

Изучение фильтрационных таликов в основании грунтовой плотины
Сытыканского гидроузла методами инженерной геофизики.

Бойков С.А. .Великин С.А

Снегирев А.М.

Кучмин О.А.

Вилуйская научно-исследовательская мерзлотная станция, ИМЗ, РАН

Аннотация.

В основании и теле грунтовой плотины Сытыканского гидроузла (Западная Якутия) с 1995 г. отмечена интенсификация развития гидрогенных таликов с прогрессирующими потерями воды из водохранилища и деформацией тела плотины.

Рассмотрены вопросы методики и результаты комплексных инженерно-геофизических исследований, выполненных Вилуйской научно-исследовательской мерзлотной станцией в 1997 г., для установления параметров таликовой зоны и динамики ее развития с целью выработки комплекса мероприятий по сокращению фильтрации из водохранилища и обеспечению устойчивости плотины.

Показана, в частности, высокая информативность частотного электропрофилирования при исследованиях в зимних условиях; отмечены особенности проведения сейсмических и геолокационных работ. Применена нетрадиционная методика наземных измерений естественного электрического поля при наливах рассолов в скважины, позволившая определить основные пути и направления фильтрационных потоков. Применены различные способы и программы обработки сейсмических и радиолокационных данных.

Сформирован компьютеризированный банк данных о состоянии плотины, включающий обширную гидрогеологическую, геотермическую и геофизическую информацию для оперативной подготовки и выдачи материалов под проекты противофильтрационных мероприятий.

Введение.

В последние годы в основаниях ряда гидротехнических сооружений и в грунтовых плотинах различного назначения, возведенных в условиях криолитозоны Западной Якутии активно развиваются процессы оттаивания, фильтрации воды через тот или иной конструктивный элемент, процессы суффозии, просадки и др. Во избежание серьезных последствий на этих объектах ведутся ремонтно-восстановительные работы и осуществля-

ются специальные срочные гидрогеологические и геофизические исследования, направленные на выявление и локализацию участков, опасных с точки зрения эксплуатации. Наиболее полно эти исследования осуществляются на Сытыканском гидроузле и, тем не менее, из-за динамичности процессов и продолжающегося техногенного воздействия на основание и тело плотины создаются новые условия, подлежащие постоянной оценке и определению.

Следует заметить, что из-за сложности и уникальности каждого комплекса гидротехнических сооружений к настоящему времени не создан соответствующий универсальный комплекс методов и методик исследования, а также не отработана до конца методика инженерно-геокриологического прогноза взаимодействия основных элементов гидросооружений. Главная причина, на наш взгляд, заключается в низком уровне мониторинга на строящихся и эксплуатируемых гидротехнических объектах и отсутствие в нормативно-методической литературе регламента по этому мониторингу в условиях криолитозоны.

Сытыканский гидроузел является важным сооружением Удачинского ГОКа, обеспечивающим водоснабжение его гражданских и промышленных объектов. В конструктивном отношении плотина гидроузла является насыпной грунтовой, водонепроницаемость которой обеспечивается мерзлотной завесой, создаваемой системой термосифонов с принудительным воздушным охлаждением. В 1995 г. в основании плотины зафиксировано развитие фильтрационных таликов, а в последующие годы отмечена резкая активизация их развития с прогрессирующим оттаиванием мерзлого основания плотины.

Для оценки криогидрогеологической ситуации в районе плотины и выработки соответствующих противофильтрационных мер защиты в 1996-1997 гг. силами Вилуйской НИМС и других организаций выполнены значительные объемы наземных и скважинных геофизических исследований.

Цели и задачи исследований.

Целевым назначением геолого-геофизических исследований является оперативная оценка состояния Сытыканской плотины для выработки комплекса мероприятий, направленных на исключение потерь воды из водохранилища и обеспечение устойчивости тела плотины.

В число основных задач первого этапа исследований входило:

- определение границ таликов и динамики их развития в теле и основании плотины;
- выявление в пределах таликов основных направлений и путей фильтрации через плотину и возможных обходных путей фильтрации.

Одновременно с этим решались задачи методического характера по выбору оптимального комплекса инженерно-геофизических методов в условиях Сытыканского гидроузла, путем их опробования и адаптации к решению конкретных задач текущих исследований. Перспективной методической задачей являлась также разработка основ геофизического мониторинга состояния тела и оснований Сытыканской плотины.

Состав работ и методика полевых исследований.

Рассматриваемый объект исследований характеризуется сложной конфигурацией гидрогенных таликов, их значительной динамикой, техногенной неоднородностью тела плотины, что отражается в существенной пространственной и временной изменчивости физических свойств мерзлых и талых грунтов оснований и тела плотины и создает значительную мозаичность строения исследуемой среды. Другого рода осложняющими техногенными факторами являются различные строительно-эксплуатационные конструкции и коммуникации. Наличие этих конструкций в грунте, воде и воздухе создает значительные помехи для применения ряда методов, особенно электромагнитных. Все это потребовало выработку нетрадиционных подходов к методике проведения отдельных видов работ и к обработке данных полевых исследований, обусловило необходимость комплексирования различных методов инженерной геофизики.

Из наземных методов исследований в состав работ ВНИМС были включены высокочастотное электрическое профилирование ВЧЭП, электропрофилирование по методу естественного поля ЕП, геолокация, сеймопрофилирование и сейсмондирование. Кроме того в небольшом объеме были опробованы другие методы электро- и сейсмометрических исследований, не нашедшие дальнейшего применения.

Скважинные наблюдения на Сытыканской плотине включали многолетние режимные температурные измерения, а на момент наиболее интенсивных полевых работ 1997 г. - комплекс каротажных исследований (резистивиметрия, расходометрия, гамма каротаж - ГК, нейтронный гамма каротаж - НГК, каверномерия) в специальных гидрогеологических скважинах. Эти работы в основном проводились сторонними организациями, а участие ВНИМС выражалось в компьютеризации и обработке данных температурных и каротажных исследований.

Одним из первых источников объективной информации о начале развития фильтрационных таликов в основании плотины явились данные режимных *температурных измерений*, проводимых с 1990 г. Густота сети наблюдательных термометрических скважин (индекс ТС) и их глубинность оказались недостаточными для оценки пространствен-

ного расположения фильтрационных таликов и динамики их развития. Наибольшее количество этих скважин расположено в пределах гребня насыпной плотины вдоль линии охлаждающих термосифонов (рис.1) и только небольшая часть вынесена в верхний и нижний бьефы и в водосбросной канал.

Температурные измерения ВНИМС выполнялись в части наблюдательных скважин (ТС) в основном для получения оперативной информации о положении границ фильтрационных таликов на момент проведения сезонных геофизических работ. Кроме того температурные измерения осуществлялись в ряде гидрогеологических скважин (индекс П). Выполнены также профильные температурные измерения на акватории водохранилища с воды и со льда .

Электроразведочные работы явились основным источником информации о площадном распространении таликов вне линии наблюдательных температурных скважин. Сетью электроразведочных профилей были покрыты нижний и верхний бьефы и гребень грунтовой плотины, кроме того, часть этих профилей была вынесена в акваторию водохранилища.

Метод ВЧЭП, являющийся одним из информативных и оперативных методов картирования границ распространения мерзлых и талых пород, был опробован на начальной стадии геофизических работ ВНИМС (апрель 1997 г.) в условиях снежного покрова и наличия сезонного промерзания грунтов, препятствующих применению других электрометрических методов, требующих гальванического заземления электродов. Определяющим фактором применения этого метода явилась возможность использования бесконтактных (емкостных) антенн - симметричных диполей. Размеры диполей и база измерений были определены по данным дипольных электромагнитных зондирований, выполненных у нескольких термоскважин с известными параметрами залегания мерзлых и талых пород. Электропрофилирование ВЧЭП проводилось на двух частотах: 2 КГц и 8 КГц с шагом наблюдений 2,5 м. Измерения выполнены по серии профилей, параллельных оси плотины и по нескольким поперечным связывающим профилям (рис.2).

Метод естественного электрического поля ЕП, хорошо зарекомендовавший себя при гидрогеологических исследованиях, применялся для выделения основных путей фильтрации в пределах обширных таликов Сытыканского гидроузла. Первоначально измерения ЕП проведены по ряду наземных профилей в верхнем и нижнем бьефе плотины;

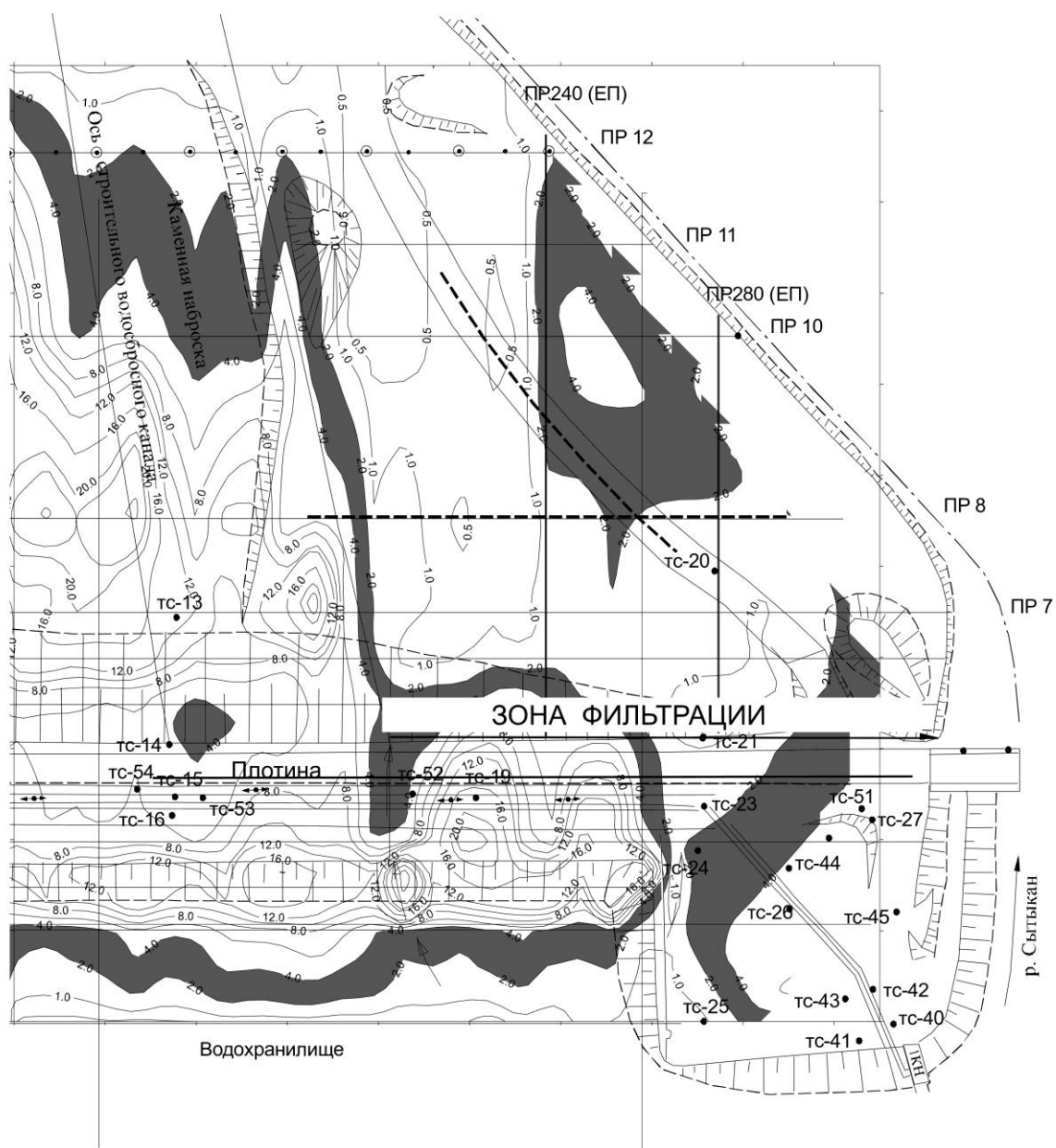
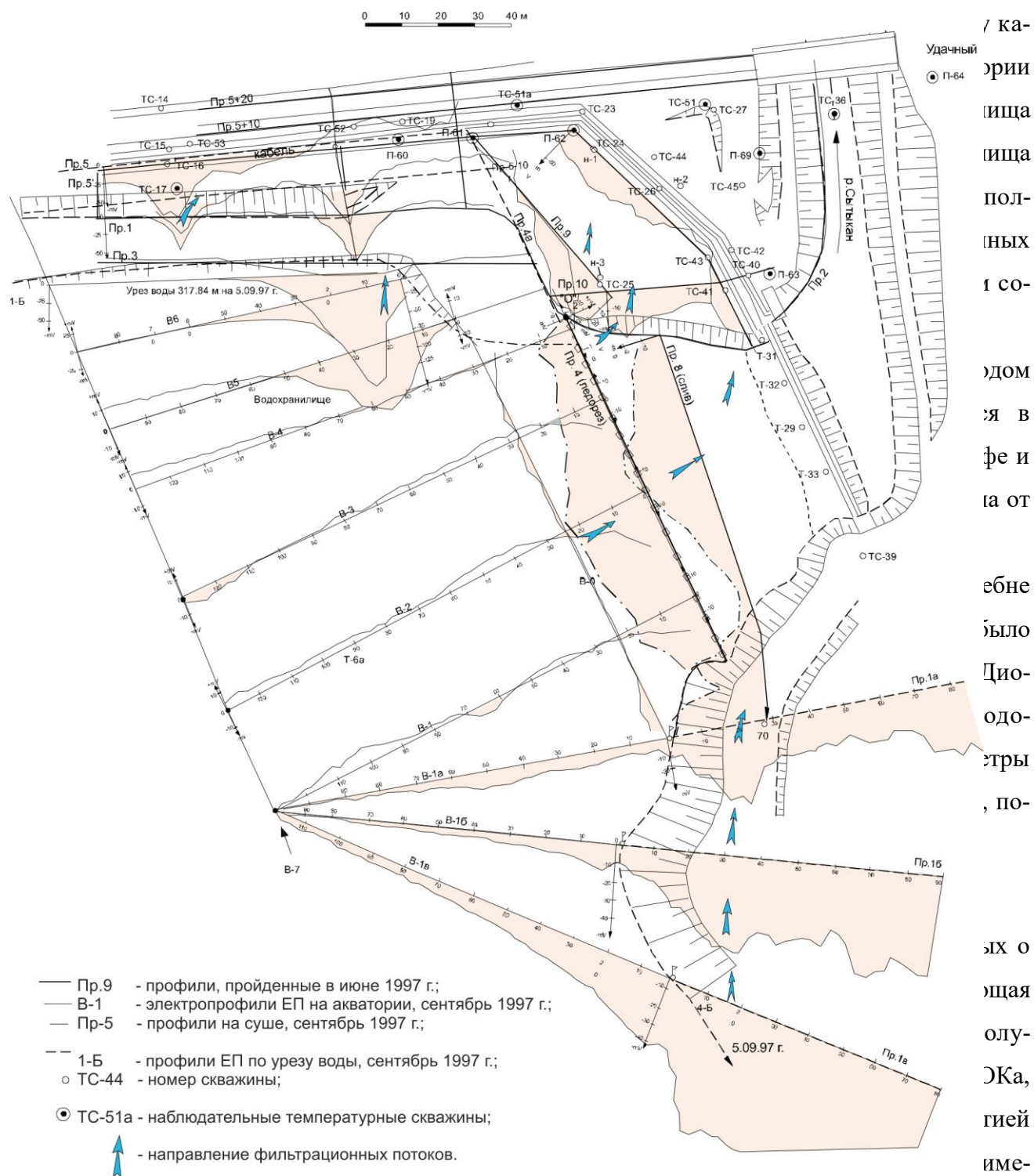


Рис. 2. Выделение фильтрационных таликов (темные тона) методом частотного электропрофилирования ВЧЭП (фрагмент карты равных сопротивлений; 8 кГц).



нения отдельных методов и методик для решения конкретных задач, взаимоувязать данные различных методов.

Анализ совокупности всей информации позволяет сформулировать основные результаты исследований к настоящему моменту.

Рис. 3. Схема распространения отрицательных аномалий ЕП
В верхнем бьефе водохранилища (сентябрь 1997 г.)

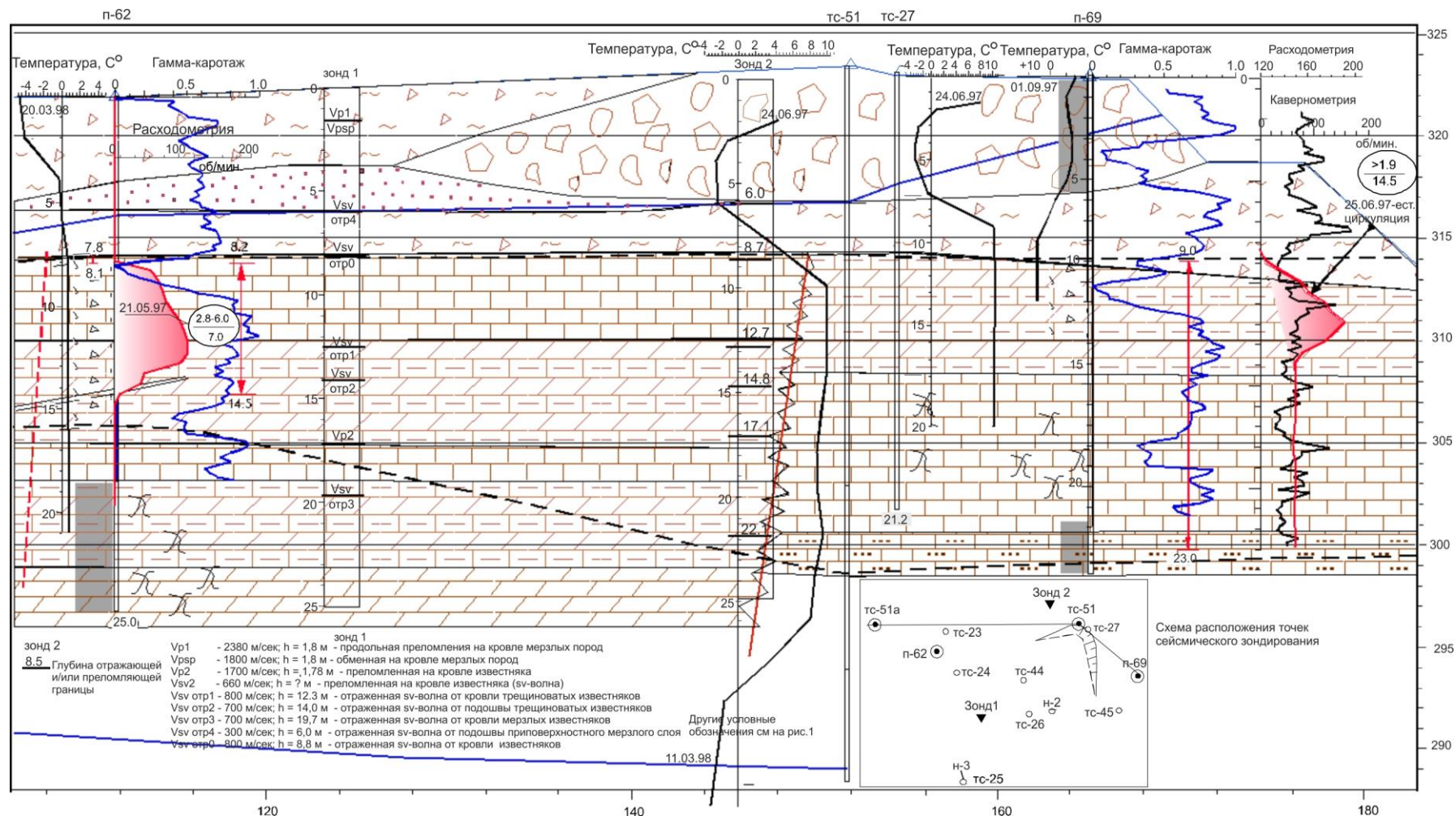


Рис. 4. Выкопировка из геолого-геофизического разреза по профилю 1 (скв.п-62-п-69) с интерпретацией данных сейсмического зондирования (определение природы волн и глубины отражающих и преломляющих границ).

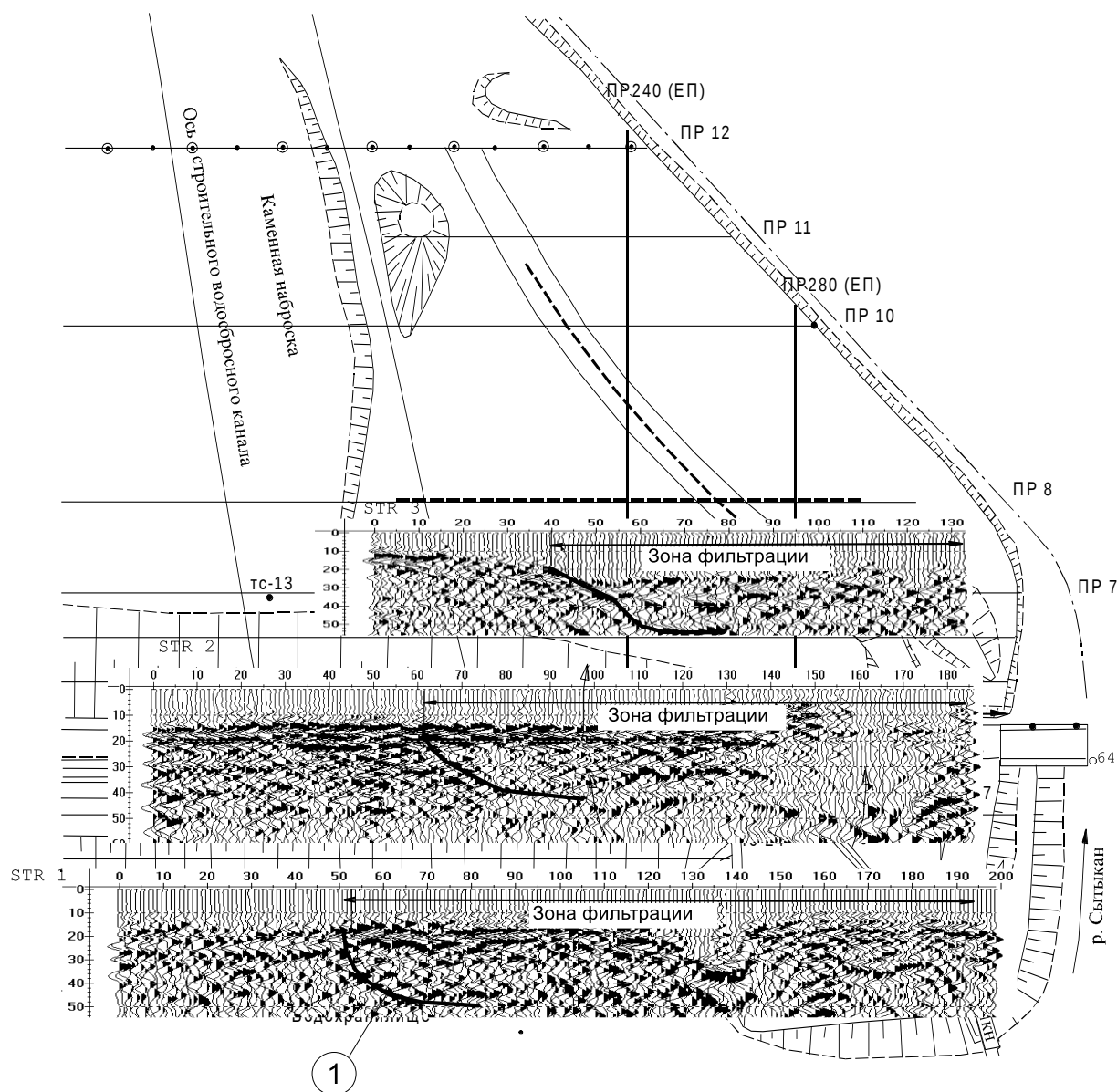


Рис. 5. Выделение фильтрационных зон по данным сейсμοпрофилрования.

1 – граница талика.

1. Изначальное распространение гидрогенных таликов шло со стороны водосбросного канала и водохранилища по отдельным водопроницаемым зонам на уровне наиболее прогретых водных слоев водохранилища. На конец 1995 г. в пределах оси плотины талик не доходил до скважины ТС-23 (рис.1), а максимальные мощности его в основном не превышали 10-15 м. Резкая активизация талика отмечена на лето 1996 г.

2. Максимальная мощность талика на октябрь 1997 г. составила 36 метров (рис.1а , скв.51). Максимальная зафиксированная мощность таликовой зоны под водосбросом составила 28 м.

3. Динамика нулевой изотермы (рис.1б) показывает, что к марту 1998 года изменение положения границы зоны достигло максимума. В течение последних 1-3 месяцев эти изменения носили затухающий характер. Площадь сечения выявленной таликовой зоны по профилю, проходящему вдоль линии термосифонов составила на март 1998 г. около 5200 м².

4. Верхняя граница талой зоны практически повторяет рельеф кровли коренных пород. Динамика положения нулевой изотермы показывает, что фильтрация в основном развивается в коренных породах (рис. 1а).

5. Геофизические исследования весеннего периода 1997 года (частотное электропрофилирование, сейсморазведка) выявили в плане зону талых и фильтрующих пород (рис.1,2,3), ширина которой несколько превышает ширину талика, определенную по данным термометрических наблюдений. Это обстоятельство объясняется недостаточной сетью наблюдательных скважин, а также существенным искажающим влиянием на оценку температурного поля замораживающих конструкций.

6. Данными электрометрических, сейсмометрических и скважинных исследований установлены основные направления и пути фильтрации подземных вод.

7. Данными профильной съемки методом естественного электрического поля и геолокационных работ на акватории водохранилища, выполненных со льда водохранилища не выявлено наличие фильтрационных потоков из центральной части водохранилища в районе старого русла Сытыкана. Мощность таликовой зоны в правобережной части изучена фрагментарно и составила около 30 м .

Сформулированные в общем виде результаты исследований основаны на анализе и обобщении результатов интерпретации данных, полученных каждым методом в отдельности. Краткое обсуждение этих данных и информативность отдельных методов приведены ниже.

Электропрофилирование ВЧЭП в целом показало высокую информативность при определении общих контуров гидрогенного талика в нижнем бьефе плотины.

В результате компьютерной обработки данных ВЧЭП построены карты изолиний $\rho_{эф}$ (эффективное удельное электрическое сопротивление) для частот $f = 2$ КГц и 8 КГц, фрагмент одной из которых представлен на рис.2. Установлено, что участкам развития фильтрационных таликов в основном отвечают значения $\rho_{эф}$ менее 1-2 кОм м (правая часть фрагмента - темные тона). На участках развития мерзлых пород значения $\rho_{эф}$ превосходят 5-10 кОм м (левая часть фрагмента - светлые тона), достигая значений 20-50 кОм м в поле развития крупнообломочных отложений нижнего бьефа. На гребне плотины поле низких сопротивлений, отвечающее талику, прерывается зоной высоких значений $\rho_{эф}$, что несомненно связано не только с глубоким сезонным промерзанием в поле термоохлаждающих сифонов, но и с влиянием самих металлических конструкций термосифонов, которое требует специального учета.

Метод ЕП. Обработка данных ЕП показала сложную структуру естественного поля, вызванную не только спецификой геолого-гидрогеологических условий участка, но и в основном в связи с наличием техногенных помех различного знака от металлических и железобетонных конструкций, что в значительной степени затруднило истолкование данных ЕП.

Для акватории водохранилища и приплотинной части верхнего бьефа, где влияние техногенных неоднородностей было минимально или поддавалось отбраковке, построена схема отрицательных аномалий ЕП и интерпретация велась в традиционной форме. В периферийной части акватории выявлен ряд отрицательных аномалий, часть из которых отнесена к фильтрационным (рис.3):

- в водоприемном канале (профили 4,8) отрицательные аномалии связаны с возрастанием электрических потенциалов течения, а минимумы значений ЕП отвечают зонам наиболее интенсивного подземного стока;

- на правом борту водохранилища (профили 1а - 1в) выявлена обширная зона отрицательных значений ЕП (до -80 мВ), левая часть которой отнесена к обходному каналу фильтрации. Это было подтверждено данными сейсмометрии, а затем бурением;

- в левобережной части верхнего бьефа также отмечен ряд локальных отрицательных аномалий (пр 9,10,5), которые отвечают путям фильтрации вод из водохранилища;

- в левобережной части акватории, примыкающей к грунтовой плотине по ряду профилей (В-4,5,6) выявлены интенсивные отрицательные аномалии (до -250 мВ), ось ко-

торых ложится на линию водосбросного сифона, отнесены к техногенным аномалиям-помехам.

Данные измерений ЕП, выполненных на гребне и в нижнем бьефе плотины, также показали наличие ряда отрицательных аномалий, часть из которых отнесена к фильтрационным, часть к техногенным. Для выяснения путей фильтрации подземных вод из водохранилища в нижний бьеф была опробована нетрадиционная методика в виде повторных профильных измерений ЕП при наливе рассолов в ряд гидрогеологических скважин, расположенных в основном на гребне плотины. Установлено, что прохождение засоленных вод сопровождается значительным изменением уровня ЕП по сравнению с естественными (фоновыми) значениями, и что знак приращения может быть и положительным и отрицательным. В обоих случаях наличие аномальных приращений ЕП было связано с высокой фильтрационной проницаемостью грунтов, что подтверждено и данными расходомерии. По данным повторных измерений ЕП и сравнения исходных (фоновых) значений потенциала естественного поля со значениями, наблюдаемыми после наливов, составлена сводная схема распространения фильтрационных потоков в нижнем бьефе плотины.

В проведенной работе сделана также попытка оценки скоростей фильтрации по данным повторных измерений ЕП.

Геолокационные работы. В отличие от практически всех геофизических исследований, георадарные исследования имеют чрезвычайно большую плотность наблюдений, что ставит большие проблемы перед обработкой, но зато повышает детальность и информативность исследований. Обработка георадаролокационных данных проводилась путем различных видов фильтраций по программе “GPRSoft 1,5”, разработанной фирмой “ГСД Продакшен” и программе фильтрации, разработанной ВНИМС.

Наиболее сложной являлась оценка состояния самой дамбы, поскольку работы проводились вдоль труб замораживающей системы и осветительной линии, являющихся мощным источником помех. Для обработки использовалась совместная корреляционная обработка радарограмм на разных временных интервалах зондирования. Это позволило снизить влияние мелких дифрагирующих объектов, сопоставимых по влиянию с геологическими объектами. Полученная в результате обработки синтетическая радарограмма представлена на рис.1в. На радарограмме выделяется характерная зона, отвечающая фильтрационному талику (рис.1а), протяженность которой несколько шире границ талика, определенным по данным термометрии. Эта граница по форме совпадает с границей талых пород, выделенных на временном сейсмическом разрезе. Таким образом, принципи-

альная возможность выделения талых горизонтов существует, но решение этой задачи на более качественном уровне с глубинной привязкой требует проведения немалого объема опытно-методических работ.

По данным геолокации со льда водохранилища прослежена граница донных отложений, выделена их водонасыщенная часть. Характер радарограмм позволяет предполагать отсутствие в пределах исследованного профиля фильтрующей зоны ниже старого русла Сытыкана.

Представленные материалы, результаты обработки и выводы могут считаться лишь предварительными, главным образом из-за недостаточной информации об электрических свойствах пород разреза. Тем не менее в результате проведенного тестирования данные геолокации неплохо взаимоувязываются со всем комплексом имеющийся гидрогеологической и геофизической информации.

Сейсмометрия. На основании данных сейсмических зондирований приведен анализ волновой картины поля (материалы Скворцова А.Г.) с выделением различных типов сейсмических волн с оценкой особенности их регистрации и информативности. В частности по преломленным волнам уверенно выделена граница кровли мерзлых пород, по отраженным поперечным волнам - подошва сезонно-мерзлых пород, границы трещиноватого известняка, в пределах которого по данным скважинной расходометрии отмечается наиболее интенсивная фильтрация и др. В качестве примера на рис. 4 вынесены отдельные результаты сейсмических зондирований, где видно, что часть выделенных сейсмических границ в целом хорошо согласуются с границами геокриологического разреза.

При обработке данных сейсмопрофилирования на постоянных базах вблизи профилей скважин, вскрывших талые зоны, были отмечены характерные провалы сейсмических границ, связанные с понижением пластовых скоростей в массивах талых пород по сравнению с мерзлыми. Такие закономерные границы были отмечены на всех профилях. По данным сейсмопрофилирования с учетом имеющейся геолого-геофизической информацией была выделена и протянута зона распространения талых пород от нижнего бьефа левого берега до верхнего бьефа. Эта зона хорошо увязывается с зоной талых пород, выделенной высокочастотным электропрофилированием (ВЧЭП) (рис.2). Фрагменты отдельных сейсмопрофилей представлены на рис. 5.

Для повышения эффективности сейсморазведки необходимо определение скоростей в скважинах и шурфах с помощью специальных зондов.

Скважинные исследования. Проведен анализ и обобщение всех скважинных гидро-геологических и геофизических данных. Для этой цели был компьютеризирован весь объем имеющейся информации, обработаны результаты каротажных наблюдений, что дало возможность построить необходимые для анализа ситуации геолого-геофизические разрезы по профилям скважин.

Анализ материалов позволил выделить горизонты фильтрующих пород и уточнить их геологическую привязку. Фильтрующие горизонты выделяются расходомерией и приурочены в основном к кровле трещиноватых известняков в верхней части разреза, залегающими под рыхлыми отложениями или под насыпными грунтами (рис.4). Данные расходомерии из-за отсутствия тарировки прибора были получены в безразмерном виде (обороты/минуту), что не позволило сделать количественных оценок.

Верхняя граница фильтрующих горизонтов в целом контролируется уровнем грунтовых вод, мощность наиболее активных фильтрационных потоков в основном не превышает 7-10 м. Анализ данных резистивиметрии и термометрии подтверждает этот вывод. Данными единовременных температурных измерений на водохранилище и в гидрогеологических скважинах на гребне плотины и в нижнем бьефе установлена тесная связь между подземными водами фильтрационных таликов и водами водохранилища.

Прделанная работа дает возможность детально оценить строение и состояние пород разреза на изученных участках профилей скважин, а полученная графическая основа может быть использована как база в дальнейших исследованиях, связанных с оценкой состояния сооружения и эффективности противифльтрационных мероприятий.

Заключение.

На основе материалов режимных, повторных и одноразовых наблюдений показана высокая информативность примененного комплекса геофизических исследований состояния и пространственно-временной изменчивости основания и тела плотины Сытыканского гидроузла. Выполненный объем наблюдений позволил решить главную задачу первого, наиболее ответственного этапа работ - установить основные параметры таликовой зоны фильтрации и оценить характер ее формирования и развития во времени. Результаты исследований оперативно использовались при разработке проектов мероприятий по предотвращению фильтрации и повышению устойчивости сооружений. По-существу они должны служить основой геофизического мониторинга состояния всего гидротехнического комплекса как в процессе реализации проектных инженерных решений по устранению фильтрации, так и в дальнейшем, в целях отслеживания реакции геокриологической среды

на техногенные воздействия, связанные с проведением противофильтрационных работ и включением дополнительной системы замораживающих устройств. Кроме того, организация геофизических наблюдений должна завершиться выделением участков длительных режимных измерений за динамикой основных параметров, определяющих состояние объекта в целом.