

## Применение методов электроразведки для изучения грунтовой плотины

Д. В. Григорьев, А. С. Ведерников\*

\*Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия;  
e-mail: [avedernikov@igduran.ru](mailto:avedernikov@igduran.ru)

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
29.01.2026;

получена  
после доработки  
24.04.2026;

принята  
к публикации  
06.05.2026

### Ключевые слова:

грунтовая плотина,  
фильтрация воды,  
электроразведка,  
метод естественного  
поля,  
электротомография

Стабильность земляной плотины может быть нарушена вследствие водной эрозии и фильтрации воды, которая в первую очередь влияет на распределение удельного электрического сопротивления в грунте плотины. В статье представлены результаты проведения комплексных геофизических электроразведочных исследований тела плотины с целью контроля возможной фильтрации воды через ее суглинистый экран. Приведены исследования двумя методами электроразведки: естественного поля (ЕП) и зондированиями по методике электротомографии (ЭТ). Метод естественного поля – это пассивный метод электроразведки, определяющий потенциалы, возникающие в массиве вследствие переноса зарядов движущимися потоками воды. Из анализа данных метода ЕП выделена зона повышенных значений потенциалов – длина данного участка составила более 400 м, значения потенциалов превысили 60 мВ. Электротомография позволяет определить структуру массива на основе распределения значений удельного электрического сопротивления пород. Из результатов электротомографии определено, что тело плотины и коренные породы в ее основании обводнены практически повсеместно. Обработка и интерпретация данных измерений позволили определить потенциальные проблемные места фильтрации воды.

### Для цитирования

Григорьев Д. В. и др. Применение методов электроразведки для изучения грунтовой плотины. Вестник МГТУ. 2026. Т. 29, № 2. С. 265–274. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2026-29-2-265-274>.

## Application of electrical survey methods for studying the earth dam

Danila V. Grigoriev, Andrey S. Vedernikov\*

\*Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia;  
e-mail: [avedernikov@igduran.ru](mailto:avedernikov@igduran.ru)

### Article info

Received  
29.01.2026;

received  
in revised form  
24.04.2026;

accepted  
06.05.2026

### Key words:

earth dam,  
water seepage,  
electric exploration,  
self-potential method,  
electrical resistivity  
tomography

### Abstract

The stability of an earth dam may be compromised by water erosion and seepage, which primarily affect the distribution of specific electrical resistivity within the dam's soil. This paper presents the results of complex geophysical electrical surveys of the dam body conducted to monitor potential water seepage through its clay screen. The study presents investigations using two electrical survey methods: the self-potential method and electrical tomography. The self-potential method is a passive electrical survey method that determines the potentials arising in the rock mass due to the transport of charges by moving water flows. Analysis of the self-potential field method data has identified a zone of high potential values – the length of this section exceeds 400 m, and the potential values exceed 60 mV. Electrical tomography allows the structure of the rock mass to be determined based on the distribution of the specific electrical resistivity of the rocks. The results of the electrical tomography have indicated that the dam body and the bedrock at its foundation are saturated with water almost everywhere. Processing and interpretation of the measurement data have made it possible to identify potential problem areas for water seepage.

### For citation

Grigoriev, D. V. et al. 2026. Application of electrical survey methods for studying the earth dam. *Vestnik of MSTU*, 29(2), pp. 265–274. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2026-29-2-265-274>.

## Введение

Плотины, которыми перекрывают реки и ручьи для различных целей, должны быть прочными, чтобы выдерживать давление водохранилища при любом проектном уровне накопленной водной нагрузки. По использованным для строительства материалам плотины можно разделить на три типа: земляные, каменные и бетонные. Наиболее распространены в силу их эффективности и простоты конструкции земляные плотины.

Постоянное техническое обслуживание плотин имеет значение, поскольку возможная авария может привести к ущербу катастрофических масштабов. Так, за период с 2000 по 2009 г. в мире произошло более 200 инцидентов с плотинами (Cannata et al., 2012), а по данным Стэнфордского университета в США в среднем случается до 24 инцидентов в год<sup>1</sup>. По результатам статистического анализа происшествий с плотинами, задокументированных начиная с 1900 г., недостаточный или некачественный контроль состояния тела плотины имели ключевое значение в причинах происшествий в более чем трети случаев (Moreno-Rodenas et al., 2025). Кроме того, те же исследователи отмечают потенциальную возможность возникновения до пары десятков серьезных инцидентов на крупных плотинах в ближайшее десятилетие.

Электрическое сопротивление является одним из физических свойств горных пород, надежно определяемых геофизическими методами. Электроразведка очень эффективна для определения глубины зоны водонасыщения и схемы движения грунтовых вод<sup>2</sup>. Сопротивление грунтов зависит от насыщенности, пористости, проницаемости, ионного содержания поровых жидкостей и содержания глины. В случае просачивания воды через плотину это можно обнаружить как низкое сопротивление<sup>3</sup> (Johansson et al., 1996). Несмотря на искажения данных о кажущемся сопротивлении, вызванные топографией и изменением электрических свойств, использование метода сопротивлений на плотинах является практичным и удобным инструментом для обнаружения зон инфильтрации. Ранее геофизические исследования продемонстрировали полезность использования методов электрического сопротивления для обнаружения и оценки условий инфильтрации, возникающей на плотинах (Panthulu et al., 2001).

Обнаружение и оценка рыхлых участков грунтов, которые могут быть источником утечки воды через плотину, крайне необходимы для предотвращения разрушения конструкции плотины (Osazuwa et al., 2008).

Цель работы состоит в том, чтобы обнаружить потенциальные места инфильтрации и оценить состояние тела Верхнеуральской плотины. Для этого предложено оценить распределение электрических сопротивлений и определить характер возникающего естественного электрического поля в массиве.

## Объект и методы исследований

Верхнеуральская плотина, построенная в 60-е годы прошлого века на р. Урал, должна была создать резервное водохранилище и покрыть все возрастающие в связи с расширением производства нужды Магнитогорского металлургического комбината (г. Магнитогорск, Челябинская область, РФ). Существовавшее к тому времени Магнитогорское водохранилище, расположенное в г. Магнитогорске, уже не справлялось ни по количеству, ни по качеству требуемой воды. Плотина является грунтовой, намывной песчано-гравийной с суглинистым экраном, длина составила более 1,5 км, высота 27 м. Образованное ей Верхнеуральское водохранилище – одно из крупнейших в Челябинской области – 23 км в длину и 3 км в ширину, площадь водного зеркала составляет 76,5 км<sup>2</sup>, объем – 601 млн м<sup>3</sup>, глубина водохранилища более 10 м. Плотина расположена в южной части водоема (рис. 1). Несмотря на значительный срок эксплуатации, более 60 лет, и благодаря постоянному контролю ее состояния, плотина исправно выполняет свои функции. Для определения причин и путей существующих потоков воды через тело плотины возникла задача дополнительного изучения ее строения.

Наиболее достоверным средством изучения принято считать бурение, однако в случае грунтовых плотин следует по возможности избегать каких-либо нарушений их целостности. В таком случае эффективным может оказаться применение геофизики, в частности комплекса электроразведочных методов, направленных на определение возможных мест инфильтрации воды в обход суглинистого экрана (Ахметов и др., 2020;

---

<sup>1</sup> Dam Failures in the U.S. National Performance of Dams Program. 1st ed. [pdf]. Dept. of Civil & Environmental Engineering, Stanford University. Available at: [https://npdp.stanford.edu/sites/default/files/reports/npdp\\_dam\\_failure\\_summary\\_compilation\\_v1\\_2018.pdf](https://npdp.stanford.edu/sites/default/files/reports/npdp_dam_failure_summary_compilation_v1_2018.pdf). [Accessed 20 Dec. 2025].

<sup>2</sup> Loke, M. H. Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys. 2004. [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com); Loke M. H. Electrical Imaging Surveys for Environment and Engineering Studies (A Practical Guide to 2D and 3D Surveys) // Earth Sciences, Vol. 6574525, No. 1999. [www.terraplus.com](http://www.terraplus.com).

<sup>3</sup> Aal G. Z. A., Ismail A. M., Anderson N. L., Atekwana E. A. Geophysical Investigation of Seepage from an Earth Fill Dam, Washington County, MO. URL: <https://www.researchgate.net/publication/242269748>.

Adamo et al., 2021). В наших исследованиях были применены следующие методы: а) естественного электрического поля (ЕП); б) зондирований по методике электротомографии (ЭТ).



Рис. 1. Район проведения исследований  
Fig. 1. Study area

Выбранные методы помогут определить, связано ли просачивание с характером грунтовых материалов, использованных при строительстве плотины, или является результатом наличия рыхлых нарушенных структур в плотине.

Типичный разрез в центральной части плотины приведен на рис. 2.

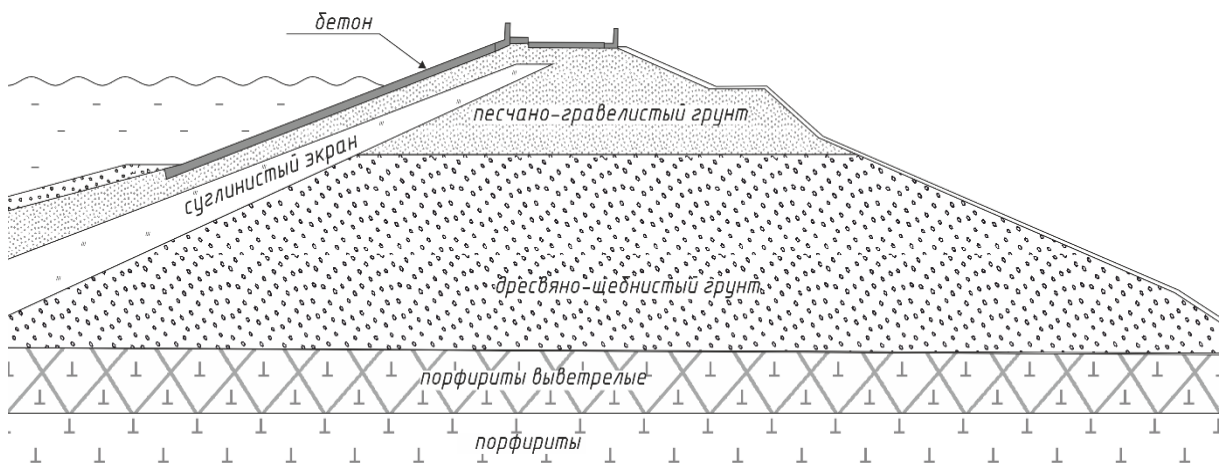


Рис. 2. Типичный разрез в центральной части плотины  
Fig. 2. Typical cross-section of the central part of the dam

Метод естественного потенциала является пассивным геоэлектрическим методом, чувствительным к подземным потокам.

Крупномасштабные и мелкомасштабные аномалии естественного потенциала связаны с физическими процессами, происходящими на микроскопическом уровне. В гидрогеологической разведке влияние подземных водных потоков в основном обусловлено эффектом потенциала потока (Revil et al., 2007; Revil et al., 2013). На контакте водного потока и минералов возникает заряд<sup>4</sup> (Avena et al., 1998). Обмен электрическим зарядом между минералами и жидкостью происходит на границе раздела, известной как двойной электрический слой (Revil et al., 1996; Jouniaux et al., 2009; Jougnot et al., 2019). По мере движения воды, содержащейся в пористой среде, смещение этого избыточного заряда генерирует плотность тока, известную как плотность тока потока. Это приводит к электромагнитным возмущениям в уравнениях Максвелла и, следовательно, к появлению компоненты электрического поля, регистрируемой в методе ЕП.

Изначально метод ЕП использовался в разведке полезных ископаемых, сейчас он также находит место в экологической и инженерной геофизике и других областях применения (Nyquist et al., 2002).

Методика работы заключается в измерении разности потенциалов между рядовыми точками наблюдения и базовой точкой. Для учета остаточной поляризации электродов применяют способ измерения "петлей" с периодическим возвращением на опорную точку и корректировкой данных на рядовых точках съемки (Aumar et al., 2023). Для исключения влияния металлических электродов на результаты измерений в полевых условиях применяют неполяризующиеся электроды – керамические пористые емкости, заполненные раствором медного купороса (Семенов, 1980).

Вторым методом в комплексе с ЕП был метод сопротивлений на постоянном токе по методике электротомографии. Электротомография – это исследования, включающие в себя как методику полевых наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации результатов полевых измерений. Особенностью электротомографии является многократное использование в качестве питающих и измерительных одних и тех же фиксированных на профиле наблюдений положения электродов (Электрическое зондирование..., 1988; Григорьев и др., 2025).

В отличие от пассивного метода естественного потенциала, измерения по методике электротомографии осуществляются с генерацией постоянного тока, подаваемого в массив через пару питающих электродов, а возникающие различия потенциалов измеряются на поверхности с помощью другой пары электродов в зоне воздействия электрического поля. По сути, профиль в электротомографии представляет собой десятки точек измерений вертикальных электрических зондирований. Любые существующие неоднородности в породах (слоистость, трещины, пустоты и т. п.) могут привести к значительным изменениям в распространении электрического поля и будут выделяться аномальными значениями на фоне базовых значений. По интенсивности тока, проходящего через массив, геометрии расположения электродов и разности потенциалов, измеренной приемными электродами, можно рассчитать значения кажущегося удельного сопротивления, обусловленные имеющимися неоднородностями.

Методика электротомографии благодаря использованию высокой плотности наблюдений (до нескольких сотен и тысяч измерений на каждой расстановке) позволяет существенно повысить разрешение, особенно в горизонтальном направлении (Бобачев и др., 2008). Это приводит к повышению качества интерпретации данных электротомографии. Для достижения максимальной эффективности при проведении полевых работ применяется специальная аппаратура с программируемой автоматической коммутацией электродов (Григорьев и др., 2019).

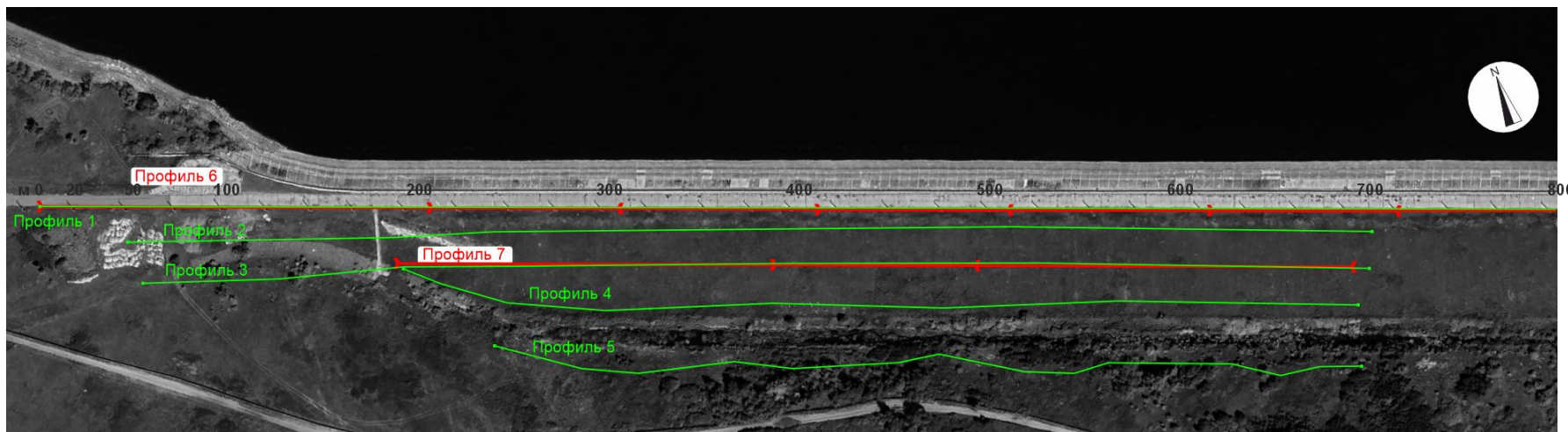
В наших исследованиях был применен электроразведочный измеритель "Мэри-24" с коммутатором электродов CommDD2-64 и генератором "ВП-1000". Была использована 64-электродная коса с шагом между электродами 5 м. Измерения производились по заранее составленному протоколу, на каждой расстановке было произведено по 558 измерений. Затем измеренные значения подвергались обработке и последующей инверсии в программе ZondRes2d.

## Результаты и обсуждение

На исследуемой плотине Верхнеуральского гидроузла проведены геофизические электроразведочные исследования по методу естественного поля по 5 профилям в грунтовой части плотины и по методике электротомографии на 3 профилях. Положение электроразведочных профилей представлено на рис. 3.

---

<sup>4</sup> Огильви А. А. Основы инженерной геофизики. М. : Недра, 1990. 501 с.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Профиль 7 — - профиль электротомографии

Профиль 5 — - профиль метода естественного электрического поля

м 0 50 100 200

Рис. 3. Схема расположения профилей естественного потенциала и электротомографии на территории Верхнеуральской плотины  
 Fig. 3. Layout of self-potential and electrical tomography profile lines at the Verkhneuralsk Dam

Измерения методом естественного поля были проведены по пяти профилям в основном в правобережной части плотины. Профиль 1 пройден по гребню плотины, профили 2–4 – по склону плотины, и профиль 5 пройден у основания плотины вдоль дренажной канавы. Длины профилей составили от 440 до 1100 м, суммарно методом ЕП было пройдено более 3 км с шагом измерений по профилю 10 м. По измеренным значениям разности потенциалов с учетом методики обработки измерений метода ЕП построены графики, приведенные на рис. 4.

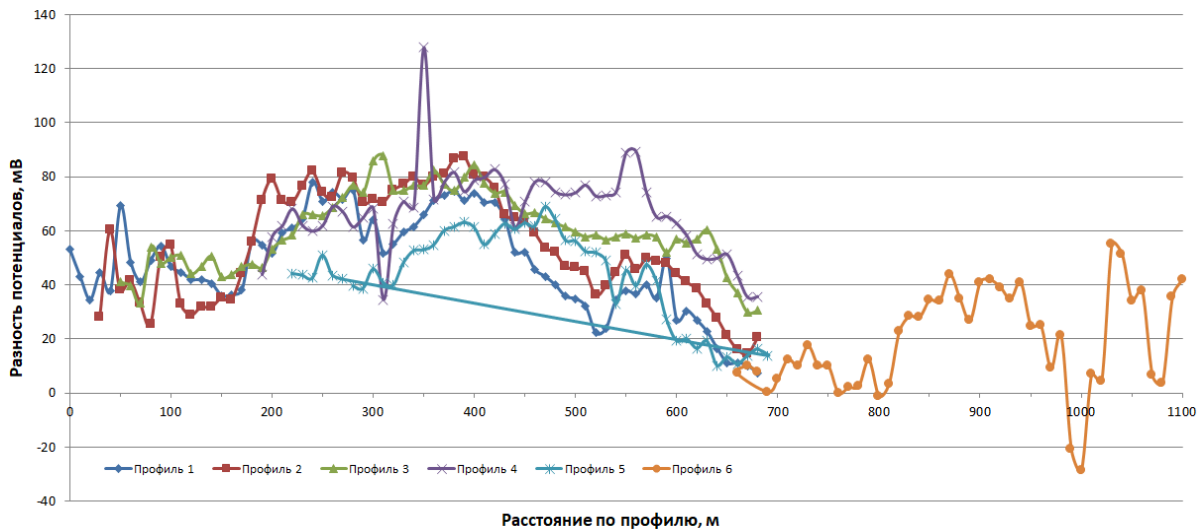


Рис. 4. Графики распределения измеренных значений ЕП вдоль тела плотины  
Fig. 4. Measured SP values along the dam body

Карта изолиний ЕП представлена на рис. 5. На результатах ЕП выделяется обширная аномалия (значения более 60 мВ) на профилях, пройденных по гребню и склону плотины, на отметках по профилям от 175 до 600 м.

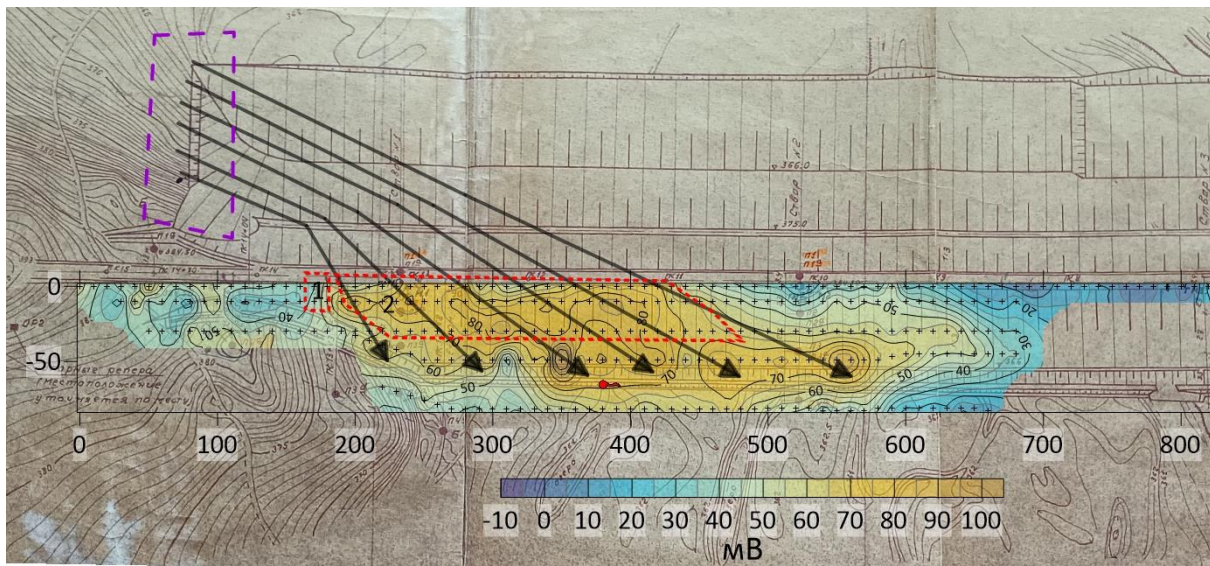


Рис. 5. Карта распределения измеренных значений ЕП вдоль тела плотины и предполагаемые направления фильтрации воды  
Fig. 5. Distribution of measured SP values along the dam body and the presumed directions of water filtration

Фильтрация осуществляется, согласно основной гипотезе, из-за особенностей сформированного при строительстве примыкания плотины (фиолетовый контур). Направление фильтрации согласуется с исходным рельефом основания плотины, а также периодическим превышением уровней воды в контрольных скважинах в створах Б-Б и № 1. Кроме того, красными пунктирными контурами на рис. 5 вынесены аномальные участки, определенные ниже по разрезу УЭС электротомографии. Частично данное примыкание на момент проведения исследований находилось под водой, что не позволило провести дополнительные исследования для подтверждения предполагаемого пути инфильтрации воды. Предложенная гипотеза фильтрации

не противоречит результатам электротомографии и аномальной области в интервале 400–600 м, поскольку аномалии пониженных значений УЭС свидетельствуют об обводненности пород, но по ним нельзя судить о скорости фильтрации. Кроме того, по данным измерений ЕП фильтрационный потенциал в интервале 400–600 м постепенно ослабевает по мере удаления от примыкания до фоновых значений.

После рассмотрения результатов ЕП на их основе были определены параметры выполнения измерений (шаг измерений, их количество, сила тока) и места расположения профилей по методике электротомографии.

Здесь же, в правобережной части плотины, выполнены измерения на 7 расстановках по системе roll along электроразведкой по методике электротомографии. Измерения на расстановках 1–4 осуществлялись с перекрытием 1/3 расстановки и в процессе обработки были объединены в один общий профиль № 6. Измерения на расстановках 6 и 7 также осуществлялись с перекрытием 1/3 расстановки и были объединены в общий профиль № 7 (рис. 3).

Исследования по методике электротомографии выполнялись установкой Шлюмберже.

В районе отметки 170 м по профилю № 6 электротомографии, пройденному по гребню плотины, наблюдается область низких значений в районе примыкания плотины к скальным грунтам (рис. 6), на разрезе она выделена контуром с цифрой 1 (рис. 5).

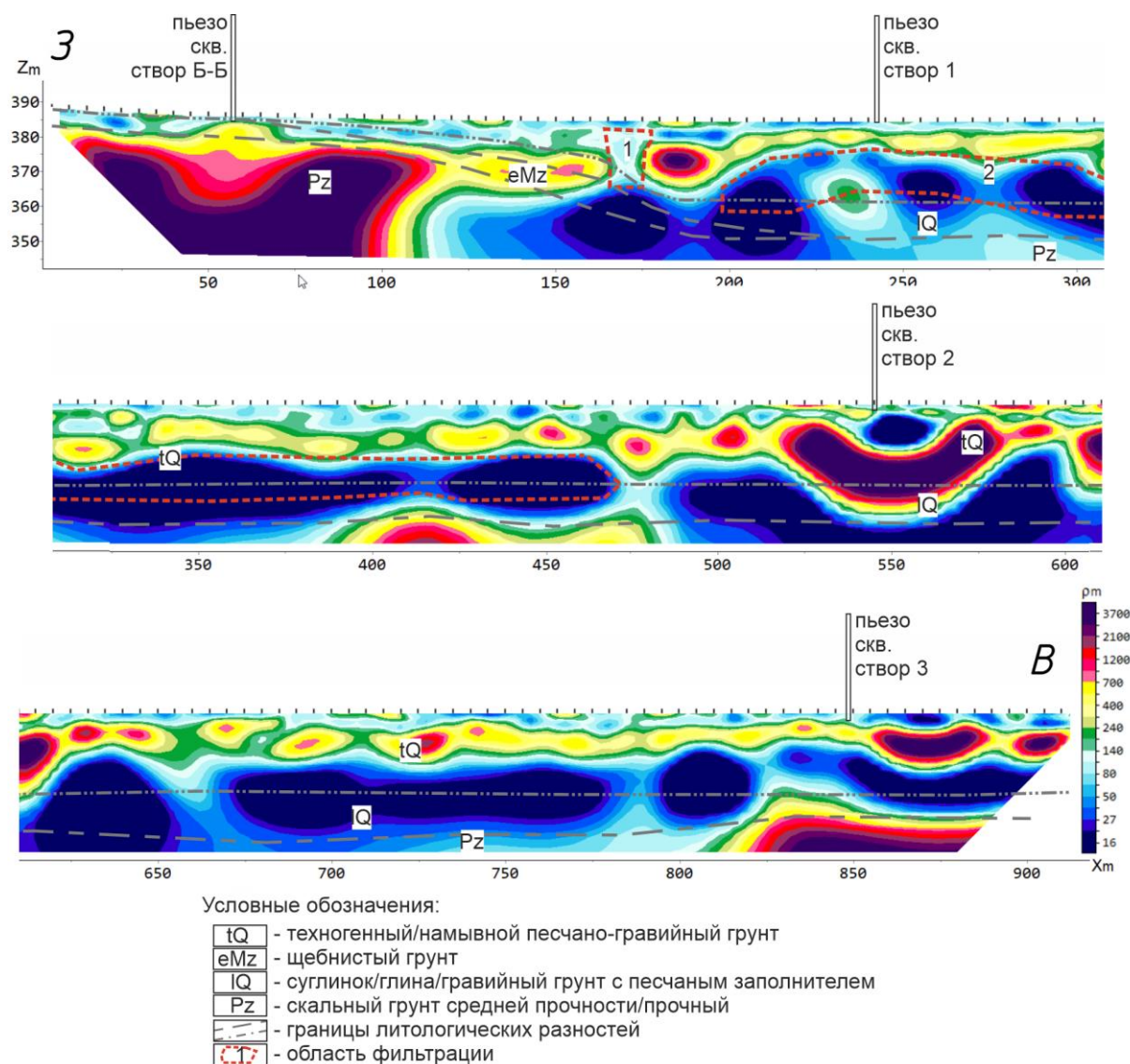


Рис. 6. Результаты электротомографии по плотине Верхнеуральской: результат инверсии, разрез УЭС по профилю № 6 установкой Шлюмберже  
 Fig. 6. Results of ET for the Verkhneuralsk Dam: inversion result, resistivity cross-section along Profile line 6 (Schlumberger setup)

На результатах электротомографии выделяется обширная аномалия пониженных значений УЭС на профиле № 6, пройденного по гребню, на отметках от 195 до 470 м (рис. 6). Данная аномалия коррелирует с зоной, выделенной по материалам ЕП, она отмечена контуром 2.

Кроме того, по результатам электротомографии по гребню можно отметить, что грунты плотины обводнены, начиная с глубины 10–15 м от отметки гребня, в том числе и коренные породы. Однако согласно результатам ЕП скорость фильтрации на данных участках понижена и не представляет угрозы, поскольку, как было указано выше, значения потенциала, измеряемого в методе ЕП, напрямую зависят от скорости потока воды. Существующий режим фильтрации водных потоков находит выход в виде небольшого ручья вблизи дренажной канавы на отметке профиля 380 м. По всей видимости, основная часть фильтрующейся воды уходит ниже тела плотины в коренные породы.

На откосе плотины пройден профиль электротомографии № 7 (рис. 7).

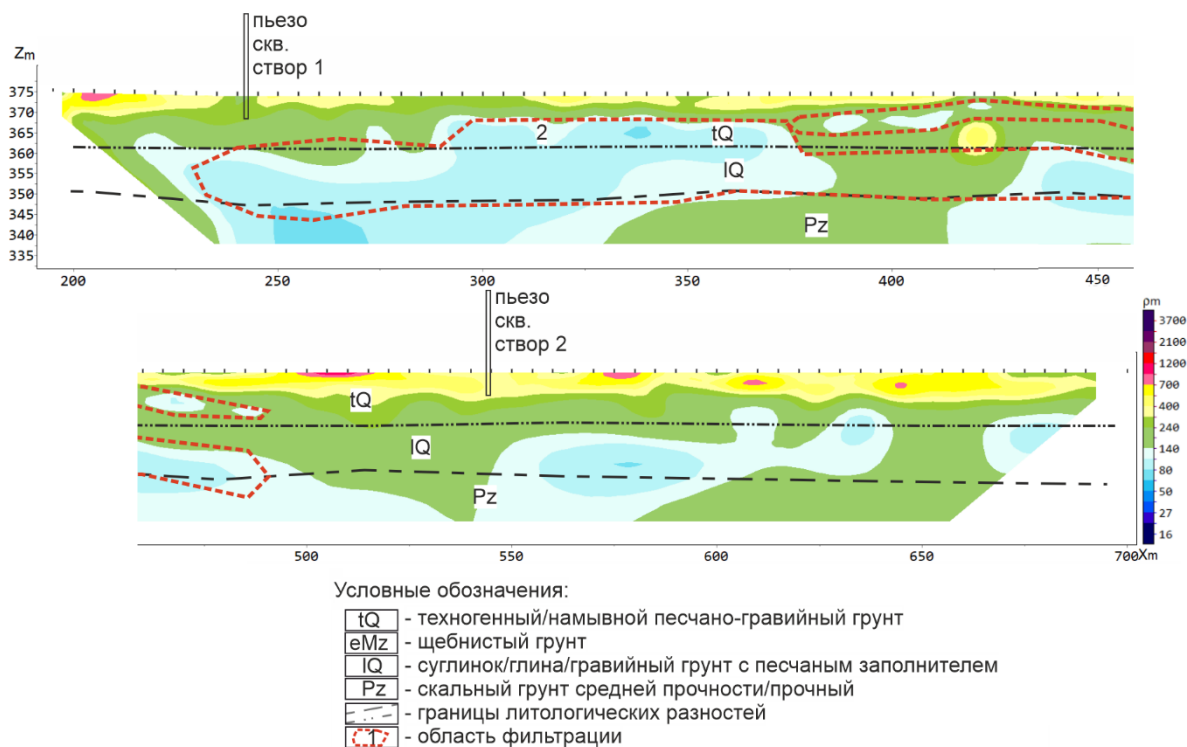


Рис. 7. Результаты электротомографии по плотине Верхнеуральской: результат инверсии, разрез УЭС по профилю № 7 установкой Шлюмберже

Fig. 7. Results of ET for the Verkhneuralsk Dam: inversion result, resistivity cross-section along Profile line 7 (Schlumberger setup)

На разрезе электротомографии выделяется обширная аномалия пониженных значений УЭС на профиле № 7, пройденного по откосу плотины, на отметках от 230 до 490 м (рис. 7). Аномалия также коррелирует с выделенной по материалам ЕП, отмечена контуром 2. Как и в ЕП, аномалия, отмечаемая на профилях электротомографии, смещается на юго-восток. Кроме того, на профиле № 7 можно отметить, что в целом структура тела плотины относительно однородная, и при устранении инфильтрации воды через правобережное примыкание можно будет ожидать восстановления объемов дренирующих вод на проектный уровень.

По итогам геофизических исследований будут приняты решения конструктивного характера с целью сохранения несущей способности тела плотины.

### Заключение

Проведенные геофизические исследования показали, что применение электроразведочных методов для изучения состояния грунтовой плотины позволяет оперативно и без нарушений целостности насыпи плотины определить потенциальные нарушенные зоны, через которые осуществляется инфильтрация воды из водохранилища. Примененные геофизические методы показали результативность при использовании в комплексе – метод естественного поля обозначил места наибольшей фильтрации, а электротомография показала особенности структуры сооружения. Результаты исследований в дальнейшем позволят оптимизировать проектные работы по восстановлению водоупорных свойств плотины.

### Благодарности

Исследования выполнены в рамках государственного задания № 075-00408-26-00. Г. р. № 123012300007-7. Тема 3 (2025-2027). Выявление закономерностей развития геодинамических процессов в условиях техногенного преобразования недр и разработка мер по повышению безопасности горного производства (FUWE-2025-0003).

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Ахметов Е. М., Асемов К. М., Мукашбеков Е. Т., Шульга М. В. Исследование земляной плотины комплексом геофизических методов // *Геофизика*. 2020. № 3. С. 72–77. EDN: FOJEOX.
- Бобачев А. А., Модин И. Н. Электротомография со стандартными электроразведочными комплексами // *Разведка и охрана недр*. 2008. № 1. С. 43–47. EDN: IIRRUJ.
- Григорьев Д. В., Ведерников А. С. Результаты применения 3d-электротомографии для поисков карстовых пустот в условиях солеотвала // *Проблемы недропользования*. 2019. № 4(23). С. 137–143. DOI: <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.04.137>. EDN: TCYLEQ.
- Григорьев Д. В., Ведерников А. С. Опыт применения поэтапного подхода к изучению подработанных территорий геофизическими методами // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2025. № 1. С. 409–420. EDN: PYXQCE.
- Семенов А. С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л. : Недра, 1980. 446 с.
- Электрическое зондирование геологической среды : в 2 т. / под ред. В. К. Хмелевского, В. А. Шевнина. М. : Изд-во МГУ, 1988. Т. 1. Прямые задачи и методика работ. 176 с.
- Adamo N., Al-Ansari N., Sissakian V., Laue J. [et al.]. Geophysical methods and their applications in dam safety monitoring // *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*. 2021. Vol. 11, N 1. P. 291–345. DOI: <https://doi.org/10.47260/jesge/1118>.
- Aumar C., Labazuy P., Buvat S., Delage E. Self-potential dataset for mapping groundwater flow patterns in the Chaîne des Puys (Auvergne, France) // *Data in Brief*. 2023. Vol. 50. Article number: 109533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109533>.
- Avena M. J., De Pauli C. P. Proton adsorption and electrokinetics of an Argentinean Montmorillonite // *Journal of Colloid and Interface Science*. 1998. Vol. 202, Iss. 1. P. 195–204. DOI: <https://doi.org/10.1006/jcis.1998.5402>.
- Cannata M., Marzocchi R. Two-dimensional dam break flooding simulation: A GIS-embedded approach // *Natural Hazards*. 2012. Vol. 61. P. 1143–1159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9974-6>.
- Johansson S., Dahlin T. Seepage monitoring in an earth embankment dam by repeated resistivity measurements // *European Journal of Engineering and Geophysics*. 1996. Vol. 1. P. 229–247.
- Jougnot D., Mendieta A., Leroy P., Mainault A. Exploring the effect of the pore size distribution on the streaming potential generation in saturated porous media, insight from pore network simulations // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2019. Vol. 124, Iss. 6. P. 5315–5335. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018JB01724040>.
- Jouniaux L., Mainault A., Naudet V., Pessel M. [et al.]. Review of self-potential methods in hydrogeophysics // *Comptes Rendus. Géoscience*. 2009. Vol. 341, N 10–11. P. 928–936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2009.08.008>.
- Moreno-Rodenas A., Mantilla-Jones J. D., Valero D. Age, climate and economic disparities drive the current state of global dam safety // *Nature Water*. 2025. Vol. 3. P. 284–295. DOI: <https://doi.org/10.1038/s44221-025-00402-1>.
- Nyquist J. E., Corry C. E. Self-potential: The ugly duckling of environmental geophysics // *The Leading Edge*. 2002. Vol. 21, Iss. 5. P. 446–451. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1481251>.
- Osazuwa I. B., Chinedu A. D. Seismic refraction tomography imaging of high-permeability zones beneath an earthen dam, in Zaria area, Nigeria // *Journal of Applied Geophysics*. 2008. Vol. 66, Iss. 1–2. P. 44–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.08.006>.
- Panthulu T. V., Krishnaiah C., Shirke J. M. Detection of seepage paths in earth dams using self-potential and electrical resistivity methods // *Engineering Geology*. 2001. Vol. 59, Iss. 3–4. P. 281–295. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00082-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00082-X).
- Revil A., Darot M., Pezard P. A. From surface electrical properties to spontaneous potentials in porous media // *Surveys in Geophysics*. 1996. Vol. 17. P. 331–346. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01904047>.
- Revil A., Jardani A. *The self-potential method: Theory and applications in environmental geosciences*. Cambridge University Press, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139094252>.
- Revil A., Linde N., Cerepi A., Jougnot D. [et al.]. Electrokinetic coupling in unsaturated porous media // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2007. Vol. 313, Iss. 1. P. 315–327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.03.03>.

### References

- Akhmetov, E. M., Asemov, K. M., Mukashbekov, E. T., Shulga, M. V. 2020. The earth dam study by the complex of geophysical methods. *Journal of Geophysics*, 3, pp. 72–77. EDN: FOJEOX. (In Russ.)
- Bobachev, A. A., Modin, I. N. 2008. Electrical tomography using standard geoelectric units. *Prospect and Protection of Mineral Resources*, 1, pp. 43–47. EDN: IIRRUJ. (In Russ.)

- Grigoriev, D. V., Vedernikov, A. S. 2019. Results of 3D electrical imaging surveys for searching of karst caverns in salt tailings piles. *Problems of Subsoil Use*, 4(23), pp. 137–143. DOI: <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.04.137>. EDN: TCYLEQ. (In Russ.)
- Grigoriev, D. V., Vedernikov, A. S. 2025. Experience with a phased study of mined-out areas by geophysical methods. *Izvestiya Tula State University*, 1, pp. 409–420. EDN: PYXQCE. (In Russ.)
- Semenov, A. S. 1980. Electrical prospecting using the natural electric field method. Leningrad. (In Russ.)
- Electrical sounding of the geological environment. 1988. Eds. V. K. Khmelevskoy, V. A. Shevnin. In 2 Vols. Moscow. (In Russ.)
- Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Laue, J. et al. 2021. Geophysical methods and their applications in dam safety monitoring. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 11(1), pp. 291–345. DOI: <https://doi.org/10.47260/jesge/1118>.
- Aumar, C., Labazuy, P., Buvat, S., Delage, E. 2023. Self-potential dataset for mapping groundwater flow patterns in the Chaîne des Puys (Auvergne, France). *Data in Brief*, 50. Article number: 109533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109533>.
- Avena, M. J., De Pauli, C. P. 1998. Proton adsorption and electrokinetics of an Argentinean Montmorillonite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 202(1), pp. 195–204. DOI: <https://doi.org/10.1006/jcis.1998.5402>.
- Cannata, M., Marzocchi, R. 2012. Two-dimensional dam break flooding simulation: A GIS-embedded approach. *Natural Hazards*, 61, pp. 1143–1159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9974-6>.
- Johansson, S., Dahlin, T. 1996. Seepage monitoring in an earth embankment dam by repeated resistivity measurements. *European Journal of Engineering and Geophysics*, 1, pp. 229–247.
- Jougnot, D., Mendieta, A., Leroy, P., Maineult, A. 2019. Exploring the effect of the pore size distribution on the streaming potential generation in saturated porous media, insight from pore network simulations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124(6), pp. 5315–5335. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018JB01724040>.
- Jouniaux, L., Maineult, A., Naudet, V., Pessel, M. et al. 2009. Review of self-potential methods in hydrogeophysics. *Comptes Rendus. Géoscience*, 341(10–11), pp. 928–936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2009.08.008>.
- Moreno-Rodenas, A., Mantilla-Jones, J. D., Valero, D. 2025. Age, climate and economic disparities drive the current state of global dam safety. *Nature Water*, 3, pp. 284–295. DOI: <https://doi.org/10.1038/s44221-025-00402-1>.
- Nyquist, J. E., Corry, C. E. 2002. Self-potential: The ugly duckling of environmental geophysics. *The Leading Edge*, 21(5), pp. 446–451. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1481251>.
- Osazuwa, I. B., Chinedu, A. D. 2008. Seismic refraction tomography imaging of high-permeability zones beneath an earthen dam, in Zaria area, Nigeria. *Journal of Applied Geophysics*, 66(1–2), pp. 44–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.08.006>.
- Panthulu, T. V., Krishnaiah, C., Shirke, J. M. 2001. Detection of seepage paths in earth dams using self-potential and electrical resistivity methods. *Engineering Geology*, 59(3–4), pp. 281–295. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00082-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00082-X).
- Revil, A., Darot, M., Pezard, P. A. 1996. From surface electrical properties to spontaneous potentials in porous media. *Surveys in Geophysics*, 17, pp. 331–346. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01904047>.
- Revil, A., Jardani, A. 2013. The self-potential method: Theory and applications in environmental geosciences. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139094252>.
- Revil, A., Linde, N., Cerepi, A., Jougnot, D. et al. 2007. Electrokinetic coupling in unsaturated porous media. *Journal of Colloid and Interface Science*, 313(1), pp. 315–327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.03.03>.

#### Сведения об авторах

**Григорьев Данила Вячеславович** – ул. Мамина-Сибиряка, 58, г. Екатеринбург, Россия, 620000;  
Институт горного дела УрО РАН, науч. сотрудник;  
e-mail: danilging@gmail.com

**Danila V. Grigoriev** – 58 Mamina-Sibiryaka Str., Yekaterinburg, Russia, 620000;  
Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Researcher;  
e-mail: danilging@gmail.com

**Ведерников Андрей Сергеевич** – ул. Мамина-Сибиряка, 58, г. Екатеринбург, Россия, 620000;  
Институт горного дела УрО РАН, науч. сотрудник;  
e-mail: avedernikov@igduran.ru

**Andrey S. Vedernikov** – 58 Mamina-Sibiryaka Str., Yekaterinburg, Russia, 620000;  
Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Researcher;  
e-mail: avedernikov@igduran.ru