

лым, редко легким, бурого и темнобурого с красноватым оттенком цвета, полутвердой и твердой консистенции. Максимальная высота дамбы 21 м, ширина до 10 м, заложения откосов 1:2.

На рассматриваемой дамбе илонакопителя по гребню были установлены пьезометрические наблюдательные станции в двух створах. Пьезометр №1 установлен в створе максимальной высоты дамбы – по тальвегу лога. Следует отметить, что на этом же участке наблюдались выходы воды на низовой откос дамбы. Пьезометр №2 был установлен в 55 м от створа №1 в сечении на склоне лога.

На рис. 2 представлено расположение наблюдательных станций, а также границ обводненной зоны на плане дамбы ЗАО "Черниговец", установленные по результатам геоэлектри-

ческих исследований.

Комплексные исследования гидрогеологических условий использовались для построения депрессионных кривых в теле дамбы в наиболее опасном сечении О<sub>1</sub>У различными методами: теоретическим, геоэлектрическим и пьезометрическим (по замерам уровня воды в пьезометрах) (рис. 3).

В табл. приведены результаты расчетов коэффициента запаса устойчивости низовых откосов трех гидротехнических сооружений на основе данных аналитического, пьезометрического и геоэлектрического метода прогноза их состояния.

Диапазон изменения значений коэффициента запаса устойчивости  $k_f$ , составляет 4% (ОАО "Шахта им. С.М. Кирова"), 12% (ОАО "Разрез Кедровский") и 10% (ЗАО "Черниговец"), что указывает на высокую

степень сходимости результатов определения обводненной части дамбы геоэлектрическим и пьезометрическим методами. При оценке устойчивости дамб гидротехнических сооружений могут быть уменьшены затраты на бурение скважин и установку пьезометров за счет использования наряду с точечными замерами уровня воды по пьезометрам геофизических исследований по всему объекту.

Использование геоэлектрических методов контроля в комплексе с традиционными методами позволяет повысить надежность прогноза устойчивости дамб, а также своевременно разработать рекомендации по укреплению (усилению) низового откоса (создание выполняющих полочек, контрфорсов, возвведение инъекционных бурованых свай).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов С.Г. Аварии на ограждающих сооружениях, основные причины и меры по их предотвращению.– Белгород: НИиПЭЦ "Промгидротехника", 2003.– 328 с.
2. Чугаев Р.Р. Земляные гидротехнические сооружения. – Л.: Энергия, 1967. – 460 с.
3. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1983. – 118 с.
4. Методические указания по контролю геомеханических и фильтрационных процессов в техногенных породо-грунтовых массивах гидротехнических сооружений горных предприятий комплексным геоэлектрическим методом. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2003. – 42 с.
5. Бахаева С.П. Комплексная оценка геомеханических процессов в дамбах из грунтовых материалов / С.П. Бахаева, С.М. Простов, Е.В. Костюков, Е.А. Серегин // Маркшейдерский вестник. – 2003. – №2. – С. 62-66.
6. Исследование параметров обводненных зон в протяженной дамбе шламового отстойника "Дальний" ОАО "Шахта им. С.М. Кирова" / Костюков Е.В., Простов С.М., Бахаева С.П., Гуцал М.В. // Вестн.КузГТУ, 2004.№ 2. С.24-29.

□ Авторы статьи:

Костюков  
Евгений Владимирович  
– аспирант каф. теоретической и  
геотехнической механики

Простов  
Сергей Михайлович  
– доктор техн. наук, проф. каф. теоретической и геотехнической механики

Бахаева  
Светлана Петровна  
– канд. техн. наук, зам. директора  
НФ "КУЗБАСС-НИИОГР"

**УДК 550.372: 622.267**

**Е.В. Костюков, С.М. Простов, С.П. Бахаева, М.В.Гуцал**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБВОДНЕННЫХ ЗОН В ПРОТЯЖЕННОЙ ДАМБЕ ШЛАМОВОГО ОТСТОЙНИКА "ДАЛЬНИЙ" ОАО "ШАХТА им. С.М. КИРОВА"

В результате аналитических и экспериментальных исследований КузГТУ совместно с НФ "КУЗБАСС-НИИОГР" разработана методика выявления и контроля развития локальных обвод-

ненных неустойчивых зон в техногенных породных массивах, в том числе, в ограждающих дамбах гидротехнических сооружений горнодобывающих предприятий бесскважинным геоэлектри-

ческим методом, основанная на измерении пространственно-временных вариаций эффективного удельного сопротивления массива  $\rho_k$  по схемам вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и электропрофилирования (ЭП) [1].

Для повышения точности геоэлектрического контроля применялась модифицированная схема установки электродов  $AMNB$ , которая обеспечивает оптимальный по информативности режим работы измерительного прибора в широком диапазоне  $\rho_k$  (рис. 1). Основное отличие модифицированной схемы состоит в том, что принимают постоянным базовый размер  $a=AM=NB$  в диапазоне  $a=2,5 \div 5$  м. При разносе  $AB \leq 3a$  принимают  $MN = AM = NB = AB / 3$ , при  $AB > 3a$  увеличивают только размер  $MN$ . Эффективное УЭС массива определяют по формуле (в Ом·м):

$$\rho_k = k \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}},$$

где  $k$  – геометрический коэффициент установки, зависящий от взаимного расположения электродов, изменяющийся при  $a=5$  м в диапазоне  $k=8,7 \div 31,4$ ;  $\Delta U_{MN}$  – падение напряжения между измерительными электродами  $MN$ , В;  $I_{AB}$  – величина стабилизированного тока питающей цепи  $AB$ , А.

Результатом измерений являются графики ВЭЗ  $\rho_k(AB)$  или ЭП  $\rho_k(x)$ . Глубина зондирования  $h$  нелинейно зависит от разноса  $AB$ .

Электрофизические исследования приборочных участков открытых горных выработок в Кузбассе [2, 3] и дамб гидротехнических сооружений в Беларуси [3] показали, что формирование обводненных зон на глубине  $h=2\div20$  м сопровожда-

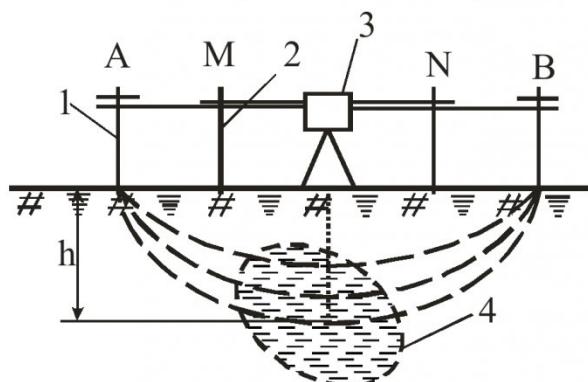


Рис. 1. Схема бесскважинного геоэлектрического контроля:

- 1 – питающий электрод;
- 2 – измерительный электрод;
- 3 – каротажный прибор КП-2;
- 4 – обводненная зона (фильтрационный коллектор)

ется отрицательными аномалиями на графиках ВЭЗ и ЭП с амплитудой до 30%.

Ниже приведены результаты исследований

физического состояния дамбы шламового отстойника ОФ ОАО "Шахта им. С.М. Кирова", характеризующейся большой протяженностью и малым поперечным сечением.

Шламовый отстойник представлен двумя картами, наиболее детально исследовалась карта №1, на которой были отмечены многочисленные выходы фильтрационных вод на низовой откос дамбы. Емкость и площадь карты №1 составляют  $640$  тыс.м<sup>3</sup> и  $20$  га соответственно (рис. 2). Первичная дамба отстойника отсыпана местными суглинками, талая, без противофильтрационных устройств в основании. Параметры дамбы: заложения верхового и низового откосов  $1:3$ ; ширина по гребню  $5$  м; высота  $5\div8$  м; длина напорного фронта  $1840$  м. В последующем с целью увеличения емкости шламового отстойника практически на всем протяжении (ПК5-ПК46) поверх первичной дамбы произведено наращивание ограждающей дамбы породами обогатительной фабрики. В результате изменилась конструкция сооружения: первичная дамба из суглинка, оказавшись в центральной части сечения, стала выполнять функцию противофильтрационного элемента – ядра. Западный участок дамбы (ПК0÷ПК4) отсыпан горелыми и склонными к самовозгоранию породами.

Для предварительных исследований были отобраны пробы грунтов, шлама и отфильтрованной воды. Проведены лабораторные измерения удельного электросопротивления (УЭС)  $\rho$  по стандартной методике (ГОСТ 6433–82) 4-электродным методом на постоянном токе.

Образцы помещались в ячейки прямоугольной формы ( $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ ) м с круглыми плоскими питающими и стержневыми измерительными электродами, измерения проводили каротажным прибором КП-2. Результаты измерений УЭС образцов и их статистическая обработка представлены в таблице.

Предварительные лабораторные исследования показали, что насыпные грунты дамбы имеют относительно высокое УЭС, которое определяется их значительной пористостью. При уплотнении этих грунтов УЭС может снижаться в  $1,5\div2,5$  раза. Высокое среднее квадратичное отклонение ( $\sigma_p > 50$  %) свидетельствует о широком диапазоне изменения параметра  $\rho$  на различных участках дамбы. Горелые породы обладают очень высокой проводимостью и фактически являются электрическим экраном. Жидкости обоих типов представляют собой технические растворы средней степени минерализации, причем УЭС фильтрованной воды в среднем на 18 % ниже, чем нефильтрованной пульпы. Насыщение влагой грунтов, имеющих коэффициент пористости  $m > 0,1$ , приводит к снижению УЭС насыпных уплотненных грунтов более чем на порядок ( $\rho = 15\div30$  Ом·м), а горелых грунтов всего на 10–15 %. В этой связи по прогнозным оценкам, влагонасыщенные зоны в теле дамбы, сложенной насыпными грунтами без шла-

\* Работа выполнена при поддержке гранта Минобразования России А 03-2.13-12

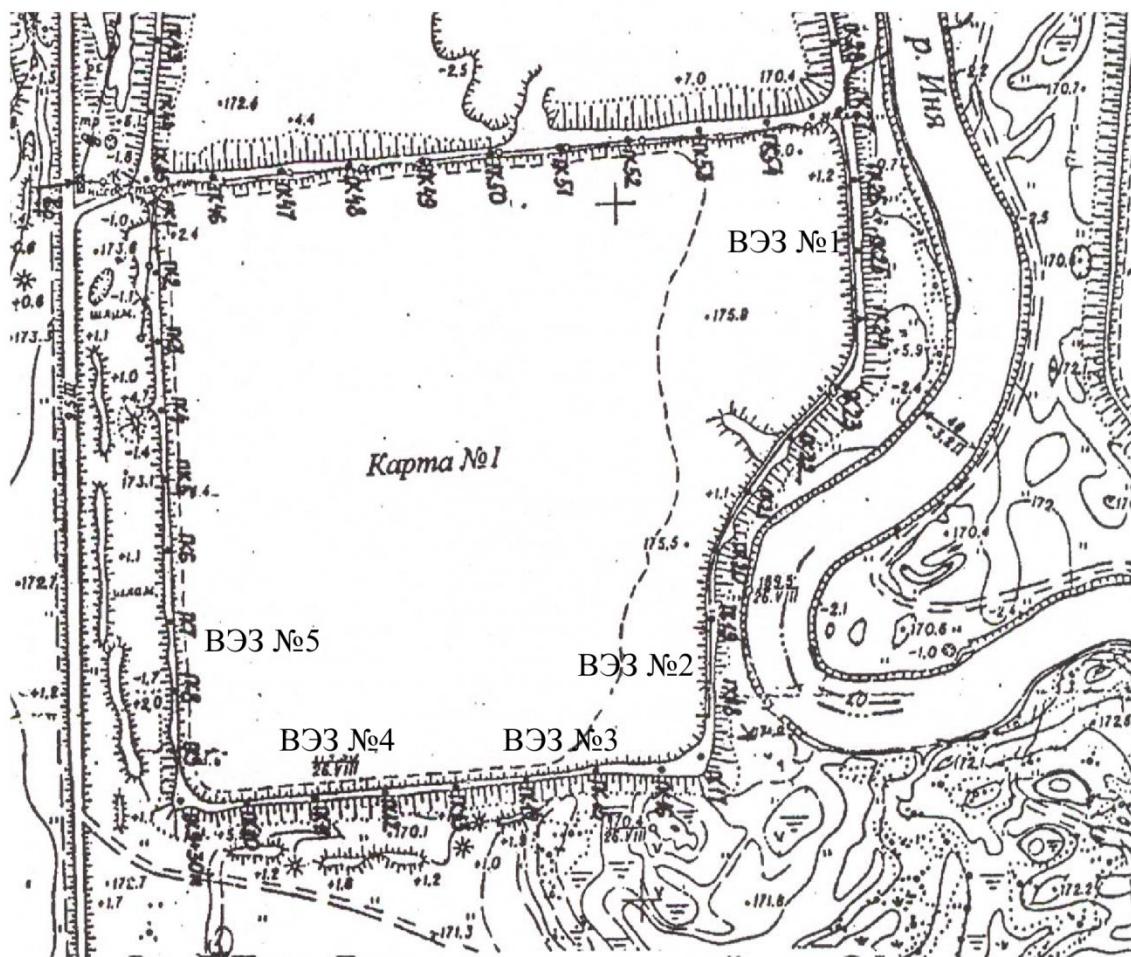


Рис. 2. План шламового отстойника "Дальний" ОФ ОАО "Шахта им. С.М. Кирова"

ка, должны отмечаться отрицательными аномалиями УЭС.

Экспериментальные участки ВЭЗ были намечены по результатам рекогносировки: ВЭЗ №1 – ПК25 восточной дамбы – отсутствует выход фильтрационных вод на низовом откосе и в нижнем бьефе; ВЭЗ №2 – ПК18 восточной дамбы – имеется выход водопроводящего коллектора в верхней части откоса; ВЭЗ №3 – ПК15 южной дамбы – имеется выход коллектора в нижней части откоса; ВЭЗ №4 – между ПК12 и ПК13 – имеется выход коллектора в подошве низового откоса, заболочена территория нижнего бьефа; ВЭЗ №5 – ПК7 западной дамбы имеется выход коллектора в

подошве низового откоса. На всех участках центр зондирования располагался в средней части гребня. Результаты ВЭЗ представлены на рис. 3.

График ВЭЗ №1 (рис. 3, а) показывает наличие на исследуемом участке двухслойной геоэлектрической структуры: слой 1 ( $AB=0-10,5$  м) с уровнем  $\rho_k = 15 \div 18 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  соответствует насыпному грунту, увлажненному атмосферными осадками; слой 2 ( $AB>10,5$  м,  $\rho_k = 18 \div 25 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) – слою глины и суглинков основания.

На графике ВЭЗ №2 (рис. 3, б) отмечаются три геоэлектрические зоны: между слоем насыпного грунта 1 и границей слоя основания 3 установлена

### Таблица

## УЭС образцов пород, пульпы и отфильтрованной воды

Образец	УЭС, Ом·м	
	Математическое ожидание $\bar{\rho}$	Среднее квадратичное отклонение $\sigma_{\rho}$
1. Породы обогатительной фабрики (насыпной грунт тела дамбы) при комнатной влажности	362,7	186,8 (51,6%)
2. Горельник при комнатной влажности	7,143	0,55 (7,7%)
3. Угольный шлам	2,653	0,107 (3,82%)
4. Отфильтрованная вода	2,242	0,22 (9,81%)

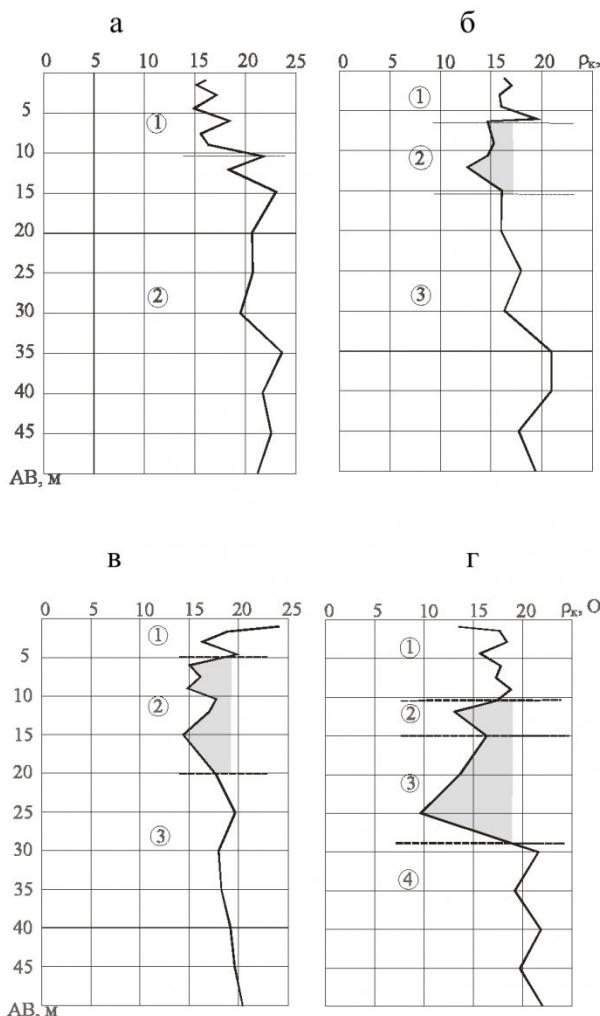


Рис. 3. Результаты ВЭЗ на замерных станциях №1 ПК25 (а), №2 ПК18 (б), №3 ПК15 (в), №4 ПК11÷ПК12 (г):  
1 – насыпной грунт естественной влажности; 2 –  
водонасыщенный насыпной грунт;  
3 – водонасыщенные насыпные суглинки; 4 – суг-  
линки основания естественной влажности

аномальная зона 2 ( $AB=6\div15$  м,  $\rho_k = 12,4\div14,5$   $\Omega\cdot\text{м}$ ), соответствующая водонасыщенным насыпным грунтам.

На графике ВЭЗ №3 (рис. 3, в) аномальная зона 2 зафиксирована на интервале  $AB=5\div20$  м ( $\rho_k = 14,5\div17,5$   $\Omega\cdot\text{м}$ ), при этом уровень  $\rho_k$  слоев 1÷3 соответствует результатам, полученным при ВЭЗ №2, что свидетельствуют о более интенсивном развитии водонасыщения в нижней части тела дамбы и частичном распространении его на грунты основания.

Существенные изменения в результатах ВЭЗ зафиксированы на четвертой замерной станции (рис. 3, г): на интервале  $AB=15\div30$  м установлена ярко выраженная отрицательная аномалия с минимальным уровнем  $\rho_k = 9,5$   $\Omega\cdot\text{м}$ . Данная аномалия может быть интерпретирована как слой водо-

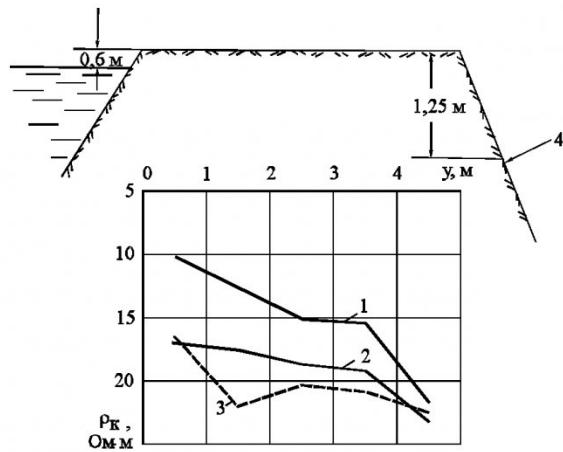


Рис. 4. Схема и результаты поперечного профи-  
лирования: 1 – участок фильтрации в теле дам-  
бы на 06.09.02 (ПК18,  $AB=12$  м); 2 – то же на  
13.09.02; 3 – участок без признаков водопрояв-  
ления; 4 – место выхода коллектора

насыщенных суглинков. Развитие на данном участке наблюдений заболоченной зоны в нижнем бьефе подтверждает полученные результаты геофизических исследований.

На участках выявленных аномальных зон амплитуда аномалий УЭС ( $\Delta\rho_k$ ) изменялась от 5 до 8,5  $\Omega\cdot\text{м}$  (20-50 % от среднего уровня  $\rho_k$ ).

Глубина зондирования  $h$  изменяется при электроразведочных измерениях с земной поверхности в зависимости от соотношений мощностей и УЭС слоев геоэлектрического разреза в диапазоне  $h=(0,1\div0,5)AB$ .

В условиях данного объекта исследований по результатам сопоставления результатов ВЭЗ с измеренной высотой насыпного слоя  $h=(0,35\div0,4)AB$ . Данное выражение позволяет оценивать глубину расположения геоэлектрических аномалий при интерпретации ВЭЗ и эффективную глубину зондирования при ЭП (толщину слоя, оказывающего наибольшее влияние на формирование аномалий  $\rho_k$ ).

С целью детализации параметров обводненных зон в различных сечениях дамбы было выполнено поперечное профилирование с разносом  $AB=10,5\div12$  м, соответствующим нижней границе аномального слоя.

Результаты поперечного ЭП представлены на рис. 4, причем графики 1 и 2 соответствуют замерам на ПК18, где зафиксирован выход фильтрационного коллектора на низовом откосе, а график 3 – ПК25, где водопроявления не были зафиксированы.

Графики 1 и 2 отражают форму депрессионной кривой в сечении дамбы (общее повышение уровня  $\rho_k$  на графике 2 произошло вследствие увеличения УЭС поверхностного слоя из-за отсутствия атмосферных осадков в период между

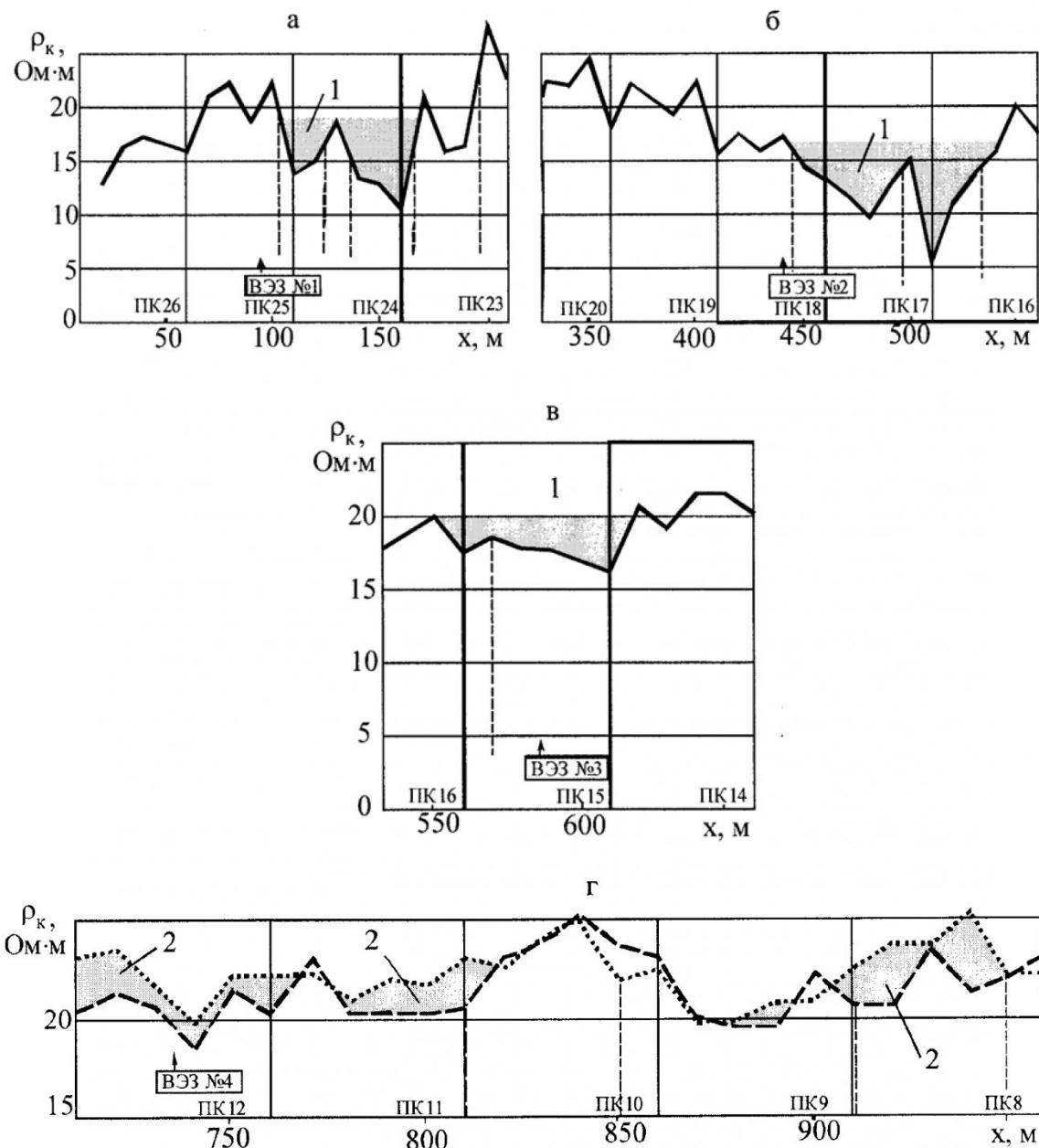


Рис. 5 Графики продольного ЭП по оси дамбы, на участках выявленных обводненных зон с локальным увеличением высоты насыпного слоя (а), местным расширением тела дамбы (б), с развитием заболоченных зон на поверхности основания (г):  
—  $AB=10,5\text{ м}$ ; - -  $AB=15\text{ м}$ ; ···  $AB=25\text{ м}$ ;  
1 - обводненная зона в теле дамбы; 2 - обводненная зона в основании дамбы

наблюдениями). Из графика 3 поперечного профиля при  $AB=10,5\text{ м}$  следует, что зона увлажнения насыпных грунтов локализована на расстоянии  $y=1,5\text{ м}$  от края гребня.

Результаты поперечного ЭП позволяют прогнозировать параметры поверхности депрессионной кривой в теле дамбы, что дает возможность повысить точность прогноза фильтрационной и статической устойчивости на участке сформированного фильтрационного коллектора.

Для исследования аномалий геоэлектрической структуры дамбы и выявления скрытых влагонасыщенных зон и фильтрационных коллекторов на всем ее протяжении выполнено электропрофилирование (ЭП). Основным параметром ЭП является разнос питающих электродов  $AB$ .

На основе данных ВЭЗ участки дамбы представляют собой двух-, трех- и четырехслойные геоэлектрические разрезы. Для оценки фильтрационной и статической устойчивости наиболее

важными представляются следующие параметры ее состояния: на участках без признаков водопроявления – толщина слоя насыпных пород; на участках с водопроявлениями – протяженность и глубина расположения обводненных зон.

С учетом этих обстоятельств разнос  $AB$  по профилю дамбы был принят переменным:

- на восточном участке (ПК27÷ПК16)  $AB=10,5$  м (эффективная глубина зондирования  $h=3,5÷4,2$  м), что соответствует расположению нижней границы слоя 1 на графике ВЭЗ №1 (рис. 3, а);

- на южном и западном участках (ПК15÷ПК1):  $AB=15$  м ( $h=5,5÷6$  м) и  $AB=25$  м ( $h=8,8÷10$  м), что соответствует расположению нижних границ слоев 2 и 3 на графике ВЭЗ №4 (рис. 3, г);

- на участке ПК17÷ПК14 (переходном) для сопряжения результатов применялись все три разноса.

Для обеспечения максимальной детальности исследований шаг профилирования был принят  $\Delta x=10$  м.

Результаты ЭП по оси дамбы с привязкой к пикетам и участкам ВЭЗ приведены на рис. 5.

На основной части графиков ЭП диапазон изменения эффективного УЭС составляет  $\rho_k = 15÷25$  Ом·м.

Формирование обводненных зон в насыпном слое сопровождается отрицательными аномалиями  $\rho_k$  с амплитудой от 3 до 7 Ом·м (рис. 5, а-в).

Заболоченные зоны (рис. 5, г) характеризуются устойчивой разностью  $\rho_k$  при разносе  $AB=15$  м и  $AB=25$  м ( $\rho_{k AB=25m} - \rho_{k AB=15m} \geq 3$  Ом·м).

Увеличение высоты насыпного слоя (рис. 5, а), а также местное расширение тела дамбы (рис. 5, б) являются источниками отрицательных дополнительных аномалий с амплитудой до 5 Ом·м (рис. 5, б).

На интервале ПК4-ПК0, где тело дамбы сложено в основном горелым грунтом (шлаком) уровень  $\rho_k$  упал ниже 5 Ом·м, что соответствует данным лабораторных измерений. Наличие экранирующего поверхностного слоя в исследуемом массиве резко снижает информативность геоэлектрического контроля.

Результаты геоэлектрического прогноза физического состояния техногенных грунтовых массивов позволили выявить наиболее потенциально опасные участки в отношении развития фильтрационных коллекторов в теле и основании ограждающей дамбы на всем ее протяжении. Результаты ВЭЗ и поперечного ЭП были использованы при поверочных расчетах статической и фильтрационной устойчивости откосов дамбы.

Для более надежной оценки состояния устойчивости дамбы на участках со скрытыми аномалиями свойств грунтов тела и основания дамбы необходимо бурение инженерно-геологических скважин с отбором монолитов и определением их физико-механических свойств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по контролю геомеханических и фильтрационных процессов в техногенных породо-грунтовых массивах гидротехнических сооружений горных предприятий комплексным геоэлектрическим методом. – Кемерово: ГУ КузГТУ, НФ "КУЗБАСС-НИИОГР", 2003.– 42 с.
2. Простов С.М. Определение геометрических параметров обводненных неустойчивых зон методами электрометрии// С.М. Простов, М.В. Гуцал, В.Х. Шаймуратов// Изв. вузов. Горный журнал.– 2000.–№6.– С.12–15.
3. Простов С.М. Определение параметров углевмещающих осадочных пород электрофизическим методом / С.М. Простов, А.С. Костромин // Вестник РАЕН (Зап.-Сиб. отд.). 2001. Вып.4.– С.163–168.
4. Прохоров Н.Н. Применение геофизических моделей реальных зон фильтрации растворов для определения технического состояния дамб шламохранилищ на РУП "ПО Беларуськалий"/ Н.Н. Прохоров, В.Б. Вагин, Н.Ф. Ушановский, И.С. Невельсон, В.А. Чуров // Маркшейдерия и недропользование.– 2002.– №2.– С.52–55.

□ Авторы статьи:

Костюков  
Евгений Владимирович  
– аспирант каф. теоретической  
и геотехнической  
механики

Простов  
Сергей Михайлович  
– доктор техн. наук, проф.  
каф. теоретической и гео-  
технической механики

Гуцал  
Максим Владимирович  
– канд. техн. наук, ст.  
препод. каф. теоретической  
и геотехнической  
механики

Бахаева  
Светлана Петровна  
– канд. техн. наук, зам.  
директора НФ "КУЗБАСС-  
НИИОГР"