



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водно-технических изысканий

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

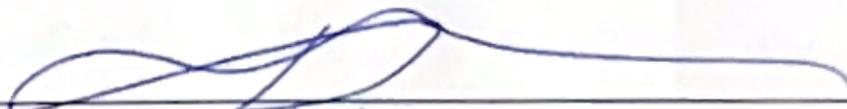
На тему **Определение наличия**  
**подземных водных ресурсов**  
**геофизическими методами**

Исполнитель Сапунов Тимофей Алексеевич  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доцент, кандидат географических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

к.т.н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич  
(фамилия, имя, отчество)

«02» июня 2025г.

Санкт-Петербург  
2025

## Содержание

<b>Введение</b> .....	2
<b>Глава 1. Общие определения</b> .....	5
1.1. Понятие и классификация подземных водных ресурсов .....	5
1.2. Геологические и гидрогеологические условия формирования подземных вод .....	9
1.3. Обзор методов геофизического исследования подземных вод .....	12
<b>Глава 2. Методика исследования</b> .....	19
2.1. Выбор и обоснование исследовательской зоны .....	19
2.1.1. Мурманская область .....	19
2.1.2. Республика Алтай .....	33
2.2. Описание выбранных геофизических методов .....	40
2.2.1. Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ): принципы и применение .....	40
2.2.2. Электротомография (ЭТ): принципы и применение .....	43
2.3. Методика проведения полевых исследований .....	46
2.3.1. Методика проведения полевых исследований в Мурманской области .....	48
2.3.2. Методика проведения полевых исследований в Республике Алтай ...	49
2.4. Методы камеральной обработки и интерпретации геофизических данных .....	49
2.4.1. Обработка результатов ВЭЗ .....	49
2.4.2. Обработка результатов электротомографии .....	51
<b>Глава 3. Практическая часть</b> .....	53
3.1. Проведение полевых работ .....	53
3.2. Обработка и интерпретация данных .....	57
3.2.1. Обработка и интерпретация данных полученных в Мурманской области .....	57
3.2.2. Обработка и интерпретация данных полученных в РА .....	63
3.3. Сравнительный анализ геофизических методов .....	66
<b>Заключение</b> .....	69
<b>Список литературы</b> .....	72

## **Введение**

Подземные воды представляют собой важнейший компонент гидрологического цикла и играют ключевую роль в обеспечении водными ресурсами как природных экосистем и технологических комплексов, так и человеческой потребности в питьевой и технической воде для обеспечения бытовых и хозяйственных нужд. В условиях глобальных изменений климата, увеличения антропогенной нагрузки на наземные природные ресурсы пресной воды и их ограниченность, исследование подземных вод становится особенно актуальным. Знания об их распределении, качестве и динамике, является необходимым условием для устойчивого управления водными ресурсами и защиты экосистем.

В данной работе рассмотрены два метода геофизического исследования подземных вод: вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и электротомография (ЭТ), на основе объектов Мурманской области и Республики Алтай. Эти методы позволяют эффективно выявлять характеристики водоносных слоев, анализировать рельеф сепарационных границ и определять глубину залегания подземных вод. ВЭЗ и электротомография имеют свои особенности, преимущества и недостатки, что делает их предметом интересного и важного сравнительного анализа.

Актуальность работы обусловлена необходимостью выбора наиболее эффективных методов при исследовании подземных вод, что особенно важно в условиях ограниченных ресурсов и необходимости оптимизации затрат. В условиях растущего интереса к устойчивому развитию и охране окружающей среды, понимание того, как различные методы могут быть использованы для получения точной информации о подземных водах, становится критически важным.

### Цели работы:

- Исследование подземных водных ресурсов геофизическими методами.
- Показать эффективность геофизических методов по сравнению.
- Обосновать экономическую целесообразности геофизических методов.

### Задачи работы:

- Изучить существующие методы геофизического исследования подземных вод.
- Рассмотреть имеющиеся данные и отчеты о подземных водах в исследуемом районе.
- Определить географическую область для проведения исследований, учитывая геологические и гидрогеологические условия.
- Выполнить полевые работы с использованием выбранных геофизических методов.
- Обработать полученные данные и провести их интерпретацию для определения наличия и характеристик подземных вод.
- Доказать эффективность рассматриваемых геофизических методов.
- Сравнить результаты, полученные различными методами, и оценить их точность и надежность.
- Подготовить графические материалы для наглядного представления результатов исследования.
- Сформулировать выводы о наличии подземных вод и подготовить рекомендации по дальнейшим исследованиям.

В работе представлены общие сведения о подземных водах, их классификациях и видах формирований. Проведен обзор существующих методов геофизического исследования подземных вод, с акцентом на ВЭЗ и электротомографию. Рассмотрены принципы работы каждого из методов, их применение в различных геологических условиях и преимущества, которые они могут предложить.

Уделено внимание теоретическому анализу вертикального электрического зондирования и электротомографии. Рассмотрены его основные принципы, методика проведения исследований, а также примеры успешного применения ВЭЗ в различных регионах. Аналогично, рассмотрена электротомография, её основные аспекты, включая принципы работы.

В работе проанализировано, как каждый из методов справляется с задачами определения глубины залегания подземных вод, а также выявления свойств перекрывающих слоев. Уделено внимание не только техническим аспектам, но и экономической эффективности каждого из методов, что позволит оценить их применимость в различных условиях.

Кроме того, затронуты вопросы будущего исследований подземных вод. Даны выводы о наличии и распределении подземных водных ресурсов, рекомендации по использованию геофизических методов для поиска и оценки подземных вод.

Таким образом, работа направлена на всестороннее изучение методов определения подземных вод, их сравнительный анализ и оценку их экономической эффективности. Результаты исследования могут быть полезны как для научного сообщества, так и для практиков, занимающихся управлением водными ресурсами и охраной окружающей среды.

## Глава 1. Общие определения

### 1.1. Понятие и классификация подземных водных ресурсов

Подземные воды — это воды, находящиеся в толще земной коры в порах, трещинах и пустотах горных пород. Они находятся глубже уровня грунтовых образований и являются важным источником пресной воды, используемой в различных секторах, таких как сельское хозяйство, промышленность и бытовое водоснабжение [25]. Их классификация включает в себя грунтовые и межпластовые воды, которые различаются по способу нахождения и происхождению. Грунтовые воды, заполняющие поры и трещины в горных породах, располагаются непосредственно под поверхностью земли и чрезвычайно чувствительны к поверхностным воздействиям, таким как осадки и климатические изменения. Их уровень меняется в зависимости от количества осадков и температуры окружающей среды, что связано с сезонными колебаниями [26].

Подземные воды классифицируются по различным признакам, включая происхождение, условия залегания, химический состав и степень минерализации.

#### 1. По условиям залегания:

Таблица 1. Классификация подземных вод по условия залегания.

Наименование	Описание
Верховодка	Временное скопление вод над локальными водоупорами (глина, мерзлота). Залегает неглубоко, легко загрязняется.
Грунтовые воды	Расположены в первом от поверхности водоносном горизонте, не перекрыты водоупорными слоями

Наименование	Описание
Межпластовые воды	Залегают между водоупорными пластами и могут находиться под напором
Артезианские воды	Разновидность межпластовых вод, находящихся под напором, что позволяет им подниматься на поверхность при вскрытии скважиной
Карстовые воды	Формируются в растворимых породах (известняки, гипсы), циркулируют в подземных пустотах и пещерах
Трещинные воды	Заполняют трещины и разломы в твёрдых горных породах

## 2. По происхождению:

Таблица 2. Классификация подземных вод по происхождению.

Наименование	Описание
Инфильтрационные	Образуются за счёт просачивания атмосферных осадков и поверхностных вод
Конденсационные	Возникают в результате конденсации водяного пара в подземных пустотах
Седиментационные	Древние воды, сохранившиеся с момента образования осадочных пород
Ювенильные	Образуются при магматических процессах и поступают из недр Земли

### 3. По химическому составу и минерализации:

Таблица 3. Классификация подземных вод по химическому составу и минерализации.

Наименование	Содержание солей г/л	Описание
Пресные воды	до 1	Пригодны для питья и хозяйственных нужд.
Слабоминерализованные воды	1–3	Могут использоваться для С/Х
Минеральные воды	3–35	Применяются в лечебных и бальнеологических целях
Соленые и рассольные воды	более 35	Используются в промышленности

### 4. По температуре:

Таблица 4. Классификация подземных вод по температуре.

Наименование	Температура °С
Холодные	до +20
Тёплые	от +20 до +37
Горячие (термальные)	от +37 до +100
Паровые (гейзеры)	более +100

Межпластовые воды расположены между слоями пористых пород и менее подвержены влиянию атмосферных явлений. Они сосредоточены в более глубоких слоях земли и, как правило, обеспечивают стабильный водный ресурс независимо от колебаний погодных условий [16]. Подземные воды не только служат источником питьевой воды, но и играют важную роль в экосистемах, поддерживая уровень грунтовых вод, который влияет на растительность и водоемы [24]. Важно отметить, что химический состав подземных вод может варьироваться в зависимости от геологических условий и наличия различных химических элементов, таких как кальций, магний, натрий и другие [29]. Это делает их не только

жизненно важным ресурсом, но и потенциальным объектом для загрязнения, что подчеркивает необходимость их рационального использования и охраны.

Загрязнение подземных вод может происходить в результате различных антропогенных воздействий, таких как сельское хозяйство, промышленность и урбанизация. В таком контексте методы геофизического исследования, такие как вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и электротомография, предоставляют надежные инструменты для определения наличия и распространения подземных вод на различных глубинах. Эти методы позволяют картировать подземные водоносные горизонты и определять их физические свойства, что критически важно для эффективного управления водными ресурсами и предотвращения загрязнения [25][26].

Цифровизация и автоматизация процессов, связанных с мониторингом подземных вод, стали возможными благодаря современным геофизическим технологиям. Разработка сенсоров и методов обработки данных позволяет получать реальную информацию о состоянии подземных вод в режиме реального времени, что может быть особенно полезно в условиях изменения климата и растущей потребности в ресурсах [29]. Обеспечение эффективного использования подземных вод требует комплексного подхода, включающего развитие стратегий мониторинга, защиту водоносных горизонтов и применение инновационных технологий в области геофизических исследований. Современные исследования показывают, что подземные воды обладают большим потенциалом для использования в рамках устойчивого развития, что подразумевает необходимость их охраны и рационального использования. Мониторинг подземных ресурсов с помощью геофизических методов остается актуальным инструментом в этой борьбе, позволяя принимать грамотные

управленческие решения и обеспечивать охрану важных природных ресурсов [16][24].

## **1.2. Геологические и гидрогеологические условия формирования подземных вод**

Формирование подземных вод – это длительный природный процесс, связанный с движением и накоплением воды в земной коре. На этот процесс влияют такие факторы, как геологическое строение региона, типы горных пород, наличие водоносных и водоупорных горизонтов, климатические условия и тектонические процессы.

Подземные воды представляют собой важнейший источник пресной воды, используемой для водоснабжения населения, сельского хозяйства и промышленности. Их свойства, химический состав и распространение зависят от множества факторов, рассмотренных ниже.

### ***Геологические условия***

#### **1. Структурные особенности земной коры.**

Геологическое строение территории определяет основные пути движения и накопления подземных вод. Различные геологические структуры могут как способствовать их накоплению, так и препятствовать циркуляции.

- Складчатые области – это районы с интенсивно деформированными породами, в которых под воздействием тектонических процессов образуются многочисленные трещины и разломы. Эти структуры являются естественными путями миграции подземных вод. Из-за высокой проницаемости складчатых зон в них часто формируются крупные запасы пресных и минерализованных вод.

- Платформенные области – это стабильные участки земной коры, сложенные осадочными породами. Здесь водоносные горизонты залегают относительно ровно, что создаёт благоприятные условия для формирования обширных запасов подземных вод. На платформах часто формируются артезианские бассейны – крупные области залегания межпластовых подземных вод.
- Разломные зоны – это области, где породы испытывали интенсивные деформации и раскалывались на отдельные блоки. Такие зоны могут быть путями для глубокого проникновения воды, а также местами выхода термальных и минерализованных вод.

## **2. Литологический состав пород.**

Горные породы различаются по своей способности пропускать воду. Эта способность зависит от их пористости и трещиноватости.

- Водопроницаемые породы – это породы, обладающие высокой пористостью или многочисленными трещинами, через которые может свободно перемещаться вода. К таким породам относятся: пески и песчаники, гравий и галечники, трещиноватые известняки и карстовые породы.
- Водоупорные породы – это породы, которые практически не пропускают воду и создают естественные барьеры для её движения. К таким породам относятся: глины, сланцы, плотные магматические породы
- Карстовые породы играют особую роль, поскольку они подвержены растворению под воздействием воды, что приводит к образованию подземных пещер, рек и озёр. В таких породах подземные воды могут перемещаться на большие расстояния с высокой скоростью.

## ***Гидрогеологические условия***

### **1. Водопроницаемость и водоупорность пород.**

Процессы движения подземных вод зависят от свойств горных пород:

- Водопроницаемые породы позволяют воде свободно проникать вглубь и формировать водоносные горизонты.
- Водоупорные породы задерживают воду и создают водоупорные слои, которые могут накапливать межпластовые воды.

### **2. Основные факторы движения подземных вод.**

Подземные воды движутся под воздействием различных сил: гравитация, пьезометрическое давление и капиллярные силы

Гравитация – основной фактор, заставляющий воду двигаться вниз по водоносным слоям.

Пьезометрическое давление – заставляет артезианские воды подниматься вверх при вскрытии скважины.

Капиллярные силы – способствуют движению воды вверх по мелким порам пород.

### **3. Гидрогеологические бассейны.**

Гидрогеологические бассейны – это крупные территории, где происходит формирование и накопление подземных вод.

- Артезианские бассейны – области с межпластовыми водами, которые находятся под давлением.
- Инфильтрационные бассейны – участки, где атмосферные осадки активно пополняют запасы подземных вод.

- Реликтовые бассейны – содержат древние воды, сформировавшиеся миллионы лет назад и практически не обновляющиеся в настоящее время.

### 1.3. Обзор методов геофизического исследования подземных вод

Геофизические методы исследования подземных вод представляют собой комплекс высокоточных технологий, позволяющих изучать характеристики водоносных горизонтов без необходимости масштабных буровых работ. Эти методы основаны на измерении различных физических полей Земли и их интерпретации с использованием современных алгоритмов обработки данных. Особую ценность геофизические исследования приобретают в условиях сложного геологического строения, когда традиционные методы разведки оказываются недостаточно эффективными или экономически нецелесообразными.

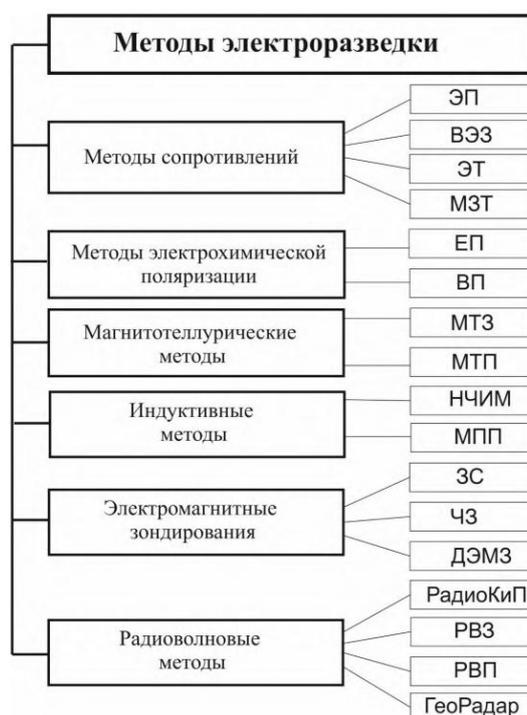


Рисунок 1. Классификация методов электроразведки. Сокращения:

ВЭЗ – вертикальное электрическое зондирование, ЭП - электропрофилирование, ЭТ – электротомография, МЗТ – метод

заряженного тела, ЕП – метод естественного поля, МТЗ – магнитотеллурическое зондирование, МТП - магнитотеллурическое профилирование, НЧИМ – низкочастотные индуктивные методы, МПП – метод переходных процессов, ЗС – зондирование становлением, ЧЗ – частотное зондирование, ДЭМЗ – дистанционные электромагнитные зондирования, РадиоКиП – метод радиокомпарации и пеленгации, РВЗ – радиоволновое зондирование, РВП – радиоволновое профилирование.

Среди всего многообразия методов электромагнитные исследования занимают особое место благодаря своей универсальности и высокой информативности. Эти технологии основаны на анализе взаимодействия электромагнитных полей с горными породами, что позволяет определять такие ключевые параметры, как удельное электрическое сопротивление (УЭС) и поляризуемость. В последние годы особое развитие получили методы, использующие естественное электромагнитное поле Земли, которые особенно эффективны при изучении глубокозалегающих водоносных горизонтов. Важным преимуществом электромагнитных методов является их способность работать в сложных условиях, включая урбанизированные территории и районы с развитой промышленной инфраструктурой, где другие методы часто дают искаженные результаты.

Особенно важными для определения подземных вод являются два метода: вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и электротомография. Несмотря на схожие цели, эти методики имеют свои особенности и различные области применения.

ВЭЗ основан на измерении электрического сопротивления грунта, что позволяет определить уровень и характеристики водоносных горизонтов. Преимущества данного метода заключаются в его простоте и экономичности, а также в высокой скорости получения результатов. В

большинстве случаев ВЭЗ применяется для оперативного определения местонахождения и характеристик подземных вод, а также для предварительной оценки структуры грунта перед бурением [21]. Однако, данная методика может иметь ограничения, связанные с интерпретацией результатов в геологически сложных условиях, когда присутствуют разнотипные породы с различными электрическими свойствами [20].

Сравнение с электротомографией показывает, что последний метод предоставляет более детальную информацию, позволяя создавать трехмерные модели распределения сопротивления в грунте. Электротомография использует более сложные измерительные схемы, что дает возможность увидеть неоднородности и вариации в структуре подземных вод на больших глубинах. Главный плюс электротомографии заключается в том, что она позволяет получать гораздо более точные данные о протяженности и наклонах водоносных горизонтов, что особенно важно для задач проектирования и ресурсного управления [19]. Однако использование электротомографии требует большей временной и финансовой инвестиции по сравнению с ВЭЗ.

Процедура выполнения геофизических исследований обычно начинается с площадных работ, на основании которых разрабатывается план бурения. Эти подготовительные исследования являются важными для расчетов и оценки последующих работ. Наличие качественной информации о геологическом строении участка позволяет уменьшить риски при бурении и повысить эффективность использования ресурсов. Особенно актуально это для месторождений, расположенных в речных долинах, где сосредоточены значительные запасы пресных подземных вод [23].

По данным исследований, каротажные работы в дополнение к ВЭЗ и электротомографии помогают собрать количественные данные о свойствах

подземных вод, таких как уровень и качество. Это особенно важно на этапе детальной разведки водных ресурсов. Обычно такие работы сочетаются с использованием других геофизических методов, что позволяет максимизировать эффективность и точность получаемых данных [34].

Сравнение эффективности ВЭЗ и электротомографии также охватывает аспекты экономической целесообразности. В то время как ВЭЗ является более экономичным вариантом для первоначальной оценки, электротомография дает несравненно более детальные и точные результаты, что может оправдывать дополнительные затраты в более сложных условиях или на крупных проектах [21]. Важно учитывать также, что, обладая большим объемом данных, полученных с помощью электротомографии, можно более точно прогнозировать поведение подземных вод, что критично для долгосрочных проектов.

Оптимальный выбор между ВЭЗ и электротомографией зависит от специфики задачи, требуемой точности и доступных ресурсов. Чтобы достичь максимальной эффективности применения геофизических методов, часто рекомендуется комбинировать их в рамках комплексного подхода, что позволяет более точно оценивать запасы подземных вод и разрабатывать более детализированные схемы управления водными ресурсами [20].

ВЭЗ и электротомография являются важными инструментами в арсенале гидрогеологов и геофизиков, позволяя решать разнообразные задачи, сопутствующие изучению подземных вод. Обе методы имеют свои сильные и слабые стороны, и их интеграция в процессе исследования позволяет добиться более полной картины состояния подземных вод [19].

Среди прочих методов, необходимо выделить: сейсмические методы исследования подземных вод основаны на регистрации и анализе упругих

волн, распространяющихся в геологической среде. Эти методы подразделяются на активные, использующие искусственные источники колебаний, и пассивные, основанные на регистрации естественного сейсмического фона. Современные технологии сейсморазведки позволяют не только определять глубину залегания водоупоров, но и изучать внутреннюю структуру водоносных комплексов с высокой детализацией. Особенно ценными являются методы сейсмической томографии, которые обеспечивают трехмерное изображение подземных структур и позволяют отслеживать динамические процессы в водоносных горизонтах.

Методы сейсмической интерферометрии открыли новые возможности в изучении фильтрационных характеристик водоносных пластов. Эти технологии основаны на анализе кросс-корреляции волновых полей и позволяют изучать изменения в подземной гидросфере с беспрецедентной точностью. Особенно эффективны они при мониторинге эксплуатационных месторождений подземных вод, где необходимо отслеживать изменения уровня и качества воды в режиме реального времени. Современные системы сейсмического мониторинга интегрируют данные от сотен датчиков, что позволяет создавать детальные модели фильтрационных потоков.

Георадиолокационные исследования представляют собой мощный инструмент для изучения неглубоких водоносных горизонтов. Этот метод использует высокочастотные электромагнитные импульсы (обычно в диапазоне от 10 МГц до 2,5 ГГц), которые отражаются от границ раздела слоев с различными диэлектрическими свойствами. Современные георадары позволяют получать изображения верхних слоев геологического разреза с разрешением до нескольких сантиметров, что делает их незаменимыми при изучении зоны аэрации и верхнего водоносного горизонта. Особенно эффективен этот метод при картировании контактов

между различными литологическими разностями и выявлении локальных скоплений подземных вод.

Метод ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) в гидрогеофизике основан на явлении резонансного поглощения электромагнитной энергии протонами воды в постоянном магнитном поле. Этот метод уникален тем, что позволяет непосредственно детектировать наличие свободной воды в горных породах, в отличие от других геофизических методов, которые измеряют косвенные признаки водонасыщения. Современные ЯМР-системы способны не только определять объемное содержание воды, но и оценивать такие важные параметры, как размер пор и скорость фильтрации. Особенно ценен этот метод при изучении трещиноватых коллекторов и оценки запасов подземных вод в сложных геологических условиях.

Термические методы исследования подземных вод основаны на анализе теплового поля земной коры, которое формируется под влиянием различных факторов, включая циркуляцию подземных вод. Эти методы включают как поверхностные измерения теплового потока, так и скважинную термометрию, позволяющую получать детальные температурные разрезы. Особенно информативны термические методы при изучении термальных вод и гидрогеологических систем в районах вулканической активности, где температурные аномалии могут достигать значительных величин. Современные тепловизоры и высокоточные термометрические системы позволяют фиксировать малейшие температурные вариации, связанные с движением подземных вод.

Гравиметрические методы исследования подземных вод основаны на измерении вариаций гравитационного поля Земли, вызванных неоднородностями плотности горных пород. Современные гравиметры обладают исключительной точностью (до 1 мкГал), что позволяет

фиксировать даже незначительные изменения плотности, связанные с водонасыщением пород. Эти методы особенно эффективны при изучении крупных карстовых систем и зон тектонических нарушений, где перераспределение подземных вод вызывает заметные изменения гравитационного поля. Особенно перспективным направлением является использование гравиметрии для мониторинга эксплуатации подземных вод, когда изменения массы водного столба могут быть зафиксированы гравиметрическими измерениями.

Радиолокационное зондирование с использованием космических аппаратов (InSAR - интерферометрический синтезированный радар) представляет собой революционный метод для мониторинга изменений уровня подземных вод на региональном уровне. Эта технология основана на анализе фазовых различий между радиолокационными изображениями, полученными в разное время, что позволяет фиксировать вертикальные смещения земной поверхности с точностью до нескольких миллиметров. Метод особенно ценен для оценки влияния интенсивного водоотбора на устойчивость земной поверхности и выявления областей проседания грунта. Современные спутниковые системы обеспечивают регулярный мониторинг обширных территорий, что делает этот метод незаменимым инструментом для управления водными ресурсами на региональном уровне.

Гидрогеохимические методы, хотя и не являются строго геофизическими, играют важную роль в комплексных исследованиях подземных вод. Анализ химического и изотопного состава вод позволяет получать уникальную информацию о происхождении, возрасте и путях миграции подземных вод. Современные методы изотопной гидрологии, такие как анализ стабильных изотопов кислорода и водорода или радиоуглеродное датирование, существенно дополняют данные

геофизических исследований. Особенно важны эти методы при изучении взаимосвязи между различными водоносными горизонтами и оценке времени возобновления запасов подземных вод.

## **Глава 2. Методика исследования**

### **2.1. Выбор и обоснование исследовательской зоны**

#### **2.1.1. Мурманская область**

Основанием выполнения работ по объекту «ГОК Колмозерского месторождения полезных ископаемых, расположенного в муниципальном образовании Ловозерский муниципальный район Мурманской области» является, геологическое и геофизическое изучение с целью поисков и оценки подземных вод на участке недр Колмозерский ООО «Полярный литий» для будущего водоснабжения.

### **Физико-географическая характеристика**

#### ***Геоморфология***

В пределах Ловозерского района выделяются почти все разновидности морфоструктур, выявленных в Мурманской области [4]. Они группируются в несколько орографических подрайонов:

1) Северо-Кольский среднегорный орографический подрайон с преобладанием слабо- и умеренно поднятых новейшими движениями морфоструктур;

2) Северо-восточно-Мурманский – со слабо поднятыми морфоструктурами;

3) Центральный (или Кейвский), где выделяются – Вороньинская зона со слабо поднятыми морфоструктурами, Кейвская и Кицкая зоны с умеренно поднятыми морфоструктурами и Луяввуртская зона с интенсивно поднятыми новейшими движениями морфоструктурами;

4) Понойский, частью которого является Сосновская зона со слабо поднятыми морфоструктурами.

На большей части территории Ловозерского района преобладает ледниково-аккумуляционный рельеф на фоне волнисто-грядовой и равнинной поверхности древнего пенеплена. На Баренцевоморском побережье и в Кейвской зоне – низкогорный структурно-денудационный рельеф со следами ледниковой аккумуляции. В Кицкой и Луяввуртской зонах среднегорный структурно-денудационный рельеф со следами ледниковой денудации и аккумуляции. В прибрежной зоне – морфоструктуры, сформированные преимущественно на новейшем этапе.

В качестве основных геоморфологических структур района можно выделить следующие:

- 1) Западный среднегорный район;
- 2) северо- восточное Мурманское плато;
- 3) возвышенность Кейвы (являющаяся водораздельной для северных притоков р. Поной и рек, впадающих в Баренцево море);
- 4) юго-восточное Терское плато (Терские Кейвы);
- 5) Ловозерские тундры;
- 6) Фёдоровы и Панские тундры;
- 7) Понойская депрессия;

8) ряд слабо выраженных в рельефе и заболоченных возвышенностей, водораздельных для южных притоков р. Поной и рек, впадающих в Белое море.

Во внутренних частях Ловозерского района преобладают волнисто-грядовые, низкогорные, а в южных и восточных частях – равнинные и слабовсхолмленные мотивы ландшафта. Степень заболоченности этой территории увеличена по сравнению с прибрежными территориями. Для центральных частей в целом характерно сочетание болотно-озерных часто с меандрирующими руслами рек и пологих холмисто-грядовых форм ландшафта.

Абсолютные высотные отметки на территории работ составляют 200-300 м, без резких перепадов высот. Наивысшей точкой участка является гора Большой Потчемварек, высота которой составляет 309 м, на которой и располагается Колмозерское месторождение.

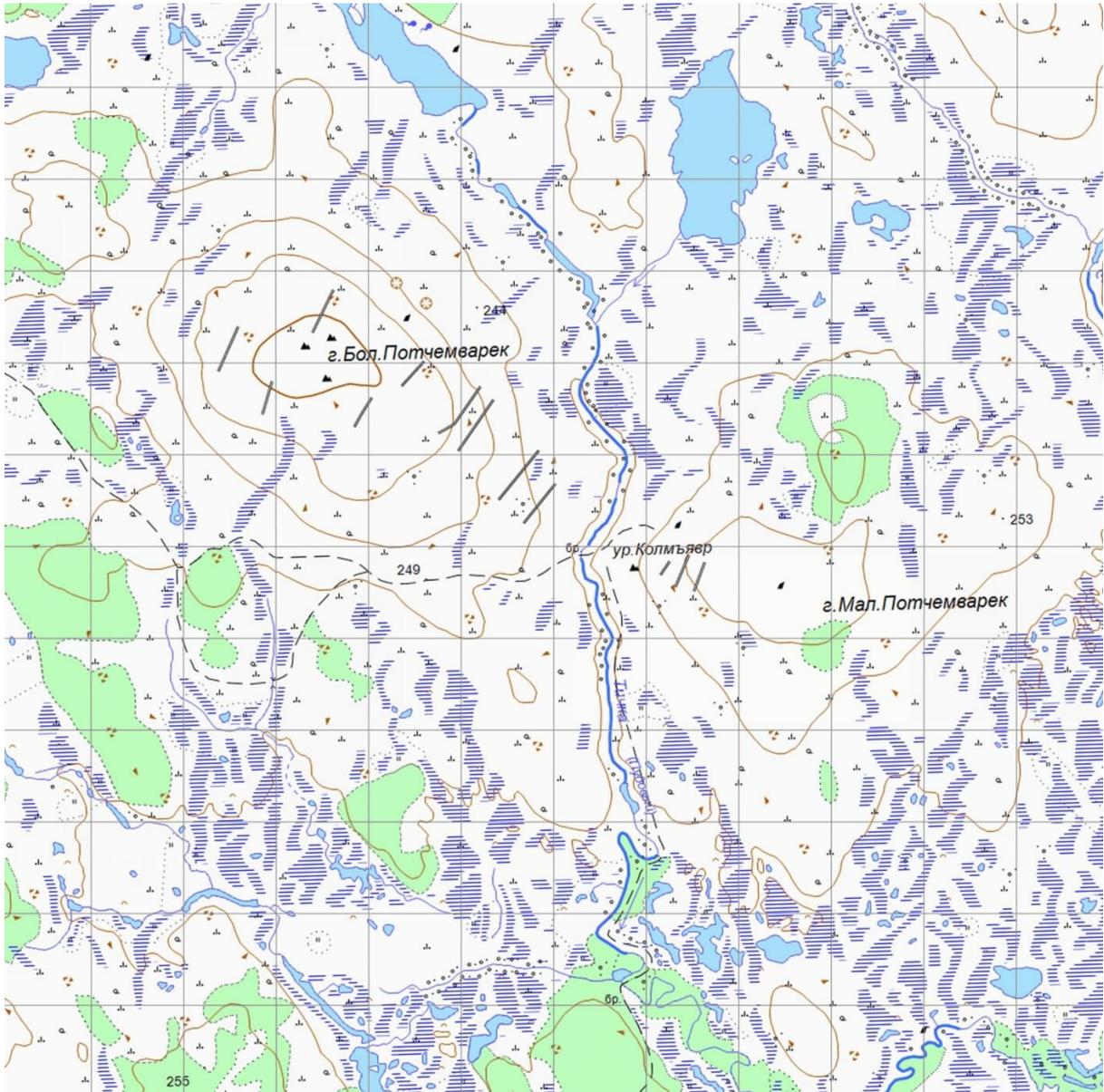


Рисунок 2. Карта зоны полевых работ.

## *Гидрографическая сеть*

Речная сеть Ловозерского района весьма густая и неоднородная [4]. Верховья рек берут начало, либо в равнинных, заболоченных территориях центральных частей полуострова либо на склонах горных сооружений, таких как Ловозерские тундры, Фёдорово-Панские тундры, Кейвы. В зависимости от этого они имеют разный характер верхнего течения. В первом случае они извилистые, меандрирующие, со старицами, наносами и многочисленными излучинами. Во втором – прямолинейные и изломанные порожистые русла, которые после выхода на равнинную часть могут приобретать черты первой группы. Ниже по течению, по мере приближения к прибрежным районам все реки убыстряются, становятся порожистыми с многочисленными перекатами, стремнинами и водопадами, при этом часто наследуют траекторию тектонических нарушений и/или геологических границ. Основные тектонические элементы в районе имеют субмеридиональную или северо-восточную ориентировку, а оперяющие разломы и геологические границы – северо-западную. В этой связи практически все наиболее крупные реки, ручьи и озера Мурманского берега приобретают северо-восточную ориентировку, а их притоки и второстепенные водотоки – северо-западную.

Крупными реками Ловозерского района являются: Поной (длина 426 км / площадь водосбора 15500 км<sup>2</sup>), Иоканга (203 км / 6020 км<sup>2</sup>) и Воронья (155 км / 9940 км<sup>2</sup>), которая в верхнем и в среднем течении расположена на территории муниципального образования. Меньший размер имеют Харловка, Варзина и Восточная Лица. Из перечисленных водотоков только Поной принадлежит бассейну Белого моря, остальные впадают в Баренцево море. У большинства крупных рек средний расход воды колеблется в пределах 30-50 м<sup>3</sup>/сек в среднем течении, а в нижнем возрастает до 100-160 м<sup>3</sup>/сек. При этом все они относительно мелководны (средние глубины не

превышают 1 м). Максимальная водоносность у рек Поной, Иоканга и Воронья.

Воды всех водоёмов и водотоков относятся к ультрапресным и пресным (минерализация не более 50 мг/л), а по химическому составу – преимущественно к гидрокарбонатным натриево-калиевым. В прибрежной полосе за счёт влияния морских аэрозолей заметно возрастает содержание ионов хлора.

Ледостав на реках и озёрах западной и центральной частей баренцевоморского побережья наступает в середине – конце ноября, в восточной части этот срок смещается до начала декабря. В центральных частях района ледостав наблюдается, начиная с конца октября. На баренцевоморском побережье ледоход начинается с середины мая по начало июня, в центральных и северо-восточных территориях – в середине мая.

Озёрная сеть Ловозерского района весьма развита, при этом максимальное площадное распространение она имеет в прибрежных частях и в депрессиях, а минимальное – в горных тундрах и в Кейвах. Крупнейшими озёрами являются Ловозеро (200 км<sup>2</sup> / 1.5 км<sup>3</sup>) и Енозеро (94.4 км<sup>2</sup>). Водоёмы имеют сильно изрезанный контур линии берега, а также множество островов и мысов причудливой формы. Глубина, как правило, варьирует от первых до 15-25 метров, однако в ряде случаев может достигать десятков и даже превышать 100 метров [4].

Через участок работ протекают реки Юнка (длина 14 км), Тичка (длина 31 км) и ручей Эльвань (длина 17 км), впадающие в р. Иоканга.

На территории работ очень большое количество малых озёр, с юго-западной стороны от лицензионного участка расположены крупные озёра

Колмозеро (площадь 13,9 км<sup>2</sup>), Орешко (площадь 1,5 км<sup>2</sup>), Кетькозеро (площадь 2,81 км<sup>2</sup>) и Кальмозеро (площадь 9,17 км<sup>2</sup>).

### ***Гидрогеологическая изученность***

В гидрогеологическом отношении район проектируемых работ входит в состав Балтийского сложного гидрогеологического массива, Кольско-Карельского гидрогеологического массива, который характеризуется развитием поровых вод в маломощном прерывистом слое четвертичных отложений, трещинных вод кристаллических пород, трещинно-жильных вод тектонических зон. Все подземные воды района принадлежат к зоне свободного водообмена. Закономерности их формирования определяются рядом факторов, важнейшими из которых являются: атмосферные осадки, дренирующее воздействие речной сети, относительно высокое гипсометрическое положение, малая мощность четвертичных отложений и наличие неравномерной трещиноватости кристаллического комплекса пород.

Колмозерское месторождение приурочено к возвышенностям Большой Патчемварек и Малый Патчемварек, овальной формы, вытянутой с северо-запада на юго-восток. Разработка карьера и строительство ГОКа планируются на горе Б. Патчемварек, с высотной отметкой 302 м, которая возвышается на 80-100 м над окружающей заболоченной местностью и на 86-88 м над урезом воды в р. Тички, протекающей почти через весь участок проектируемых работ.

Долина р. Тичка расположена в широкой заболоченной депрессии, выполненной мореной и аллювиально-делювиальными песчаными, супесчаными, грубообломочными отложениями, вскрытой мощностью до 9,4 м. Река Тичка маловодна, зависит от сезонного питания. Её ширина

варьируется от 5-10 м до 50-70 м и более при разливах. Летом сток почти прекращается.

В рамках геологоразведочных работ на ТПИ, проводимых на участке в данный момент, проводится также комплекс гидрогеологических и гидрологических исследований, направленный на детальное изучение гидрогеологических условий будущего карьера и прогнозирования водопритоков.

На территории работ выделяются четыре водоносных подразделения:

- голоценовый торфяно-болотный водоносный подгоризонт;
- позднеплейстоцен-голоценовый элювиально-делювиальный относительно водоносный горизонт;
- позднеплейстоценовый ледниковый относительно водоносный горизонт;
- архей-протерозойская водоносная зона трещиноватости кристаллических пород.

Из-за отсутствия выдержанных границ и водоупоров на площади работ, данные водоносные подразделения могут иметь прямую гидравлическую связь и образовывать единый водоносный комплекс

### ***Голоценовый торфяно-болотный водоносный подгоризонт***

На территории проведения работ данный горизонт не изучался, данные приводятся по территориям с аналогичным строением.

Горизонт торфяно-болотных отложений всегда залегает первым от поверхности, подстилается чаще всего ледниковыми отложениями или залегает непосредственно на кристаллических породах.

Мощность горизонта изменяется от 0,5 до 5,0 м, средняя мощность составляет 0,7-1,0 м. Водовмещающие породы представлены торфами

темно-коричневого и темно-бурого цветов, различной степени разложения, чаще всего плохой и средней. Коэффициенты фильтрации торфов изменяются от 0,01 до 2,64 м/сут в зависимости от степени разложения торфа. Наименьшие значения имеют хорошо разложившиеся торфа (0,01-0,1 м/сут), наибольшие – слабо разложившиеся торфа (0,1-2,64 м/сут).

Глубина залегания уровня подземных вод торфяно-болотных отложений составляет преимущественно 0,0-0,5 м, воды безнапорные. Годовые колебания уровня подземных вод довольно незначительные и не превышают 0,2-0,8 м. Направление движения подземных вод совпадает либо с направлением движения поверхностных водотоков, либо обусловлено уклоном поверхности рельефа.

Воды ультрапресные (минерализация 0,02-0,07 г/дм<sup>3</sup>), кислые и слабокислые (рН 4,29-6,1), очень мягкие (общая жесткость не превышает 0,27 мг-экв), по химическому составу сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые.

Дебиты нисходящих родников, приуроченных к торфяно-болотным отложениям, не превышают 0,4 л/с.

Питание слабоводоносного горизонта происходит за счет атмосферных осадков. Значительное преобладание инфильтрации над испарением создает благоприятные условия для формирования этого горизонта. Немаловажную роль в питании горизонта играют напорные воды зоны трещиноватости кристаллических пород. Разгрузка осуществляется чаще всего в поверхностные водоемы либо водотоки, либо в подстилающие водоносные горизонты.

Для практического использования воды торфяно-болотных отложений не пригодны из-за небольших и невыдержанных по площади мощностей

горизонта, низких фильтрационных показателей и питьевых характеристик воды.

***Позднелеоплейстоцен-голоценовый элювиально-делювиальный относительно водоносный горизонт***

Распространен повсеместно на Кольском полуострове. Он имеет мощность до 5 м и представлен глыбами, щебнем, дресвой, песками и алевролитами, залегающими на пологих склонах, у подножий гор и на плоских водоразделах. Воды элювиально-делювиального относительно водоносного горизонта имеют характер верховодки, отличаясь прерывистостью распространения и неустойчивым режимом. Глубины грунтовых вод в нем находятся в пределах 0 - 5 м. Дебит составляет 0,1 - 0,9 л/с, при понижении уровня на 0,2 – 0,5 м. Питание подземных вод происходит почти полностью за счет талых и дождевых вод. Практического значения, как источник водоснабжения, данный горизонт не имеет. Сверху элювиально-делювиальные отложения перекрыты торфяно-болотными, реже озерными, ледниково-озерными, ледниковыми и флювиогляциальными отложениями, которые имеют второстепенное значение и выделены как водоносные подгоризонты.

***Позднелеоплейстоценовый ледниковый относительно водоносный горизонт***

Горизонт изучался при проведении геологоразведочных работ на ТПИ в районе горы Б. Патчемварек. Общие данные по территории приведены также по аналогии со схожими более изученными участками.

Водоносный горизонт приурочен к моренным, озерно-ледниковым и флювиогляциальным отложениям осташковского оледенения, покрывающим большую территорию площади работ, но невыдержанным как по мощности, так и по фациальному составу.

Практически повсеместно горизонт распространен первым от поверхности, залегая на кристаллических породах. На отдельных участках горизонт перекрывается торфяно-болотными отложениями. Глубина залегания кровли составляет 0-5,0 м.

По данным предыдущих исследований горизонт имеет мощность от 3 м на основной площади месторождения и в долине р. Тички увеличивается до 10 м. На аналогичных территориях мощность этого горизонта достигает 20 м (а в отдельных случаях и 40 м).

Водовмещающие породы водоносного горизонта представлены средними и мелкими песками, реже пылеватыми, а также песками гравелистыми с обломочным материалом в количестве до 40-60%, могут встречаться валуны. Для водноледникового горизонта характерна сильная изменчивость водовмещающих пород, причем гравелистые и крупные пески развиты в центральной части горизонта, а к периферии пески становятся мелкозернистыми и пылеватыми, увеличивается количество обломочного материала.

Неоднородность водовмещающих пород определяет, в первую очередь, неоднородность фильтрационных характеристик горизонта. Дебит может изменяться от 0,01 до 0,16 л/с, коэффициент фильтрации – от 0,2 до 25,2 м/сут. В районе горы Б. Патчемварек получены коэффициенты фильтрации 0,24-1,04 м/сут.

Глубина залегания уровня подземных вод горизонта составляет 0,1-5,0 м. Воды чаще всего безнапорные. Направление движения подземных вод полностью совпадает с направлением движения поверхностных водотоков от более возвышенных участков – к пониженным.

Воды горизонта ультрапресные, их химический состав в районе работ на данный момент не изучен.

Подземные воды верхнечетвертичного водоносного горизонта не рассматриваются как целевой водоносный горизонт в связи малой мощностью горизонта, его невыдержанностью и низкой водообильностью.

***Архей-протерозойская водоносная зона трещиноватости  
кристаллических пород***

Состоит из среднелопийской водоносной зоны трещиноватости и трещинно-жильных вод (в гнейсах и метаморфических сланцах) и устьпанойско-кулийской водоносной зоны трещиноватости и трещинно-жильных вод (в породах преимущественно гранитоидного состава), которые не разделяются при проведении поисковых работ, так как образуют единую водоносную зону (часто также вместе с породами четвертичного возраста).

Водоносная зона в коренных породах приурочена к зоне выветривания и отдельным тектоническим зонам и трещинам в пегматитах, гнейсах и других породах. По данным исследований предшественников глубина залегания уровня подземных вод от поверхности земли колеблется от 4,46 м до положительных отметок - имеются изливающиеся скважины. Зеркало подземных вод характеризуется схемой гидроизогипс, повторяющей в основном, рельеф поверхности. Водоносный горизонт трещинных и трещинно-жильных вод коренных пород характеризуется невысокой водообильностью – величина удельных дебитов при откачках предшественников не превысила 0,01 л/сек/м, лишь в скважине 93 составила 0,02-0,03 л/сек/м. Величина коэффициента фильтрации по данным всех откачек не превышает 0,02-0,03 м/сутки, лишь по скважине 52 составила 0,86 м/сут. Дебиты скважин при откачках только по трем скважинам составили 0,55 - 0,73 л/сек при понижениях 28,8 - 28,76 м, по

остальным изменялись в пределах 0,02 -0,38 л/сек при понижениях 2,2 – 17,0 м.

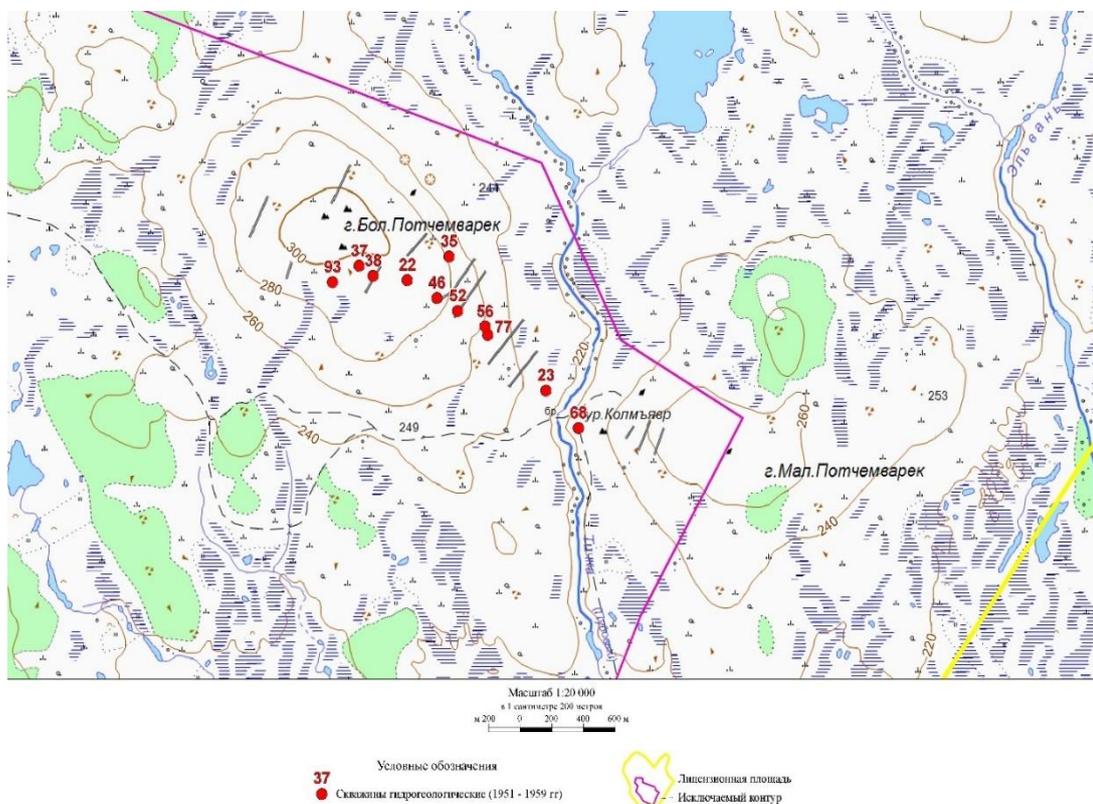


Рисунок 3. Карта фактического материала.

Данные по наливам также подтверждают весьма низкую водообильность слагающих месторождение пород.

Химический состав подземных вод указывает на очень слабую их минерализацию – величина сухого остатка не превышает 50-100 мг/л. В тоже время микрокомпонентный состав подземных вод не определялся.

На основе полученных данных в результате выполненных опытно-фильтрационных работ были выполнены расчеты прогнозных водопритоков в будущий карьер только до горизонтов +220 м и +150 м. При этом сброс карьерных вод предусматривался в р. Тичка без отстойника.

Архей-протерозойская водоносная зона трещиноватости кристаллических пород является целевым горизонтом для поиска источника подземного водоснабжения на территории работ. Низкие фильтрационные параметры, полученные по данным предыдущих исследований, могут относиться локально к области месторождения ТПИ Колмозерское. Поиск и оценку запасов подземных вод планируется осуществить в более северной области вдоль долины р. Тичка, где фильтрационные параметры могут быть более перспективными для организации подземного водозабора.

## 2.1.2. Республика Алтай

Основанием выполнения работ по объекту ГЛК «Манжерок» является геофизическое изучение района с целью поисков и оценки подземных вод для будущего водоснабжения, связанного с расширением и развитием курорта, а также с истощением используемых скважин.

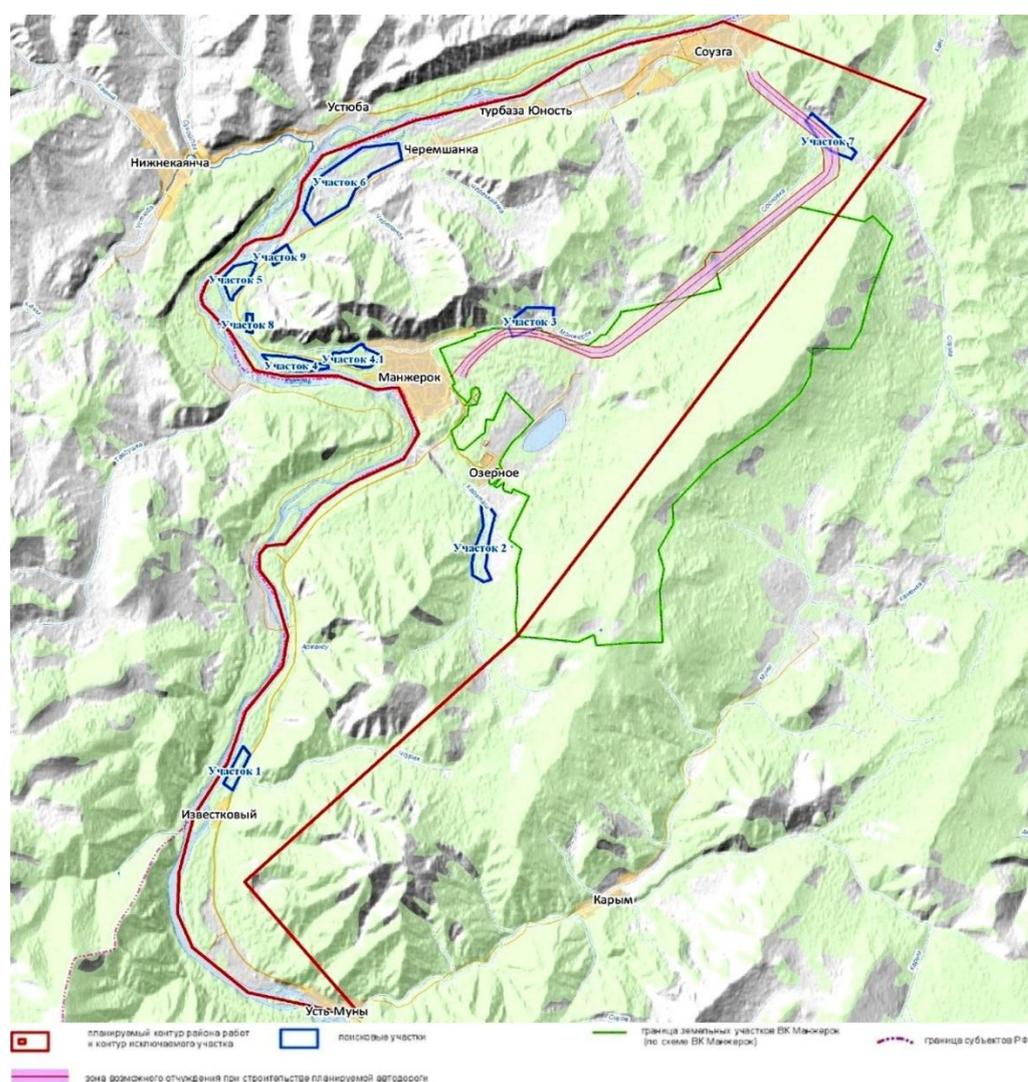


Рисунок 4. Контур района полевых работ.

### *Геоморфология*

Согласно морфологическому районированию 73% площади входит в состав области Северо-Западный Саян (северная часть Семинского района), ограниченную фасом Алтая и долиной р. Катунь. Территория к востоку от

долины р. Катунь (27% площади) относится к области Северо-Восточного Алтая (западная часть Турочакского района). Рассматриваемый участок в субмеридиональном направлении пересекает глубоко врезанная эрозионная долина р. Катунь с комплексами высоких и низких террас. Абсолютные отметки с 400 м на севере повышаются к югу до 1000 м. В пределах всех геоморфологических районов развиты различные типы структурного, денудационного и аккумулятивного рельефа [3].

Морфологическое строение речных долин в значительной степени объясняется их положением в пределах одного или нескольких тектонических блоков с разной интенсивностью вертикальных движений, полной или частичной приуроченностью к разрывным нарушениям и простиранием геологических структур, их пересечением и временем развития.

В низкогорье в пределах слабо и умеренно поднятых блоков долины притоков основных рек в большинстве секут вкрест простирания структуры палеозойского фундамента. В верховьях имеют вид широких циркообразных пологосклонных логов, выполненных суглинками. В результате длительного развития регрессивной эрозии их характер вниз по течению меняется. Долины сужаются до 50-200 м, борта представляют эрозионные уступы, глубина эрозионного расчленения в приустьевой части достигает 80-350 м. Падение рек от 40-80 м/км в верховьях долин I порядка уменьшается до 4-6 м/км в среднем и нижнем течении долин III-IV порядков, появляются надпойменные террасы, глубинная эрозия сменяется боковой и реки начинают свободно меандрировать. На субширотных участках проявляется асимметрия долин. Склоны южной экспозиции крутые и короткие, северной длинные и пологие, покрытые чехлом склоновых отложений, перекрывающих аллювий террас, образуя мощные террасоувалы, и отжимающих русла к противоположному борту [10].

В среднегорье в пределах интенсивно поднятых блоков долины II-III порядков с отметками днищ более 700 м имеют продольный профиль с крутым падением (80-120 м/км). Глубина эрозионного расчленения достигает 500 м и более. долины узкие V-образные и корытообразные с эрозионными бортами. Днища заполнены грубообломочным материалом различного генезиса. Интенсивная глубинная эрозия, преобладающая над боковой, способствует выносу материала и препятствует формированию террас [10].

Крупные реки района: Катунь, Песчаная, Сема наиболее древние, заложившиеся в конце олигоцена и миоцена. Реки Катунь и Песчаная, пересекая среднегорье и низкогорье, выходят на Предалтайскую равнину, где скважинами вскрыты их погребенные долины. Эти реки, в основном, приурочены к тектоническим нарушениям, формируют длительно развивающиеся эрозионные долины, а при пересечении блоков с различной интенсивностью поднятий и литологией палеозойских пород образуют крупные врезанные меандры глубиной до 200 м [10].

### ***Гидрографическая сеть***

Гидрографическая сеть района принадлежит бассейну р. Катунь. Она пересекает площадь Республики Алтай с юго-востока на север, это горная река; ширина долины составляет 1,5-2,5 км, русло реки порожистое и прямолинейное, перепад высот продольного профиля увеличивается от 1,0 до 1,5 м на 1 п. км, а поперечный профиль принимает ящикообразную форму. Преобладающая ширина реки 150-250 м, местами ширина основного русла увеличивается до 500 м, глубина 1,5-2,5 м, на перекатах до 1 м [5].

Для гидрологической характеристики на исследуемой территории использованы данные многолетних наблюдений за период 1936—1985 гг. гидропостов, расположенных в селах Сростки, Майма и Шебалино.

В весенний период и во время обильных дождей скорость течения и расход воды резко увеличиваются: скорость течения достигает 2,0-2,5 м/с, уровень воды в реке поднимается на высоту до 3,5-5,4 м. Минимальный среднемесячный уровень равнялся 1,1 м в ноябре 1978 г., максимальный 4,25 м в июне 1966 г. Максимальный суточный уровень 5,42 м зафиксирован 31 мая 1969 г., минимальный 0,84 м в ноябре 1973 г. Амплитуда колебания уровня изменяется от 2,1 до 3,9 м. Скорость течения реки в меженный период не превышает 1,4 м/с.

Минимальный среднемесячный расход воды в р. Катунь составил в марте 1950 г. 11,3 м<sup>3</sup>/с, максимальный в июне 1969, 1973 г. 2820 м<sup>3</sup>/с. Максимальный суточный расход зафиксирован 30 июня 1958 г. 5520 м<sup>3</sup>/с. Среднемноголетний расход воды в створе реки у с. Сростки равен 620 м<sup>3</sup>/с [8].

В нижнем течении р. Катунь (пост Чемал) преобладает снеговое (40%) и грунтовое (40%) питание. Сток в период половодья составляет более 75 % от годового показателя.

Наиболее крупными левыми притоками р. Катунь являются реки Сема, Емурла, Устюба; правыми притоками Майма, Узнезя, Мунь. Притоки характеризуются чертами типично горных рек: V-образным профилем, большими скоростями течения, значительными уклонами русла, наличием порогов и перекатов. Скорости течения на плесах составляют около 0,5-0,6 м/с, а на порогах до 4 м/с.

Абсолютные отметки урезов воды в основных реках имеют величины: р. Катунь, у с. Чемала -393 м, с. Карлушки 234 м; р. Семь, у с.

Черги-444 м; р. Улус-Черги в слиянии с р. Булхтой-530 м; р. Песчаной, у с. Ильинки-737 м.

### ***Гидрогеологическая изученность***

Под определение горизонт из гидрогеологического разреза попадают геологические тела, сложенные рыхлыми неоплеистоценовыми, голоценовыми отложениями.

К водоносным горизонтам отнесены:

- голоценовый аллювиальный;
- верхнеоплейстоценовый аллювиальный.

К водоносным комплексам отнесен:

- верхнеоплейстоценовый гляциоаллювиальный- нижне-среднеоплейстоценовый моренный,
- олювиогляциальный,
- гляцио-лимниевый.

На исследуемой территории, где преимущественным распространением пользуются в значительной степени литифицированные трещиноватые осадочные, вулканосадочные, а также вулканические, метаморфические, интрузивные и эффузивные породы, основной таксономической гидрогеологической единицей является зона (водоносная или относительно водоносная).

Это массивное, постоянно обводненное геологическое тело с преобладающим одним (трещинным) типом проницаемости. Подземные воды залегают и циркулируют в трещинах выветривания, тектонических и литогенетических трещинах.

По величине водопроницаемости зона всегда неоднородна, как в разрезе, так и по площади. Региональная экзогенная трещиноватость обычно затухает с глубиной. Наибольшая водообильность отмечается на участках, приуроченных к понижениям рельефа, речным долинам, зонам тектонических нарушений. Отмечаются прослои с очень слабой трещиноватостью, которые на отдельных участках могут играть роль относительных водоупоров.

Разделение зон на водоносные и относительно водоносные проведено с некоторой долей условности. На изучаемой территории выделены водоносные, относительно водоносные зоны.

Ввиду невыдержанности водоупорных прослоев, наличия частых и разно ориентированных зон тектонических нарушений, верхние части которых входят в зону экзогенной трещиноватости по всей площади, водоупорные зоны на рассматриваемой территории.

К водоносным зонам отнесены: средне-верхнедевонская, среднедевонская, ниже-среднедевонская, нижедевонская, средне-верхнеордовикская, нижеордовикская, среднекембрийская-нижеордовикская, средне-верхнекембрийская, среднекембрийская, нижекембрийская, венд-нижекембрийская и вендская зона. Среди всех зон, как наиболее перспективные, выделяются две последние.

### ***Венд-нижекембрийская водоносная зона***

Водоносная венд-нижекембрийская зона имеет большое распространение и представлена отложениями эсконтинской свиты. Водоносность отложений эсконтинской свиты определяется степенью выветренности и трещиноватости горных пород. Водосодержащими породами являются известняки, сланцы, прослои доломитов, алевролитов. Воды трещинные, трещинно-жильные, в закарстованных известняках

встречаются карстовые воды. Вскрытая мощность водоносной зоны изменяется от 15,0–25,0 до 39,0–110,0 м [12].

В зависимости от положения в рельефе статические уровни устанавливаются на глубине 6,5–58,0 м на абсолютных отметках 234,8–402,8 м. По гидравлическому признаку подземные воды безнапорные и напорные, высота напора над кровлей водоносной зоны колеблется от 1,5–7,0 до 17,0–60,6 м.

Водообильность пород достаточно высокая и изменяется в широком диапазоне. Дебиты скважин варьируют в пределах от 0,8–1,4 до 2,0–6,1 дм<sup>3</sup>/с при понижении 1,0–36,0 м, удельные дебиты составляют 0,06–3,8 дм<sup>3</sup>/с. Коэффициент фильтрации изменяется от 0,07–0,67 до 15,9–22,1 м/сут, в среднем составляет 6,33 м/сут.

На Улалинском месторождении подземные воды для водоснабжения г. Горно-Алтайска используются подземные воды, приуроченные к породам эсконтинской свиты, которые представлены известняками. В процессе полевых работ встречены высоконапорные, самоизливающиеся воды. Удельные дебиты изменяются от 0,9 до 3,27 дм<sup>3</sup>/с [9].

При расчете гидрогеологических параметров средняя величина коэффициента водопроницаемости составила 686 м<sup>3</sup>/сут, допустимое понижение уровня подземных вод – 27,8 м, расчетное понижение уровня – 4,01 м.

Родники на площади распространения водоносной зоны нисходящие, реже восходящие. Дебиты родников колеблются в широких пределах от 0,1 до 10,0 дм<sup>3</sup>/с,

Воды по химическому составу гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, кальциевые, редко сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые-

натриевые пресные с минерализацией 0,2–0,7 г/дм<sup>3</sup>, преобладают воды с минерализацией 0,3–0,4 г/дм<sup>3</sup>.

Питание водоносной зоны происходит за счет атмосферных осадков и талых вод на площади развития водосодержащих пород. Дренажное питание подземных вод осуществляется в пределах этой же площади системами притоков рек Катунь, Сема, Майма.

### ***Вендская водоносная зона***

Имеет локальное, весьма небольшое распространение, приурочена к отложениям известняково-доломитовой толщи. Породами являются доломиты, алевролиты, известняки, сланцы.

В пределах геолого-съёмочных работ масштаба 1:50 000 на площади распространения водоносной зоны был опробован один низкодебитный родник. Дебит родника — 1,0 дм<sup>3</sup>/с, абсолютная отметка выхода подземных вод — 665,7 м.

По химическому составу подземные воды гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, пресные с минерализацией 0,4 г/дм<sup>3</sup> [5].

Питание водоносной зоны происходит за счет атмосферных осадков и талых вод на площади развития водосодержащих пород. Разгрузка подземных вод осуществляется в местную гидрографическую сеть.

## **2.2. Описание выбранных геофизических методов**

### **2.2.1. Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ): принципы и применение**

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) представляет собой метод, который активно используется в геофизических исследованиях для определения и анализа подземных вод и их ресурсов. Метод основан на измерении электрического сопротивления различных горных пород, что

позволяет выявлять их физико-механические и водно-физические свойства. Установка, часто используемая для реализации ВЭЗ, это классическая четырехэлектродная система Шлюмберже (рисунок 5), состоящая из гальванически заземленных электродов [18].

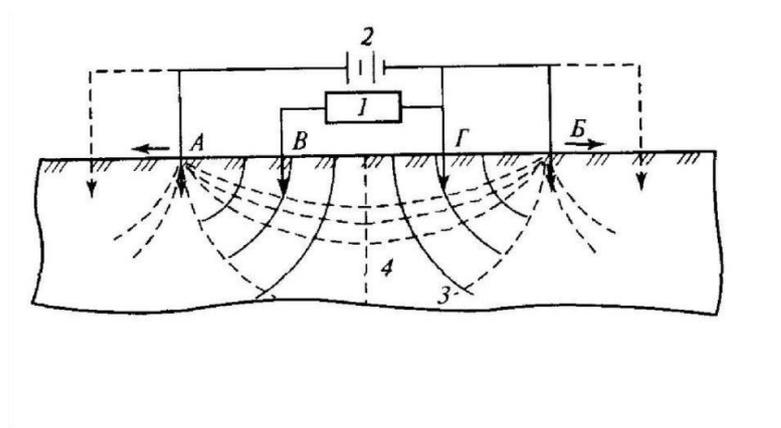


Рисунок 5. Схема четырехэлектродной системы Шлюмберже.

Процесс выполнения ВЭЗ включает выбор места зондирования, установку электродов и введение электрического тока в землю. Измерения проводятся путем определения распределения электрических потенциалов, что позволяет получить данные о сопротивлении различных слоев.

Изменения в электрическом сопротивлении отражают литологические и водные условия слоя, что может свидетельствовать о наличии подземных вод, их качестве и распределении. Такой принцип измерений дает возможность получать геоэлектрические разрезы, которые содержат информацию о структуре подземных вод и их взаимодействии с окружающей средой [17].

За ввод электрического тока в землю при проведении работ, отвечал электроразведочный генератор «ASTRA-100» (рисунок 6). Генератор предназначен для формирования прямоугольных разнополярных импульсов (без паузы) в питающей линии (АБ) с частотой от 0,063 до 2500

Гц и силой тока от 1 до 1000 мА. Максимальная выходная мощность генератора в 100 Вт способна обеспечить глубину исследований в диапазоне от первых метров до первых сотен метров [15].



Рисунок 6. Электроразведочный генератор «ASTRA-100».

В паре с генератором использовался многофункциональный электроразведочный измеритель «МЭРИ-24» (рисунок 7), предназначенный для измерения постоянных и гармонических электромагнитных полей. Прибор позволяет измерять параметры сигнала и получать результаты обработки в режиме реального времени [27]. Параметры обработки определяются оператором в интерактивном режиме. При регистрации сигнала производится узкополосная фильтрация на рабочей частоте, задаваемой из списка. По умолчанию используется стандартный ряд частот от 0,152 до 625 Гц.



Рисунок 7. Электроразведочный измеритель «МЭРИ-24».

### 2.2.2. Электротомография (ЭТ): принципы и применение

Принцип электротомографии основан на сочетании методов электропрофилирования и вертикальных электрических зондирований. Электротомография (ЭТ) — это комплекс, включающий в себя как методику полевых наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации полевых данных (2D-инверсия). Особенностью ЭТ является многократное использование одних и тех же, фиксированных на профиле, электродов в качестве питающих и измерительных [14]. Данная методика электротомографии позволяет получить двумерное распределение удельных электрических сопротивлений, вдоль профиля измерений. При проведении работ измерения выполнялись с помощью четырех 16-и электродных электроразведочных кос с шагом между приемно-питающими электродами 10 метров (рисунок 8).

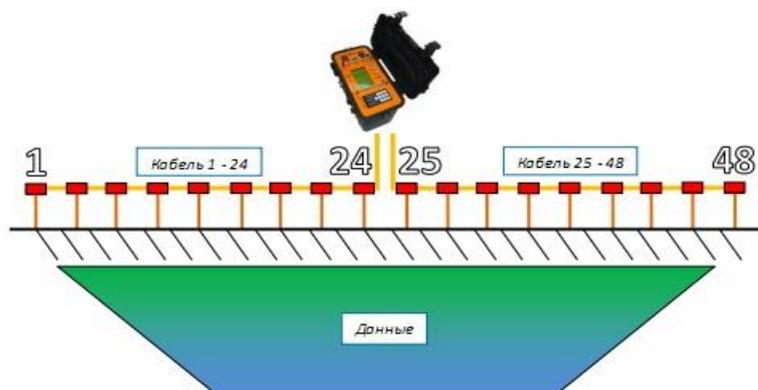


Рисунок 8. Схема электроразведочной установки.

Современное аппаратное и программное обеспечение электротомографии, как правило, поддерживает большое разнообразие различных типов установок. Наиболее часто используемые типы установок представлены на рисунке 9.

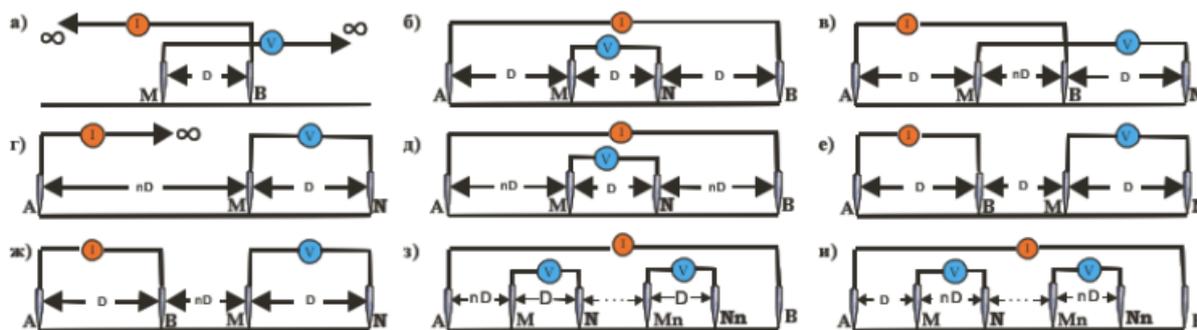


Рисунок 9. Стандартные установки, применяемые в электротомографии:  
а). двухэлектродная; б). Веннера; в). гамма-типа; г). трехэлектродная; д). Шлюмберже; е). Веннера  $\beta$ -типа; ж). дипольная осевая; з). градиентная; и). градиентная срединная.

В научных работах приводится следующая характеристика стандартных установок. Установка Веннера характеризуется высоким уровнем сигнала, хорошей чувствительностью к горизонтальным границам, плохой чувствительностью к вертикальным границам, средней эффективной глубиной ( $a/2$ ) и малым горизонтальным покрытием, изучаемой области. Дипольная установка характеризуется низким уровнем сигнала, хорошей чувствительностью к вертикальным границам, средней чувствительностью к горизонтальным границам, глубиной на 20% меньшей, чем у Веннера и средним горизонтальным покрытием. Установка Шлюмберже обладает одинаковой чувствительностью к горизонтальным и вертикальным границам, являясь компромиссом между установками Веннера и дипольной, глубиной на 10% большей, чем у Веннера и средним горизонтальным покрытием. Двухэлектродная установка обладает наибольшим горизонтальным покрытием и глубиной, однако имеет наихудшее разрешение и существенную зашумленность. Трехэлектродная установка, также как и двухэлектродная, имеет хорошее горизонтальное покрытие и большую глубину, сочетая это с помехоустойчивостью и высоким уровнем сигнала. Аналогично дипольной

трехэлектродная установка имеет большую чувствительность к горизонтальным неоднородностям. Асимметрия установки может привести к асимметрии результата инверсии, однако этого можно избежать, комбинируя измерения «прямой и обратной» трехэлектродными установками [14].

В публикациях посвященных электротомографическим исследованиям проводится теоретический анализ разрешающей способности различных типов установок для 2D электротомографии. В результате подробного анализа на различных синтетических моделях делается вывод о том, что наиболее эффективными необходимо считать градиентные, трехэлектродную, дипольную установки, а также установку Шлюмберже. Кроме того, в результате теоретических и экспериментальных исследований рекомендуется использование прямой и обратной трехэлектродной установки, которая обеспечивает наибольшую глубинность и разрешающую способность среди стандартных установок [1].

Таким образом, для решения поставленных задач и достижения требуемой глубины исследований были выполнены сплошные электрические зондирования по 13 профилям с применением установки трехэлектродного зондирования в прямом и обратном вариантах. Максимальная длина питающей линии составляла 630 м, что позволило изучить геологический разрез на глубину не менее 180 метров. Измерения на профилях выполнялись с регистрацией кажущегося удельного электрического сопротивления.

При проведении измерений в качестве регистрирующей аппаратуры использовалась многоэлектродная электроразведочная станция «Скала 64К15Е» (рисунок 10) производства ООО «КБ Электротометрии» г. Новосибирск. Электроразведочная станция «Скала 64К15Е» объединяет

в одном корпусе 15-ти канальный измеритель и генератор. Система предназначена для работы по методике электротомографии (до 64 электродов) или по методике вертикальных электрических зондирований в любых модификациях установок: диполь-диполь, поль-диполь, поль-поль и других. Встроенное программное обеспечение позволяет легко редактировать шаблоны сбора данных [22].



Рисунок 10. Многоэлектродная электроразведочная станция «СКАЛА – 64К15».

### **2.3. Методика проведения полевых исследований**

Геофизические исследования выполнены по методике в соответствии с программой работ и требованиям действующих инструкций. При производстве геофизических работ использовались серийно выпускаемые приборы, аппаратура и инструменты, обеспечивающие устойчивость и надлежащую точность измерений при данных физико-географических и климатических условиях (таблица 5 и 6). Аппаратура и инструменты, обеспеченные технической документацией, направлялись на ведомственную поверку с периодичностью, определяемой заводами и фирмами изготовителями. Пригодность приборов и оборудования к эксплуатации, подтверждена сертификатами и результатами поверок.

Привязка всех точек геофизических наблюдения на двух объектах осуществлялась с помощью спутникового GPS-навигатора Garmin MAP 64 St.

Работы выполнялись согласно техническим требованиям к производству геофизических работ РСН 64-87, а также в соответствии с инструкцией по электроразведке (1984 г) [36].

Таблица 5. Геофизические приборы и оборудование, использованное в Республике Алтай.

№ п/п	Наименование	Основные параметры	Назначение
1	Электроразведочный комплекс «Скала 64 К15Е»	Мощность генератора -220 Вт; максимальное выходное напряжение генератора – 500 В; максимальный выходной ток генератора 2 А; регистрация: цифровая.	Предназначена для проведения работ методом сопротивлений в модификации электротомографии и ВП.
2	GPS-приемник MAP 64 St	Точность GPS– <10 м Точность компаса– ±5	Предназначен для определения координат и высот точек геофизических наблюдений.

Таблица 6. Геофизические приборы и оборудование, использованное в Мурманской области.

№ п/п	Наименование	Основные параметры	Назначение
1	Электроразведочный генератор «ASTRA-100»	Максимальная выходная мощность 100 Вт Максимальное выходное напряжение 400В	Предназначен для формирования прямоугольных разнополярных импульсов питающей линии
2	Электроразведочный измеритель «МЭРИ-24»	Диапазон входного сигнала -2.4 ... +2.4 В Минимальный измеряемый сигнал 1 мкВ Входное сопротивление > 5 Мом	Предназначен для для измерения постоянных и гармонических электромагнитных полей
3	GPS-приемник MAP 64 St	Точность CPS– <10 м Точность компаса– ±5	Предназначен для определения координат и высот точек геофизических наблюдений.

### 2.3.1. Методика проведения полевых исследований в Мурманской области

Геофизические работы по определению водоносных горизонтов строились по принципу изучения геоэлектрического разреза на основе имеющихся сведений о геологическом строении на участках геофизических изысканий для объектов, находящихся в районе исследований в сопоставлении с материалами, полученными в процессе настоящих разведочных геофизических работ.

Учитывая неблагоприятные для проведения полевых электроразведочных работ, болотистая труднодоступная местность и отсутствие должного объема опорных разведочных геологических выработок, работы носили в общем рекогносцировочный характер [11].

За основу для дифференциации пород по удельному электрическому сопротивлению были намечены параметрические наблюдения, а также учитывались материалы электроразведочных работ в прилегающих к изучаемой территории районах.

Все имеющиеся в наличии геологические сведения и геофизические материалы использовались для определения электрических сопротивлений пород, слагающих разрез.

### **2.3.2. Методика проведения полевых исследований в Республике Алтай**

Во время полевых работ использовались заранее созданные протоколы измерений, внесенные в память электроразведочной станции. После установки электродов приемно-питающей линии на профиле производилась оценка качества заземлений посредством отправки запроса со станции. Для получения однородного и приемлемого уровня заземлений на всем протяжении установки, применялась проливка электродов соляным раствором. При удовлетворяющих условиях заземлений, со станции запускались протоколы измерений. Измеренные значения напряжения и подаваемого тока записывались в память прибора и в конце дня переносились в полевой ноутбук для проверки и дальнейшей обработки.

Перед началом производства основных работ, полевым отрядом были выполнены опытно-методические исследования целью которых был выбор оптимальных параметров времени регистрации сигнала и силы тока питающей линии.

## **2.4. Методы камеральной обработки и интерпретации геофизических данных**

### **2.4.1. Обработка результатов ВЭЗ**

В камеральной обработке материалов вертикального электроразведывания можно выделить следующие стадии: изучение имеющихся материалов и исследование результатов параметрических наблюдений с целью идентификации и разделению пород по удельному эл.

сопротивлению; предварительная (качественная) интерпретация кривых ВЭЗ и количественная обработка камеральных материалов.

Предварительная интерпретация кривых ВЭЗ сводится к анализу типов кривых, их распределения по разрезу, оценке факторов, влияющих на величину удельного электрического сопротивления.

По результатам анализа кривых ВЭЗ на изучаемом участке находят двух- трех- и четырехслойные геоэлектрические разрезы (рисунок 11). Однако, отражение на кривых ВЭЗ определенного количества электрически разнородных слоев не означает, что исследуемый геоэлектрический разрез состоит именно из этого их количества. Часто слои относительно малой мощности, залегающие глубоко или недостаточно отличающиеся по сопротивлению от соседних, не отмечаются на кривых ВЭЗ [2].

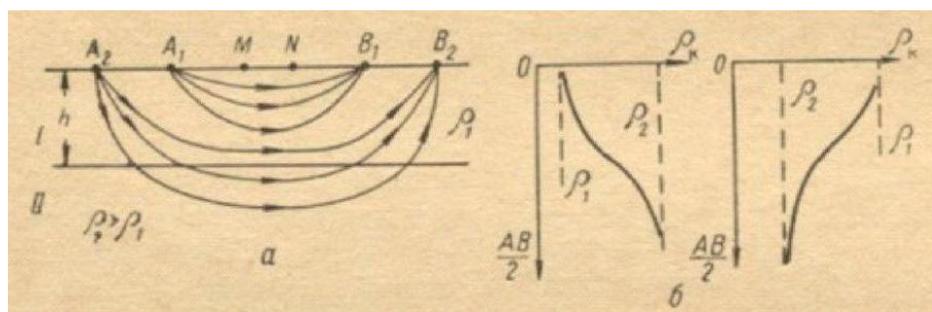


Рисунок 11. Схема и графики метода вертикального электрического зондирования: а) двухслойный геоэлектрический разрез б) кривые зондирования.

Далее интерпретация позволяет выделить в разрезе зоны распространения различных по составу пород и разделить породы по значениям удельного электрического сопротивления. Также, по результатам интерпретации материалов ВЭЗ строятся геоэлектрические разрезы по линиям профилей.

#### **2.4.2. Обработка результатов электротомографии**

Интерпретацию данных электротомографии можно проводить в рамках двумерных и трехмерных моделей. Это принципиально расширяет круг решаемых электроразведкой задач, за счет исследования геологических разрезов, значительно отличающихся от «классических» горизонтально-слоистых. Благодаря электротомографии и использованию алгоритмов подавления искажающего влияния верхней части разреза, можно повысить качество и одномерной интерпретации. Применяемая электротомографическая методика позволяет получить двумерное распределение удельных электрических сопротивлений. Специфика электротомографических работ предполагает не только использование специальной коммутирующей аппаратуры, но и специальной методики обработки [7].

Процесс интерпретации данных начинается с анализа и первичной обработки информации. Объем получаемых при электротомографии данных, важен для предварительной оценки качества получаемой информации. В некоторых случаях, даже небольшой процент измерений сомнительного качества может сильно повлиять на результирующую модель.

Рассчитываются оценки дисперсий измерений, отбраковывались измерения, имеющие явно завышенные или заниженные значения, не коррелирующиеся с остальными. Качество заземлений электродов, контролировалось непосредственно во время измерений.

Решается прямая и обратная задача. Обратная задача (инверсия) позволяет из измеренных значений разности потенциалов на поверхности, получить двумерное распределение удельных сопротивлений и эффекта вызванной поляризации.

Процент брака составлял не более 5 % от общего количества измерений. Как показал углубленный анализ данных, большинство ошибок было связано с некачественными заземлениями электродов и сильными искажениями от Р и С – эффектов, известных в электроразведке. Основная сложность при обработке и интерпретации заключалась в правильном учете измерений полученных при смене условий заземлений в разных частях профилей [30].

## Глава 3. Практическая часть

### 3.1. Проведение полевых работ

#### 3.1.1. Проведение полевых измерений на территории Мурманской области

Геофизические и гидрогеологические работы на месте будущего месторождения проводились в период с 20.06.2024 по 26.12.2024. Объём геофизических работ составил: 10 профилей общей длиной 47,5 км и 6 скважин, пройденных горизонтальным бурением.

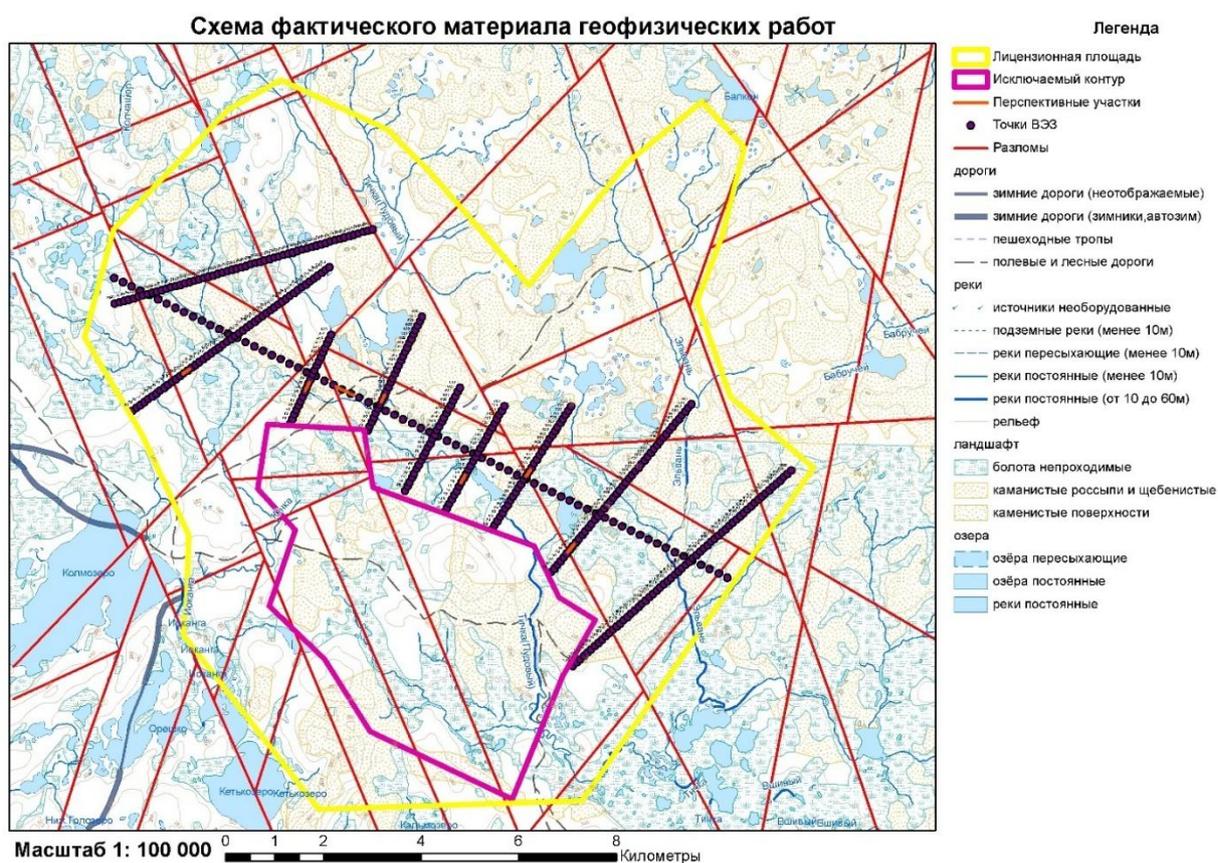


Рисунок 12. Расположение физических наблюдений ВЭЗ.

Электроразведочные работы выполнялись симметричной четырехэлектродной установкой AMNB с длиной разносов по линии АВ до 250 метров. Глубина зондирования составила в основном 100-150 метров. Измерения проводились с помощью электроразведочного генератора

«ASTRA-100» и измерителя «МЭРИ-24». Заземление приемной и питающей линий производилось металлическими электродами.

Всего на 10 геофизических профилях выполнено 405 физических наблюдений ВЭЗ (рисунок 12). Разносы питающей линии АВ на каждой из точек, располагались, в основном, перпендикулярно направлению профилей.

Для вычисления погрешности измерений, в рамках контроля качества работ, были произведены повторные исследования по ближайшему к полевому лагерю, профилю № 8.

Точки геофизических измерений закоординированы методом спутниковых измерений посредством ГНСС оборудования с точностью до 5-10 метров (таблица 7).

Таблица 7. Крайние точки геофизических профилей.

Профиль №	Точка №	Широта	Долгота
1	0	68,02684561	36,90408419
	70	67,97493447	37,20890919
2	0	68,02209006	36,90478142
	55	68,03738172	37,02999808
3	0	68,00241228	36,91530919
	50	68,03011506	37,00938419
4	0	68,00101506	36,99271197
	20	68,01763728	37,01128975
5	0	68,00010117	37,03067864
	26	68,02146783	37,05549531
6	0	67,9892595	37,04999531
	24	68,0086095	37,07524808
7	0	67,98549839	37,06967586
	25	68,00540947	37,09717586
8	0	67,98260117	37,09316197
	30	68,00575392	37,12983697
9	0	67,97497339	37,12268697
	45	68,00684558	37,18880642
10	0	67,9578345	37,13473419
	60	67,99507614	37,23855642

### 3.1.2. Проведение полевых измерений на территории Республики Алтай

Полевые работы наземных геофизических исследований выполнялись по 13 опорным профилям, расположенным в пределах площади исследований. Основной целью наземных геофизических работ было определение водоносных горизонтов четвертичных отложений и зон трещиноватости венд-нижнекембрийских пород. Схема участка работ и расположения электротомографических профилей приведена на карте фактического материала (приложение 1) Общий объем выполненных наблюдений методом электротомографии, составил 25 электроразведочных расстановок, равных 12,12 пог.км. Обобщенные сведения о количестве

выполненных измерений за весь период полевых работ 2024 г. на объекте исследований приведен в таблице 8.

Таблица 8. Сведения о геофизических профилях.

№ п/п	Участок работ	Название профиля	Длина профиля, м	Расстояние м/у п.н., м
1	2	Профиль №1	950	10
2	2	Профиль №2	950	10
3	3	Профиль №1	950	10
4	3	Профиль №2	1270	10
5	3	Профиль №2.5	630	10
6	3	Профиль №3	950	10
7	3	Профиль №4	950	10
8	4	Профиль №1	630	10
9	5	Профиль №1	630	10
10	6	Профиль №2	2000	10
11	7	Профиль №1	950	10
12	8	Профиль №1	630	10
13	9	Профиль №1	630	10

При выполнении измерений приемные электроды заземлялись на профиле и подключались к «косо». Для реализации трехэлектродной методики наблюдений один из питающих электродов относился на «бесконечность» – около 1500-2000 м перпендикулярно линии раскладки электроразведочных кос. Измерения производились в автоматическом режиме. В полевой журнал записывалось положение разложенной «косы», особые условия на профиле и номера аппаратурных файлов, соответствующих данной раскладке. Поскольку длина профилей многократно превышала максимально возможную длину приемно-питающей линии, при производстве работ выполнялась перестановка измерительных линий на профиле с перекрытием в 32 электрода (половина длины установки).

Для обеспечения контроля качества измерений, после выполнения основных измерений были также выполнены контрольные наблюдения. Общий объем выполненных контрольных наблюдений составил 5,2% от общего количества измерений. Обработка и анализ полевых наблюдений показали, что относительная точность измерений  $\delta$  составляет менее 5%, что укладывается в допустимую погрешность при проведении электроразведочных работ методом сопротивлений и вызванной поляризации.

## **3.2. Обработка и интерпретация данных**

### **3.2.1. Обработка и интерпретация данных полученных в Мурманской области**

Первичная обработка данных, полученных при полевых работах на объекте ГОК «Колмозерское месторождение» производилась, в полевом лагере. Для каждого физического наблюдения составлялась таблица Excel (таблица 9), где рассчитывалось кажущееся удельное электрическое сопротивление  $\rho_k$  – эффективный параметр, изучаемый при электроразведочных работах, а также электрическом каротаже, зависящий от способа измерений, типа и размера установки. Измеряется в Ом·м. Для методов сопротивлений  $\rho_k$  определяется формулой [6].

$$\rho_k = k \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}}, \quad (1)$$

где  $\Delta U_{MN}$  – разность потенциалов на приемной линии MN,  $I_{AB}$  – ток в линии АВ,  $k$  – коэффициент установки.

Коэффициент установки определяется исключительно геометрией установки [6]. В случае установки Шлюмберже, формула для коэффициента установки имеет вид:

$$k = \pi \frac{r_{AM} \cdot r_{AN}}{r_{MN}}, \quad (2)$$

где  $r$  – действующий разнос установки в метрах.

Таблица 9. Расчетная таблица кажущегося сопротивления в точке 9/8.

№№	AB/2	MN	K	V, мВ	I, мА	$\rho_a$ , Ом·м
1	3	2	12,57	636,17	20	399,72
2	4,5	2	30,24	288,96	20	436,88
3	6	2	54,98	204,67	20	562,62
4	9	2	125,66	125,66	20	789,55
5	15	2	351,86	61,03	20	1073,70
6	25	2	980,18	26,37	20	1292,36
7	15	10	62,83	731,41	50	919,12
8	25	10	188,50	306,78	50	1156,53
9	40	10	494,80	133,26	50	1318,74
10	50	10	777,54	92,17	50	1433,32
11	65	10	1319,47	63,71	50	1681,27
12	80	10	2002,77	45,87	50	1837,34
13	65	40	300,41	292,19	50	1755,56
14	80	40	471,24	218,75	50	2061,67
15	100	40	753,98	171,56	50	2587,06
16	120	40	1099,56	150,37	50	3306,81
17	150	40	1735,73	125,78	50	4366,40
18	180	40	2513,27	99,52	50	5002,42
19	225	40	3944,66	54,34	50	4287,06

Затем, по данным таблицы строятся графики зависимости  $\rho_k$  от полуразноса AB/2, которые называются кривыми ВЭЗ (рисунок 13). Тип кривых электрических зондирований зависит от соотношения параметров слоев в разрезе, полученном при геологической разведке. По оси абсцисс откладывается AB/2 в метрах, а по оси ординат  $\rho_k$  в Ом·м [2].

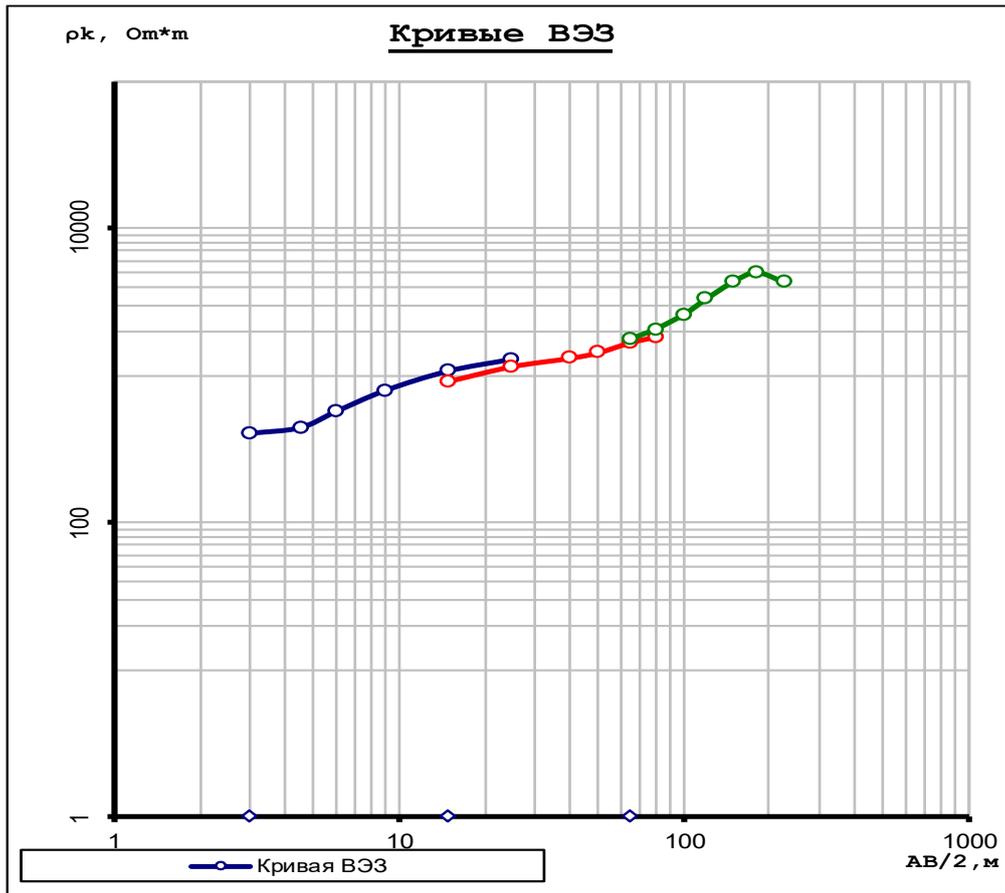


Рисунок 13. Кривая ВЭЗ с «воротами» в точке 9/8.

Наличие трёх кривых на рассматриваемом примере, обусловлено изменением геометрии установки (расстояние между источником поля и точкой измерения для MN большего размера отличается от аналогичного для MN меньшего размера), как следствие меняется глубинность исследований. Такие перекрытия точек на полевой кривой называются «воротами» [6].

Через специализированные программы, к полевым кривым подбирается теоретическая кривая. Делается это с целью оценки количества слоёв, их толщины и удельного электрического сопротивления, что позволяет построить геолого-геофизический разрез и разрез удельного электрического сопротивления (рисунок 14).

Опираясь на полученную кривую, делается вывод о залегаемых породах:

- Мелкие глубины (3–15 м):  $\rho_a$  увеличивается с 399.7 до 1073.7 Ом·м, что соответствует переходу от влажных глинистых отложений к песчано-алевритовым породам.
- Средние глубины (15–80 м): рост  $\rho_a$  до 1837.3 Ом·м может быть связан с кристаллическими сланцами. Снижение до 1755.5 Ом·м при глубине 65 м. указывает на локальную аномалию (трещиноватость, зона повышенной проводимости).
- Большие глубины (80–225 м): максимум  $\rho_a$  5002.4 Ом·м при глубине 180 м свидетельствует о высокоомных кристаллических породах (граниты, гнейсы). Снижение до 4287.1 Ом·м на 225 м может быть вызвано трещиноватостью.

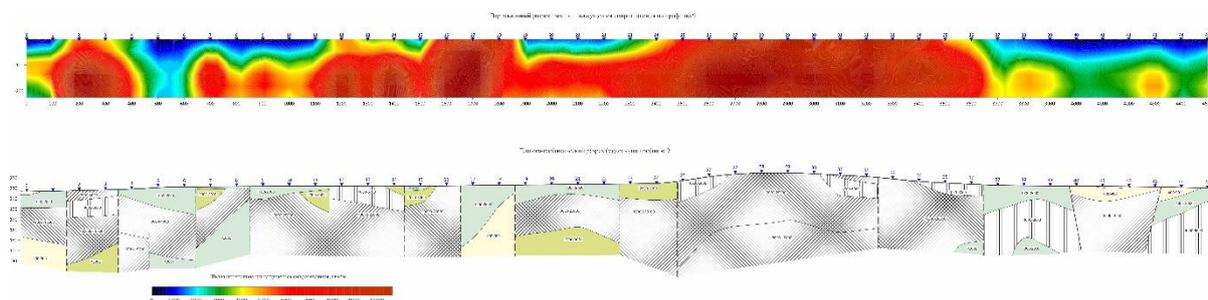


Рисунок 14. Разрез удельных электрических сопротивлений (сверху) и геолого-геофизического разреза (снизу) по профилю №9.

На данном разрезе выделяется точка №9/5, где наблюдается устойчивое снижение удельных электрических сопротивлений относительно всего разреза. Это может указывать на перспективный участок с водоносным горизонтом. Для дальнейшего изучения точки, требуется бурение.

По результатам выполненных геофизических работ был составлен каталог из 6 перспективных скважин. Все скважины выставлены на

основании контрастных аномалий проводимости и с учётом геологической обстановки на площади исследований.

На рассматриваемом профиле заложена одна скважина. Геолого-технический разрез скважины (рисунок 15) полностью подтвердил все прогнозы ВЭЗ по составу пород в разрезе, а также по наличию водоносного горизонта. Разрез составлен согласно ГОСТ Р 71882-2024 [35]. Работы на скважине производились согласно СНиП 2.02.05-94 [37]. Параметры, полученные при бурении представлены в таблице 10 и 11.

Таблица 10. Основные характеристики скважины 6П.

№ скважины	Статический уровень, м	Динамический уровень, м	Понижение, м	Дебит, м <sup>3</sup> /сут
6 П	2,90	28,35	25,45	540

Таблица 11. Минерализация воды в скважине 6П.

Тип воды	Превышения
Гидрокарбонатно-хлоридная кальциево-натриевая железистая	Мутность, железо, алюминий, альфа-активность

Принятый разрез					Принятый разрез						
Геол. индекс	Литология пород	Мощность слоя, м	Глубина подошвы слоя, м	АО подошвы слоя, м	Краткое описание пород	Геол. индекс	Литология пород	Мощность слоя, м	Глубина подошвы слоя, м	АО подошвы слоя, м	Краткое описание пород
g, fg, l-g, Q <sub>m</sub> os		5,5	5,5	229,5	Песок темно-коричневый мелко-среднезернистый, с глинистой составляющей, дрьсвой и валунами (до 1 м)			5,7	66,0	169,0	Метагаббро темно-серое средней степени трещиноватости, с пегматитовыми жилами
AR-PR		28,8	34,3	200,7	Гранито-гнейс темно-серый, средне-высокой степени трещиноватости, с частыми розовыми включениями и жилами до 20 см, по трещинам ожелезненный, в интервале 14,0-14,4 м раздробленный			36,3	72,3	162,7	Гранито-гнейс серый, средне-низкой степени трещиноватости, местами раздробленный, с пегматитовыми жилами мощностью до 30 см
								0,7	73,0	162,0	Разлом с песчаным заполнением
								9,3	82,3	152,7	Метагаббро черное, полосчатое, рушенное
								17,7	100,0	135,0	Гранито-гнейс светло-серый, средне-высокой степени трещиноватости, с пегматитовыми жилами розового цвета в интервалах 83,2-84,3 м, 91,4-92,0 м
		26,0	60,3	174,7	Гранито-гнейс серый, средне-низкой степени трещиноватости, местами раздробленный, с пегматитовыми жилами мощностью до 30 см						

Рисунок 15. Геолого-технический разрез поисковой скважины № 6П.

### 3.2.2. Обработка и интерпретация данных полученных в РА

Для обработки и анализа качества измерений применялась программа ZondProtocol, специально адаптированная для работы с использованным комплектом аппаратуры. Большинство полученных в ходе полевых работ данных являются хорошего качества и являются приемлемыми для выполнения двумерной инверсии данных.

Для оценки качества измерений использовался специальный алгоритм, реализованный в ZondProtocol, основанный на свойствах потенциала и принципе взаимности. Также данные анализировались на предмет отдельных скачков, связанных с методическими ошибками измерений. Затем данные разбивались на отдельные элементы и анализировались совместно. В качестве элементов использовались измерения для одинаковых разносов и положений токовых электродов. Если данные для одного из элементов сильно отличались от соседних, то такой элемент исключался из интерпретации [30].

Для интерпретации данных использовалась программа ZondRes2d, позволяющая решать прямую и обратную задачу электротомографии. В качестве входных данных использовались координаты электродов, высоты и измеренные значения разности потенциалов и дисперсии измерений.

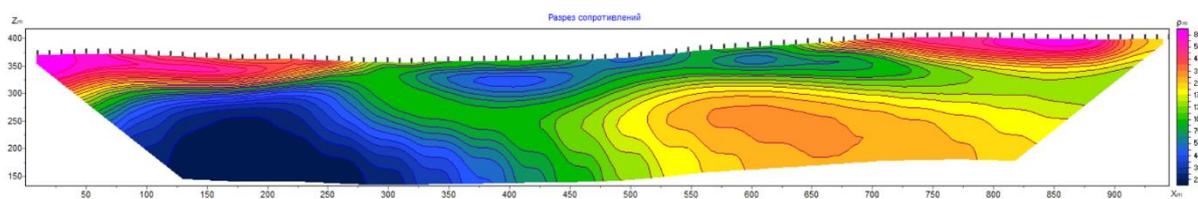


Рисунок 16. Псевдо-разрез профиля №2.

Для получения геоэлектрических разрезов использовалась самая устойчивая модификация инверсии – Оссам. Данный алгоритм специально предназначен для получения гладких (плавно изменяющихся) моделей (рисунок 17). Оссам – инверсия по методу наименьших квадратов с

использованием сглаживающего оператора и дополнительной минимизацией контрастности.

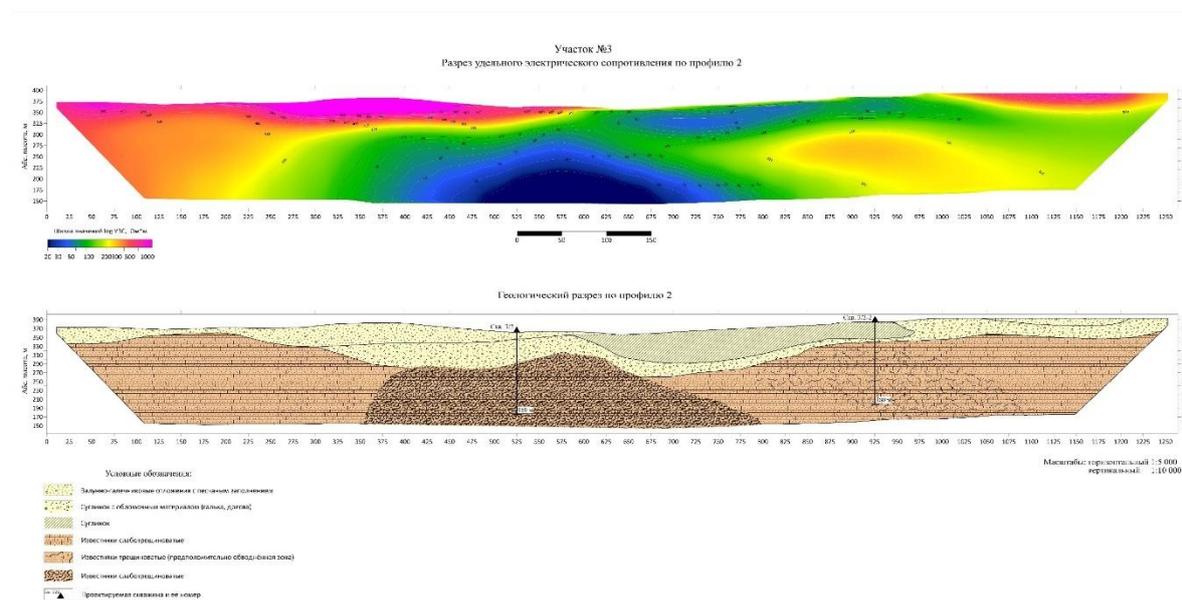


Рисунок 17. Разрез удельных электрических сопротивлений (сверху) и геологический разрез (снизу) по профилю №2.

На разрезе удельного электрического сопротивления участка №3 по профилю 2 наблюдается неоднородное распределение значений, что отражает сложность геологического строения. Зоны с высоким УЭС могут соответствовать сухим песчаникам, гранитам, кварцитам или плотным известнякам, которые характеризуются малой пористостью и отсутствием воды. Средние значения УЭС часто связаны с влажными песчано-гравийными отложениями или трещиноватыми породами, где возможно слабое водонасыщение. Низкие значения УЭС могут указывать на глинистые водонасыщенные песчаные горизонты с повышенной минерализацией воды.

Водоносные горизонты целесообразно искать в зонах с низким УЭС, особенно если они залегают между слоями высокого сопротивления. На

полученном разрезе, такая зона наблюдается в центре. Представлять данную зону могут песчано-гравийные слои с пресной водой или трещиноватые зоны в плотных породах, таких как известняки или базальты, где трещины заполнены водой. Чтобы определить наличие воды на профиле, было выделено две перспективные точки.

Всего по результатам обработки геофизических данных составлен каталог из 5 перспективных скважин. На рассматриваемом участке бурение проводилось в двух точках. Параметры одной из скважин представлены в таблице 12 и на рисунке 18. Разрез составлен согласно ГОСТ Р 71882-2024 [35].

Таблица 12. Основные характеристики скважины 3/2.

№ скважины	Статический уровень, м	Динамический уровень, м	Понижение, м	Дебит, м <sup>3</sup> /сут
3/2	34,80	101, 61	66,81	673,92

Глубина	Индекс геологического возраста	Краткое описание пород	Литологический разрез	Глубина залегания, м		Мощность слоя, м	Статический уровень воды, м	Динамический уровень воды, м
				от	до			
0	Q	Песок м/з		0,0	1,0	1,0	34,80	
10		Валуно-галечниковые отложения с песчаным заполнением		1,0	21,7	20,7		
20	V	Суглинок		21,7	26,6	4,9		
30		Суглинок с галечником		26,6	58,2	31,6		
40								
50								
60	Окремненный известняк с нитевидными прожилками кварца. С вкраплениями пирита		58,2	180,0	121,2	101,61		
70								
80								
90								
100								
110								
120								
130								
140								
150								
160								
170								
180								

Рисунок 18. Геолого-технический разрез поисковой скважины 3/2.

Бурение поисковой скважины 3/2, подтвердило наличие водоносного горизонта, и структуру профиля, построенного по результатам электротомографии. Работы на скважине производились согласно СНиП 2.02.05-94 [37].

### 3.3. Сравнительный анализ геофизических методов

Метод ВЭЗ основан на принципах, позволяющих указать на наличие или отсутствие подземных вод, что делает его доступным и относительно недорогим методом с точки зрения оборудования и выполнения полевых работ [31].

Электротомография представляет собой более сложную методику, соединяющую в себе электропрофилирование и многоэлектродные зондирования. Данный подход позволяет увеличить плотность измерений и минимизировать количество необходимых расположений для электродов, показывая значительное преимущество в сборе данных, что совместно с моделированием в два или три измерения дает более точное представление о подземных водах и их структуре. Электротомография становится особенно актуальной при работе с гетерогенными геологическими средами, где требует более глубокого анализа и подробной интерпретации результатов [32].

В плане аппаратуры, ВЭЗ требует более простого оборудования, что делает его стоимость доступной — порядка 400 тыс. рублей. В отличие от этого, электротомография подразумевает использование более высокотехнологичного оборудования, стоимость которого может варьироваться от 1 до 7 миллионов рублей [28]. Такие обстоятельства делают выбор между этими методами критически важным в зависимости от бюджета исследования и целей проекта.

Производительность демонстрирует выраженные различия между методами. ВЭЗ может проводить от 15 до 30 зондирований в день на расстоянии 2-3 км, что, безусловно, является хорошим показателем, однако электротомография, благодаря своей многопараметрической технологии, обеспечивает возможность выполнения 100-200 зондирований в день при относительно мелком делении профиля (около 10 метров). Таким образом, она может охватить 0,5-1 км в день, что значительно увеличивает скорость проведения работ [33].

Сравнение качества измерений также выделяет важные аспекты. ВЭЗ в пределах 1 км обеспечивает около 200-300 измерений, что в итоге обойдется более чем в 300 рублей за измерение. А электротомография, в

свою очередь, позволяет производить от 3000 до 7000 измерений на том же расстоянии, что делает цену одного измерения около 40 рублей. Это делает электротомографию более экономически выгодной в условиях массового сбора данных [13].

Таблица 13. Сравнение стоимости измерений методом ВЭЗ и ЭТ.

	Метод ВЭЗ	Электротомография
Аппаратура и оборудование	400 тыс. рублей	1-7 млн. рублей
Число зондирований в день	15-30	100-200
Производительность	2-3 км в день (шаг по профилю 100 м)	0,5-1 км в день (шаг по профилю 10 м)
Сметная стоимость 1 км	30-50 тыс. рублей	200 тыс. рублей
Число измерений на 1 км	200-300	3000-7000
Стоимость одного измерения	300 рублей	40 рублей

Разрешающая способность методов также различается. ВЭЗ предоставляет базовую информацию о структуре подземных слоев, но может быть недостаточно информативным в сложных геологических условиях. В контрасте, электротомография обеспечивает высокую разрешающую способность, особенно в средах с высоким удельным электрическим сопротивлением, что позволяет глубже изучить сложные подземные структуры и проводить подробную интерпретацию результатов [31].

Таким образом, выбор между методами ВЭЗ и электротомографии зависит от цели исследования, бюджета и специфики геологических условий. Обе методики имеют свои преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при выборе оптимального подхода к изучению подземных вод.

## Заключение

Выполненное исследование подтвердило высокую эффективность применения геофизических методов – вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и электротомографии (ЭТ) – для выявления и оценки подземных водных ресурсов в сложных геологических условиях Мурманской области и Республики Алтай. В ходе работы были достигнуты поставленные цели: изучены принципы и практика ВЭЗ и ЭТ, обоснован выбор исследовательских зон, выполнены полевые замеры, проведена камеральная обработка и интерпретация данных, а также выполнено экономическое сопоставление методов.

По результатам вертикального электрического зондирования в Мурманской области удалось установить границы залегания ключевых водоносных горизонтов четвертичных отложений и зоны трещиноватости кристаллических пород. Параметры удельного сопротивления четко соответствовали ожидаемому литологическому составу: низкие значения в фациях песков и гравия указывали на высокую водообильность аллювиально-делювиальных отложений, тогда как повышенные сопротивления отражали наличие торфяно-болотных слоев и плотных кристаллических пород. Анализ кривых ВЭЗ подтвердил возможность оперативного картирования кровли водоносных горизонтов на глубинах до 150 м при минимальных затратных и временных ресурсах.

Электротомография, выполненная по 13 профилям с шагом 10 м и максимальной длиной 630 м, позволила получить двумерные распределения удельного сопротивления до глубин порядка 180 м. Трехэлектродная схема зондирования в комбинации «прямой–обратный» обеспечила высокое пространственное разрешение и глубинность проникновения, что особенно важно для оценки протяженности и неоднородности водоносных комплексов. На профилях Республики Алтай,

где развиты мощные аллювиально-делювиальные и гляциоаллювиальные отложения, электротомография дала детальное представление о залегании и мощности водоносных горизонтов, позволив выявить наиболее перспективные участки для бурения скважин глубокого заложения.

Сравнительный анализ экономической целесообразности методов показал, что ВЭЗ является оптимальным инструментом для первичной разведки благодаря простоте оборудования и невысоким эксплуатационным расходам. В то же время инвестиции в электротомографию окупаются при выполнении крупных проектов или в условиях сложного строения геологической среды, когда требуется высокоточное моделирование подземного профиля.

Рекомендовано применять ВЭЗ на этапах разведочного анализа и широкомасштабного мониторинга, а ЭТ — при детальном проектировании систем подземного водозабора и инженерно-геологических изысканиях. Комбинированное использование ВЭЗ и ЭТ обеспечивает баланс между скоростью получения информации и глубиной интерпретации.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработанная методика полевых работ и их камеральная обработка могут быть использованы при разведке подземных вод в условиях Кольского полуострова и горных районов Алтая.
2. Полученные геоэлектрические разрезы позволяют обосновывать проекты бурения скважин с минимизацией технологических рисков и затрат на промывку и обустройство скважин.
3. Экономическая оценка выбора метода даёт заказчику оптимизировать бюджет геофизических изысканий.

Таким образом, выполненная выпускная квалификационная работа внесла существенный вклад в методологию применения геофизических методов при оценке подземных водных ресурсов в различных геолого-гидрогеологических условиях. Полученные результаты могут быть успешно использованы в практической гидрогеологии, водоснабжении и управлении водными ресурсами.

## Список литературы

1. Балков Е.В. Комбинирование установок электротомографии // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2010. – № 1. – 5 с.
2. Доброхотова И.А., Новиков К.В. Практикум по интерпретации ВЭЗ: учеб. пособие. – М.: РГГРУ, 2009. – 98 с.
3. Ешева Н.В. Подземные воды листа N-45-II: В границах Республики Алтай. – Горно-Алтайск: ТФГИ, 2015. – 276 с.
4. Жиров Д.В., Пожиленко В.И., Костина В.А. и др. Ловозерский район. Памятники природы и достопримечательности Мурманской области. Кн. 2. – СПб.: Ника, 2008. – 144 с.
5. Захаров А.И. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые площади листов М-45-4-Б, М-45-3-Б-(а, б): Отчет Майминской партии. – Майма: Горно-Алтайский филиал ТФГИ СФО, 1973. – № 1174.
6. Иванов А.А., Новиков К.В., Новиков П.В. Электроразведка: учебное пособие. – М.: МГРИ, 2019. – 80 с.
7. Кокорева А.С., Соловьев В.А., Рылов Е.С. Опыт работы с геофизической аппаратурой на участках месторождений «Асачинское» и «Аметистовое» // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. – 2021. – Т. 35. – № 2. – С. 133–140. – DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-133-140.
8. Копаева Г.П. Информационный бюллетень о состоянии водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Республики Алтай. – Горно-Алтайск: Горно-Алтайский филиал ТФГИ СФО, 2005. – № 270.
9. Крестовоздвиженский Ю.М., Анিকেев В.Н. Отчет по поискам подземных вод для водоснабжения г. Горно-Алтайска и с. Маймы. – Верх-Катунское: Горно-Алтайский филиал ТФГИ СФО, 1982. – № 1234.

10. Кривчиков В.А. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые междуречья Ануй-Катунь в северной части Горного Алтая: Отчет Катунской съёмочной партии. – Малоенисейское: Горно-Алтайский филиал ТФГИ СФО, 2001. – № 1160.

11. Отчет по результатам геофизических исследований для водоснабжения Всесезонного горнолыжного комплекса «Манжерок». – Республика Алтай, [б.г.] – 14 с.

12. Фалалеев Ю.А. Отчет о результатах составления прогнозно-поисковой карты на подземные воды для водоснабжения г. Горно-Алтайска. – Майма: Горно-Алтайский филиал ТФГИ СФО, 2002. – № 1767.

13. Шевнин В.А., Бобачев А.А. (ред.) Малоглубинная электроразведка. – М.: МГУ, 2013. – 123 с.

14. Шеин А.Н., Оленченко В.В. Прямые и обратные задачи электротомографии для рудной геофизики: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2021. – 130 с.

### **Интернет-ресурсы**

15. Аппаратура для геофизических исследований [Электронный ресурс] // NW-Geo.ru. – URL: <https://nw-geo.ru/astra-100> (дата обращения: 19.05.2024).

16. Большая российская энциклопедия: Подземные воды [Электронный ресурс] // Bigenc.ru. – URL: <https://bigenc.ru/c/podzemnye-vody-d2b312> (дата обращения: 19.05.2024).

17. Вертикальное электрическое зондирование [Электронный ресурс] // Emco.ru. – URL: [https://www.emco.ru/site\\_files/docs/enix/vertikalnoe-elektricheskoe-zondirovanie-2013.pdf?1645715512.2789](https://www.emco.ru/site_files/docs/enix/vertikalnoe-elektricheskoe-zondirovanie-2013.pdf?1645715512.2789) (дата обращения: 19.05.2024).

18. Вертикальное электрическое зондирование [Электронный ресурс] // Википедия. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/вертикальное\\_электрическое\\_зондирование](https://ru.wikipedia.org/wiki/вертикальное_электрическое_зондирование) (дата обращения: 19.05.2024).
19. Геофизические исследования при поисково-разведочных работах на воду [Электронный ресурс] // Azimut-Geology.kz. – URL: [https://azimut-geology.kz/geophysics\\_all/39-geofizicheskie-issledovaniya-pri-poiskovo-razvedochnyh-rabotah-na-vodu.html](https://azimut-geology.kz/geophysics_all/39-geofizicheskie-issledovaniya-pri-poiskovo-razvedochnyh-rabotah-na-vodu.html) (дата обращения: 19.05.2024).
20. Геофизические исследования скважин на воду [Электронный ресурс] // Geolog.ru. – URL: <https://www.geolog.ru/poleznye-stati/geofizicheskie-issledovaniya-skvazhin-na-vodu/> (дата обращения: 19.05.2024).
21. Дзен: Как найти воду на участке. Геофизические методы поиска [Электронный ресурс] // Dzen.ru. – URL: <https://dzen.ru/a/y8widhtwwr8jcjyr> (дата обращения: 19.05.2024).
22. KB Electrometry: О компании [Электронный ресурс] // Kbelectrometry.ru. – URL: <https://kbelectrometry.ru/o-kompanii/> (дата обращения: 19.05.2024).
23. Методы разведки и оценки подземных вод [Электронный ресурс] // АВОК. – URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=5713](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5713) (дата обращения: 19.05.2024).
24. Obrazovaka.ru: Подземные воды — что относится, определение [Электронный ресурс] // Obrazovaka.ru. – URL: <https://obrazovaka.ru/geografiya/chto-otnositsya-k-podzemnym-vodam.html> (дата обращения: 19.05.2024).
25. Подземные воды: определение, типы, характеристики, движение [Электронный ресурс] // Wika.TutorOnline.ru. – URL:

<https://wika.tutoronline.ru/geografiya/class/8/podzemnye-vody> (дата обращения: 19.05.2024).

26. Подземные воды [Электронный ресурс] // Википедия. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/подземные\\_воды](https://ru.wikipedia.org/wiki/подземные_воды) (дата обращения: 19.05.2024).

27. Приемники для электроразведки [Электронный ресурс] // Geodevice.ru. – URL: <https://geodevice.ru/main/electric/receivers/meri24/> (дата обращения: 19.05.2024).

28. Презентация по электроразведке [Электронный ресурс] // PPT-Online.org. – URL: <https://ppt-online.org/113143> (дата обращения: 19.05.2024).

29. Фоксфорд: Подземные воды. География, Гидросфера Земли [Электронный ресурс] // Foxford.ru. – URL: <https://foxford.ru/wiki/geografiya/podzemyie-vodi> (дата обращения: 19.05.2024).

30. Электроразведка [Электронный ресурс] // Geo.Web.ru. – URL: <https://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1183710> (дата обращения: 19.05.2024).

31. Электроразведка: учеб. пособие [Электронный ресурс] // Geophys01.Geol.MSU.ru. – URL: <http://geophys01.geol.msu.ru/shevnin/publ/189.pdf> (дата обращения: 19.05.2024).

32. Электротомография [Электронный ресурс] // NW-Geo.ru. – URL: <http://nw-geo.ru/tomography> (дата обращения: 19.05.2024).

33. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения [Электронный ресурс] // Geoinfo.ru. – URL: <https://geoinfo.ru/products-pdf/ehlektrotomografiya-apparatura-metodika-i-opyt-primeneniya.pdf> (дата обращения: 19.05.2024).

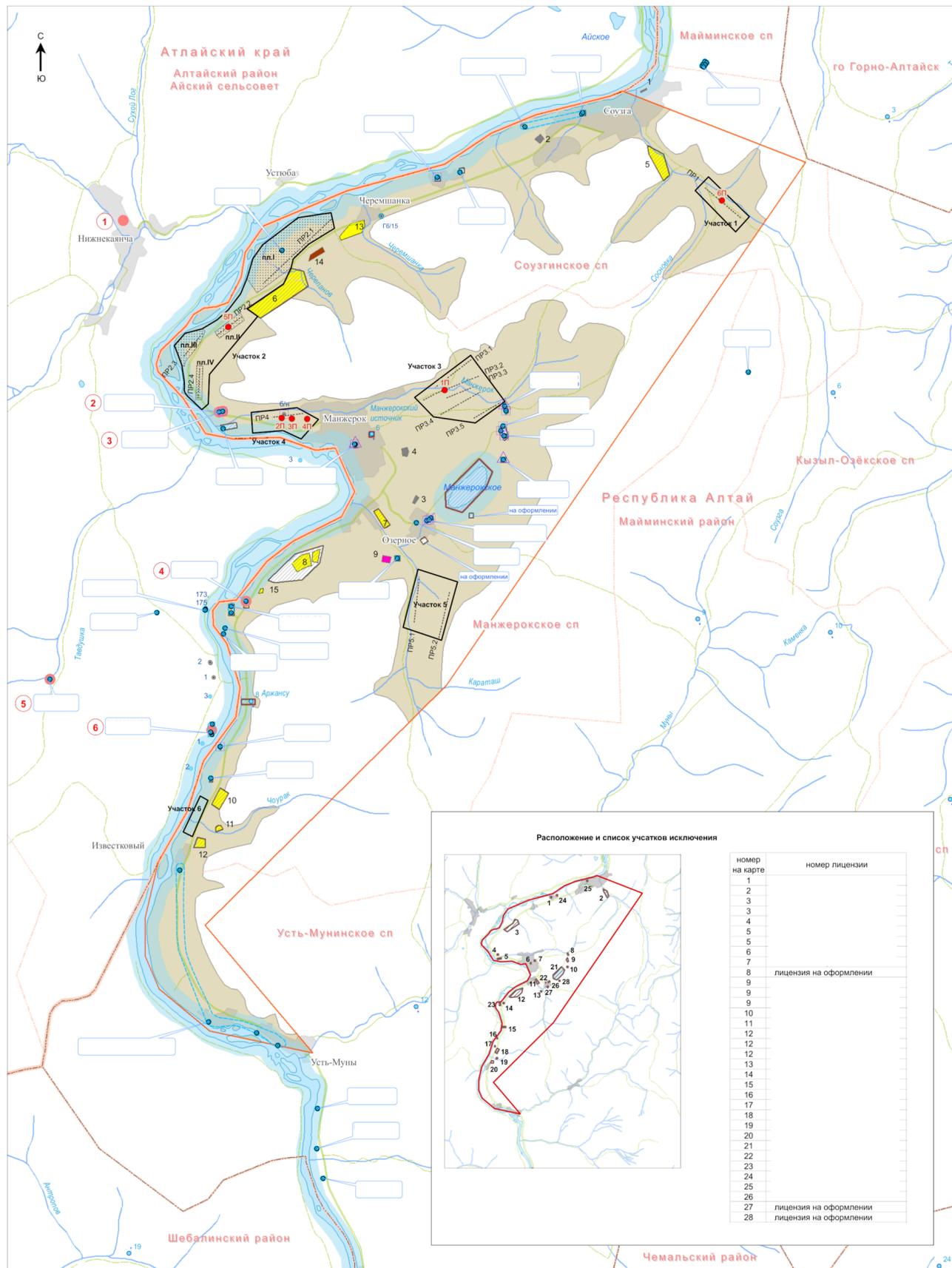
34. Введение [Электронный ресурс] // Geokniga.org. – URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-kurs-lekciy-po-poiskam-i-razvedke-podzemnyh-vod.pdf> (дата обращения: 19.05.2024).

#### Нормативная документация

35. ГОСТ Р 71882-2024. Национальный стандарт Российской Федерации. Инженерные изыскания. Требования к содержанию и построению инженерно-геологических колонок и разрезов. – М.: Стандартиформ, 2024. – 64 с

36. Республиканские строительные нормы РСН 64-87. Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 78 с.

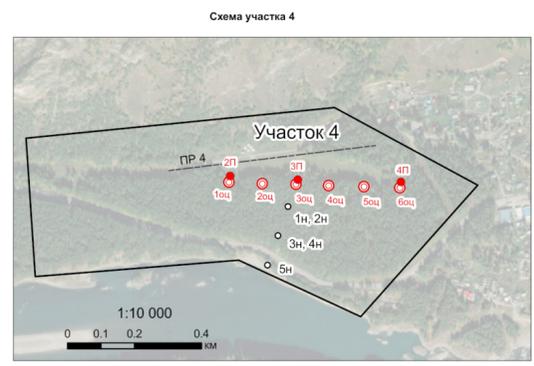
37. СНиП 2.02.05-94. Проектирование и строительство скважин на воду. – М.: Госстрой России, 1994. – 56 с.



- Условные обозначения**
- I. Проектные работы по объекту**
- Гидрогеологические скважины и их номера
  - 1П - проектная поисковая скважина
  - 1оц - проектная оценочная скважина (см. врезку)
  - 1н - проектная наблюдательная скважина (см. врезку)
  - Г20 - действующие эксплуатационные скважины, подлежащие обследованию
  - Г21 - действующие эксплуатационные скважины, подлежащие обследованию с отбором проб подземных вод
  - профили наземных геофизических исследований (электротомография) и их номера. В обозначении номера указаны номер перспективного участка и порядковый номер профиля, если на участке несколько проектных профилей
  - Пл.И - площадь планируемого рекогносцировочного обследования
  - контур участка недр, предоставленного в пользование по лицензии
  - контур исключаемого из лицензии участка
  - Участок 1 - контур перспективного участка работ, его номер
  - пл.И - площадка детализации, выделенная в пределах участка 2, ее номер (римские цифры)
- II. Объекты водопользования и водопункты**
- месторождения и участки месторождений питьевых подземных вод, их номера (см. таблицу 1)
  - условная граница лицензии на пользование подземными водами (объединяет скважины одной лицензией) В подписи - номер лицензии и скважины, относящиеся к этой лицензии. Список лицензий см. таблицу 2
  - действующие эксплуатационные скважины в пределах лицензий
  - б/н - эксплуатационные скважины без сведений о статусе, ретроперспективная информация
  - 3 - разведочные и поисковые скважины, их номера
  - 5 - родник нисходящий, его номер по отчету 3222
  - 6 - родник восходящий, его номер по отчету 3222
- III. Потенциальные источники загрязнения.**
- условные обозначения для объектов в масштабе карты. подпись соответствует номеру объекта в Перечне (см. таблицу 3)
- кладбище
  - очистные сооружения
  - карьер
  - полигон ТБО
- IV. Зоны с особым статусом**
- особо охраняемые природные территории
  - защитная зона реки Катунь и озера Манжерокское
- V. Прочие**
- граница субъектов федерации
  - граница административных районов
  - граница муниципальных образований

**Расположение и список участков исключения**

номер на карте	номер лицензии
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	лицензия на оформлении
9	
10	
11	
12	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	лицензия на оформлении
28	лицензия на оформлении



**Таблица 1. Список месторождений и участков месторождений**

номер на карте участка месторождения	месторождение / участок месторождения	Дата и номер протокола утверждения запасов	Наименование лицензионной территории	запасы, тыс.т/сут	сведения о лицензии
1	УСТЬМУНИНСКОЕ		Палеозойская терригенно-карбонатная волюканская зона (РЗ)	1,57	
2	МАНЖЕРОКСКИЙ УЧАСТОК		Палеозойская терригенно-карбонатная волюканская зона (РЗ)	0,022	
3	ТАЕЖНИК УЧАСТОК		Палеозойская терригенно-карбонатная волюканская зона (РЗ)	0,013	
4	ВИТЯЗЬ		Палеозойская терригенно-карбонатная волюканская зона (РЗ)	0,005	
5	ТАВДИНСКОЕ, Участок Западный		Палеозойская волюканская зона трещиноватости (РЗ)	0,1	
6	ТАВДИНСКОЕ, Участок Центральный		Палеозойская волюканская зона трещиноватости (РЗ)	4,7	

**Таблица 2. Список действующих лицензий**

номер лицензии	Наименование недропользователя	список скважин	утвержденные запасы
Республика Алтай			
	ООО "Юность"		
	ООО "Катунские пороги"		
	ООО "Сибирская производственная компания"		
	ИП Васильева Анна Михайловна		
	Администрация муниципального образования "Майминский район"		
	ООО "ВК "Манжерок"		
	КУ РА "Управление имуществом казны Республики Алтай"		
	ООО "Берет Катунь"		
	АО "Водопроводно-канализационное хозяйство"		
	ФГУ дорожное эксплуатационное предприятие № 217		
	ООО "Союзинский мясокомбинат"		
	ООО "Берет Катунь"		
	ООО "Аргунь"		
	ООО Туристский оздоровительный комплекс "Тасканин"		
	Сельская администрация Усть-Мунинского СП Майминского района РА		
	ИП Замятина Любовь Александровна		
	ООО "Глубу"		
	ООО Туристский комплекс "Манжерок"		
	ЗАО "БЭМ-ЭЛЕКТРОНИКС"		
	ООО "ВК "Манжерок"		
	ИП Коновалова Вера Кузьминична		
	ООО "Баре Плюс"		
	ООО "Гамчеран"		
	ООО "ВК "Манжерок"		
	Санаторно-туристический комплекс "Манжерок"		
Атлаиский Край			
	ОАО "Особая экономическая зона туристско-рекреационного типа "Барнозовая Катунь"		
	ООО "Алтай-Известь. плюс"		
	ОАО "Особая экономическая зона туристско-рекреационного типа "Барнозовая Катунь"		

**Таблица 3. Перечень потенциальных источников загрязнения подземных вод**

№№	Объекты
1	Кладбище "1" с. Суэга
2	Кладбище "2" с. Суэга
3	Кладбище с. Озерное
4	Кладбище с. Манжерок
5	Заброшенный карьер (Исключаемый контур 2 04РА00111ТР)
6	Действующий карьер (Исключаемый контур 3 04РА00249ТР, ГОА016368ТЭ)
7	Действующий карьер (Исключаемый контур 11 04РА00025ТР)
8	2 действующих карьера (Исключаемый контур 12 04РА00039ТР, 04РА00040ТР, ГОА016528ТЭ)
9	Очистные сооружения ВК Манжерок
10	Исключенный карьер (Исключаемый контур 18 ГОА02183ТЭ)
11	Исключенный карьер (Исключаемый контур 19 ГОА015060ТЭ)
12	Исключенный карьер (Исключаемый контур 20 04РА00297ТЭ)
13	Действующий карьер
14	Полигон ТБО
15	Действующий карьер

АО "Центральное ПГО"	Проектная документация на осуществление работ по объекту «Геологическое изучение недр, включая поиски и оценку запасов питьевых подземных вод на участке недр ООО ВК "Манжерок", расположенном вблизи с. Манжерок Майминского района Республики Алтай»	2025 г.
Приложение 1	Карта фактического материала	
Масштаб:	1:50 000	
Составил:	Исполнил:	

Рисунок 1. Схема участка работ. Республика Алтай.

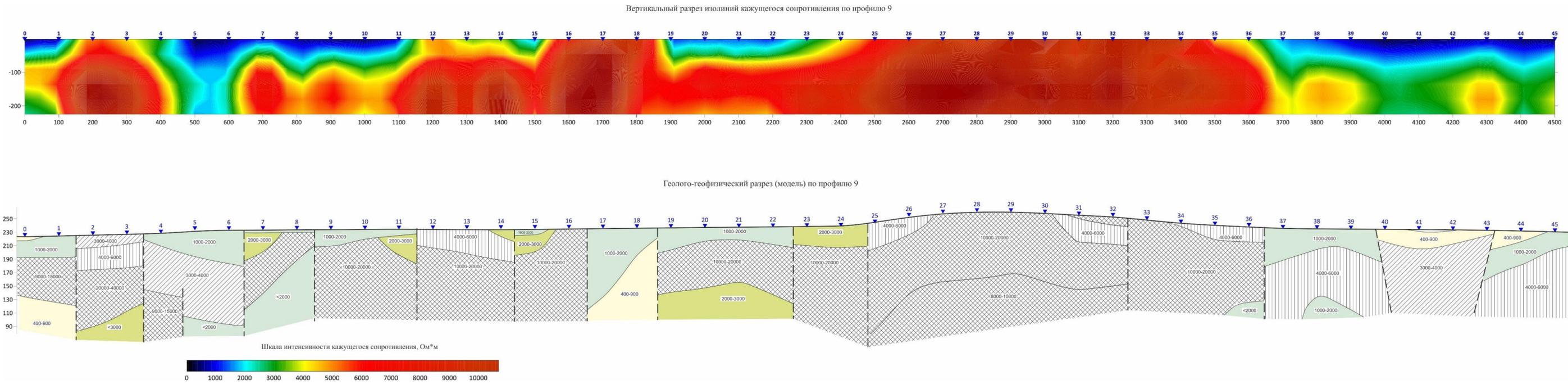


Рисунок 2. Разрез удельных электрических сопротивлений (сверху) и геолого-геофизического разреза (снизу) по профилю №9.

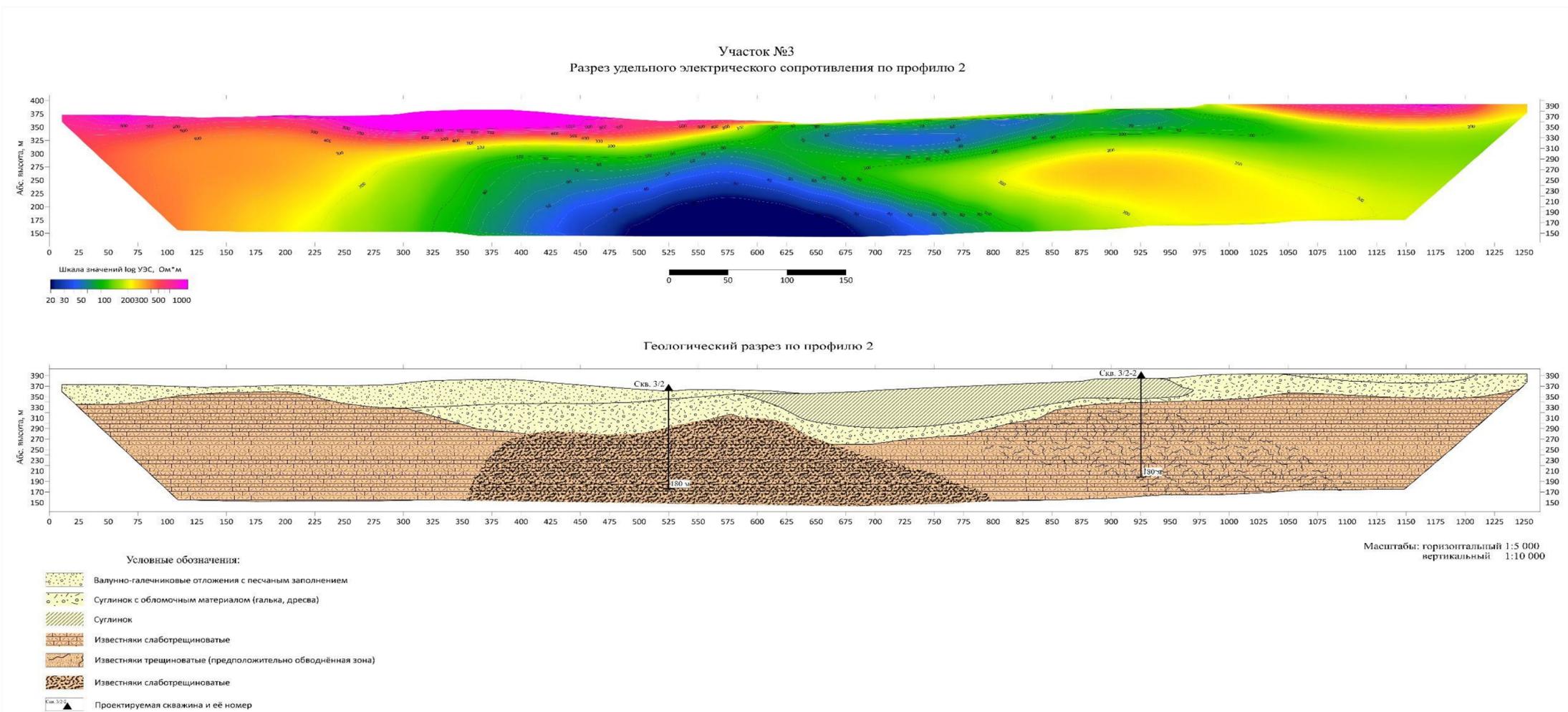


Рисунок 3. Разрез удельных электрических сопротивлений (сверху) и геологический разрез (снизу) по профилю №2.

Принятый разрез					Принятый разрез						
Геол. индекс	Литология пород	Мощность слоя, м	Глубина подошвы слоя, м	АО подошвы слоя, м	Краткое описание пород	Геол. индекс	Литология пород	Мощность слоя, м	Глубина подошвы слоя, м	АО подошвы слоя, м	Краткое описание пород
g, fg, l-g Q <sub>m</sub> os		5,5	5,5	229,5	Песок тёмно-коричневый мелко-среднезернистый, с глинистой составляющей, дресвой и валунами (до 1 м)			5,7	66,0	169,0	Метагаббро тёмно-серое средней степени трещиноватости, с пегматитовыми жилами
AR-PR		28,8	34,3	200,7	Гранито-гнейс тёмно-серый, средне-высокой степени трещиноватости, с частыми розовыми включениями и жилами до 20 см, по трещинам ожелезненный, в интервале 14,0-14,4 м раздробленный			36,3	72,3	162,7	Гранито-гнейс серый, средне-низкой степени трещиноватости, местами раздробленный, с пегматитовыми жилами мощностью до 30 см
								0,7	73,0	162,0	Разлом с песчаным заполнением
								9,3	82,3	152,7	Метагаббро чёрное, полосчатое, рушенное
								17,7	100,0	135,0	Гранито-гнейс светло-серый, средне-высокой степени трещиноватости, с пегматитовыми жилами розового цвета в интервалах 83,2-84,3 м, 91,4-92,0 м
		26,0	60,3	174,7	Гранито-гнейс серый, средне-низкой степени трещиноватости, местами раздробленный, с пегматитовыми жилами мощностью до 30 см						

Рисунок 4. Геолого-технический разрез поисковой скважины 6П.

Глубина	Индекс геологического возраста	Краткое описание пород	Литологический разрез	Глубина залегания, м		Мощность слоя, м	Статический уровень воды, м	Динамический уровень воды, м
				от	до			
0	Q	Песок м/з		0,0	1,0	1,0	34,80	101,61
10		Валунно-галечниковые отложения с песчаным заполнением		1,0	21,7	20,7		
20	V	Суглинок		21,7	26,6	4,9	34,80	101,61
30		Суглинок с галечником		26,6	58,2	31,6		
40								
50								
60	Окремненный известняк с нитевидными прожилками кварца. С вкраплениями пирита		58,2	180,0	121,2			
70								
80								
90								
100								
110								
120								
130								
140								
150								
160								
170								
180								

Рисунок 5. Геолого-технический разрез поисковой скважины 3/2.