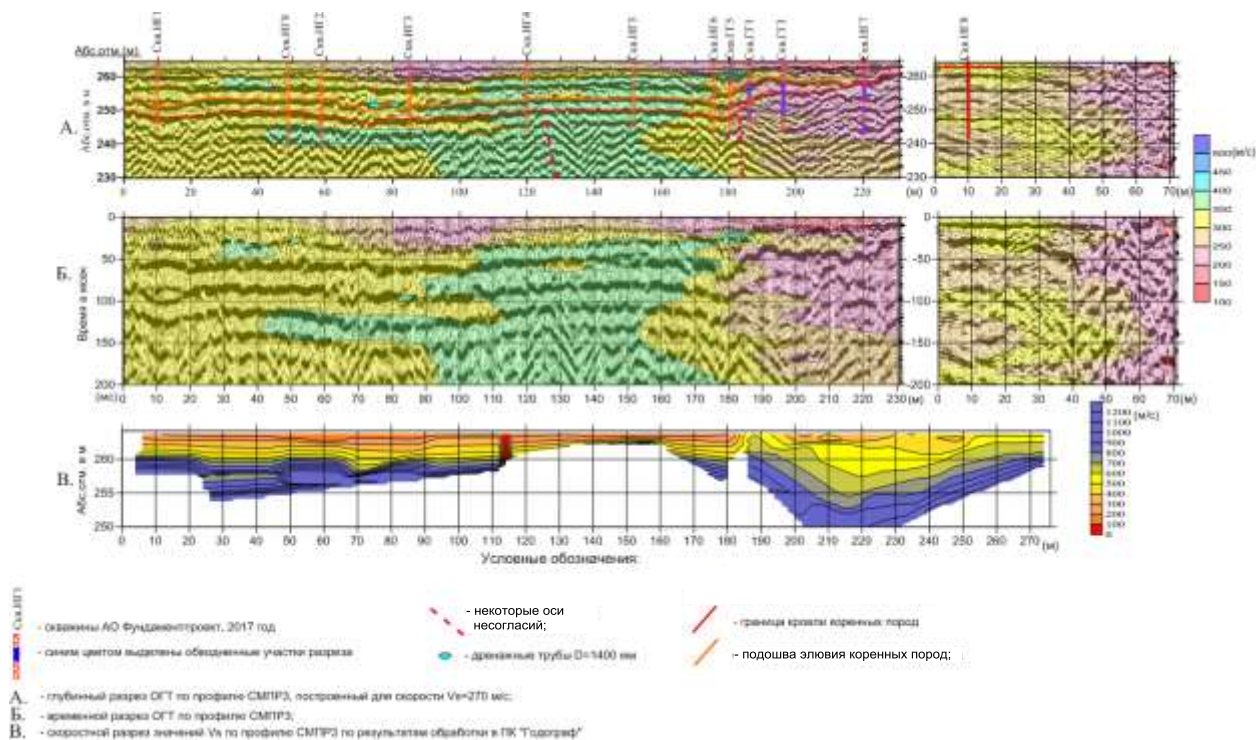
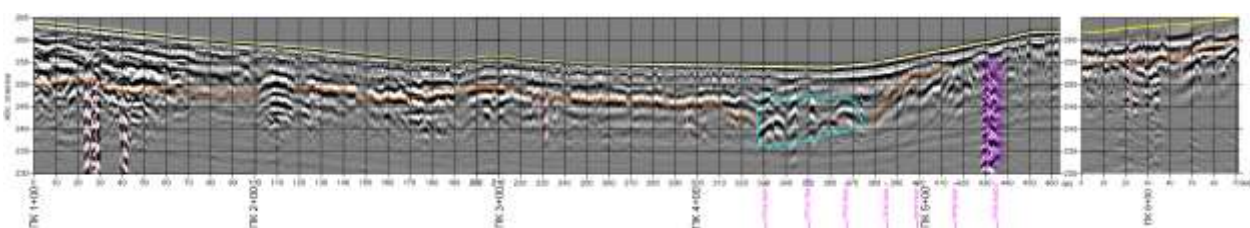


Рис. 5. Результаты сейсмического профилирования по телу плотины

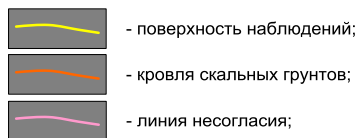
Георадиолокационное профилирование

Результаты обработки и интерпретации данных георадиолокационного профилирования представлены на рисунках 6 и 7. На профилях ГРП2а, ГРП9, ГРП8, ГРП7, ГРП6 и ГРП5 выделяются контрастные аномалии, вытягивающиеся в плане в линейные зоны (рис.11), связанные с повышенной трещиноватостью в коренных породах.

На профилях ГРП4, ГРП5, ГРП6 и ГРП7 выделяется граница, от которой к телу плотины прослеживается участок растепления пород основания (рис.7), имеющий вид менее контрастных областей на радарограммах. В теле плотины отмечают субвертикальные звенящие области, которые мы связываем с участками мерзлых пород, намороженными в результате работы термостабилизаторов.



Условные обозначения:



 - область возможного развития талика;

 - область возможного развития трещиноватости массива;

Рис. 6. Результаты георадиолокационного профилирования по профилям ГРП2а и ГРП3

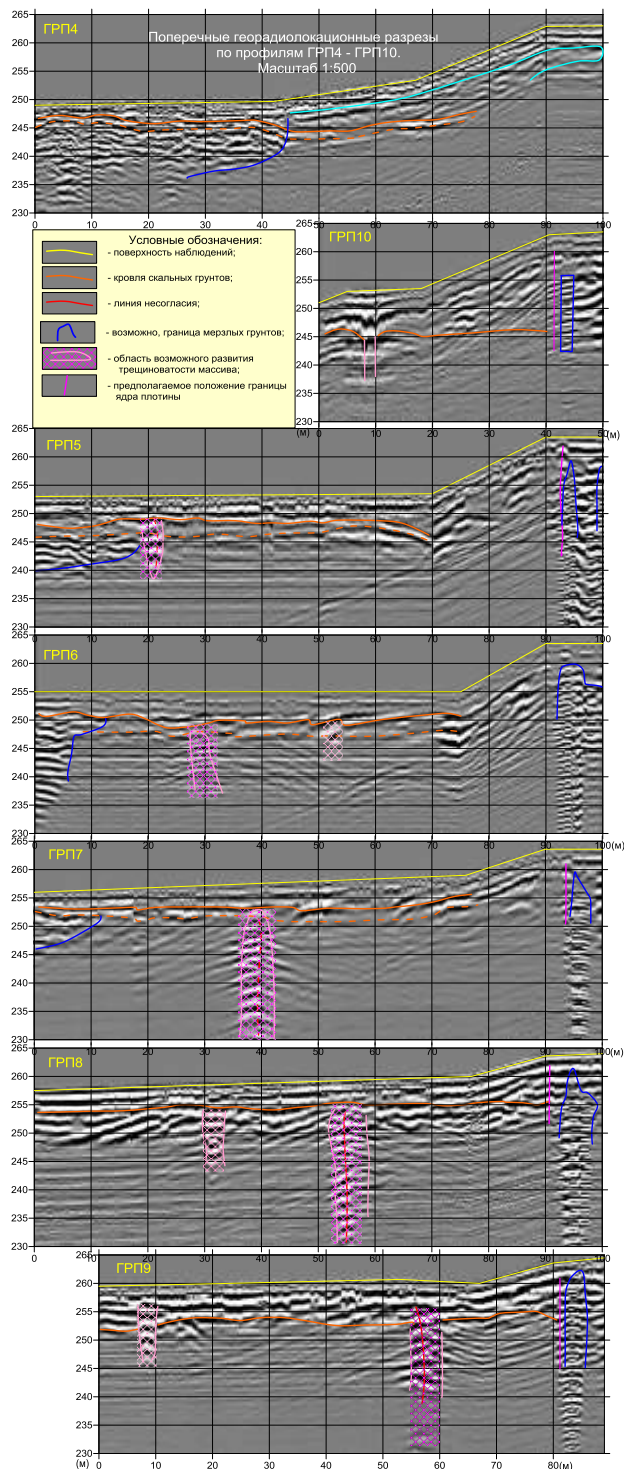


Рис. 7. Результаты георадиолокационного профилирования по профилям ГРП4 – ГРП11.

Электроразведочные работы

Вертикальные электрические зондирования выполнялись в модификации одностороннего трехэлектродного зондирования по схеме A+MN с четвертым электродом ($C \rightarrow \infty$) и с четырехэлектродной установкой (Шлюмберже). Максимальная величина разноса $AB/2$ составляла 150 метров. Интервал между зондированиями по профилям составлял 10 метров. Обработка данных проводилась в программе IP2WIN.

В результате интерпретации данных вертикального электрического зондирования в каждом пункте измерения была определена частная геоэлектрическая модель строения среды. На основании полученных частных моделей были построены геоэлектрические разрезы по профилям (рис.8, 9).

Как видно из рисунков, в разрезах наблюдаются области грунтов со значениями УЭС от 100 Ом·м до 500 Ом·м. Очевидно низкие значения сопротивления относятся к участкам талых грунтов.

На рисунке 9 можно отметить совпадение положения областей падения скорости и пониженных значений сопротивления грунта. Также отметим совпадение областей снижения скорости V_s и пониженных значений удельного сопротивления грунта ближе к концам профилей с результатами замеров температуры в параметрических скважинах, на основании которых построен температурный профиль, показанный на рисунке 10.

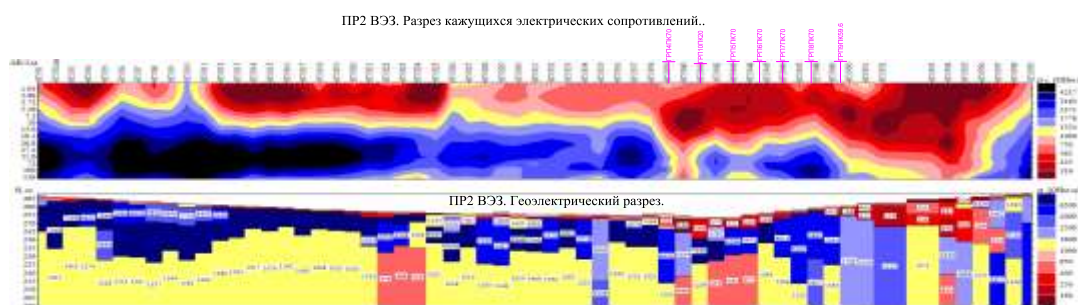


Рис. 8. Разрез кажущихся сопротивлений и геоэлектрический разрез по профилю Пр2

Рис. 10. Температурный профиль по телу плотины

Аномальные области, выделенные в разрезах по профилям на схеме результатов (рис.11) хорошо укладываются в линейные области, очевидно связанные с развитием в массиве областей повышенной трещиноватости.

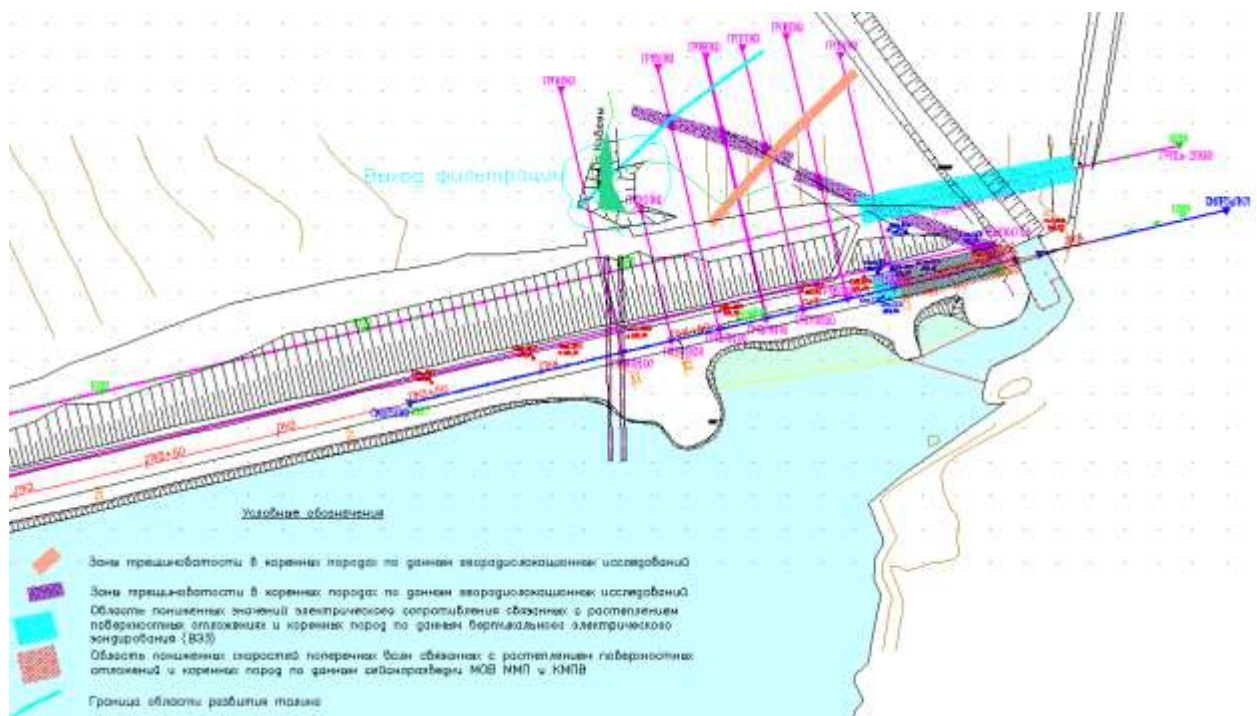


Рис. 11. Схема распространения по площади аномальных областей и границ в разрезе, связанных с фильтрацией через тело и основание плотины

Заключение

В теле и основании плотины, по результатам сейсморазведочных работ, выделена область пониженных значений скоростей упругих поперечных волн (менее 300 м/сек), характерных для талых грунтов, распространяющаяся на глубину более 20 м. По наличию многочисленных фронтов дифракций можно предположить наличие здесь зоны трещиноватости и смятия пород, что характерно для тектонических нарушений (рис.5). Пониженные значения скорости поперечной волны определены здесь и по результатам обработки МПВ.

На профилях ВЭЗ здесь же выделяется область снижения электрического сопротивления (до 150 - 500 ом*м), что позволяет говорить о растепленном состоянии массива. На соответствующие пикеты с ПК5+35 до ПК5+80 тела плотины приходятся все обводненные гидрогеологические скважины, пробуренные в августе-сентябре 2017 года (рис.5, 9, 10).

По результатам георадиолокационного профилирования в пределах аномального участка в основании плотины выделяются линейные, предположительно трещиноватые зоны в коренных породах.

Анализ температурного мониторинга показывает, что в промежутке с ПК5+30 по ПК50+85 профиля плотины имеет место увеличение температуры с глубиной, т.е. с высокой степенью уверенности можно говорить о поступлении тепла из горного массива (рис.10, 11).

Результаты проведенных работ использованы при построении инженерно-геологических разрезов и принятии проектных решений.

Выводы

Результаты применения комплекса методов сейсмического профилирования на поперечных SH волнах, сплошных электрических зондирований и георадиолокации показывают, что все примененные методы способны решать

задачи по выделению областей растепления многолетнемерзлых пород, а сейсмическое и георадиолокационное профилирование позволяют выделять области повышенной трещиноватости, связанные с тектоническими нарушениями. При этом сейсмическое профилирование и электроразведка имеют очевидное преимущество благодаря тому, что по результатам наблюдений проводятся не только структурные построения, как в методе георадиолокации, но и определяются значения параметров скорости поперечных волн и удельного сопротивления, по которым имеется значительный контраст значений между породами в мерзлом и талом состоянии. Георадиолокация, в свою очередь, имеет преимущество в скорости и стоимости производства работ, но не может быть корректно проинтерпретирована без априорного достаточно подробного представления о возможной модели строения разреза. Объединение же данных трех методов, по нашему мнению, позволяет не только надежно выделять аномальные по свойствам участки в разрезе, но и получить независимое подтверждение правильности их интерпретации. Вместо ВЭЗ, при решении подобных задач, очевидно, более эффективно применять электротомографию, но мы были лимитированы отсутствием необходимой аппаратуры. Также можно выразить сожаление, что не были проведены предполагавшиеся изначально продолжением описанных работы методами ЕП и термометрии в акватории водохранилища, с целью установления областей утечки.

Литература

1. Владов М. Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию: Учебное пособие. М. Издательство Московского университета, 2005.
2. Горяинов Н.Н., Скворцов А.Г. Сейсмоакустические методы при инженерно-геокриологических исследованиях // Инженерное мерзлотоведение (Материалы 3-й Международной конференции по мерзлотоведению). Новосибирск, Наука, 1979, с. 267—272
3. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. М: Научный мир, 2007.- 248 с.
4. ОАО «ПНИИИС», «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Строительство водохранилища. Рабочая документация», 2010.
5. Скворцов А.Г. Высокоразрешающая сейсморазведка на поперечных волнах при изучении верхней части геологической среды // Инженерная геофизика, 2005, с. 16—18.
6. Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных. М: МГУ, 2008 г., 192 стр.