

**Геофизический мониторинг гидротехнических сооружений в криолитозоне.
на примере накопителя минерализованных вод Тымтайдах
Великин С.А. Институт Мерзлотоведения им. Мельникова П.И. СО РАН**

**Geophysical investigations to monitor status of hydraulic structures in kriolitozone.
Velikin S.A. Melnikov Permafrost Institute SB RUS**

Ключевые слова: Криолитозона, плотина, дипольное индуктивное профилирование (ДИП), метод переходных процессов (МПП), электротомография, георадиолокация, фильтрационные потоки, минерализованные воды.

Аннотация:

В статье обсуждаются возможности использования геофизических методов при изучении состояния накопителя минерализованных вод Тымтайдах расположенного в Западной Якутии.

Показана сложность решения инженерно-изыскательских задач в условиях действующего гидротехнического объекта, эффективность комплексирования геофизических методов для изучения фильтрационных потоков и необходимость мониторинговых наблюдений в криолитозоне

Key words: Kriolitozona, dam, dipole inductive profiling (DIP), method of transient processes (WFP), èlektrotomografiã, georadiolokaciã, filtration flows, mineralized water.

Absract:

This article presents and discusses examples of using different methods of electrical aggregation to study and monitor drive health saline water in Western Yakutia.

Proposed work show the complexity of solutions engineering and survey tasks with the existing hydrotechnical object as well as the effectiveness of aggregation of geophysical methods to study of seepage flows.

Введение

Сооружение и эксплуатация гидротехнических комплексов в условиях криолитозоны приводит к значительным изменениям инженерно-геокриологических условий, определяющих устойчивость оснований этих сооружений и степень сохранности природного комплекса. Грунты в зонах техногенного освоения, как правило, обладают глубоко фильтрующими свойствами. Ограничивающим фактором этого процесса является вечная мерзлота. При техногенной деградации ММП экзогенные геологические процессы развиваются интенсивно, они динамичны и хаотичны, а варианты их развития во времени требуют постоянных наблюдений за их изменчивостью.

Длительность развития геокриологических процессов или скрытая стадия их развития может быть соизмерима со временем эксплуатации самого гидротехнического сооружения. Если на начальной стадии инженерно-изыскательских работ при мониторинге не уделять внимания изучению динамики криогенных процессов, катастрофическая ситуация может возникнуть в любой момент при сооружении или эксплуатации объекта. Во избежание развития негативных процессов в ходе строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений, для контроля и прогноза состояния таких объектов необходимо использовать долговременные системы натурных наблюдений с помощью контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) и геофизического комплекса методов.

Стандартные программы и системы контрольных наблюдений оснований гидротехнических сооружений в криолитозоне предусматривают контроль динамики температурного режима, пьезометрических уровней и напоров в плотинах и их основаниях, а также геодезический контроль смещения и осадки сооружений. В

частности, при сооружении объектов в сложных инженерно-геокриологических условиях, такие программы не охватывают ряда проблемных задач прогноза взаимодействия природной и техногенной составляющих во временном диапазоне.

Статистические данные, описывающие состояние гидротехнических сооружений Якутии подтверждают, что в настоящее время активное развитие неблагоприятных факторов наблюдается, примерно, на 80% эксплуатирующихся объектов.

Кроме того, следует отметить, что традиционные методы контроля состояния гидротехнических сооружений - температурные наблюдения по имеющимся сетям скважин, не позволяют с требуемой детальностью надежно выделить пространственное положение таликовых и фильтрационных зон, их приуроченность к конкретным горизонтам геокриологической среды, частично, из-за недостаточно плотной сети наблюдательных скважин и слабой информативностью изучаемых параметров.

В свою очередь, сгущение сети наблюдательных скважин приводит к негативным дополнительным нагрузкам на гидросооружения, а традиционные методы не позволяют однозначно контролировать оттаивание засоленных пород при определениях фазового состава грунтов плотин и их оснований, которое может происходить в широком спектре отрицательных температур.

Состояние вопроса

Значительная часть задач контроля и прогноза состояния оснований сооружений гидроузлов, функционирующих в криолитозоне, связана;

- с выявлением границ мерзлых и талых пород,
- изучением динамики их положения в связи с нарушением естественного теплового режима в процессе строительства сооружений и заполнения водохранилищ,
- с необходимостью контроля за фильтрацией вод в береговые массивы,
- внедрением рассолов, вследствие изменения гидродинамических условий.

При решении перечисленных целевых задач особую значимость приобретают комплексные мониторинговые геофизические исследования.

Геофизические исследования основаны на изучении естественных и искусственных физических полей, формирующихся и развивающихся в геокриогенной среде. Структура этих полей и их динамика отражает состояние геокриогенной среды и характер происходящих в ней процессов под влиянием природных и техногенных нагрузок, определяющих состояние тела и основания гидротехнического сооружения.

Таким образом, только геофизический мониторинг ГТС является одним из важнейших видов специальных исследований при прогнозе и контроле развития неблагоприятных ситуаций.

Решение этих задач наиболее полно может быть решено с помощью методов электроразведки, из-за большой разницы в электропроводности и диэлектрической проницаемости мерзлых, талых и водонасыщенных пород, подвергающихся фильтрационным процессам, а также георадарных исследований.

Однако электроразведочный и георадарный мониторинг состояния гидротехнических сооружений в процессе строительства и эксплуатации осложнён множеством техногенных факторов. Среди них влияние различных строительно-эксплуатационных конструкций, промышленные и блуждающие токи, создающие значительные помехи для применения ряда методов, особенно электромагнитных, которые необходимо устранять.

Кроме того, объекты исследований, как правило, характеризуется сложной конфигурацией гидрогенных таликов, их значительной динамикой и техногенной неоднородностью тела плотины. Это отражается в существенной пространственной и временной изменчивости физических свойств мерзлых и талых грунтов оснований и тела плотины и требует нетрадиционных подходов к методике проведения отдельных видов

работ, статистической обработке данных, позволяющей существенно снизить уровень шумов на основе комплексных сочетаний методов инженерной геофизики.

Среди гидротехнических сооружений криолитозоны нет легких объектов для изучения, но, с точки зрения возможных негативных последствий воздействия на окружающую среду, наиболее критичными являются накопители минерализованных вод, прорыв которых из накопителей и попадание в наземные водотоки является недопустимым. Несмотря на то, что минерализованные воды, в силу контрастности по электропроводности, должны легко выявляться и картироваться электроразведочными методами, но задача ограничена влиянием следующих факторов:

- плотины и ограждающие дамбы многих накопителей отсыпаны щебнем засоленных пород вмещающих откачные рассолы, что значительно уменьшает глубинность и разрешающую способность электроразведочных геофизических методов;
- ликвидированные в процессе многолетней эксплуатации незапланированные протечки и просачивание минерализованных вод в нижнем бьефе создают многослойные геоэлектрические разрезы, или экранирующие фильтрующие аномалии.

В этой связи, крайне важен опыт использования геофизических методов при изучении и мониторинге состояния различных гидротехнических сооружений в процессе строительства и эксплуатации, для того, чтобы эти методы и методики могли быть использованы при создании современных методических рекомендаций по прогнозу и решению этого вопроса на законодательном уровне.

Ниже в работе приводится пример комплексного изучения состояния участка накопителя минерализованных вод (далее по тексту «накопитель»).

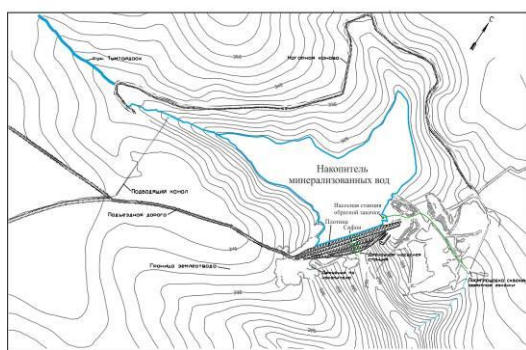


Рис.1 План (а) и общий вид накопителя Тымтайдах (б).



Рис.2. Типовое сечение накопителя минерализованных вод.

Накопитель является гидротехническим сооружением II класса и может эксплуатироваться более 25 лет. Он предназначен для приема и временного накопления дренажных вод из добычного карьера алмазной трубки перед последующей закачкой в

подмерзлотные водоносные высокоминерализованные горизонты. Плотина имеет выполненные из суглинка противофильтрационные элементы — ядро с зубом и понур (рис.2). Каменно-набросные верховая и низовая упорные призмы возведены из скальной вскрышной породы — мергелей и диабазового камня. Верховая и низовая упорные призмы отсыпаны из диабазового щебня. Низовая призма одновременно выполняет функции дренажа. Переходные слои между ядром и каменной набросной призмой выполнены из песка. По температурному режиму эксплуатации плотина относится к тало-мерзлотному типу. Хлоридно-натриевые рассолы, складываемые в накопитель, характеризуются высокой минерализацией - до 120 г/л.

В процессе эксплуатации в основании плотины формируется фильтрующий техногенный талик. Для контроля состояния объекта ведется мерзлотный надзор за формированием температурного и фильтрационного режимов грунтов тела и основания плотины - пруда накопителя минерализованных вод карьера.

В настоящее время одной из основанных проблем эксплуатации накопителя минерализованных вод является фильтрация в основании левого крыла плотины. Близ расположенные к плотине выходы воды отмечаются в левобережной части нижнего бьефа. Зоны фильтрационных потоков в нижнем бьефе прослеживаются по выходам воды с высокой минерализацией, что отчетливо наблюдалось при полевых работах (рис.3-5).



Рис. 3. Выход фильтрата в левобережной части нижнего бьефа накопителя.



Рис.4. Пересохший источник, покрытый солью.



Рис.5. Схема расположения выхода фильтрата и направление их потока.

Задачи и методы исследований

В соответствии с возникшими обстоятельствами, - основной задачей исследований являлось картирование фильтрационных потоков в теле и нижнем бьефе левой части плотины и выявление обводненных и минерализованных участков в нижнем бьефе.

Для оценки ситуации использовался комплекс геофизических работ представленный электроразведочными методами ДИП (дипольное индуктивное профилирование) и МПП (метод переходных процессов), метод электротомографии и георадиолокации. В качестве дополнительной информации использованы материалы по пьезометрическим уровням и температурным наблюдениям в наблюдательных скважинах.

Состав методов и технических средств инженерных геофизических изысканий

Работы методом ДИП проводились аппаратурой ЕМ-34 фирмы Geonics (см. рис.6).

Для проведения работ были разбиты профили с шагом 10 м. Методика работ заключается в измерении электромагнитного поля, создаваемого генераторным диполем, с использованием 3 разносов (10, 20 и 40 м) между генераторным и приемным диполем [5] и двух положений рамок (вертикальное и горизонтальное). Использование 3-х разносов и двух положений рамок позволяет добиться исследования строения разреза до глубины 50 м. Следует отметить что в настоящее время появилась новая современная модификация аппаратуры ДИП аналог ЕМ-34 фирмы Geonics, - Promis.



Рис.6. Полевые работы с аппаратурой EM-34 фирмы Geonics.

Работы методом МПП выполнялись аппаратурой «Импульс-авто» фирмы ЗАО Аэрогеофизическая разведка.

Для проведения работ использовалась установка, состоящая из генераторной (7 x 4 м) и приемной петель (2 x 3 м). В генераторную петлю подавался ток 2 А, а в приемной происходило измерение переходного процесса характеризующего свойства изучаемой среды. Съемка велась непрерывно, с автоматической записью GPS координат.

Обработка данных, полученных при измерениях с аппаратурой «Импульс-Авто», была выполнена в программе «KenAnaliz» (СНИИГГиМС). При обработке данных выполнялась фильтрация кривых становления, обрезка и удаление временных интервалов, искаженных сильной электромагнитной помехой, расчет значений ρ_t и S_t , 1D инверсию. Визуализация материалов МПП в форме геоэлектрических разрезов $\rho_t(z)$ позволяет с достаточной для практики точностью локализовать участки талых пород среди мерзлых, то есть фактически выполнить объемное картирование исследуемого талика [1].

Этому в значительной степени способствует высокая контрастность по удельному электрическому сопротивлению литологических разностей, слагающих верхнюю часть разреза, в их мерзлом и талом состояниях.



Рис.7. Момент сборки приемно-генераторной установки МПП.

Для работ методом **геоэлектрической томографии** [4] использовалась электроразведочная аппаратура Syscal Pro Switch 72. Термин электротомография вошел в «Свод Правил» Госстроя России [СП 11-105-97, 2004] и будет использоваться в нашей работе. Syscal Pro - многоэлектродная многоканальная высокоскоростная станция с интеллектуальным аппаратным программным обеспечением, позволяющая решать двумерные и объемные задачи в режиме реального времени. Обработка для каждой из используемых установок (шлюмберже, диполь-дипольная и трехэлектродная) проводилась в специализированной программе Res2Dinv. Путем подбора оптимальных параметров строились геоэлектрические разрезы для каждой из установок. Полученные в итоге данные о геоэлектрических характеристиках среды позволяют на качественном и количественном уровне выделять и картировать растепленные (талые) и фильтрационные участки.



Рис.8. Аппаратура Syscal Pro Switch 72.

При работах методом **георадиолокации** использовалась аппаратура SIR -2000 (антенна с частотой 200 МГц) фирмы GSSI,- лёгкая портативная одноканальная радарная система, предназначенная для общего исследования верхних слоёв земной поверхности. Временной диапазон 5 – 2000 нс. Скорость подачи импульсов 8 – 64 КГц. Разрешение по вертикали 128–2048 точек на сканирование. Оцифровка 8 или 16 битная [2].

Обработка радарограмм проводилась в программах RadExplorer, и Georadar-expert. В RadExplorer путем фильтрации и применения других математических операций снижалось влияние помех, усиливался сигнал, выделялись возможные отражающие геоэлектрические границы, и выявлялась структура разреза. Данные георадиолокации также были обработаны в программе Georadar-expert, где определялось распределение диэлектрической проницаемости пород в разрезе. Зоны повышенной диэлектрической проницаемости указывают на наличие растепленных (талых) или обводненных минерализованных участков.

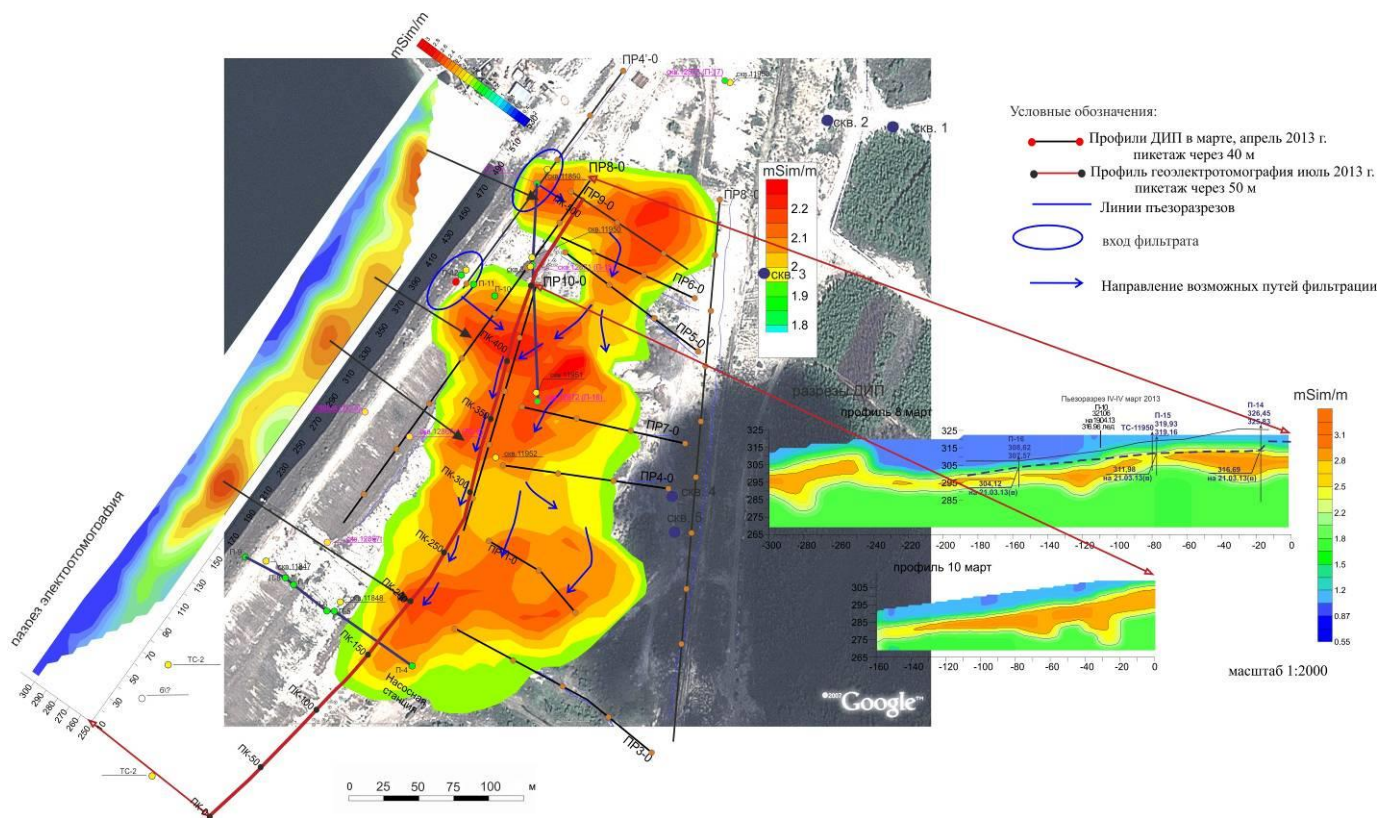


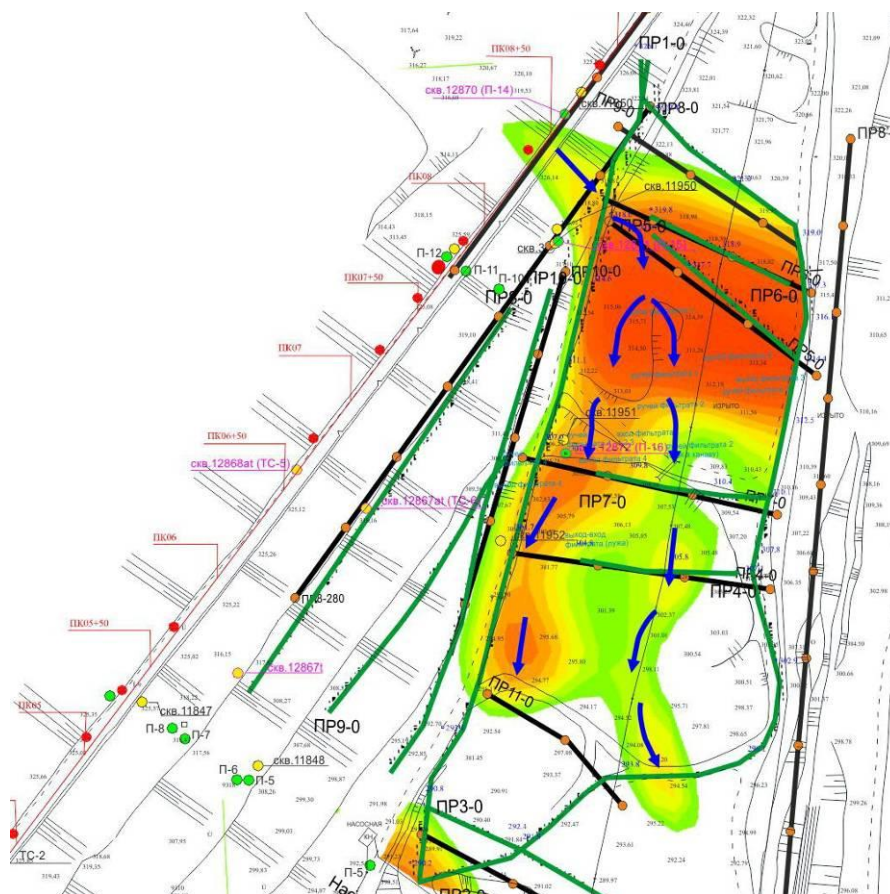
Рис. 9. Автомобильный вариант полевых работ методом георадиолокации.

Результаты работ

Работы были начаты в конце зимнего периода в марте-апреле (в наиболее контрастный период для применения бесконтактной электроразведки, когда отсутствует сезонно талый слой) и завершены в июне (в период благоприятный за счет хороших условий заземления приемо-питающих электродов для применения кондуктивной электроразведки).

Как уже упоминалось, комплекс инженерно-геофизических работ был представлен электроразведочными работами, которые включали в себя работы методом ДИП (дипольное индуктивное профилирование) и МПП (метод переходных процессов), а также геоэлектрическую томографию и георадиолокацию. В качестве дополнительной информации использованы материалы по пьезометрическим уровням на плотине и температурные наблюдения, предоставленные Мирнинским ГОКом и отделом Мерзлотного надзора Института Якутнипроалмаз.





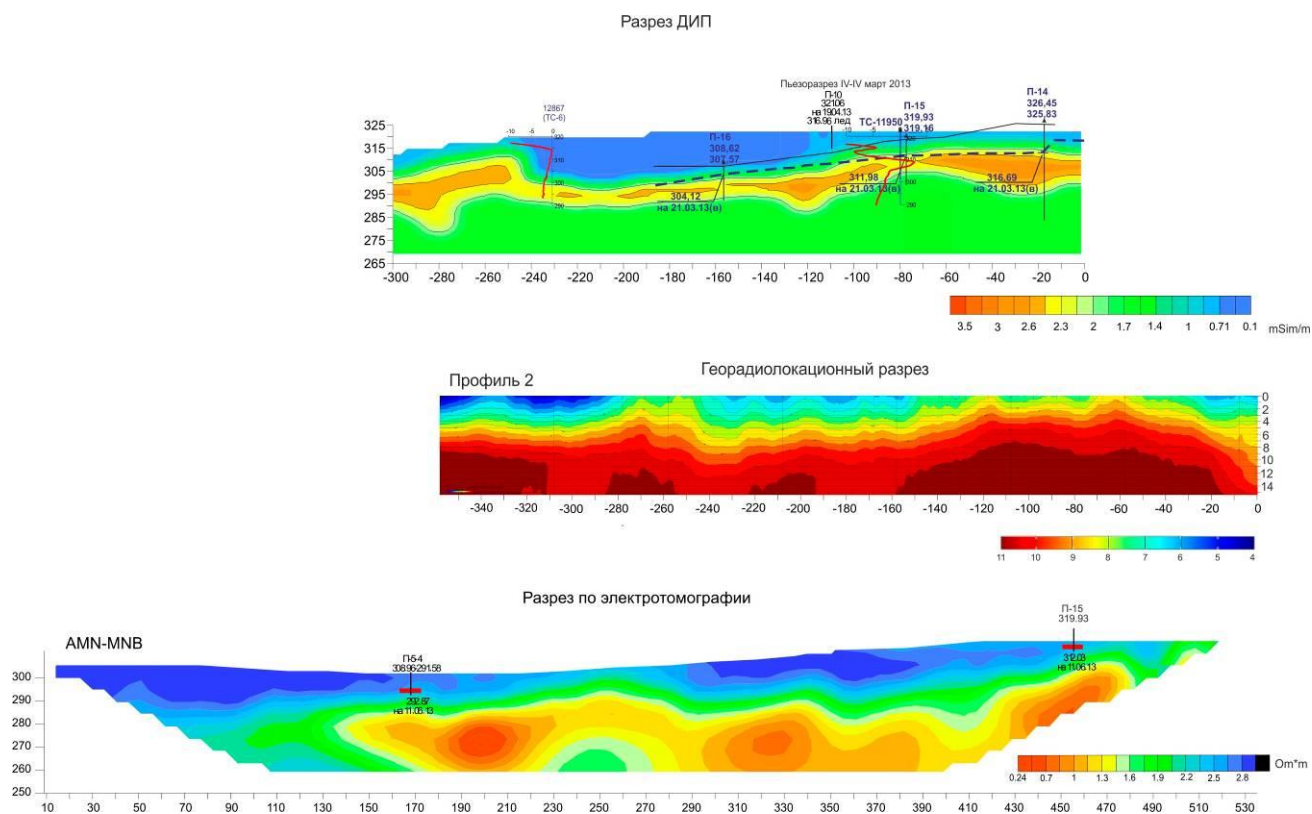


Рис.13. Сравнение геоэлектрических разрезов по данным ДИП, георадиолокации и томографии.

Методы ДИП и МПП позволяют выделять в разрезе пласты низкого удельного электрического сопротивления среди более высокоомных вмещающих пород. Метод ДИП обладает большей глубиной исследования по сравнению с использованной установкой МПП. С помощью метода ДИП удалось выделять пласты низкого сопротивления на глубинах до 30 метров (см. рис. 13), тогда как применение МПП позволило получить информацию о геоэлектрических характеристиках только верхней части разреза до 15 метров (см. рис. 10).

Помимо основных геофизических методов в комплекс были включены вспомогательные методы: георадиолокация и электротомография. С помощью георадиолокации предполагалось изучить структурное строение верхней части разреза, а также оценить возможность получения информации о диэлектрической проницаемости грунтов с помощью программы Геоэксперт [2]. Эта программа очень перспективна, так как является новым словом в обработке данных георадиолокации и предназначена для полуавтоматизированной обработки данных георадиолокационного профилирования с целью построения электрофизических разрезов исследуемой среды. Программа позволяет производить построение разрезов, как в случае наличия отражающих границ, так и в случае непрерывного изменения электрофизических свойств по профилю наблюдений и по глубине. С ее помощью можно получать не только положение отражающих границ, но и такие параметры как диэлектрическая проницаемость, добротность, объемная влажность и др. Но пока она находится в стадии доработки и ее результаты не всегда соответствуют реалиям, что заставляет пользователей осторожно относиться к ее результатам и делать выводы, используя априорную информацию о характере и составе изучаемых разрезов.

Электротомография проводилась с целью контроля и уточнения местоположения аномалий, полученных по данным ДИП, а также для изучения геоэлектрического строения участка с развитием фильтрационных процессов. Развитие этого метода привело к появлению новой методики, которая нацелена на изучение сложно построенных сред и которая позволяет проводить интерпретацию в рамках двумерных моделей [4].

Комплексная интерпретация предложенных методов позволяет повысить достоверность интерпретации при выявлении и картировании путей фильтрационных потоков.

В результате проведенных комплексных геофизических работ были получены геоэлектрические разрезы и карты электропроводности, позволившие определить контуры распространения зоны влияния фильтрационных процессов и выявить пути основных потоков (см. рис.10-13).

Выводы

Приведенные результаты комплексных геофизических исследований существенно дополняют результаты термометрических и пьезометрических наблюдений и в условиях нестационарных режимов эксплуатации позволяют своевременно выявить и локализовать негативные процессы, происходящие на ГТС.

Так например, геоэлектрическая томография, как наиболее точный метод получения геоэлектрического строения позволила использовать эти данные в опорной геоэлектрической модели и внести поправки по глубине в результаты профилирования методами ДИП, МПП и георадиолокации.

С другой стороны использование последних сильно ускоряет проведение работ, по сравнению с томографией, не имеет сезонных ограничений свойственных кондуктивным электроразведочным методам и позволяет обойти участки трубопроводов и сооружений системы обратной закачки, являющиеся источниками помех для томографии.

Совместное использование методов ДИП, МПП и георадиолокации также существенно расширяет возможности оценки состояния изучаемого объекта. В частности, георадиолокация позволила выявить приповерхностные минерализованные участки и избежать их отнесения в разряд глубинных водонасыщенных коллекторов.

Но более широкое использование возможностей метода георадиолокации было осложнено разнообразием условий на поверхности, в том числе микрорельефом и электрическими свойствами мозаично засоленных покровных отложений. Следует отметить, что можно повысить эффективность метода за счет разносезонных мониторинговых исследований. Например, проведение исследований в зимний период, как наиболее контрастный по электрическим свойствам, за счет отсутствия влияния сезонного оттаивания и в осенний период, когда возможно смыкание сезонно-талого слоя с фильтратом минерализованных вод.

Впрочем, этот вывод о целесообразности мониторинговых всесезонных исследований справедлив для всех бесконтактных электроразведочных методов.

Одним из важных результатов можно считать, что использование малоглубинной установки МПП позволило установить, что основная фильтрация проходит по дренажной канаве. В то же время по данным ДИП зона повышенной электропроводности отличается по конфигурации от плана электропроводности по данным МПП за счет большей глубинности используемой установки, при общей тенденции присутствия вытянутой зоны повышенной электропроводности вдоль дренажной канавы в низовом откосе. Кроме того, по результатам электроразведочного картирования устанавливается, что прямого выхода фильтрата в поверхностные водотоки не происходит, что также подтверждается данными резистивиметрии по ручьям и в нижнем бьефе плотины накопителя. Таким образом, была рекомендована прочистка дренажной канавы, что позволит повысить эффективность действующей системы обратной закачки.

Проведенные геофизические исследования позволяют выявлять и определять динамику криогенных и фильтрационных процессов и должны использоваться совместно с регулярными наблюдениями за температурным режимом ГТС и динамикой пьезометрических уровней в теле гидротехнических сооружений (плотин и дамб) и в нижнем бьефе.

Список литературы

1. Импульсная индуктивная электроразведка таликов криолитозоны Центральной Якутии. Якутск 2003 Стогний В.В.
2. Обработка георадарных данных в автоматическом режиме, журнал «ГЕОФИЗИКА» №4 за 2010 г. Р. Р. Денисов, В. В. Капустин.
3. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации.
4. Бобачев А.А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006, № 02, 14-17.
5. GROUND-BASED GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS IN THE SECO CREEK AREA, MEDINA COUNTY, TEXAS by Jeffrey G. Paine and Edward W. Collins Bureau of Economic Geology John A. and Katherine G. Jackson School of Geosciences The University of Texas at Austin.