

Опыт определения зон фильтрации в теле грунтовой плотины водохранилища методами электроразведки и сейсморазведки

- Молдаков В.В., Индивидуальный предприниматель, г. Краснодар
- Романов В.В., РГУ нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, к.т.н., г. Москва
- Кауркин М.Д., Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, к.т.н., г. Москва
- Иванов А.А., РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, к. г.-м. н., г. Москва



Аннотация: Рассматривается опыт применения инженерно-геофизических исследований для определения зон нежелательной фильтрации через тело грунтовой плотины. Для решения этой инженерно-геологической задачи был задействован комплекс методов — электротомография, многоволновая наземная сейсморазведка, метод естественного поля. Объекты поиска были выделены по низкоомным аномалиями на геоэлектрических разрезах и положительным аномалиям на графиках разности потенциалов, сейсморазведка позволила картировать положение уровня грунтовых вод и ряд геологических границ в теле плотины и в её основании.

Ключевые слова: геофизические исследования плотин, сейсморазведка, электроразведка.

Введение

Предприятие ОАО «Новороссцемент» (Новороссийск) является крупным производителем цементного сырья. Сырьевой базой для предприятия служит Новороссийское месторождение мергелей, разрабатываемое открытым способом. Снабжение ОАО «Новороссцемент» водой произ-

водится из Низового и Верхового водохранилищ (Рис. 1).

Совокупный объём водохранилищ превышает 800 тыс. м³. Гидротехнические сооружения водохранилищ пострадали во время наводнения 2002 года, на Верховом водохранилище был разрушен канал водосброса.



▲ Рис. 1. Обзорная схема Низового и Верхового Атакайских водохранилищ.

В геологическом разрезе основания Верхового водохранилища представлены (сверху/вниз): щебенистый грунт с супесчаным заполнителем, глины твёрдые и текучие, гравий, мергель.

Высота плотины водохранилища 13,5 м, длина по гребню — 215 м, ширина по гребню — 8 м. Из видимых недостатков в грунтовой плотине Верхового водохранилища можно выделить сезонное появление родников в основании плотины со стороны сухого откоса. Фильтрация сквозь тело плотины наблюдается во время поднятия уровня воды в водохранилище выше определенной отметки. Среди негативных последствий фильтрации — вымывание и ослабление структуры грунта, оползни [6].

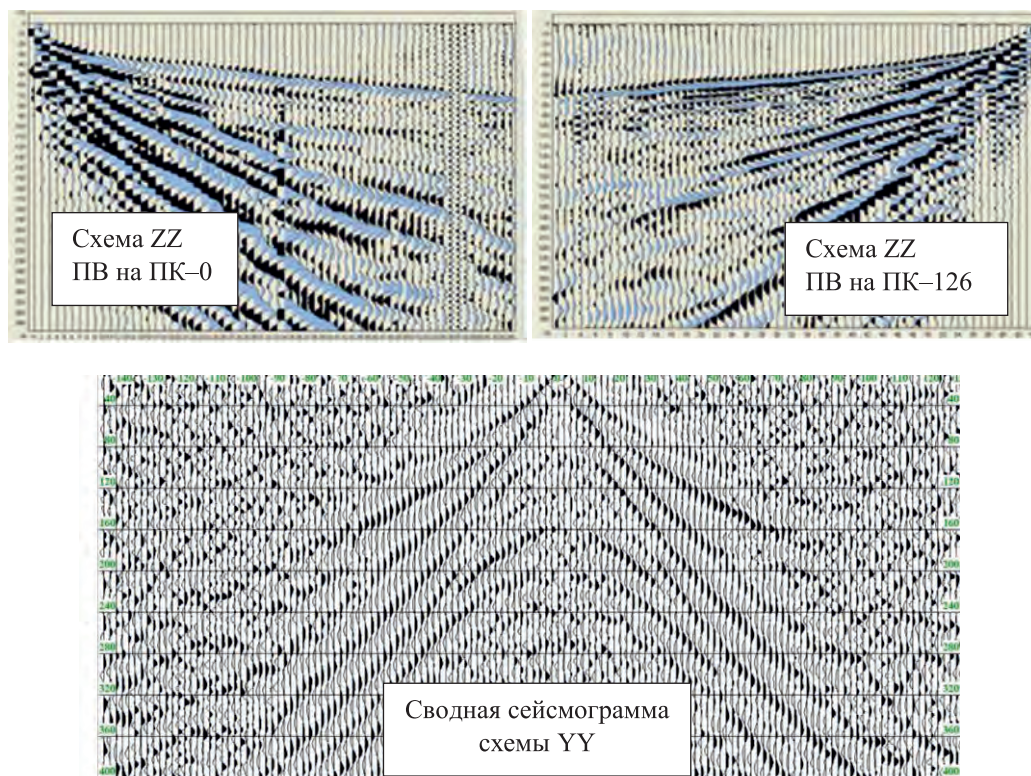
Для проведения мероприятий устранения последствий фильтрации был выполнен комплекс геофизических методов, направленных на определение уровня грунтовых вод в теле плотины, установление зон сосредоточенной фильтрации, изучение структуры и состава тела грунтовой плотины. Комплекс включал: метод электрической томографии (ЭТ), метод естественного электрического поля (ЕП)[1], наземная сейморазведка на продольных и поперечных волнах.

Методика выполнения работ

Электроразведочные работы методом электротомографии выполнялись с помощью комплекса Скала 48-K12 (КБ «Электрометрия»). Использовались три установки зондирования (Шлюмберже, диполь-дипольная и трёхэлектродная встречная). Число электродов — 48 шт., шаг электродов — 3 метра, длина профиля — 141 метр. Обработка полученных данных осуществлялась в программе ZONDRes2D на основе алгоритма инверсии Оккама. Для реализации метода естественного поля применялись неполяризующиеся электроды ВИРГ, один из приёмных электродов (N) оставался неподвижным, второй (M) перемещался по профилям с шагом 5 м[9].

Сейсморазведочные работы выполнялись методом сейсмической томографии с телеметрической аппаратурой IS-128 (ООО НПП "Интромаг"). Использовалось 4 полевых 16 канальных модуля (общая канальность 64), шаг приёма составил 2 м, шаг возбуждения 10 м, длина приёмной линии 126 м, кратность перекрытия — 12. Для приёма применялись вертикальные и горизонтальные датчики GS20-DX, схемы наблюдений Zz и Yy[3]. Корреляция годографов выполнялась в программе ZONDSt2D, инверсия производилась по алгоритму Оккама (Рис. 2). Сейсмограммы также обрабатывались в ПО SeisShall по графу:

- Предварительная обработка — мониторинг сейсмограмм, вертикальное суммирование и вычитание, ввод геометрии, загрузка монтажа.
- Составление супер-сейсмограммы для тестирования обработки.
- Частотная фильтрация и регулировка амплитуд.
- Скоростной анализ.
- Ввод кинематических поправок.
- Горизонтальное суммирование.
- Миграция



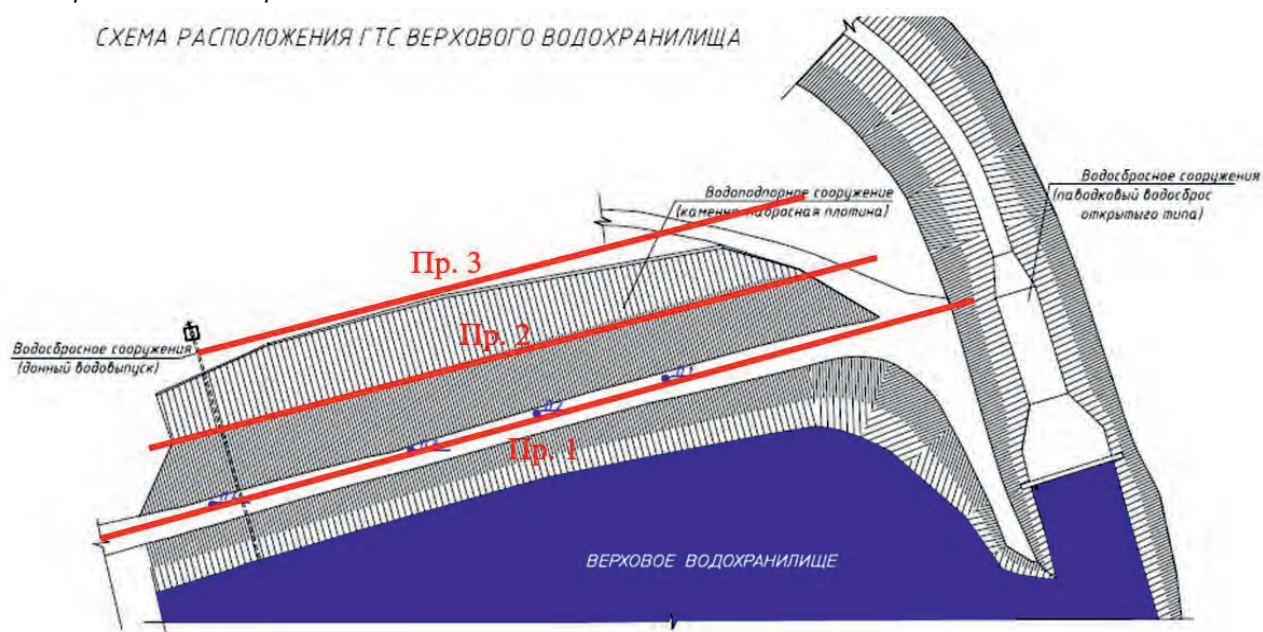
▲ Рис. 2. Пример сейсмограмм, зарегистрированных на профиле ПР-1.

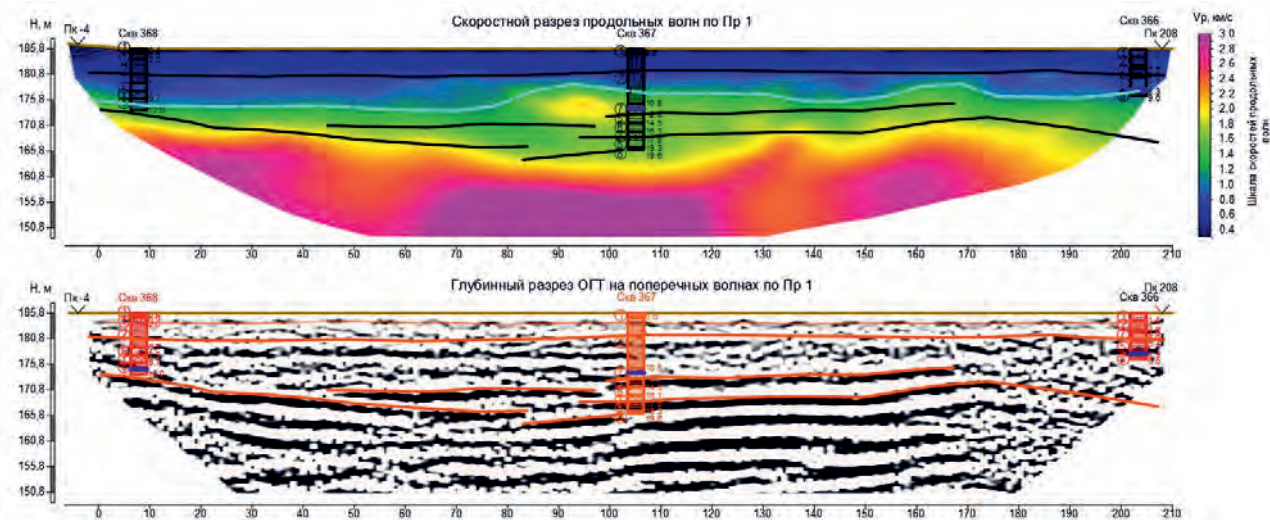
Результаты исследований

На территории плотины Верхового водохранилища комплексом геофизических методов было отработано три профиля. Один располагался на гребне плотины, второй на берме — посередине низового откоса, третий — в основании плотины (Рис. 2).

Сейсмические методы позволили получить сейсмические границы в скальном основании и в аллювиальных отложениях, а также картировать положение уровня грунтовых вод в теле плотины (Рис. 4) [7]. Результатом ЭТ стал детальный геоэлектрический разрез плотины [2]. На разрезе по профилю ПР-1 (Рис. 5) выделяются ано-

▼ Рис. 3. Карта фактического материала с нанесенными геофизическими профилями, возрастание координат — с запада на восток.





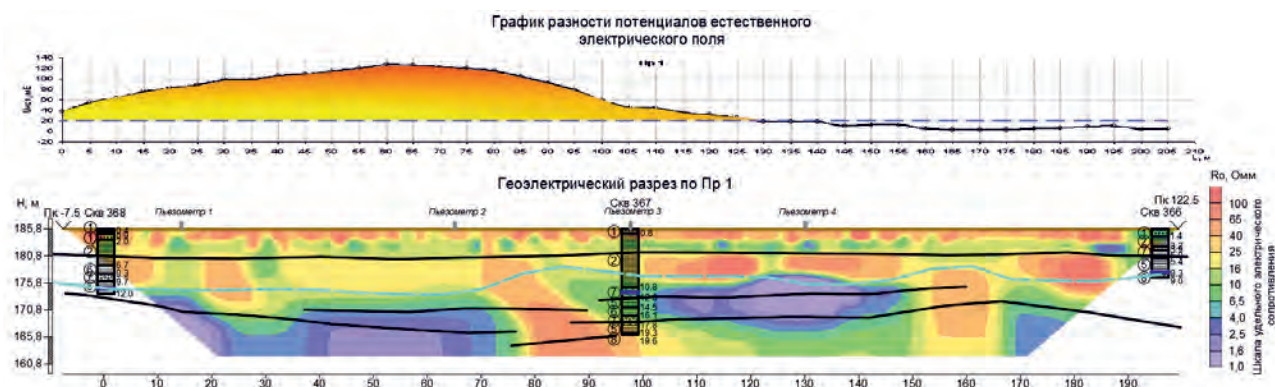
▲ Рис. 4. Результаты сейсморазведочных работ по ПР–1. Вверху – скоростной разрез на продольных волнах, голубой линией показан уровень грунтовых вод. Черными линиями границы, перенесённые с глубинного сейсмического разреза, внизу сам глубинный разрез.

мальные зоны с очень низкими удельными электрическими сопротивлениями (менее 2 Ом·м) в районе пикетов ПК 35–75 м и 105–150 м. Эти аномалии, вероятно, соответствуют зонам установки шпунтов Ларсена в процессе строительства в ядре плотины. В районе ПК 70–100 м и 150–170 м наблюдаются зоны повышенного УЭС (до 50–100 Ом·м), на сейсмических разрезах, полученных на продольных волнах, им соответствуют высокоскоростные зоны[8]. Это зоны приурочены к инъекционной цементации ядра плотины, выполненные с целью прекращения нежелательной фильтрации воды. В структурном плане

сейсмические и электрические томографические методы показали сложность строения плотины, особенно в центральной части[4].

На профиле ПР–1 метод естественного электрического поля позволил выделить зоны инфильтрации грунтовых вод сквозь тело плотины по положительной аномалии в районе ПК 50–60 м с амплитудой 130 мВ. На карте разностей потенциалов, полученных методом ЕП, в центральной части профиля ПР–3 наблюдается локальный максимум, указывающий на зону разгрузки грунтовых вод, подтверждаемую визуально. Дренажная канава плотины собирает

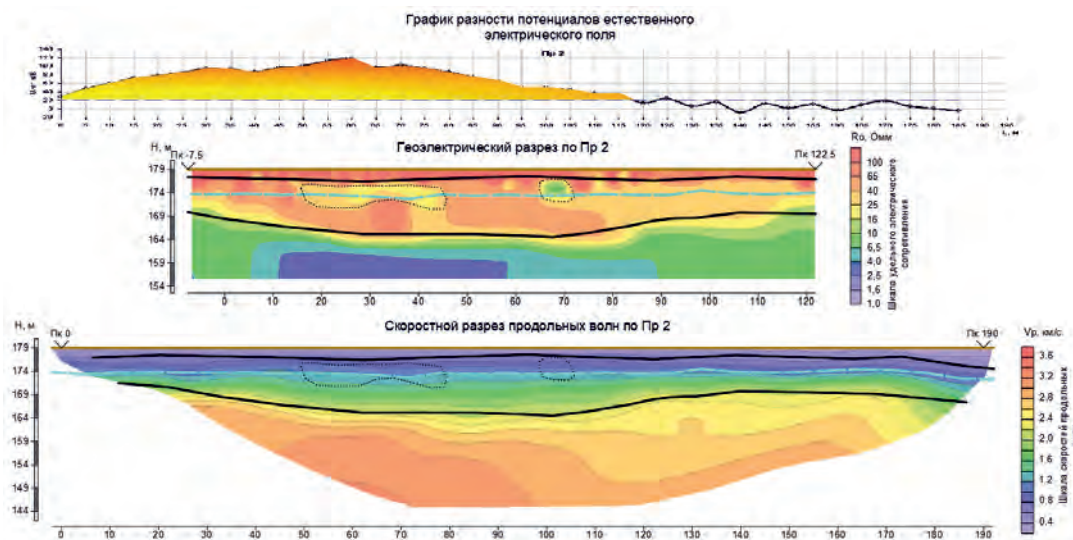
▼ Рис. 5. Результаты электроразведочных работ по ПР–1. Вверху график разности потенциалов метода ЕП. Внизу – геоэлектрический разрез с границами, выделенными по сейсморазведке.



большую часть воды за исключением локального участка, где вода проходит под канавой и разгружается после нее. Остальные потоки собираются и отводятся дренажной канавой полностью. На Рис. 6 стрелками показано основное положение мест сосредоточенной фильтрации через тело плотины.

женных сопротивлений (20–30 Ом·м). По определённому сейсморазведкой положению уровня грунтовых вод видно, что фильтрация происходит не через всю аномальную зону, а через её нижнюю часть[5]. Аномальная зона пониженных сопротивлений в районе ПК–65–70, не отображается на графике ЕП как зона фильтрации, что связано с тем, что уровень грунтовых вод в момент применения геофизических методов находится ниже этой зоны.

▼ Рис. 7. Результаты измерений по профилю ПР–2. Сверху график ЕП, посередине геоэлектрический разрез с выделенными аномальными зонами. Внизу — скоростной разрез продольных волн и границы, выделенные по комплексу методов.



Выводы

В результате инженерно-геофизических исследований было изучено строение грунтовой плотины и её основания. Дана оценка неоднородности строения ядра плотины и выдвинуто предположение о ее конструктивных особенностях. По данным МПВ на продольных волнах определено положение уровня грунтовых вод в створах геофизических профилей, определена депрессионная кривая плотины. По данным электротомографии и метода естественного поля выделена аномальная зона пониженного сопротивления и положительная аномалия разности потенциалов, приуроченные к зонам фильтрации грунтовых вод сквозь тело плотины.

Литература

1. Гавейш В.Р., Мараев И.А., Султан С.А., Новиков П.В., Иванов А.А., Романов В.В., Мальский К.С. Поиски подземных вод в оазисе Эль-Бахария в Западной пустыне Египта по результатам интерпретации данных каротажа и кривых ВЭЗ // Известия Уральского государственного горного университета. 2019. № 4 (56). С. 25-32.
2. Грохольская С.А., Романов В.В. Инженерно-геофизические изыскания при картировании гидрогеологических условий Имеретинской низменности // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 4. С. 84-88.
3. Молдаков В.В., Романов В.В. Оценка возможностей применения комбинированных схем наблюдения в инженерной сейсморазведке // Геоинформатика. 2017. № 4. С. 20-26.
4. Молдаков В.В., Романов В.В., Латышев К.А. Опыт изучения малоамплитудных тектонических нарушений с помощью атрибутов сейсмической томографии // Приборы и системы разведочной геофизики. 2024. № 4 (83). С. 103-115.

5. Романов В.В. Изучение толщи четвертичных отложений Подмосковья инженерной сейсморазведкой // Геофизика. 2014. № 3. С. 41-48.

6. Романов В.В. Интерпретация сейсмической томографии на примере изучения геологического строения оползневого склона // Разведка и охрана недр. 2015. № 3. С. 34-37.

7. Романов В.В., Гапонов Д.А. Применение инженерной сейсморазведки при изучении грунтовых вод в глинистых грунтах // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2014. № 6 (184). С. 52-59.

8. Романов В.В., Рахматуллин И.И., Грохольская С.А. Геофизические методы изучения глинистых грунтов верхней части разреза для решения задач недропользования // Рациональное освоение недр. 2015. № 2. С. 46-50.

9. Романов В.В., Мальский К.С. Анализ возможностей изучения гидрогеологического режима карьеров и подземных горных выработок инженерной сейсморазведкой // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 6. С. 74-78.

10. Романов В.В., Даев Д.С., Чесалов Л.Е., Посеренин А.И. Определение геофизических и физико-механических свойств на примере четвертичных грунтов Сергиево-Посадского района // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2018. № 5. С. 59-63.