

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 550.837. 31

Н.Е. ФОМЕНКО

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПРУДОВЫХ ПЛОТИН КОМПЛЕКСОМ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ МЕТОДОВ

На примере Краснокрымской грунтовой плотины, расположенной в Мясниковском районе Ростовской области, показана эффективность использования комплекса современных электроразведочных методов экспрессной неразрушающей диагностики гидросооружений малых форм. Решаются задачи определения влагонасыщения и фильтрационной способности тела плотины технологиями электропотенциального томографического зондирования, срединного градиента в варианте пространственной электрической фильтрации, постоянного естественного электрического поля и георадиолокации.

Ключевые слова: прудовые плотины; электроразведочные технологии; удельное электрическое сопротивление; потенциалы естественного электрического поля; радарограммы.

Прудовые плотины являются искусственными земляными гидротехническими сооружениями (ГТС) малого порядка. Большинство объектов создано в середине прошлого века в целях мелиорации. В настоящее время в результате произошедшей в России в конце прошлого — начале текущего столетия реструктуризации всех отраслей народного хозяйства ведомственная принадлежность большинства малых ГТС не определена. Поэтому эти объекты, за редким исключением, не эксплуатируются (часто пересыхает прудовая (озёрная) часть) и требуют реконструкции и капитального ремонта.

Применение электроразведочных технологий для изучения состояния плотин на искусственных водоёмах обусловливается тем, что геофизические методы являются экспрессными, позволяет, в отличие от дискретного точечного бурения, производить непрерывные площадные наблюдения при относительно низкой стоимости и неразрушающем воздействии.

Объектом проведения геофизических работ была выбрана Краснокрымская грунтовая плотина, расположенная в Мясниковском районе Ростовской области, в 2,5 км на юго-запад от с. Красный Крым, на балке Чалтырьская. Последняя является притоком р. Мертвый Донец. Гидроузел пруда, согласно СНиП 2.06.01-86 [2], относится к IV классу сооружений и состоит из грунтовой плотины и водосброса, выполненного в виде обходного канала и быстротока на нём (рис. 1). Основная цель постановки и проведения геофизических исследований состояла в изучении современного со-

стояния плотины и водосброса, выполненного в виде обходного канала и быстротока на нём (рис. 1). Основная цель постановки и проведения геофизических исследований состояла в изучении современного со-

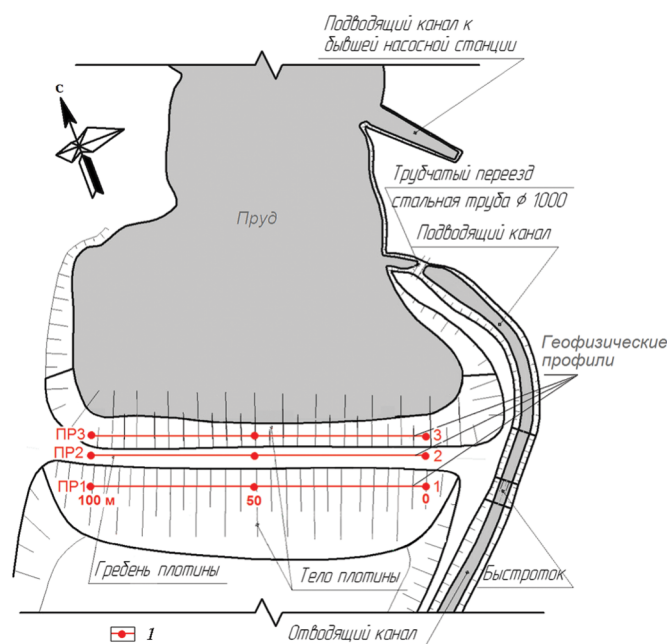


Рис. 1. Схема Краснокрымской грунтовой плотины: 1 — точки ЭПТЗ

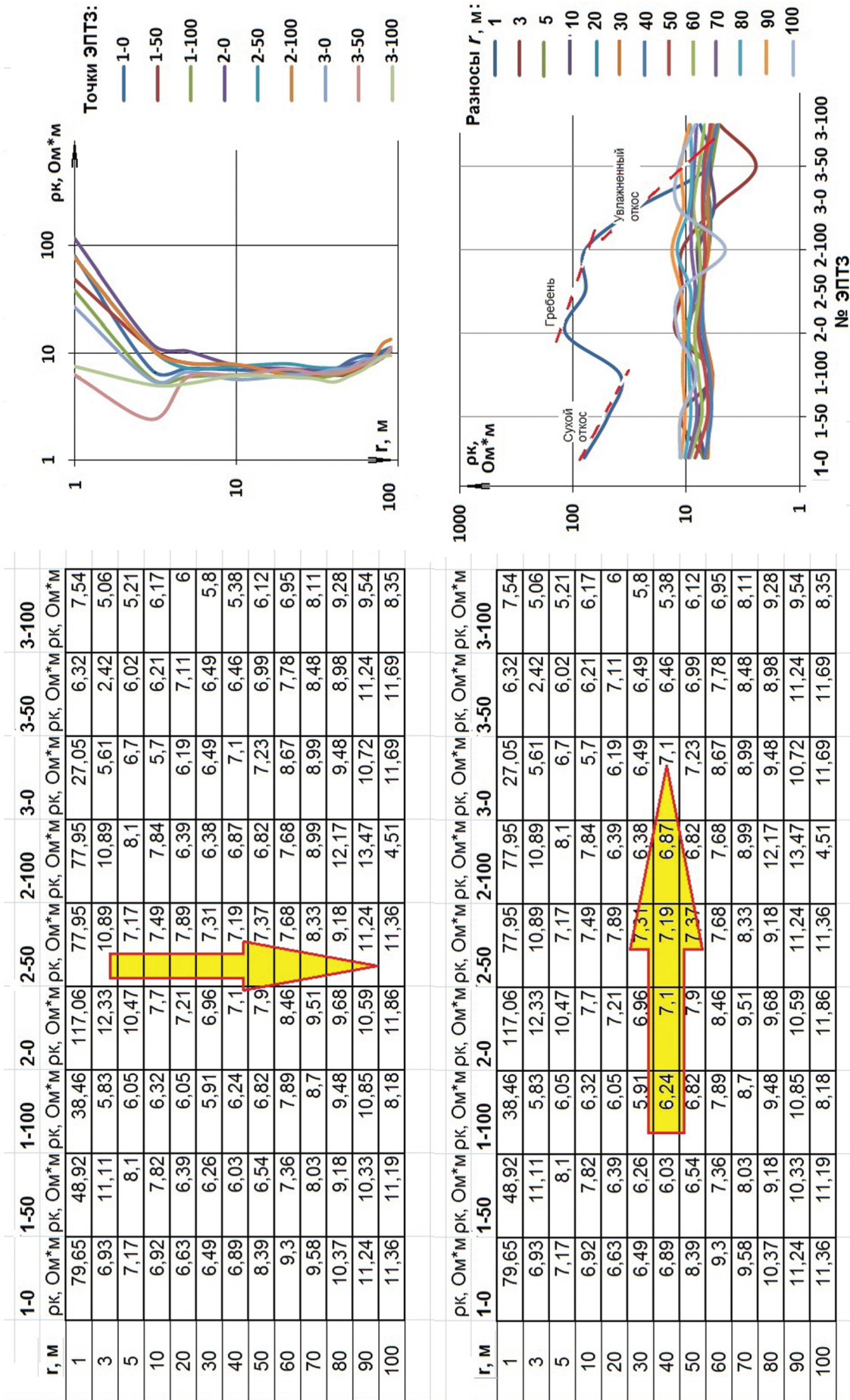


Рис. 2. Представление графиков ЭПТЗ в форме электрозондирования и послойного электропрофилирования

стояния, определения влагонасыщения и фильтрационной способности тела плотины.

В геоморфологическом отношении территория района расположена на континентальной равнине аллювиального происхождения в пределах II надпойменной террасы р. Дон. Инженерно-геологический разрез изучен до глубины 10 м, он состоит из тугопластичных и полутвёрдых суглинков с включениями карбонатов и редкими линзами супесей и глин протяжённостью 3,0–5,0 м.

Методы исследований

Для решения поставленной задачи на гребне и откосах плотины были разбиты три профиля длиной по 100 м: 1-1 — на «сухом» откосе, 2-2 — на гребне и 3-3 — на увлажнённом откосе (рис. 1). Геофизические исследования проведены электроразведочными технологиями электропотенциального томографического зондирования (ЭПТЗ), пространственной электрической фильтрации (МПЭФ), подповерхностного георадиолокационного зондирования (РЛЗ) и постоянного естественного электрического поля (ЕП).

Сущность ЭПТЗ в применении ортоосевой электроразведочной установки. Осуществляется накопление сигналов при каждом последующем наблюдении с арифметическим шагом перемещения измерительных электродов MN в перекрываемой части интервала предшествующего цикла. Достигается принцип объёмного сканирования путём представления результатов в форме зондирования и профилирования [3].

Исследования ЭПТЗ на каждом из трёх профилей Краснокрымской грунтовой плотины выполнялись в точках 0, 50 и 100 м. Использовалась осевая дипольная установка $AB = 100$ м, $MN = 10$ м. Перемещение линии MN производилось с шагом 10 м. С целью повышения детальности верхней части разреза в каждой точке зондирования выполнялись измерения на трёх дополнительных расстояниях 1, 3 и 5 м при размере $MN = 1$ м. Оцениваемая глубина зондирования составляла более 50 м.

Технология МПЭФ наиболее просто осуществляется электроразведочной установкой метода срединного градиента путём направленного вращения либо питающей (фильтр направленного возбуждения — ФНВ), либо измерительной (фильтр направленного приёма — ФНП) линий [4]. На участке размещения плотины применена технология МПЭФ в варианте ФНВ. Длины питающих линий A_1B_1 и A_2B_2 составляли 300 м при их ориентации вдоль и вкост гребня. Перемещение измерительной линии MN производилось с шагом, равным длине $MN = 10$ м.

РЛЗ относится к числу современных прогрессивных технологий [1, 3]. Измерения на Краснокрымской грунтовой плотине проводились путём

непрерывного перемещения георадара «ОКО-2» с антенными блоками 150 и 400 МГц по профилям с записью и одновременным представлением информации в форме радарограмм. Настройки параметров зондирования задавались в соответствии с рекомендованными программой управления георадаром «ОКО» — GeoScan32.

ЕП выполнялся способом измерений потенциала (УЕП). Съёмка осуществлялась с шагом 10 м. Применялся методический приём, при котором неполяризующиеся электроды оборачивались обильно смоченными водой тряпичными чехлами. При измерениях лунки открытого грунта заливались водой из пластиковой бутылки. Этим достигалось мгновенное измерение значений УЕП со 100-процентным контролем.

Обсуждение результатов

Изменение удельного электрического сопротивления грунтовой толщи до глубин более 60 м прослежено по кривым ЭПТЗ. Детальное строение инженерно-геологических разрезов на глубину до 6 м характеризуют радарограммы. Динамика увлажнённости пород отображается на кривых ЕП и СГ. Следовательно, имеется возможность комплексной оценки состояния плотины путём сопоставления результатов измерений, выполненных непосредственно в центре насыпи и на её увлажнённом, примыкающем к воде и покрытым железобетонными плитами, и сухом, переходящем в полузаболоченный овраг, откосах.

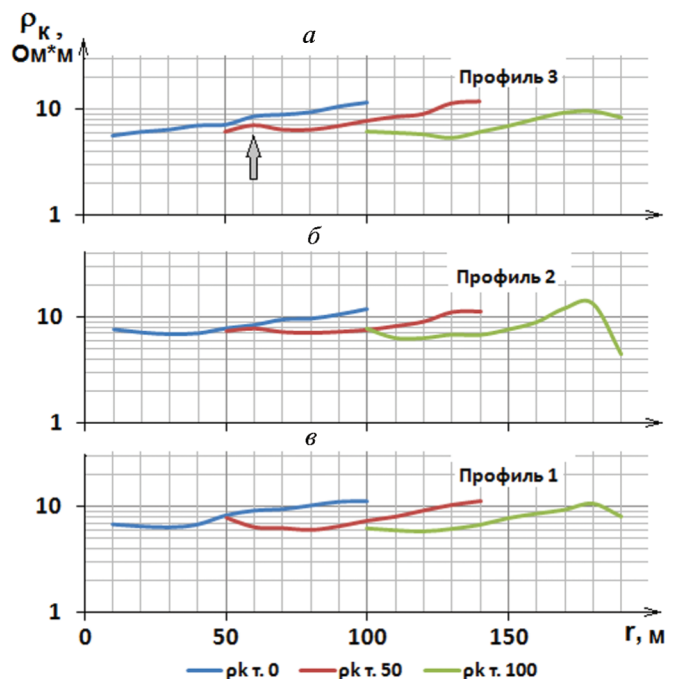


Рис. 3. Совмещённые в форме перекрытий графики ЭПТЗ на увлажнённом откосе (а), гребне плотины (б) и сухом откосе (в): стрелкой отмечено место слабоконтрастной локальной неоднородности

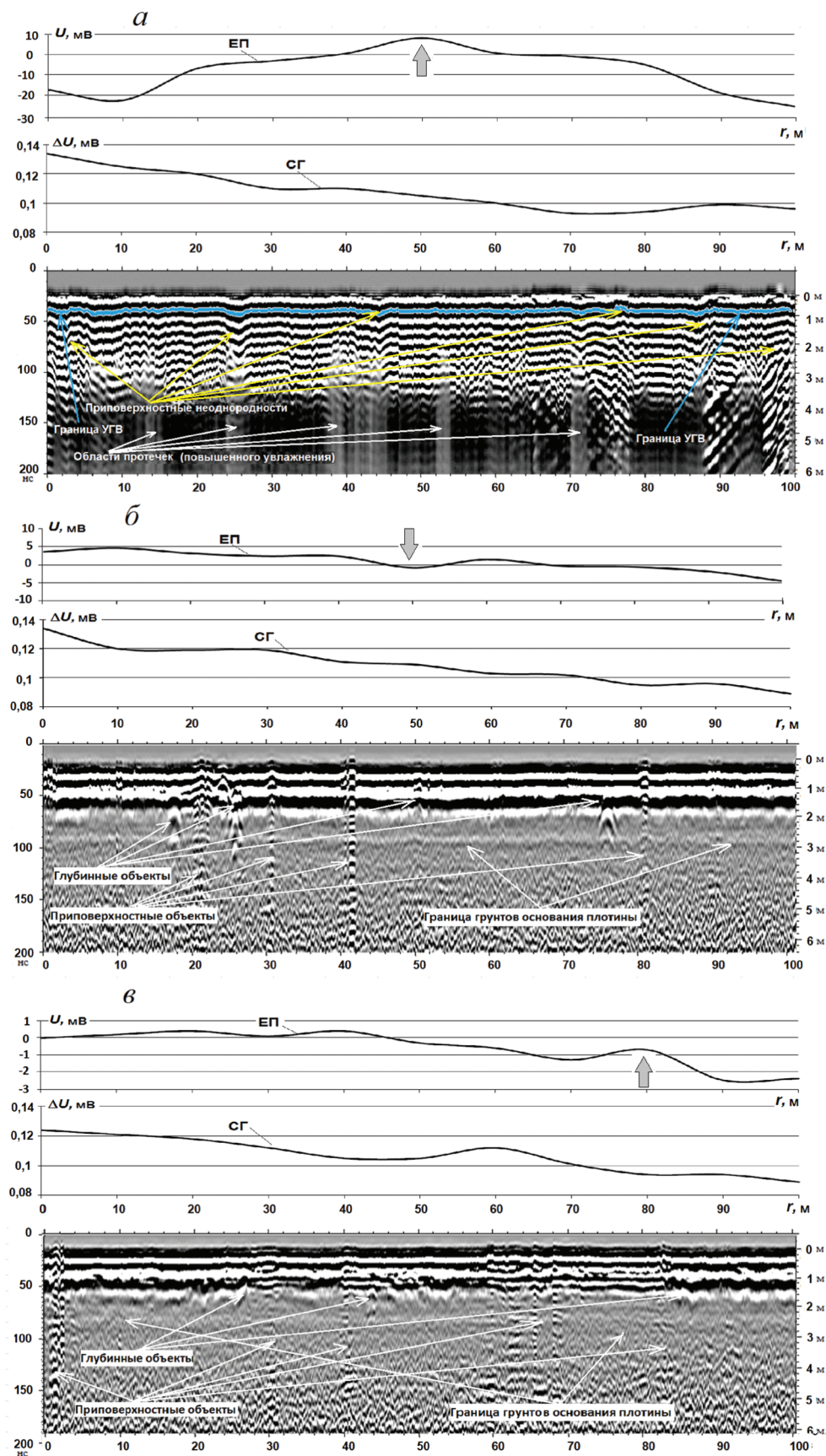


Рис. 4. Сопоставление данных ЕП, СГ и РЛЗ на откосах и гребне плотины (стрелками на графиках ЕП отмечены места разгрузки и инфильтрации прудовой воды)

Данные ЭПТЗ первоначально проанализированы в совокупном виде (рис. 2). Исследовались кривые кажущихся удельных электрических сопротивлений κ путём сведения их в форме электрозондирования, т. е. в билогарифмическом масштабе (верхний фрагмент) и в форме послойного электропрофилирования в полулогарифмическом масштабе, когда кривая каждого ряда соответствует разному между питающим и измерительным диполями (нижний фрагмент). Рассмотрение графиков, построенных в форме электрозондирования, показывает, что наблюдается резкое возрастание с глубиной увлажнённости насыпных грунтов плотины, причём в разной степени на её откосах и гребне породы основания имеют присущие водонасыщенным супесно-глинистым грунтам показатели $\kappa = 6-8 \text{ Ом м}$. Ниже залегают более высокоомные слои со значениями $\kappa = 10-15 \text{ Ом м}$. Они представлены типичными для разрезов исследуемой территории известняками-ракушечниками. На графиках послойного электропрофилирования особенно выделяется кривая, соответствующая разному в 1 м. На разнотах более 3 м показатели κ снижаются почти на порядок. По степени этого снижения наибольшее водонасыщение наблюдается на увлажнённом откосе. Сопоставление графиков в форме электропрофилирования, выполненного с шагом 10 м, показывает, что в суглинистой толще основания плотины локальных объектов не обнаруживается, за исключением слабо выраженной линзы несколько повышенного κ в интервале 50–70 м на профиле, проложенном на увлажнённом откосе (рис. 3).

Сопоставление результатов ЕП, СГ и РЛЗ, полученных на откосах и гребне плотины, приведено на рис. 4. Распределение степени водонасыщенности грунтов и направление этого распределения можно оценить по графикам МПЭФ продольного СГ. Прослеживается тенденция увеличения водонасыщенности грунтов в северо-западном направлении от «быстротока», что отчётливо фиксируется на всех трёх графиках по уменьшению значений градиента потенциала электрического поля от 0,13 до 0,09 мВ. Для более детальной оценки распределения водонасыщенности произведено сопоставление графиков продольного СГ (положение питающей линии вдоль дамбы) и ортогонального СГ (положение питающей линии вкрест дамбы). Сравнение значений U на графиках произведено в относительных единицах (рис. 5). Инженерно-геофизическое истолкование совокупной картины следующее: неравномерность в распределении увлажнённости оценивается «размахом рассогласования» (разностью амплитуд) кривых U , который имеет наибольшую амплитуду на откосах. Анализ графиков потенциалов постоянного естественного электрического поля $U_{\text{ЕП}}$ позволяет получить дополни-

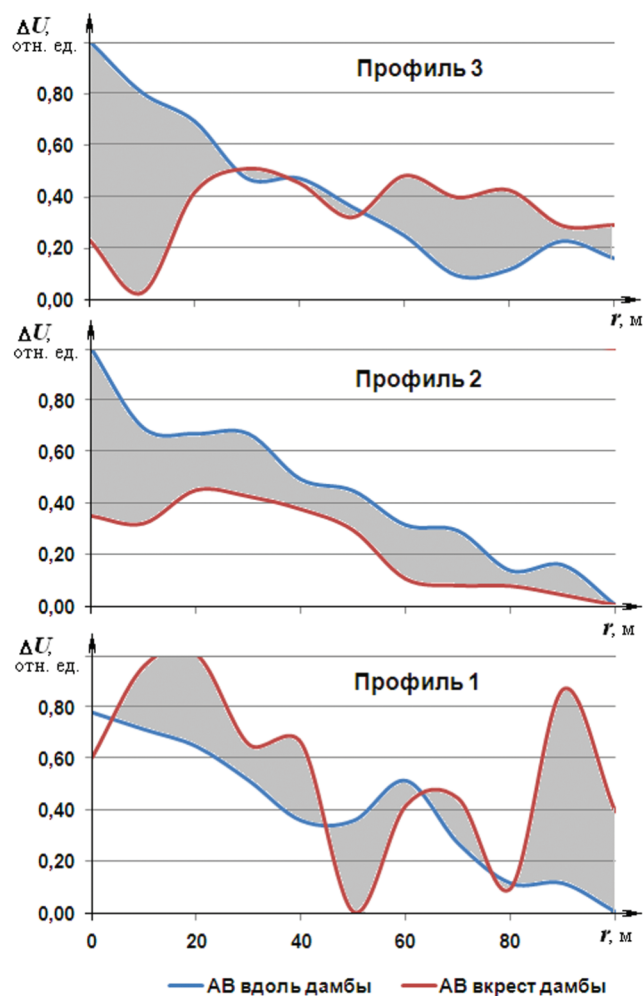


Рис. 5. Сопоставление графиков продольного и ортогонального СГ на откосах и гребне плотины для оценки распределения водонасыщенности грунтов и направления фильтрации прудовой воды

тельные данные, относящиеся к динамике и степени водонасыщения грунтовой толщи плотины. В частности, нетрудно видеть, что перепад значений $U_{\text{ЕП}}$ на сухом откосе составляет 3 мВ (на уровне погрешностей измерений), на гребне плотины 10 мВ, а на увлажнённом откосе 35 мВ, т. е. степень водонасыщенности пород закономерно уменьшается от увлажнённого откоса к сухому. Наблюдается аналогия в поведении графиков $U_{\text{ЕП}}$ и $U_{\text{СГ}}$ на сухом откосе и гребне, выражающаяся в уменьшении значений $U_{\text{ЕП}}$ и $U_{\text{СГ}}$ в северо-западном направлении от «быстротока» плотины, что объясняется инфильтрацией поверхностных вод в указанном направлении. На увлажнённом откосе картина поля ЕП несколько иная. Здесь инфильтрация прудовой воды происходит в двух направлениях: от центра плотины к её краям. Области инфильтрации характеризуются пониженными значениями потенциалов поля на графиках $U_{\text{ЕП}}$. При этом следует подчеркнуть, что положительные аномалии $U_{\text{ЕП}}$ обусловлены разгрузкой вод. Наиболее ярко область разгрузки проявляется в центре увлажнённого от-

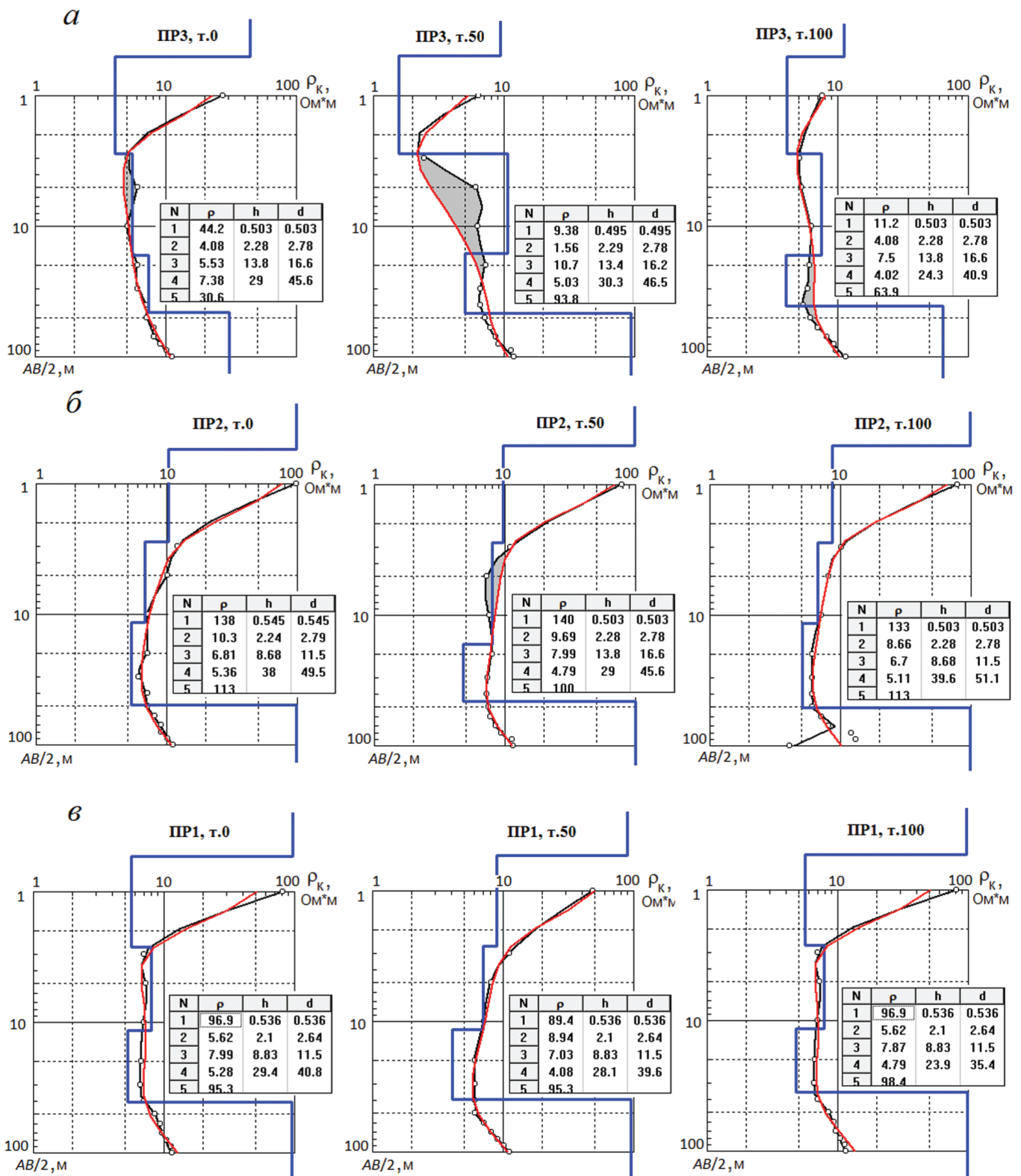


Рис. 6. Картограмма результатов количественной интерпретации кривых ЭПТЗ на увлажнённом откосе (а), гребне плотины (б) и сухом откосе (в)

коса, поскольку здесь отмечен наибольший напор прудовой воды. Этот процесс отображается и на кривых ЭПТЗ в форме незакономерного их отклонения от стартовой (теоретической) кривой в процессе количественной интерпретации по програм-

ме IPI2Win (рис. 6). Интересно, что, за исключением случаев аномального проявления процессов разгрузки и инфильтрации прудовой воды, все наблюдаемые кривые практически идеально сопоставляются с теоретическими и этим дополнительно

подчёркивается квазиоднородный состав в подстилающей толще плотины. Возвращаясь к рассмотрению графиков $U_{\text{ЕП}}$, следует отметить, что на них фиксируются места разгрузки грунтовых вод, в частности, на сухом откосе в интервале 75–90 м. Такие зоны желательно подвергать мониторинговым наблюдениям, особенно в периоды снеготаяния и обильных дождевых осадков.

Состав и строение грунтовой толщи плотины с наибольшей детальностью отображается на радарограммах, зарегистрированных на откосах и гребне плотины (рис. 4). Их сопоставление показывает, что разрез по профилю 3 (увлажненный откос) контрастно отличается от разрезов по профилям 1 и 2 (сухой откос и гребень). Контрастность разреза увлажненного откоса соответствует типу радарограмм, на которых появляется «звучащий» тип волновой картины ниже уровня грунтовых вод [1, 3]. Вторым диагностическим признаком, проявляющимся на описываемой радарограмме, служат участки с низкочастотной записью, что свидетельствует о значительном локальном увлажнении разреза и появления протечек в данных местах [2]. Картины радарограмм, зарегистрированных на сухом откосе и гребне являются типовыми для песчано-супесно-глинистых разрезов, т. е. для лёссовых отложений. На радарограммах слабоконтрастно выделяется граница грунтового основания, а также

места расположения приповерхностных и глубинных неоднородностей, каковыми могут быть скопления бутового камня, куски бетонных облицовочных плит, попавших в состав насыпного грунта при строительстве плотины и др.

Выводы

Проведенные геофизические исследования на Краснокрымской прудовой плотине показали, что электроразведочными технологиями решаются задачи диагностики состояния гидросооружений малых форм.

1. Применением ЭПТЗ и РЛЗ достигается возможность изучения в вертикальном разрезе степени неоднородности и увлажнённости насыпных грунтов плотины и ниже залегающих отложений, что служит основанием для оценки устойчивости последней к появлению протечек.

2. Методами ЕП и СГ способом МПЭФ определяются места инфильтрации и разгрузки прудовой воды, а также направления движения фильтрационных потоков.

Предложенный комплекс электроразведочных методов целесообразно использовать при мониторинговых наблюдениях с дополнительным привлечением методов малоглубинной сейсмо- и индуктивной электроразведки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.
2. СНиП 2.06.01-86 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. Государственный строительный комитет. М., 1987.
3. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2008. 192 с.
4. Фоменко Н.Е., Гапонов Д.А. Технологии пространственной фильтрации электрического поля при изучении

техногенных и природных объектов. //Изв. вузов. Геология и разведка. 2013. № 4. С. 58–62.

Южный федеральный университет
(344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, д. 105/42;
FNEgeophyskohle@yandex.ru)

Рецензент — В.С. Зинченко