

На правах рукописи



Хеляль Марьям Ахмад

**ТЕХНОЛОГИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
НА ТЕРРИТОРИЯХ С ВЫСОКОЙ
ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ
(НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖСКОЙ, ТАМБОВСКОЙ,
ЛИПЕЦКОЙ И ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ)**

**25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2020

Работа выполнена на кафедре геофизики в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет».

Научный руководитель:

Аузин Андрей Альбертович, доктор технических наук, профессор кафедры геофизики геологического факультета Воронежского государственного университета.

Официальные оппоненты:

Модин Игорь Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры геофизических методов исследования земной коры геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Абрамов Владимир Юрьевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент департамента недропользования и нефтегазового дела, инженерной академии Российского университета дружбы народов.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Защита диссертации состоится «__» _____ 2020 г. в ____ часов на заседании Диссертационного совета Д 212.121.04 при Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23., зал диссертационных советов (каб. 4-73).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «РГГРУ имени Серго Орджоникидзе» по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, <http://mgri.ru/>

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Вр.и.о Ученого секретаря

диссертационного совета Д 212.121.04  А. К. Литвиненко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертации

Практически бесконтрольное возрастание техногенной нагрузки на среду обитания человека приводит к необратимому, часто катастрофическому ухудшению экологической ситуации. Геофизические исследования позволяют своевременно и эффективно выявлять и контролировать негативные процессы, прогнозировать их развитие.

Эффективность геофизических исследований обусловлена их экспрессностью, высокой мобильностью, неразрушающим взаимодействием с изучаемыми объектами, допустимостью многократных измерений характеристик геофизических полей и относительно невысокой стоимостью. Кроме того, возможность выбора параметров измерительных установок и способов возбуждения геофизических полей, позволяет адаптировать измерительные системы в соответствии с решаемыми задачами и оптимизировать их параметры с целью повышения информативности и достоверности получаемых материалов.

Степень изученности проблемы

Многие ученые посвятили свои работы геоэкологическим проблемам применительно к условиям высоких техногенных нагрузок на среду обитания человека. При изучении экологической ситуации широко используются геофизические, геохимические, гидрогеологические, геоэкологические и другие методы. Среди отечественных ученых-геофизиков, которые занимались решением экологических проблем, следует отметить таких специалистов, как В.А. Шевнин, И.Н. Модин, А.А. Трофимук, А.А. Огильви, А.Г. Гайнанов, М.Н. Бердичевский, Т.И. Облогина, В.Р. Мелихов, В.В. Калинин, В.А. Богословский и многие другие.

Цель и задачи настоящей работы

Целью представленной работы является разработка и обоснование технологических вопросов применения геофизических методов и методик обработки геофизической информации при решении экологических задач.

Задачи, решавшиеся при достижении поставленной цели:

1. Изучение влияния экологических факторов на геофизические поля;
2. Анализ возможностей и опробование различных методов и методик геофизических исследований с целью решения экологических задач;
3. Анализ возможностей и опробование различных методов и методик геофизических исследований с целью наиболее эффективного решения экологических задач в пределах территорий с высокой техногенной нагрузкой;
4. Опробование статистических методов анализа результатов геолого-геофизических исследований и лабораторных данных с целью решения экологических задач;
5. Оценка возможностей и ограничений геофизических методов исследований и методов статистической обработки данных применительно к решению задач экологической направленности в пределах территорий с высокой техногенной нагрузкой.

Научная новизна исследования

1. Показано, что практически все техногенные процессы оказывают влияние на параметры геофизических полей. При этом, поскольку наиболее существенным техногенным воздействиям подвержены электромагнитные поля, то методы электроразведки являются наиболее универсальными при проведении эколого-геофизических исследований;

2. Привлечение математического аппарата метода группового учета аргументов (МГУА) при статистической обработке результатов исследований дает возможность оценить качество исходных данных, что позволяет не только выявить случайно возникшие (или намеренно внесенные) ошибки, но и скорректировать их;

3. Впервые показано, что при эколого-гидрогеологических исследованиях применение скважинной термометрии позволяет выявить заколонные перетоки в эксплуатируемый водоносный горизонт вод из неглубоко залегающих водоносных пластов, которые часто имеют поверхностные источники питания и в наибольшей степени загрязнены;

4. Аквальные экологические исследования свидетельствуют о высокой информативности геофизических методов, при этом, наиболее высокую мобильность и эффективность демонстрируют георадиолокационные исследования.

Теоретическая и практическая значимость выполненных исследований состоит в том, что разработаны методики проведения геофизических исследований при экологическом обследовании подземных источников водоснабжения и открытых водоемов, а также подходы к комплексной интерпретации их результатов, которые позволяют своевременно выявлять и контролировать негативные процессы, прогнозировать их развитие.

Методология и методы исследования

Исследования проводились современной наземной и скважинной геофизической аппаратурой, при обработке полученных материалов использовались эффективные апробированные методики.

1. Определение источников питания водоносных горизонтов было выполнено с использованием методов статисти-

ческого анализа результатов обследования городского водозабора и данных геофизических исследований.

2. Совместная интерпретация данных скважинной термометрии, резистивиметрии и расходомерии выявила перетоки скважинной жидкости, как по стволу скважины, так и в затрубном пространстве, при этом были также определены места поглощения скважинной жидкости.

3. Оценка экологического состояния пресноводных водоемов проводилась методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и георадиолокационным профилированием по методикам, адаптированным применительно к решаемым задачам.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Надежность определения источников питания эксплуатируемых водоносных горизонтов повышается за счет применения, при статистическом анализе результатов обследования водозаборов, аппарата метода группового учета аргументов (МГУА).

2. Заколонные перетоки в эксплуатируемый водоносный горизонт вод из неглубоко залегающих водоносных пластов, в наибольшей степени подверженных антропогенному загрязнению, выявляются скважинной термометрией, применяемой в комплексе с расходомерией и резистивиметрией.

3. Повышение эффективности экологических исследований на акваториях, имеющих целью определение рельефа минерального ложа водоемов, мощности и структуры донных отложений, а также выявления затопленных объектов, достигается применением высококомобильных георадиолокационных исследований.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждается данными независимых исследований и их соответствием общетеоретическим пред-

ставлениям об условиях формирования геофизических полей. Практические результаты получены с использованием современной сертифицированной геофизической аппаратуры, такими как георадар Зонд-12е, электроразведочный комплекс Рутил-1 и др.

Апробация результатов исследования

Результаты, представленные в данном исследовании, были доложены на 1-й региональной научно-практической конференции «Современные проблемы инженерных изысканий на территории Центрально-Черноземного региона», ФГБОУ ВО «ВГУ», (Воронеж, 2017); на Региональной научно-практической конференции «Современные проблемы и опыт гидрогеологических, инженерно-геологических и эколого-геологических исследований на территории Центрально-Черноземного региона», ФГБОУ ВО «ВГУ», (Воронеж, 2018); на 3-й научно-практической конференции «ГЕОРАДАР-2019», МГУ, (Москва, 2019); на 8-й Международной научной студенческой научной конференции «Студенческая наука как ресурс инновационного потенциала развития», ИМО ВГУ, (Воронеж, 2019).

Личный вклад автора

Автором самостоятельно сформулированы цели и задачи исследования, проведен анализ и критическая оценка опыта применения геофизических методов при решении экологических задач. Сделаны выводы об их достоинствах и ограничениях.

Выполнен статистический анализ результатов опробования скважин на водозаборе, обеспечивающем питьевое водоснабжение города Россошь (Воронежская обл.). На основе полученных результатов сделаны выводы и рекомендации, касающиеся практического применения метода группового учёта аргументов (МГУА) при выявлении скрытых связей

между отдельными параметрами объектов исследования. Показаны возможности МГУА при выявлении недостоверности практической информации.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 7 печатных научных работ, в том числе 3 статьи, опубликованных в рецензируемых изданиях, включённых в список Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации и 3 публикации, входящие в базу РИНЦ.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, трёх разделов и заключения. Содержит 20 рисунков, 8 таблиц и библиографический список использованных источников из 132 наименования. Общий объем диссертации – 96 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость их результатов.

1. Геофизические поля. Факторы, определяющие параметры геофизических полей

В этом разделе рассматриваются:

- геофизические поля, условия их формирования и параметры, изучение которых позволяет охарактеризовать экологическое состояние объектов исследования;
- петрофизические основы экологической геофизики, связанные с плотностными, теплофизическими, электромагнитными, упругими и ядерно-физическими свойствами пород. Рассмотрены факторы, определяющие физические свойства пород и их роль в формировании геофизических полей, представляющих наибольший интерес с точки зрения применения геофизических методов при решении экологических задач.

2. Геофизические поля антропогенного происхождения. Измерение параметров антропогенных геофизических полей

В данном разделе приводятся основные характеристики антропогенных и техногенных полей, их источники и характер воздействия на окружающую среду. Описаны методы и методики измерения параметров геофизических полей антропогенного происхождения.

К настоящему времени геофизические исследования активно применяются при решении практически всех задач экологической направленности. Их популярность определяется эффективностью, экспрессностью, неразрушающим воздействием на исследуемую среду и относительно невысо-

кой стоимостью. Измерения параметров геофизических полей можно проводить многократно, а изменением характеристик применяемых установок (размеры, пространственная ориентировка, частота полей и др.) можно регулировать глубину исследований и объемы изучаемых участков среды.

В зависимости от решаемых экологических задач и условий проведения измерений, геофизические исследования проводятся электромагнитными, сейсмоакустическими, радиометрическими, термометрическим и гравиметрическим методами, большая часть которых может быть реализована в наземном, аэро- или подземном вариантах. Из геофизических методов, электроразведка, в различных своих модификациях, нашла наиболее широкое применение в экологических исследованиях.

3. Экологический контроль водных объектов геофизическими методами

В данном разделе представлены методики проведения геофизических исследований при экологическом обследовании подземных источников водоснабжения и открытых водоемов, а также подходы к комплексной интерпретации их результатов, которые позволяют своевременно выявлять и контролировать негативные процессы и прогнозировать их развитие.

В подразделе *«Контроль экологического состояния подземных источников водоснабжения методом группового учёта аргументов и комплексом геофизических исследований скважин»* показано, что привлечение аппарата метода группового учёта аргументов (МГУА) при статистическом анализе результатов обследования водозаборов позволяет определить источники питания эксплуатируемых водоносных горизонтов.

Примером эффективного использования МГУА могут служить результаты его применения при выявлении факто-

ров, влияющих на показатели качества подземных вод на одном из водозаборов юга Воронежской области (рисунок 1).

Воронежская область относится к числу регионов, где содержание катионов Ca^{+2} и Mg^{+2} , определяющих жёсткость воды, является одним из ключевых показателей её качества.



Рисунок 1. План водозабора

Статистический анализ содержания катионов Ca^{+2} и Mg^{+2} , определённых по лабораторным исследованиям проб воды из эксплуатируемых скважин, выполнявшимся в течение нескольких лет, был проведён с целью выявления факторов влияющих на жёсткость воды. Так как турон-коньякский водоносный, горизонт сложенный трещиноватыми мелями и мелоподобными мергелями (рисунок 2), залегает относительно неглубоко и не перекрыт слабопроницаемыми отложениями, то не исключена его подпитка водами из протекающей вблизи водозабора реки Чёрная Калитва. Такая инфильтрационная подпитка предполагалось в качестве наиболее вероятного фактора, определяющего жёсткость подземных вод.

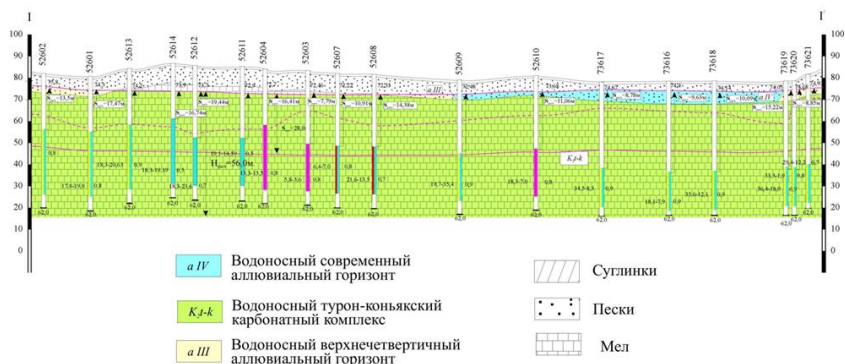


Рисунок 2. Схематический гидрогеологический разрез по линии I – I'

Такой параметр как «кратчайшее расстояние от реки до каждой из опробованных скважин» (R) был выбран в качестве независимого параметра при проверке истинности этой гипотезы. Статистическому анализу были подвергнуты данные опробования за 2001, 2003, 2006 и 2010 годы, так как они являются наиболее представительными.

Результаты лабораторных анализов воды, построенные на координатных плоскостях «жесткость – R » (рисунок 3) наглядно продемонстрировали особенности их распределения. Несмотря на разброс отдельных точек, наблюдается хорошо выраженный тренд, отражающий зависимость между жесткостью воды и R . В среднем, на каждые 100 м увеличения расстояния до поверхностного водотока до опробованной скважины жесткость возрастает на 0,21 мг-экв/дм³.

Для прикладных целей определена эмпирическая зависимость между значением жесткости и концентрацией катионов Ca^{+2} и Mg^{+2} (мг/дм³), полученных по данным лабораторных испытаний:

$$\text{жесткость} = 0,3547 + 0,04752 \text{Ca}^{+2} + 0,07841 \text{Mg}^{+2}.$$

Поскольку содержание катионов Ca^{+2} и Mg^{+2} стали известны из результатов лабораторных исследований, а значе-

ние жёсткости получены расчётным путём, то результаты расчётов должны совпадать со значениями, приведёнными в первоисточнике. Такое совпадение наблюдается во всех случаях кроме скважин 73616, 73617, 73618 и 73619, опробование которых было выполнено в 2010 г. Важно подчеркнуть, что вычислительный аппарат МГУА даёт значения жёсткости, которые значительно лучше попадают на выявленный тренд зависимости «жёсткость – R» (на рисунке 3 незалитые кружки показывают расчётные данные).

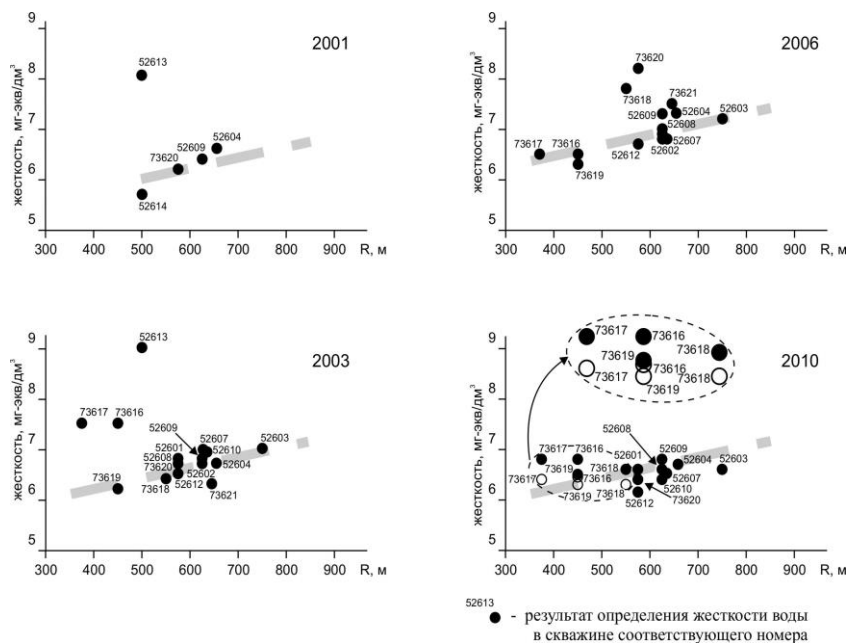


Рисунок 3. Зависимость жёсткости воды от расстояния между опробованной скважиной и рекой

Проведённые исследования доказывают, что скважины водозабора действительно подпитываются водой из р. Чёрная Калитва. Таким образом, для обеспечения стабильного качества водоснабжения необходимо держать под строгим контролем экологическое состояние водосборного бассейна реки.

В целом необходимо отметить, что, соответствующим образом подобранный комплекс наземных и скважинных геофизических исследований, выполняемых при различных режимах эксплуатации водозабора, позволит выявить особенности формирования подземных потоков.

Можно утверждать, что метод группового учёта аргументов продемонстрировал свою действенность для формулирования моделей водозаборов. При этом появляется возможность, оценить достоверность исходных данных, выявить случайные погрешности или преднамеренные искажения, а также скорректировать данные по результатам моделирования.

Следует иметь в виду, что воды даже защищённого достаточно мощным и слабопроницаемым водоупором водоносного горизонта, при эксплуатации могут подпитываться из приповерхностных или вообще открытых источников. В результате происходит ухудшение качества таких вод. Причиной возникновения подобной ситуации может быть переток из одного водоносного горизонта (неэксплуатируемого) в интервал эксплуатируемого пласта за счёт транзита воды в пространстве между обсадной колонной скважины и вмещающими горными породами (так называемый «заколонный переток»).

В подобной ситуации без выполнения специальных геофизических исследований установить причину изменения качества воды бывает нелегко. Только геофизические исследования скважин позволяют надёжно выявить заколонные перетоки. Особенно полезной при этом может быть скважинная термометрия – измерение температуры жидкости в скважине.

Обычно рассматривают два варианта скважинной термометрии: изучение стационарного естественного теплового поля земли и метод регистрации антропогенных нестационарных тепловых полей. Для первого случая подходят скважины с практически установившимся тепловым режимом.

Данный метод, направлен на измерение и интерпретацию естественной температуры горных пород разреза скважины.

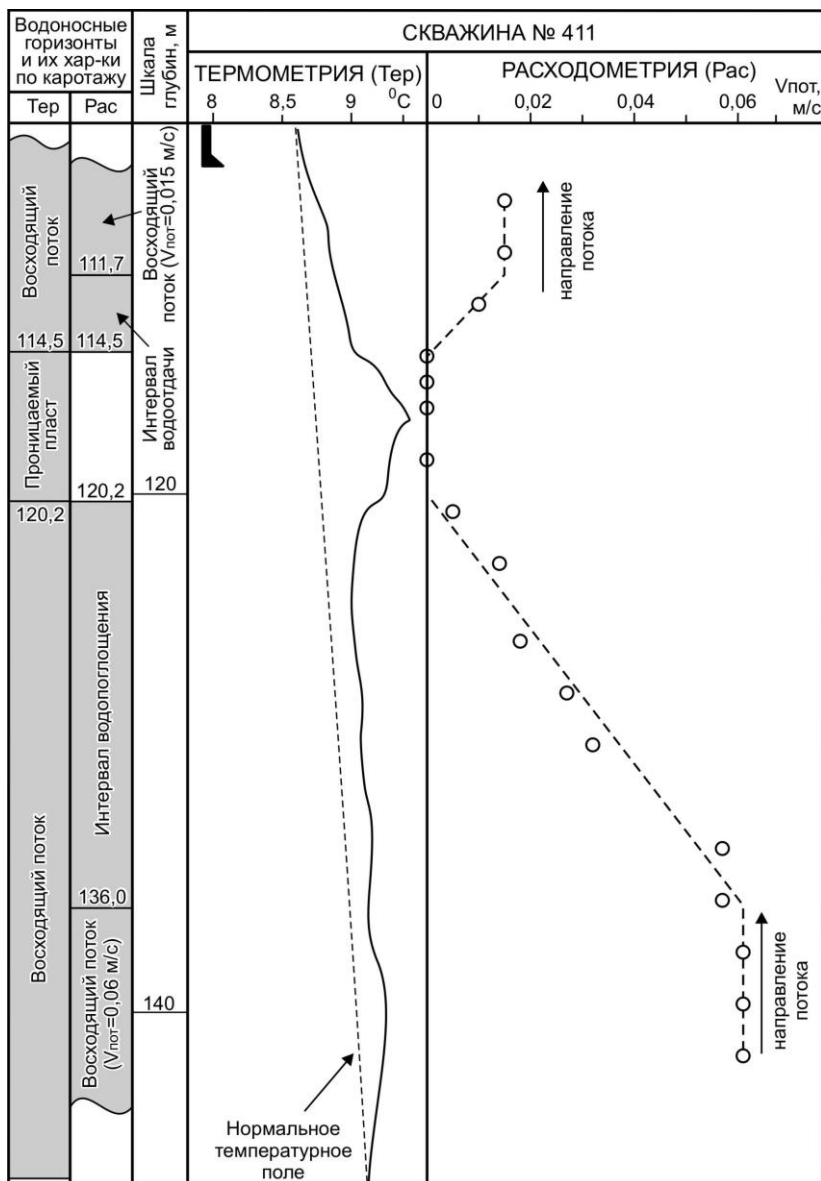
Для второго варианта скважинной термометрии, называемого «термокаротаж» главной задачей является изучение нестационарного теплового поля. Причиной его флуктуаций обычно бывают такие факторы как: бурение скважины, откачка или долив флюидов в скважину, её промывка и пр.

В представленной работе рассмотрены возможности второго варианта термометрии. Объектом исследований при этом выступают гидрогеологические скважины или скважины, построенные для целей водоснабжения.

Как правило, иные геофизические методы не способны решить те задачи, которые под силу термометрии. Среди таких задач, одной из важнейших является выявление заколонных перетоков. Так как заколонные перетоки происходят в затрубном пространстве и никак не связаны со скважинной жидкостью внутри колонны, то они не подвластны расходомерии. Кроме того, термометрия особенно чувствительна к слабым вертикальным перетокам, которые не фиксируются тахометрическими скважинными расходомерами.

Для формирования тепловой аномалии в скважине нужно немалое время вследствие инерционности теплового поля. Это время связано с такими теплофизическими свойствами компонентов системы: среда, заполняющая заколонное пространство; обсадная колонна; скважинная жидкость.

Сложная температурная аномалия, которая была зафиксирована в одной из гидрогеологических скважин, расположенной на территории Тамбовской области, получена после проведения в ней опытной откачки (рисунок 4). По результатам скважинной термометрии и расходомерии выявлено два не связанных между собой направленных вверх перетока. На глубинах 114,5–120,0 м они разделены слабопроницаемым пластом, которому соответствует резкая положительная аномалия температуры, обусловленная проникновением в данный пласт более тёплого бурового раствора.



○ - результаты определений скорости потока

Рисунок 4. Результаты расходомерии и термометрии скважины

Результаты проведённых расходометрических исследований говорят о том, что в интервале скважины 107,3–146,0 м имеется два потока разной интенсивности, оба восходящие. Из них водоотдающий залегает в пределах глубин 111,7–114,5 м. Вода из него поглощается в интервале разреза вблизи башмака обсадной колонны, частично её и перекрытого. Водопоглощающий пласт залегает в интервале 120,0–136,0 м. Вода в него поступает с забоя скважины. Во время проведения геофизических исследований, в скважине, вследствие обрушения вышезалегающих трещиноватых известняков, возник искусственный забой.

Достоверность интерпретации достаточно сложных и неоднозначных материалов исследований существенно повышается с использованием комплексного анализа результатов термометрии и расходометрии. Если отслеживать положение границы, разделяющей две контрастные жидкости (различающиеся по удельному электрическому сопротивлению и температуре), появляется возможность изучать перетоки, направленные вдоль оси скважины.

На рисунке 5 показан пример, обнаружения заколонной циркуляции и вертикального перетока по стволу скважины. Затрубному перетоку на термограмме соответствует участок практически постоянной температуры. Нисходящий поток в открытом стволе отмечен контрастной отрицательной температурной аномалией. Интервалу поглощения отвечает довольно быстрое нарастание температуры от кровли к подошве этого интервала. Башмак обсадной колонны хорошо проявляется благодаря локальному градиенту.

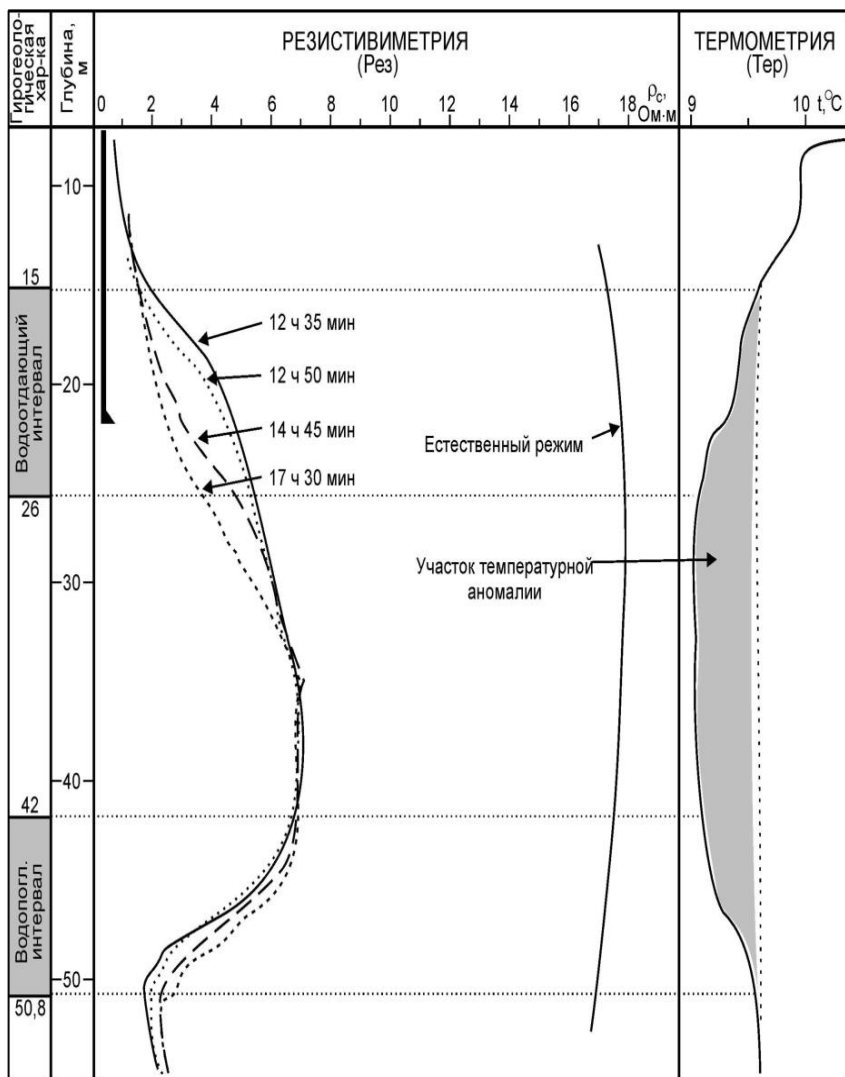


Рисунок 5. Выявление затрубной циркуляции и перетока по стволу скважины

После засоления скважины была проведена резистивиметрия, которая подтвердила положение контакта пресной и осолонённой воды. Он в течение пятичасовых измерений

располагался вблизи отметки 46,0 м. Таким образом, затрубные перетоки из неглубоко залегающих водоносных пластов в эксплуатируемый водоносный горизонт способна выявить скважинная термометрия.

Анализ полученных результатов приводит к выводу, что, с целью повышения его эффективности гидрогеологического каротажа, желательно в состав комплекса методов включать термометрию совместно с расходометрией и резистивиметрией.

В подразделе *«Контроль экологического состояния открытых водоёмов методом георадиолокации»* показана роль геофизических методов при оценке экологического состояния водоёмов. Применение геофизических методов позволяет решить следующие задачи:

- построение модели ложа водоёма;
- картирование мощности илов и дифференциация их по консистенции;
- поиск, оценка размеров и формы, определение их опасности;
- длительное наблюдение за подводными электрическими кабелями, трубопроводами, действующими и неэксплуатируемыми;
- оценка степени зарастания водоёма водорослями.

Ниже приводятся некоторые примеры успешного практического решения некоторых из перечисленных задач с помощью такого геофизического метода, как георадиолокация.

В частности, в Данковском районе Липецкой области вблизи села Баловнево располагается грандиозный усадебный комплекс, включавший в свои лучшие годы 17 прудов. Администрация области приступила к его восстановлению, вследствие чего потребовалось обследовать пруд Двухвостный.

Была поставлена цель информационного обеспечения проектирования состава и объёма будущих работ по очистке пруда. Для определения рельефа дна водоёма и определения

мощности и строения донных отложений было выполнено его георадиолокационное обследование.

Экранированная антенна с рабочей частотой 0,5 ГГц дала наиболее информативные материалы. Исследования были выполнены по профилю, проведённому через северный апофиз пруда. Результаты приведены на рисунке 6.

Инструментальные промеры глубин пруда использовались для заверки результатов предварительной интерпретации георадиолокационных данных. При этом выяснилось, что пруд в значительной степени засорён затопленными деревьями (стволы деревьев отмечаются отражениями характерной гиперболической формы). Кроме того, большая мощность илов накопилась на дне, а деревья как погребены, так и возвышаются над ними. Это можно наблюдать до 15 метров от берега. Акватория, примыкающая к наиболее возвышенному северо-восточному берегу (на рисунке 6, слева) наиболее засорена.

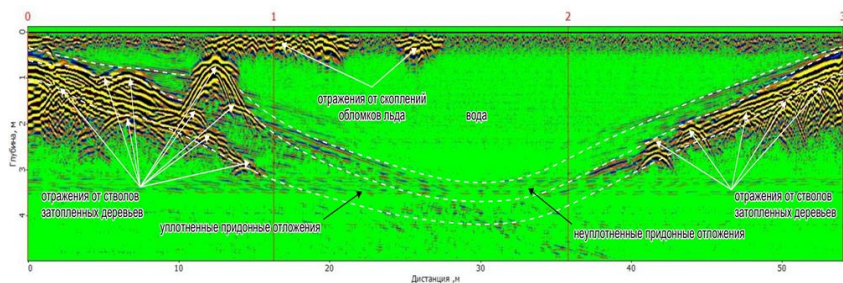


Рисунок 6. Результаты георадиолокационного обследования с антенной 500 МГц

На материковых суглинистых отложениях, как было выявлено после интерпретации данных георадиолокации, последовательно залегают 3 слоя. Это (снизу вверх): вода, придонные отложения неуплотнённые, придонные отложения уплотнённые. Мощность последних изменяется от нескольких десятков сантиметров у берега до 1,7 м в центре

пруда. Мощность следующего слоя обычно не превышает 0,75 м.

Принятие обоснованного, информационно обеспеченного проектного решения по реконструкции мостов невозможно без обследования их опор. В этом случае большую роль могут сыграть геофизические исследования. В областном центре РФ городе Орел, на акватории реки Ока были выполнены подобного вида работы. Следует указать, что мост был построен в 1965 году поблизости с существовавшим ранее довоенным мостом.

Для решения поставленных задач были выполнены георадиолокационное профилирование и вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ). Первый из этих методов служил для определения профиля ложа реки и поиска затопленных объектов, которые могли осложнить как ремонт моста, так и интерпретацию метода ВЭЗ. При георадиолокационном профилировании, которое выполнялось вдоль опор моста, была использована экранированная антенна, работающая на центральной частоте 0,5 ГГц.

По результатам интерпретации георадиолокационных данных (рисунок 7) можно утверждать, что на дне реки Ока наблюдается довольно сложный рельеф с изменением глубин от полутора до трёх с половиной метров. Также несколько крупных металлических объектов и конструкций лежат на дне или приподняты над ним. Эти объекты представляют очевидную опасность для судоходства.

По той же причине следует обратить внимание на скопление металлических предметов между промежуточными опорами 2 и 3 (левая часть рисунка 7). Нужно напомнить, что в годы Великой Отечественной войны в этом городе все мосты были уничтожены. Следовательно, скорее всего, именно с тех времён эти затопленные конструкции и лежат на дне реки, грозя разнообразными проблемами.

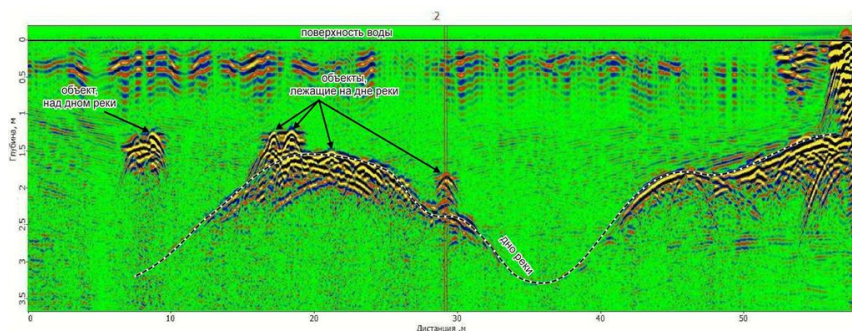


Рисунок 7. Результаты георадиолокационного обследования дна реки Ока с антенной 500 МГц

Приведённые выше материалы свидетельствуют, что обследование водоёмов геофизическими методами может быть очень эффективным для достижения таких целей как:

- подготовка зон отдыха и, в особенности, пляжей к эксплуатации;
- обеспечение безопасности судоходства;
- поиск расположенных на дне предметов и объектов, в том числе и потенциально опасных, затопленных в ходе вооружённых конфликтов и в настоящее время затрудняющих хозяйственное и рекреационное использование водоёмов.

Дополнительную актуальность геофизическим исследованиям на акваториях придаёт то обстоятельство, что природные и антропогенные процессы, протекающие в прибрежных частях водоёмов и в толще вод, находят своё отражение в рельефе дна акваторий, составе грунтов, слагающих придонную часть разреза.

Заключение

Выполненные исследования позволили достигнуть следующих новых практически значимых научных результатов:

1. Статистическая обработка материалов опробования гидрогеологических скважин с привлечением аппарата метода группового учёта аргументов (МГУА) позволяет установить источники питания водоносных горизонтов, оценить достоверность результатов опробования и, при необходимости, скорректировать недостоверные данные.

2. Термометрия гидрогеологических скважин, выполненная в различных режимах, позволяет выявить заколонные перетоки в эксплуатируемые водоносные горизонты.

3. Анализ полученных данных позволяет рекомендовать, с целью повышения эффективности комплекса методов гидрогеологического каротажа, включение в его состав термометрии, желательно в комплексе с расходометрией и резистивиметрией.

4. Необходимо обратить внимание на перспективность комплексного изучения температурных характеристик разрезов месторождений подземных вод в целом, когда измерения температуры выполняются во всех доступных для исследования скважинах месторождения в различных режимах их эксплуатации, в том числе и в состоянии покоя.

5. Опыт проведения экологических исследований на акваториях свидетельствует о высокой информативности геофизических методов, при этом хорошую мобильность и эффективность демонстрируют георадиолокационные исследования.

Практические рекомендации

При статистическом анализе результатов комплексных геолого-геофизических исследований различных объектов, для более полной реализации содержащейся в данных ин-

формации, можно рекомендовать использование аппарата метода группового учета аргументов.

Для выявления заколонных перетоков в эксплуатируемые водоносные горизонты наиболее эффективно применение скважинной термометрии.

Следует отметить потенциально высокую информативность результатов температурных измерений одновременно (или с незначительным временным лагом) во всех (или в большинстве) скважин эксплуатируемых месторождений подземных вод. Совместный анализ результатов таких измерений, выполненных как в процессе откачки, так и в простаивающих скважинах, позволит выявить не только источники питания отдельных водоносных горизонтов и их гидравлическую взаимосвязанность, но и оценить защищённость подземных вод от загрязнения.

Проведение георадиолокационного обследования пресноводных водоёмов в комплексе с отбором проб грунтов и опорными промерами глубин позволит получить детальную и достоверную информацию о строении разреза в его придонной части и замусоренности акватории.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективы дальнейшей разработки темы представленной диссертации могут быть связаны с оценкой прикладных возможностей проведения многочастотных георадиолокационных исследований. Совместная интерпретация результатов георадиолокации, выполненной на нескольких частотах, позволит реализовать информацию, содержащуюся в параметрах, характеризующих частотную дисперсию диэлектрической проницаемости осадочных пород.

Научный и прикладной потенциал таких исследований кроется в возможности определения видов содержащейся в породе влаги, которые зависят от структурных особенностей породы, её состава и прочих факторов.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

По списку ВАК:

1. **Хеляль, М. А.** Геофизическое обследование пресноводных водоемов с целью оценки их экологического состояния / М. А. Хеляль, А. А. Аузин // Вестник ВГУ. Сер. Геология. – 2017. – № 4. – С. 86–89.

2. **Хеляль, М. А.** Результаты статистической оценки данных гидрогеолого-геофизических исследований при экологической оценке эксплуатирующегося водозабора / М. А. Хеляль, А. А. Аузин, О. М. Муравина, Ю. А. Устименко // Вестник ВГУ. Сер. Геология. – 2018. – № 2. – С. 132–135.

3. **Хеляль, М. А.** Возможности скважинной термометрии при решении гидрогеологических задач / М. А. Хеляль, А. А. Аузин // Вестник ВГУ. Сер. Геология. – 2019. – № 1. – С. 72–75.

В других изданиях:

4. **Хеляль, М. А.** Возможности геофизических методов при экологических исследованиях / М. А. Хеляль // Материалы 1-й региональной научно-практической конференции «Современные проблемы инженерных изысканий на территории Центрально-Черноземного региона». – Воронеж, 2017. – С. 177–181.

5. **Хеляль, М. А.** Предварительная оценка экологической устойчивости водозабора «Западно-Россошанский» на основе статистического анализа комплекса гидрогеолого-геофизических данных / М. А. Хеляль, А. А. Аузин, О. М. Муравина, Ю. А. Устименко // Материалы региональной научно-практической конференции «Современные проблемы и опыт гидрогеологических, инженерно-геологических и эколого-геологических исследований на территории Центрально-Черноземного региона». – Воронеж, 2018. – С. 32–37.

6. **Хеляль, М. А.** Георадиолокационное обследование дорожных объектов / М. А. Хеляль, А. А. Аузин // Материалы

лы 3-й научно-практической конференции с международным участием «ГЕОРАДАР-2019». – Москва, 2019. – С. 12–15.

7. **Хеляль, М. А.** Эффективности геофизических методов при экологических исследования / М. А. Хеляль // Материалы 8-й международной научной студенческой конференции «Студенческая наука как ресурс инновационного потенциала развития». – Воронеж, 2019. – С. 17–20.

Подписано в печать 00.03.2020 г. Формат 60×84/16.

Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,63. Тираж 100 экз. Заказ 000.

Российский университет дружбы народов
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Типография РУДН
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. 952-04-41