

УДК 551

ЛОКАЛЬНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ПРИМЫКАНИЯ ПЛОТИНЫ ВИЛЮЙСКОЙ ГЭС-1

©2005 С. А. Великин, А. М. Снегирев

*Вилуйская научно-исследовательская мерзлотная станция Института мерзлотоведения СО РАН
Адрес для переписки: 678185, Республика Саха (Якутия), пос. Чернышевский, ВНИМС;
Тел. (41136) 7-34-34; факс (41136) 7-21-46; e-mail: frozen@mirny.sakha.ru*

В статье представлены и обсуждаются примеры успешного использования различных электрометрических и температурных измерений для изучения и мониторинга состояния правобережного примыкания дамбы Вилуйской ГЭС, расположенной в Западной Якутии. Примеры показывают эффективность геофизических методов для изучения фильтрационного потока и необходимость широкого применения их в мониторинге систем в криолитозоне.

ВВЕДЕНИЕ

Вилуйская ГЭС, расположенная в Западной Якутии – первое в мировой практике крупное гидротехническое сооружение в области сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород.

Каменнонабросная плотина ГЭС размещена на пластовой интрузии долеритов мощностью 150 метров и шириной около 1000 метров, которая в свою очередь подстилается карбонатно-известковистыми горными породами осадочного комплекса.

Коренной склон правого берега сложен трапповыми формациями скальных пород, представленных долеритами с различной степенью выветривания. На отметках, соответствующих рабочему диапазону изменения уровней воды в верхнем бьефе Вилуйской ГЭС-1,2, в толще долеритов выявлены отдельные довольно крупные включения (ксенолиты) метаморфизованных нерасчлененных доинтрузивных осадочных пород и туфогенных отложений. В литологическом отношении осадочные породы ксенолитов представлены песчаниками, аргиллитами, алевролитами, мергелями и конгломератами. Как правило, это довольно слабопрочные иногда даже рыхлые породы. В естественных условиях они находятся в вечномерзлом состоянии и имеют высокие характеристики деформируемости и прочности.

Водосбросной тракт Вилуйской ГЭС-1,2 включает в себя три основных элемента. В голов-

ной его части устроен водосбросной (подводящий) канал с переменными шириной (30-40 м) и глубиной (отметки дна 197-216 м), предназначенный для подведения воды из водохранилища к водоприемнику Вилуйской ГЭС-1 и водосбросу. В торцевой части подводящего канала размещен собственно водосброс короткая (длиной около 30 м) бетонная водосливная плотина, оснащенная однопролетным сегментным затвором. К водосбросу примыкает отводящий канал, по которому вода поступает в нижний бьеф гидроузла, выполненный в виде полностью врезанного в скальное основание лотка быстротока.

Правый борт канала врезан в долериты, содержащие обширные ксенолиты относительно слабых, сильно трещиноватых льдонасыщенных туфогенных и осадочных пород, изначально находящихся в мерзлом состоянии. На поверхности врезки выходы ксенолитов зафиксированы практически на всем протяжении подводящего канала и центральной водосливной части водосброса, а также на начальном участке отводящего канала.

Известно, что в мерзлом состоянии слабые полускальные грунты, аналогичные породам в ксенолите, обладают весьма высокими показателями мгновенной прочности, при которых коэффициент бокового давления имеет околонулевые значения. Этим, по всей видимости, можно объяснить то, что в начальный период эксплуатации гидроузла, когда уровни воды в водохранилище были ниже расчетного НПУ, а грунты ксенолитовой толщи сохранялись в мерзлом

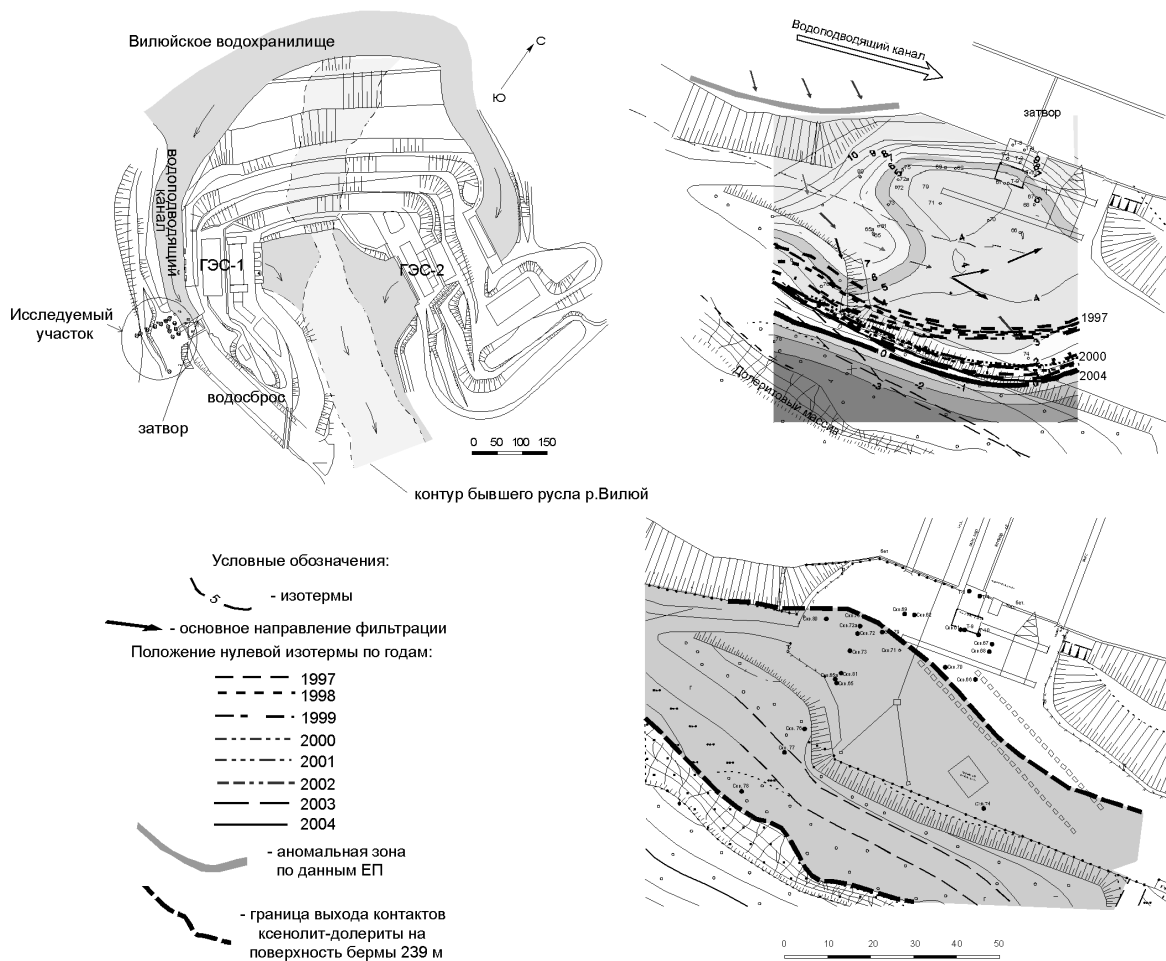


Рис. 1. Схема расположения наблюдательных скважин и план температур на абсолютной отметке 238 м.

состоянии, эксплуатационное состояние элементов водосброса не вызвало опасений, поскольку деформации элементов водосброса соответствовали проектным значениям.

Результаты анализа многолетних режимных наблюдений за состоянием правобережного примыкания плотины ВГЭС вплоть до 1996 года не вызвали особых опасений. Береговой склон и основание правобережного примыкания плотины в районе створа имели устойчивую отрицательную температуру. Такое положение сохранялось до начала 90-х годов, когда среднегодовые уровни воды верхнего бьефа дважды (в 1989 и 1992 гг.) превысили НПУ. К этому периоду относятся впервые зафиксированные данными природных наблюдений явления начальной фильтрации в грунтах планировочной обратной засыпки и ксенолитового основания и обусловленного этим начала их растепления. Постепенно эти явления привели к прогрессирующему оттаиванию ксенолитовой толщи и соответственно к существенному увеличению фильтрации через нее со всеми вытекающими из этого последствиями. В августе 1996 г. отмечено резкое повышение этой температуры и в течение короткого времени

образовался фильтрационный поток, который продолжает развиваться в настоящее время. В настоящий момент за счет оттаивания дополнительных объемов мерзлого грунта стали формироваться новые пути фильтрации воды в талой зоне с ощутимым переносом тепла (Великин, Снегирев, 2000).

Для разработки мер противофильтрационной защиты предстояло определить расположение входа фильтрационного потока со стороны верхнего бьефа, уточнить особенности и динамику развития температурного поля и оценить скорость и пространственное распространение фильтрационного потока в теле и основании плотины. Этими задачами определялся выбор методов и методик исследований.

ПОИСК УЧАСТКА ФОРМИРОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА ВОДЫ

Из расположения структурных элементов ГЭС видно, что наиболее вероятная область формирования фильтрационного потока находится в пределах правой стороны подводящего канала (рис. 1). Конкретное определение места

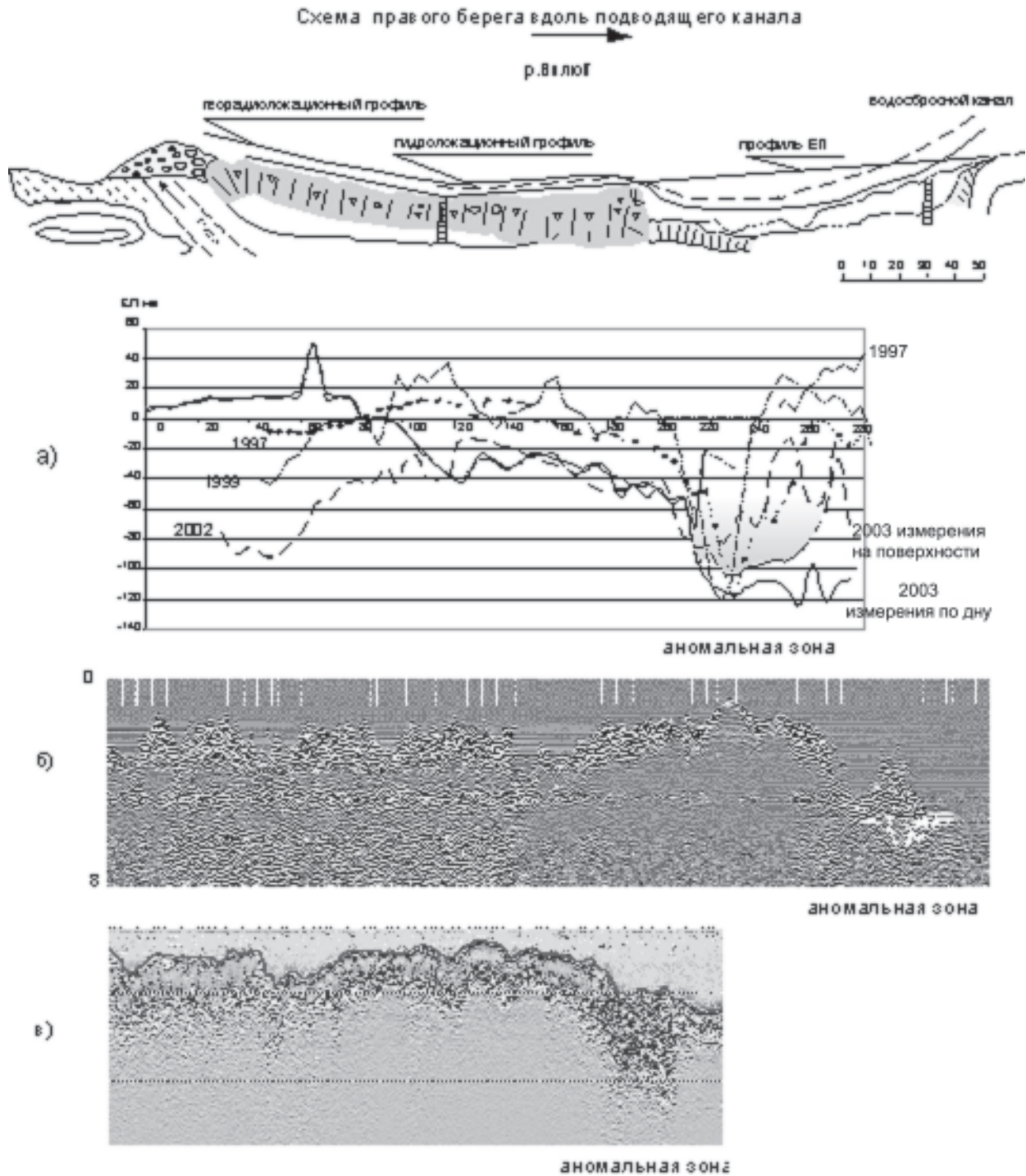


Рис. 2. Выявление фильтрующей зоны в правобережном примыкании плотины ВГЭС-1 методами естественного поля (а), георадиолокации (б) и гидролокации бокового обзора (в).

формирования потока и некоторые его особенности изучались методом ЕП, наземной и подводной радиолокацией и гидролокацией бокового обзора. В целях точной пространственной привязки профилей наблюдений параллельно и под углом к береговой линии над водой растягивался канат с контрольными метками через 10 метров (рис. 2). Измерительная аппаратура размещалась на специально оборудованных резиновых лодках

и наблюдения велись путем перемещения вручную плавсредств вдоль каната. Наземный профиль располагался вдоль дороги, проходящей рядом с береговой линией (рис. 3).

Основу решения задачи составляли результаты измерений методом ЕП способом потенциала, методические стороны которого приведены в работе (Семенов, 1974).

ВЕЛИКИН, СНЕГИРЕВ

Схема расположения георадиолокационных профилей вдоль подводящего канала

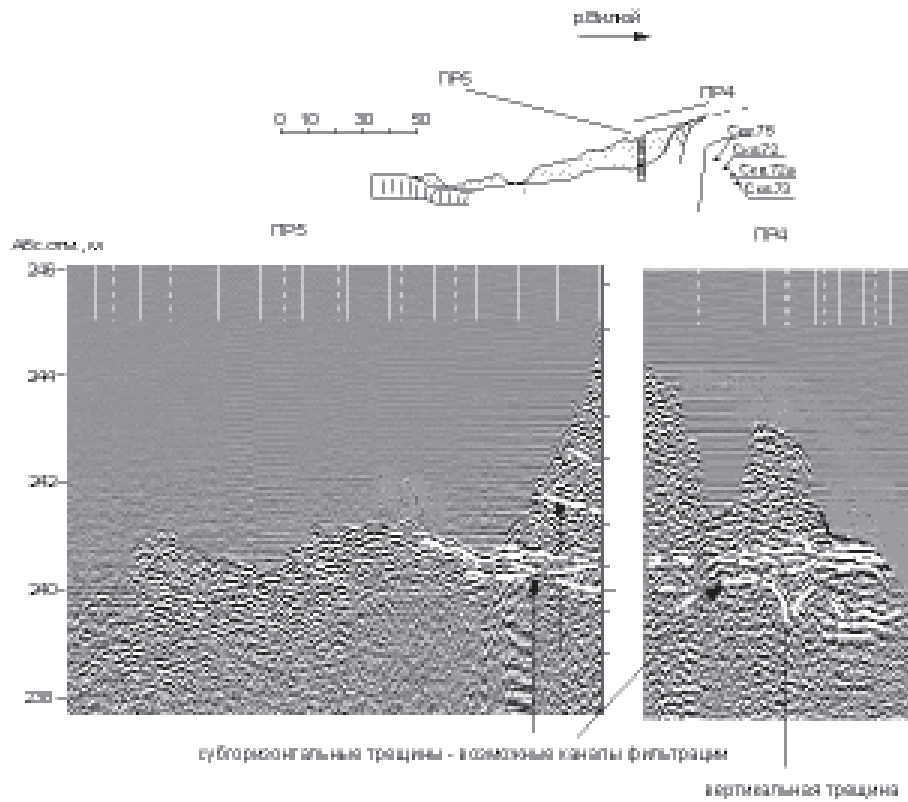


Схема расположения радиолокационного профиля.

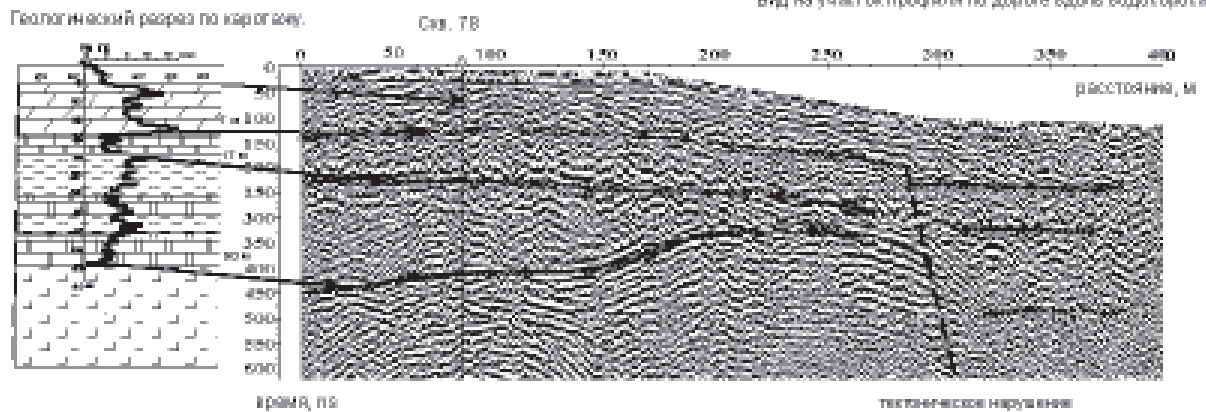
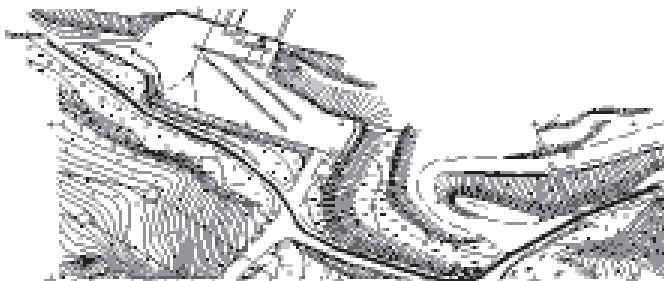


Рис. 3. Результаты георадиолокационных исследований.

В измерениях применены неполяризуемые электроды и измерительная аппаратура ЭРА-МАХ.

Как видно из рис. 2 результаты, полученные в различные годы, выявили характерную аномальную зону, которая была индифицирована как место формирования фильтрационного потока в верхнем бьефе. Вследствие разного рода помех — нерегулярные промышленные электромагнитные поля, электрические потенциалы, возникающие при фильтрации воды из берегового массива горных пород и вследствие коррозии металлических конструкций — уверенное выявление этой аномальной зоны стало возможным после многократных измерений поля ЕП и соответствующей математической обработки данных измерений. Повторными наблюдениями, выполненными в разные годы, было определено, что часть изменения формы и амплитуды значений ЕП (рис. 2) определялись изменением уровня воды в водохранилище и привязкой пунктов наблюдений.

Сложность характера поля ЕП и неоднозначность интерпретации обусловили применение других методов для поиска признаков, подтверждающих расположение места формирования фильтрационного потока.

В результате надводных георадиолокационных исследований (Финкельштейн и др., 1986), проведенных американской аппаратурой SIR 2000 в пределах аномальной зоны ЕП установлены отражающие границы (рис. 3), характерные для заполненных водой горизонтальных и вертикальных трещин. Особенно четко эти границы проявились при совместном рассмотрении данных, получаемых на профилях, ориентированных вдоль и под углом к береговой линии.

Гидролокация бокового обзора (Ван Трис, 1977), проведенная с аппаратурой ГБО, кроме характера поверхности дна обнаружила в пределах аномальной зоны мелкие впадины (канавки), ориентированные перпендикулярно береговой линии.

Таким образом, примененные методы ЕП, радиолокации и гидролокации бокового обзора однозначно подтвердили образование в правобережном примыкании достаточно четко оконтуренного участка измененных горных пород, в пределах которого развита аномалия ЕП, характерная для фильтрационного потока.

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

Температурное поле исследовалось с различными целями на протяжении всего периода эксплуатации гидросооружения. По некоторым оценкам (Каменский, 1977; Оловин, Медведев, 1980 и др.) считалось закономерным протаивание

грунтов со скоростью до 1.2 м/год за счет тепла водохранилища, атмосферных осадков и других причин. Данные пятилетних наблюдений, предшествовавших возникновению фильтрации, свидетельствовали о мерзлом состоянии горных пород. Методика измерений и технические средства соответствовали руководству, изложенному в работе (Руководство..., 1985). На фоне этого состояния происходило постепенное отепление разреза в среднем на 0.2 -:- 0.3 °С в год (рис. 4). Таким образом, наблюдавшееся резкое повышение температуры в скважинах в августе 1996 года было подготовлено всей системой взаимосвязей параметров и свойств горных пород в основании и теле плотины с водохранилищем и условиями на поверхности.

Результаты многолетних режимных измерений в отдельных скважинах (рис. 4) позволили оценить скорость нарастания мощности талой зоны и судить по аномальным значениям положительных температур о наличии фильтрационного потока.

Из рис. 4 следует, что помимо плавного увеличения мощности талой зоны, существуют и резкие изменения (“провалы”) положения ее нижней границы, когда в результате протаивания заполненных льдом трещин талик захватывает участки более низких горизонтов, свободных ото льда. Такое распределение в геокриологическом разрезе областей с резко различной степенью трещиноватости и льдистости обусловило неравномерность продвижения нулевой изотермы и в сторону правого берега (рис. 1).

Как видно из рис. 1 и рис. 5 структура изменяющегося температурного поля в целом контролируется литолого-тектоническими факторами, в связи с интенсивной трещиноватостью горных пород определенного литологического состава и тектоническими нарушениями, ориентированными субпараллельно оси водосбросного канала.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА

Данные о скоростях фильтрационных потоков имеют важное значение, поскольку с их помощью, в частности, прогнозируется возможность размыва горных пород, слагающих сооружения, и разрабатываются соответствующие противофильтрационные мероприятия.

В настоящее время нет специализированных точных методов и аппаратуры для определения скорости субгоризонтальных потоков воды в вертикально пробуренных скважинах. Этим объясняется необходимость применения косвенных методов и адаптации существующих методик к условиям наблюдений в криолитозоне. Среди наиболее распространенных на практике преобладают методы с использованием индикаторов на базе

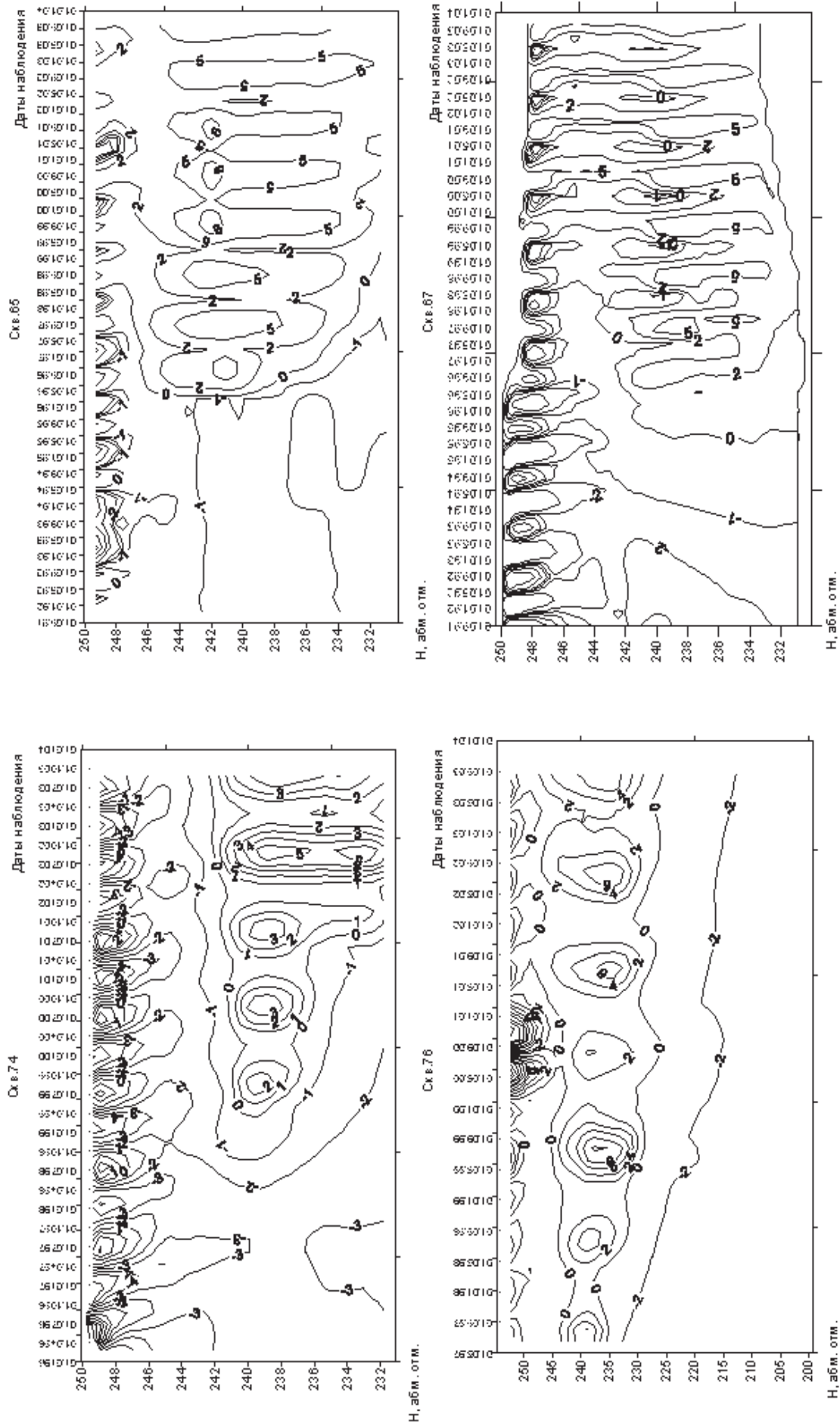


Рис. 4. Динамика температур по скв. 65, 67, 74, 76.

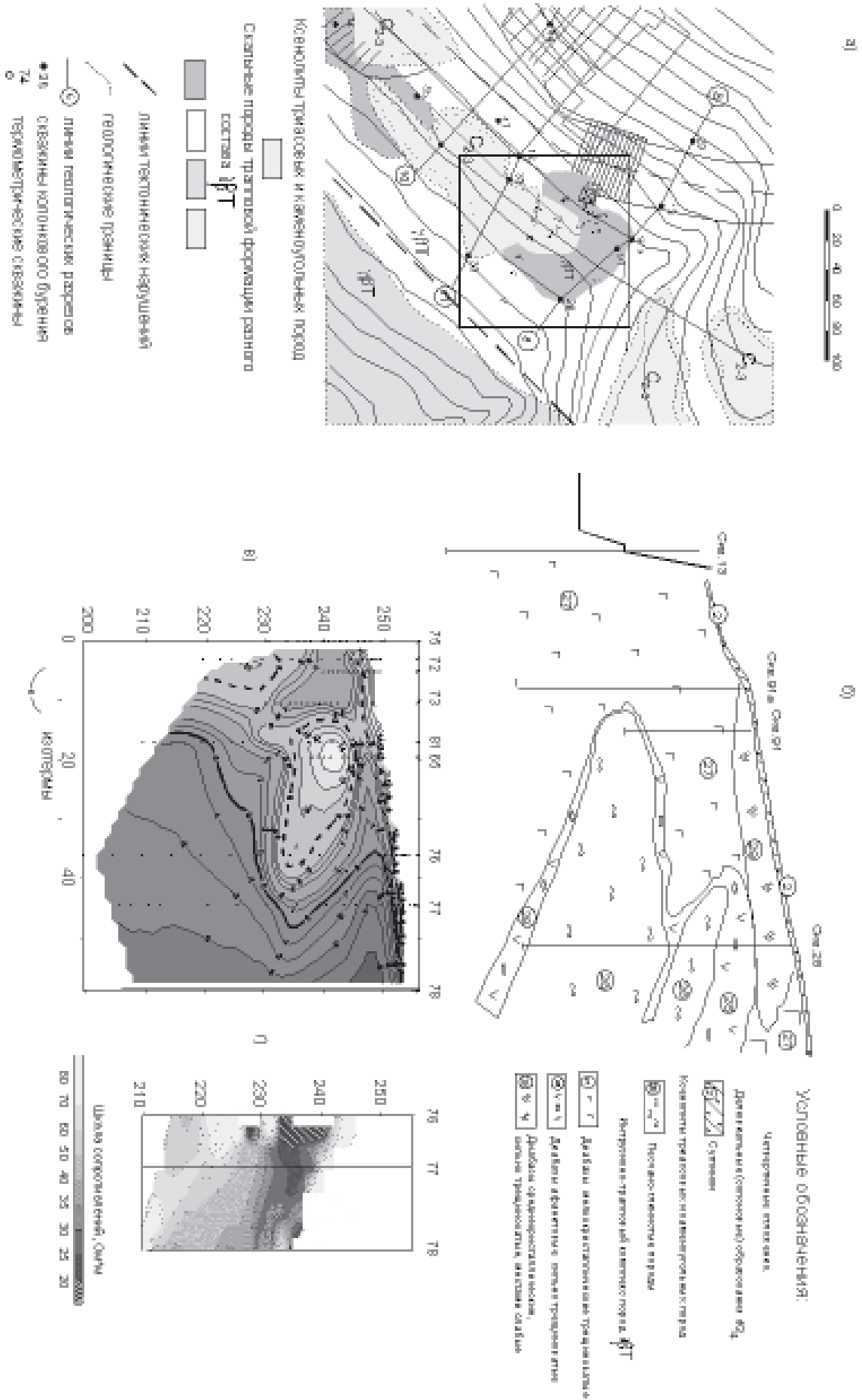


Рис. 5. Соотношение структуры температурного поля и геолого-тектонического строения.

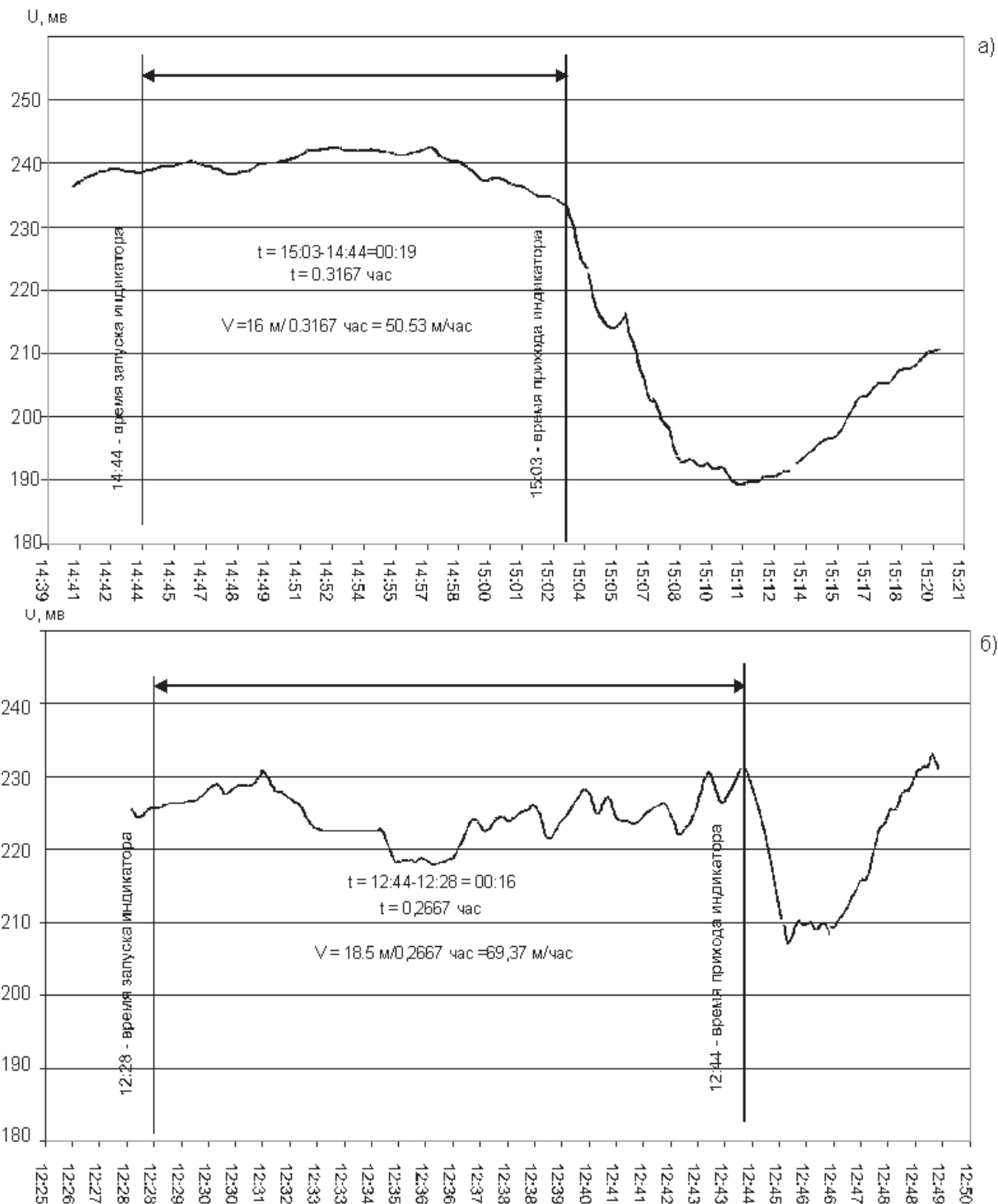


Рис. 6. Определение скорости фильтрации индикаторным методом (засоления) в скважинах правобережного примыкания (август 2004 г.).

красителей и электролитов. Эти способы дают удовлетворительную информацию, если известна длина пути, по которому прошел индикатор вместе с фильтрационным потоком, зафиксировано время регистрации начала и конца его движения. При этом весьма важно, чтобы регистрирующие устройства в период наблюдений располагались

в одном и том же фильтрующем канале. Соблюдение этих условий не всегда достижимо в реальной обстановке, что и дает, чаще всего, большие погрешности.

Авторами в качестве индикатора использовался раствор NaCl. С помощью резистивиметров в конкретно выбранном интервале проводилась

непрерывная регистрация сопротивления проходящей через сечение скважины воды.

Исследования проводились 2-мя способами:

1) при заливке индикатора в пьезометрическую скважину и измерениях в нижележащей по потоку пьезоскважине;

2) при заливке индикатора у берега подводщего канала правобережного устоя и наблюдениях в той же пьезоскважине.

По полученным данным скорость фильтрации составила ~ 50 -60 м/час, что является достаточно большой величиной и должно учитываться при проектировании противофильтрационных мероприятий. Характерные данные, полученные в период эксперимента, иллюстрируются на рис. 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физическое старение гидроэнергетических сооружений и их оснований предъявляет все более жесткие требования к методам контроля их состояния и режимов эксплуатации. В то же время используемые в настоящее время методы и средства контроля состояния сооружений морально устарели или близки к этому.

Представленные результаты показывают, что, несмотря на существенные техногенные влияния, регистрируемые весьма сложные геофизические поля отражают состояние, структуру и динамику геокриологической среды. Динамика отдельных элементов этой среды (границы таликовых зон, участки фильтрации и др.) в наибольшей степени проявляется в сравнении геофизических полей, повторно измеренных через определенные интервалы времени. Это обстоятельство дает основание для использования геофизических методов в режиме мониторинга при организации наблюдений за состоянием гидротехнических сооружений в криолитозоне. При этом с помощью наземных и скважинных геофизических методов в значительной мере уплотняется пространственно-временная сеть наблюдений и повышается надежность информации в целом.

Таким образом, наблюдения за формированием и развитием фильтрационных потоков на гидросооружениях в криолитозоне кроме существующей проектной сети контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) должны сопровождаться применением геофизических методов в режиме мониторинга. Это необходимо из-за неопределенности пространственного распределения границ и свойств трещиноватых и литологически разнородных зон и редкой сети КИА, не позволяющей отследить все возможные варианты развития фильтрации.

Список литературы

Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т.3. Обработка сигналов в радио и гидролокации и прием случайных гауссовских сигналов на фоне помех. Пер. с англ. под ред. проф. Горяинова В.Т. М.: Советское радио. 1977. 664 с.

Великин С.А., Снегирев А.М. К вопросу геофизического контроля состояния гидротехнических сооружений в криолитозоне (на примере Вилуйской ГЭС-1) // Геофизические исследования криолитозоны. Сборник научных трудов. М. 2000. Вып. 3. С. 8-24.

Каменский Р.М. Термический режим плотины и водохранилища Вилуйской ГЭС. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1977. 92 с.

Оловин Б.А., Медведев Б.А. Динамика температурного поля плотины Вилуйской ГЭС. Н.: Наука. Сибирское отделение. 1980. 48 с.

Руководство по применению полупроводниковых терморезисторов для геотермических измерений (оперативно-информационный материал). Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1985. 48 с.

Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л.: Недра. 1974. 391 с.

Филькенштейн М.И., Кутлов В.А., Золотарев В.П. Применение радиолокационного надповерхностного зондирования в инженерной геологии. М.: Недра, 1986. 128 с.

LOCAL GEOPHYSICAL MONITORING OF THE STATE OF THE RIGHT-BANK CONTINUITY OF THE DAM AT THE VILYUI HYDROELECTRIC POWER PLANT

S. A. Velikin, A. M. Snegirev

Vilyui Permafrost Research, Permafrost Institute Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Russia

In the paper is presented and discussed the examples of successful use of various electrometric and thermometric techniques to study and monitor the state of the right-bank contiguity of the dam at the Vilyui hydroelectric power plant, wich environmental in Western Yakutia.

The examples show the efficacy of geophysical methods to study the filtering flow and the necessity of a wide application of them in the monitoring systems in cryolithozone.