

ОБЪЕМНОЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕТОДОМ РАДИОВОЛНОВОЙ ГЕОИНТРОСКОПИИ

В.А. ИСТРАТОВ, М.Г. ЛЫСОВ, И.В. ЧИБРИКИН,
Фирма «РАДИОНДА ЛТД.», Москва

Для определения состояния грунтов при проектировании и эксплуатации тоннелей в сложных геологических условиях, исследования подземного пространства под фундаментами крупных сооружений, мониторинга береговой зоны водохранилищ может быть эффективно применен метод радиоволновой межскважинной геоинтроскопии (РВГИ).

Имеется множество примеров, когда из-за изменения естественного гидрогеологического режима, развития оползневых и карстовых процессов сооружений и коммуникации оказываются в аварийных условиях и требуются дорогостоящие экстренные меры по стабилизации положения.

Сложность контроля гидрогеологических и карстовых процессов заключается, на наш взгляд, в том, что их зарождение и развитие происходит на глубинах, значительно превышающих глубину так называемой «активной зоны», где обычно проводятся инженерно-геологические изыскания. «Злокачественные изменения» геологической среды, как правило, обнаруживаются на этапе их прямого воздействия на объект. При этом для выяснения причин и принятия инженерного решения по защите объекта требуется надежная информация о строении и состоянии горных пород на более глубоких горизонтах. Однако, детальное и надежное изучение глубоких горизонтов (20 м и более) в городских условиях осложнено ограниченностью пространства для проведения измерений на поверхности и наличием технических помех для большинства дистанционных геофизических методов.

Актуальность разработки оптимальной технологии изучения и прогнозирования состояния геологической среды на глубоких горизонтах определяется и перспективными направлениями современного градостроительства: многоэтажные сооружения с глубокими фундаментами, тоннели и подземные скоростные путепроводы глубокого заложения, перенос под землю большого количества технических служб жизнеобеспечения городов, ужесточающийся экологический контроль за местами захоронения токсичных отходов. Особую остроту задача геомониторинга приобретает при строительстве и эксплуатации промышленных сооружений на вечномёрзлых грунтах.

Хорошими возможностями для создания технологии геомониторинга подземной среды обладает метод радиоволновой геоинтроскопии межскважинного пространства (РВГИ), кото-

рый позволяет при минимальном количестве скважин проводить детальное изучение состояния горных пород непосредственно под объектами, выявлять и оконтуривать слабоконтрастные геологические неоднородности небольших размеров (карстовые полости, суффuzionные воронки, нарушения в водоупорах и коллекторах, оползневые смещения и т.д.), а также обнаруживать негативные гидрогеологические процессы на ранних стадиях и изучать их динамику.

Метод РВГИ основан на глубоком физико-геологическом анализе «радиоволновой картины», получаемой путем просвечивания горных пород высокочастотным электромагнитным полем дипольного источника. Схема измерений, приведенная на рис. 1, обеспечивает наиболее полное и равномерное изучение геологической среды в пространстве между скважинами. Диапазон радиочастот 0,02 — 60 МГц позволяет работать в породах с удельным электрическим сопротивлением от 20 Ом·м и выше при расстоянии между скважинами от 5 м до нескольких сотен метров. При обработке данных измерений используются специально разработанные итерационные алгоритмы, которые учитывают как дифракционно-интерференционные эффекты и пространственные характеристики радиоволнового поля, так и влияние электрической анизотропности геологической среды. Результатом РВГИ является 3Д — геоэлектрическая карта исследованного объема, позволяющая с высокой точностью выделять и оконтуривать геологические неоднородности. Важно отметить, что скважинная радиоволновая аппаратура RWGI-7F обеспечивает точность и надежность измерений в непосредственной близости от действующих транспортных и промышленных предприятий в условиях высокого уровня технических помех.

Возможности технологии РВГИ и круг решаемых инженерно-геологических задач рассмотрим на приведенных ниже примерах ее практического применения.

Пример 1. Метод РВГИ был применен на одной из линий Московского метрополитена, где в период пробной эксплуатации наблюдались интенсивные (до 180 мм) просадки тоннелей. Геологический разрез здесь сложен флювиогляциальными отложениями, представленными разнородными песками и суглинками, которые подстилаются юрскими глинами (J_3 ок) на глубине 26 м от поверхности. Особенностью участка является наличие на глубине 16,5 — 18 м пласта суг-

линка, мощность которого изменяется от 0,3 до 1,0 м. При инженерно-геологических изысканиях по трассе тоннелей, проведенных на глубину 12—14 м, этот пласт суглинка практически откартирован не был. На гидрогеологические условия участка оказывает влияние близко расположенный искусственный пруд, поверхность которого на несколько метров превышает уровень заложения тоннелей. На период строительства методом контурного водопонижения уровень грунтовых вод был понижен на 2—3 м ниже лотковой части тоннелей, а после отключения системы водопонижения уровень восстановился в прежнее положение. В этот период были отмечены наиболее интенсивные осадки правого тоннеля.

Для определения причины проса-

VOLUMETRIC GEOELECTRICAL MAPPING OF UNDERGROUND SPACE BY METHOD OF INTERWELL GEOINSTROSCOPY

V.A. Istratov, M.G. Lysov,
I.V. Chibrikov,
"Radionda Ltd.", Moscow

Survey by means of interwell geointrospection of rocks (RWGI) method permits to determine precisely and reliably rock conditions during projecting and constructing of metro railway tunnels under complicated geological setting, to study subsurface area under the basements of big buildings and to carry on monitoring of banks zone of water storage. RWGI method is based on multiplying raying of the interwell area by means of high frequency electromagnetic waves during relative movements along wells of dipole transmitter and receiver. Specially designed equipment, special data acquisition technology and data processing software of the method were applied to engineering geological surveys in the Moscow metro and in various industrial and hydraulic structures.

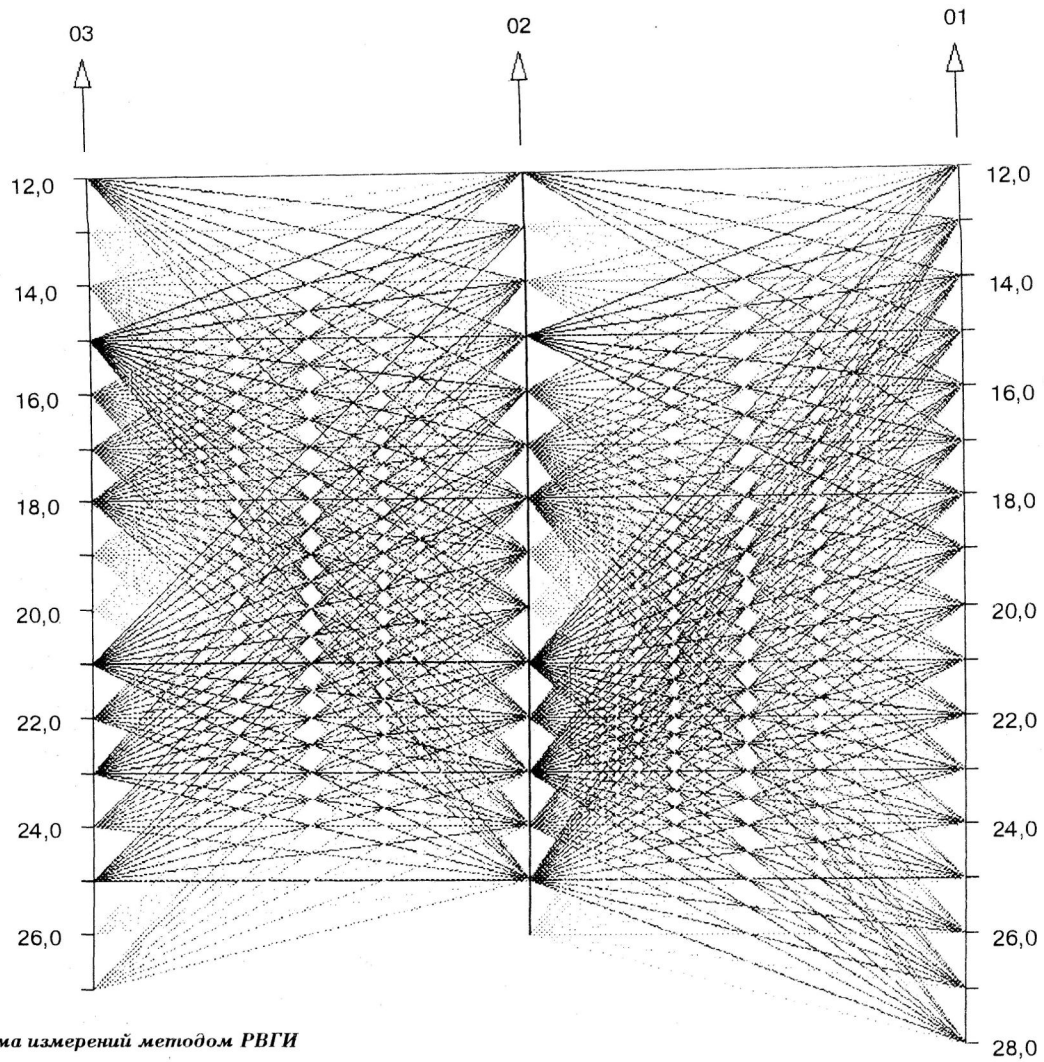
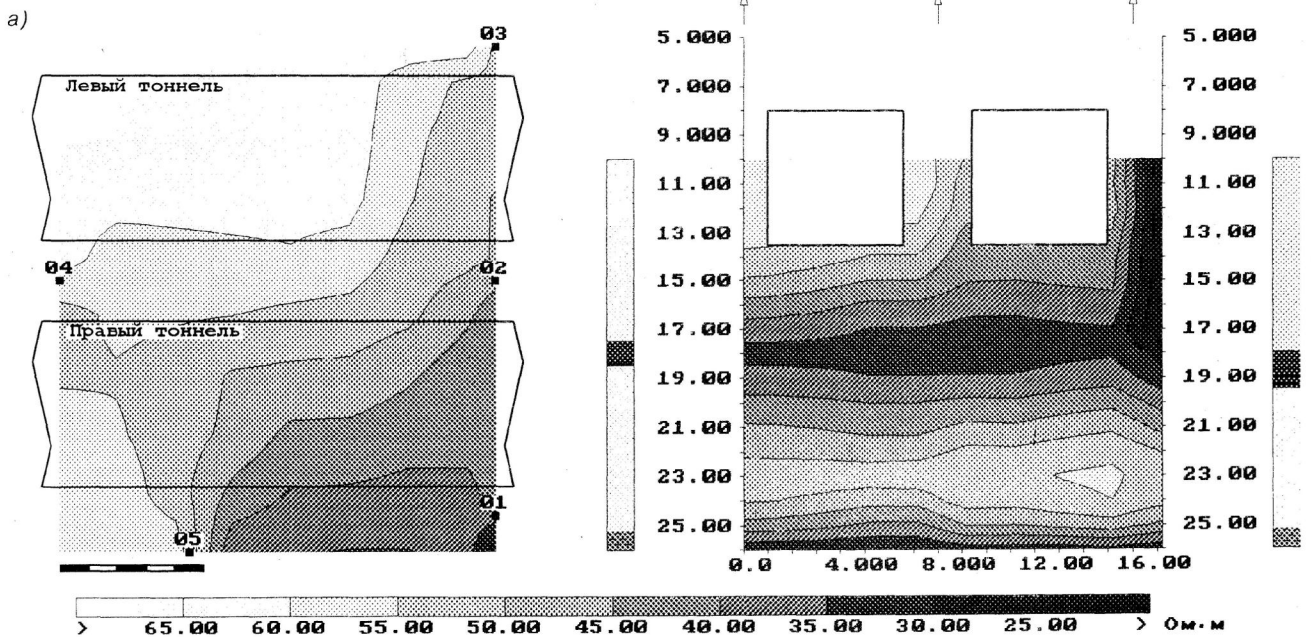


Рис 1. Схема измерений методом РВГИ

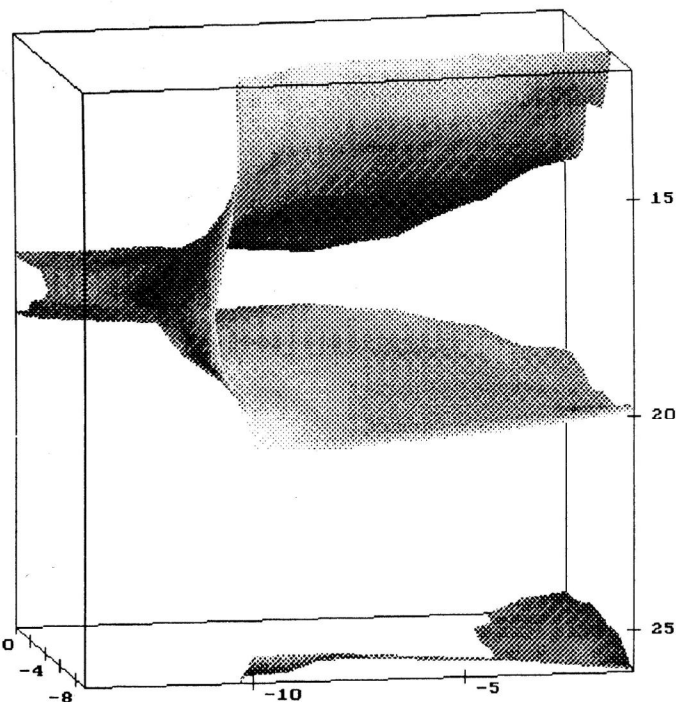
Рис 2. Определение причин просадок путевых тоннелей:
а — горизонтальный разрез на глубине 14 м; б — вертикальный разрез по линии скважин 03-02-01



док пробурено 5 скважин глубиной 28 м с обсадкой пластиковыми трубами (рис. 2, а), в которых были выполнены измерения методом РВГИ на частоте 4,5 МГц с шагом перемещения приборов 1 м. По данным РВГИ выделена аномалия кажущегося электрического сопротивления грунтов, связанная с повышенной водонасыщенностью песков и имеющая гидрогеологическую природу. На фрагментах трехмерной геоэлектрической карты (рис. 2, а, б) и изоповерхности с граничным для данного участка значением $R_k=45 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (рис. 3) отчетливо проявилась и околонуна так называемая «гидрогеологическая воронка», локализуемая в пространстве под тоннелями фильтрационное окно в пласте суглинков, через которое происходит разгрузка напорных вод карбонового комплекса. Связанная с этим суффозия песчаных грунтов под основанием тоннелей и явилась основной причиной их просядок. Полученный результат позволил не только выявить и локализовать причину просядок, но и при необходимости вести надежный контроль за эффективностью защитных инженерных мероприятий.

Пример 2. Метод РВГИ применен для геомониторинга береговой зоны одного из будущих водохранилищ каскада Вилюйских ГЭС, возводимых в условиях вечномерзлых пород. Мерзлые борта долины и таликовая зона под руслом реки подстилаются здесь мощной толщей переохлажденных пород с температурой ниже 0°C , которые содержат высокоминерализованные воды — криопэги. Под влиянием химического и криогенного выветривания по контуру долины реки мергелистые породы преобразованы в мергелисто-глинистые: от суглинков у поверхности до слабопрочных мергелей на глубине 30—50 м. Кроме того, под влиянием тектонических процессов и приконтурной бортовой разгрузки в бортах долины формируются крупные протяженные крутопадающие трещины, а также оползневые образования. В зоне взаимодействия сооружений гидроузла с природным комплексом прогнозируется изменение инженерно-геокриологических усло-

Рис 3. Трехмерное изображение гидродинамической воронки



вий и активизация ряда процессов:

- оживление оползневых явлений;
- расширение крупных трещин и возможная сосредоточенная фильтрация по ним воды водохранилища в обход сооружений напорного фронта;
- усиление водообмена пресных вод реки и подземных криопэгов (фильтрация, инфильтрация) и изменение солевого состава порового раствора, что приведет к изменению физико-механических свойств пород, их устойчивости и прочности.

Указанные процессы неизбежно сопровождаются закономерными изменениями электрических свойств пород и отражаются в строении геоэлектрического разреза.

Приведенный на рис. 4 геоэлектрический разрез построен по данным радиоволновой геоинтроскопии пространства между скважинами Н1 и Н2.

Скважины расположены на правом берегу реки вдоль линии строящейся плотины. Выделенные на разрезе области низкого электрического сопротивления локализируют внутри массива вечномерзлых пород расслоенные пласты — коллекторы. При заполнении водохранилища выделенные линзы засоленных вод (криопэги) могут служить каналом для обходной фильтрации. На геоэлектрическом разрезе отмечается также зона нарушения, по которой возможно разви-

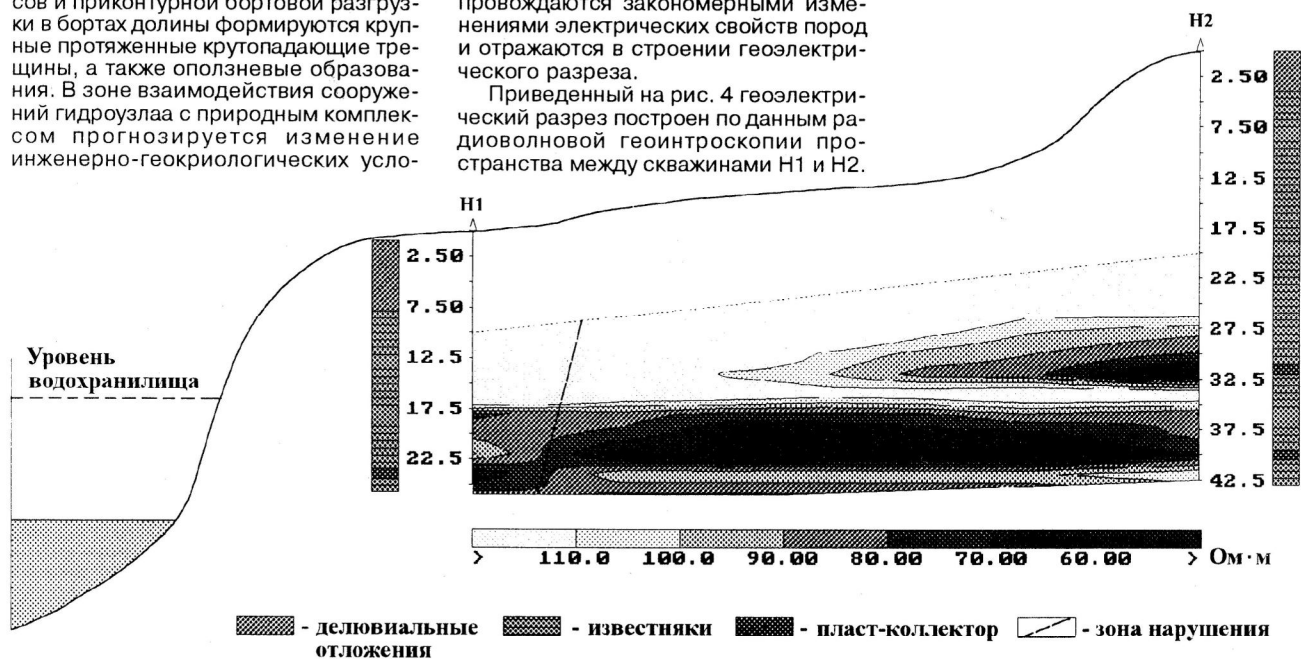


Рис 4. Геомониторинг береговой зоны Вилюйского водохранилища. Вертикальный геоэлектрический разрез по линии скважин Н1-Н2 вдоль оси плотины

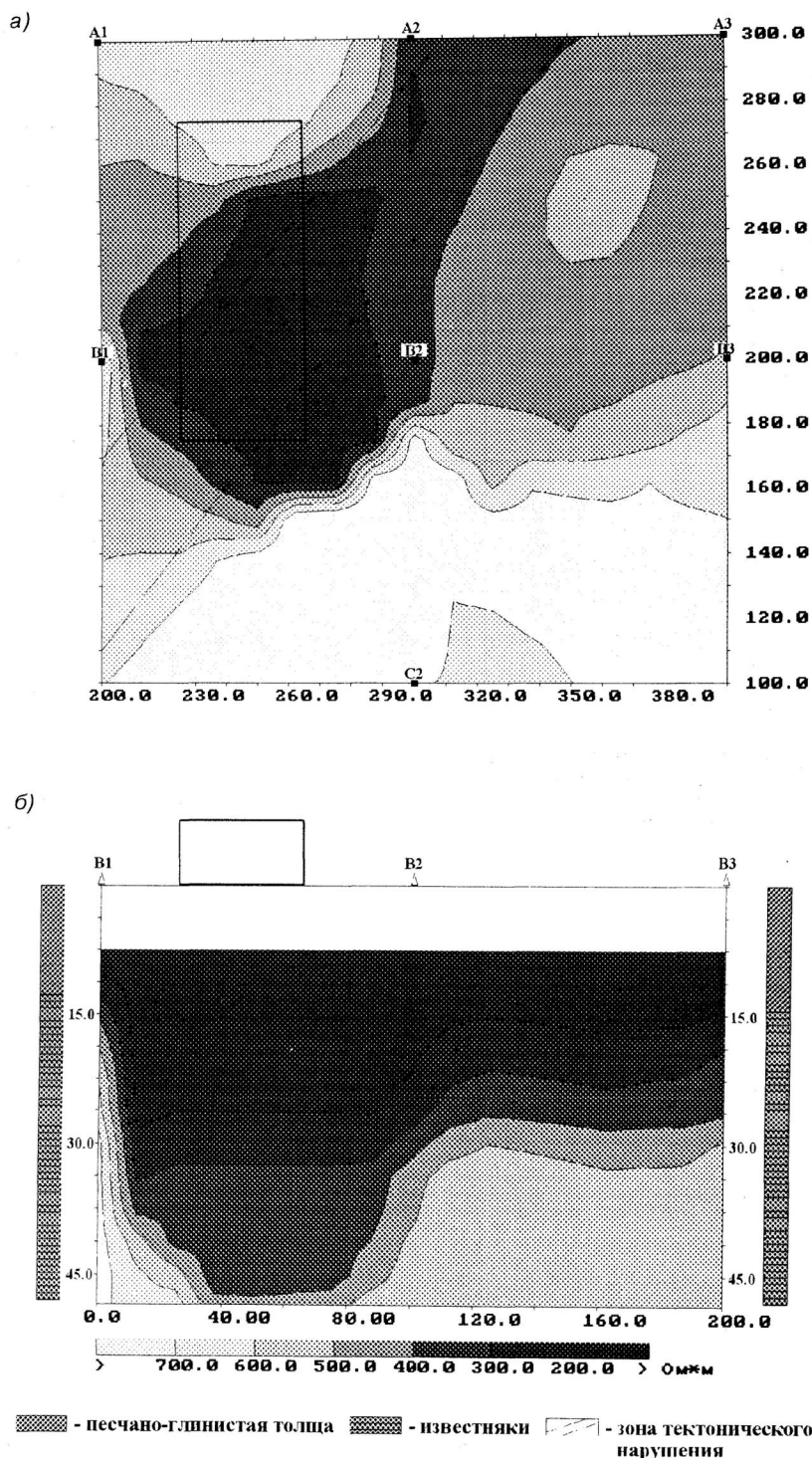


Рис 5. Трехмерное геоэлектрическое картирование пород под основанием сооружения. Показаны фрагменты трехмерной геоэлектрической карты:

а — горизонтальный план на глубине 40 м; б — вертикальный разрез по линии скважин В1—В3—В3.

тие оползневых процессов. Отмеченные неоднородности потребовали их детального изучения в режиме мониторинга для проектирования и своевременной реализации инженерных мероприятий в береговой зоне.

Пример 3. Метод РВГИ позволил произвести 3Д-геоэлектрическое картирование для изучения состояния ге-

ологической среды непосредственно под крупным промышленным объектом. Геологический разрез представлен песчано-глинистыми отложениями мощностью 15 м, залегающими на плотных известняках. Инженерно-геологические изыскания и анализ грунтов, выполненные вокруг главного объ-

явных причин возникновения негативных явлений в фундаменте сооружения. Проведение наземных геофизических исследований на территории промплощадки оказалось практически невозможным. Пробуренные на территории семь специальных скважин глубиной 50 м были укреплены пластиковой обсадкой и использованы для проведения межскважинной радиоволновой геоинтроскопии.

На рис. 5 представлены фрагменты построенной по данным РВГИ на частоте 0,6 МГц объемной геоэлектрической карты исследованного участка. Четко проявленная на карте область пониженных значений кажущегося электросопротивления оконтуривает зону интенсивного карста в кровле известняков. Усиление карстовых процессов, развивающихся вдоль зоны небольшого тектонического нарушения северо-восточного простираения, связано с активной производственной деятельностью на территории промплощадки (в том числе и с утечками технических вод). Изменение гидрогеологических условий и послужило основной причиной просадок песчано-глинистых грунтов под фундаментом сооружения. Полученные данные позволили принять своевременные и эффективные меры по стабилизации положения и создать систему режимных наблюдений за гидрогеологическими процессами.

ВЫВОДЫ

1. Технология РВГИ расширяет возможности геофизических исследований при инженерно-геологических изысканиях. Чувствительность и разрешающая способность метода достаточна для надежного решения широкого круга гидрогеологических и инженерных задач.

2. По результатам РВГИ возможна количественная оценка анизотропии удельного электрического сопротивления грунтов, а также их влагонасыщенности и коэффициента эффективной пористости, в том числе для трещиноватых пород.

3. При строительстве и эксплуатации сложных и ответственных объектов (например, атомных и гидроэлектростанций, химических комплексов, транспортных тоннелей и т.п.) инженерно-геологические изыскания необходимо проводить на глубину, гарантирующую полную информацию о геологическом строении и гидрогеологическом режиме территории. Такие изыскания позволяют выполнить технологию РВГИ.

4. При строительстве в сложных гидрогеологических и геокриологических условиях целесообразно предварительное создание специальной системы наблюдательных скважин и комплекса исследований, обеспечивающих детальное изучение и фиксацию геоэлектрического строения разреза, установление четких корреляционных связей электрических характеристик с литологическими и геокриологическими свойствами пород как основы для геомониторинга природных процессов и контроля состояния грунтов в период эксплуатации сооружений.