

Санкт-Петербургский государственный университет

**ЛОПАТИНА Валентина Игоревна**

**Выпускная квалификационная работа**

**СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СЪЁМКИ ПО СХЕМЕ  
ПОТЕНЦИАЛ И ГРАДИЕНТ-ПОТЕНЦИАЛ В МЕТОДЕ  
ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ  
(БОДАЙБИНСКИЙ РАЙОН, ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Основная образовательная программа бакалавриата  
Направление 05.04.01 «Геология»  
Профиль «Геофизика»

Научный руководитель:  
Доцент кафедры геофизики,  
кандидат геолого-минералогических наук  
Кашкевич Марина Петровна.

Рецензент:  
Инженер-геофизик,  
начальник отдела обработки  
Романова Наталья Евгеньевна

Санкт-Петербург  
2020

## Оглавление

Введение .....	3
1. Геология .....	4
1.1. Физико-географическая характеристика района работ.....	4
1.2. Геология района работ .....	6
1.2.1. Общее геологическое строение.....	6
1.2.2. Стратиграфия .....	13
2. Геофизические исследования.....	14
2.1. Полевые работы .....	14
2.2. Метод естественного электрического поля.....	17
2.3. Метод переходных процессов .....	24
2. Результаты геофизических работ. ....	27
3. Моделирование метода естественного поля в лаборатории .....	30
Заключение.....	35
Список литературы.....	36

## **Введение**

Предметом изучения в данной работе является метод естественного поля и его плюсы и минусы, на основе данных с полевых работ.

Участок работ находится в Бодайбинском районе в пределах Витимо-Патомского нагорья в северо-восточной части Иркутской области.

Основной целью электроразведки на участке работ является локализация предполагаемых золотоносных минерализованных зон и оценка их геометрических параметров (простираения, падения, протяженности на глубину и мощности).

Так как размещение золоторудной минерализации в Бодайбинском районе в целом контролируется структурно-тектоническими и литологическими факторами, то и основной задачей электроразведки было детальное картирование структурно-тектонических и литолого-стратиграфических элементов рудного поля.

Целью моей дипломной работы является: рассмотреть возможности и особенности применения метода ЕП при изучении особенностей строения участков и выделении структурных признаков локализации золоторудных месторождений в черносланцевых толщах (на примере Бодайбинского рудного поля).

В ходе написания дипломной работы решались следующие задачи:

1. Изучение геологического строения Бодайбинского рудного поля.
2. Обработка данных ЕП и МПП, полученных на объекте.
3. Интерпретация полученных разрезов с учетом имеющейся геологической информации и результатов моделирования.
4. Сравнение 2х способов метода ЕП.

# 1. Геология

## 1.1. Физико-географическая характеристика района работ

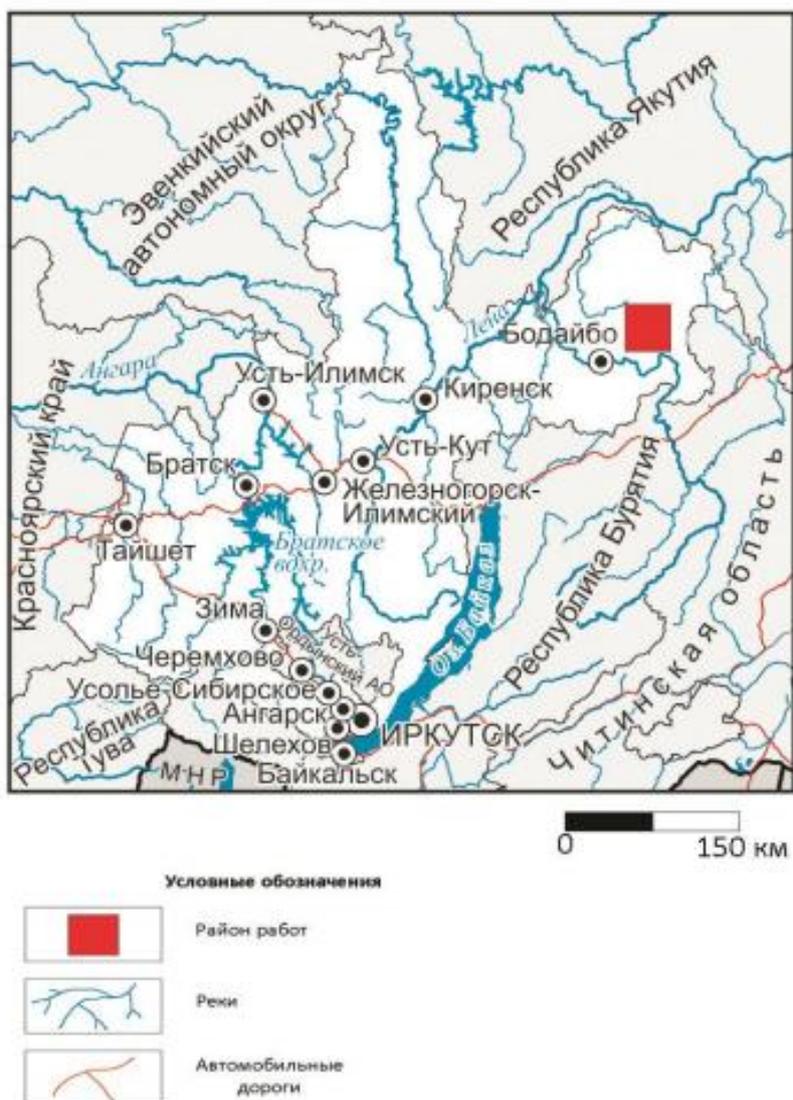


Рисунок 1. Обзорная карта с выделенным участком района работ.

Участок работ располагается рядом с поселком Светлый Бодайбинского района Иркутской области (рис.1). Город Бодайбо, административный центр Бодайбинского района, находится в 123 км от Светлого. Город Иркутск, административный центр Иркутской области, находится в 1000 км. Между Бодайбо и Кропоткинским есть только насыпная дорога, а от Кропоткина до Светлого уже добирались по бездорожью, дороги и выделенные участки работ можно увидеть на рисунке 2.

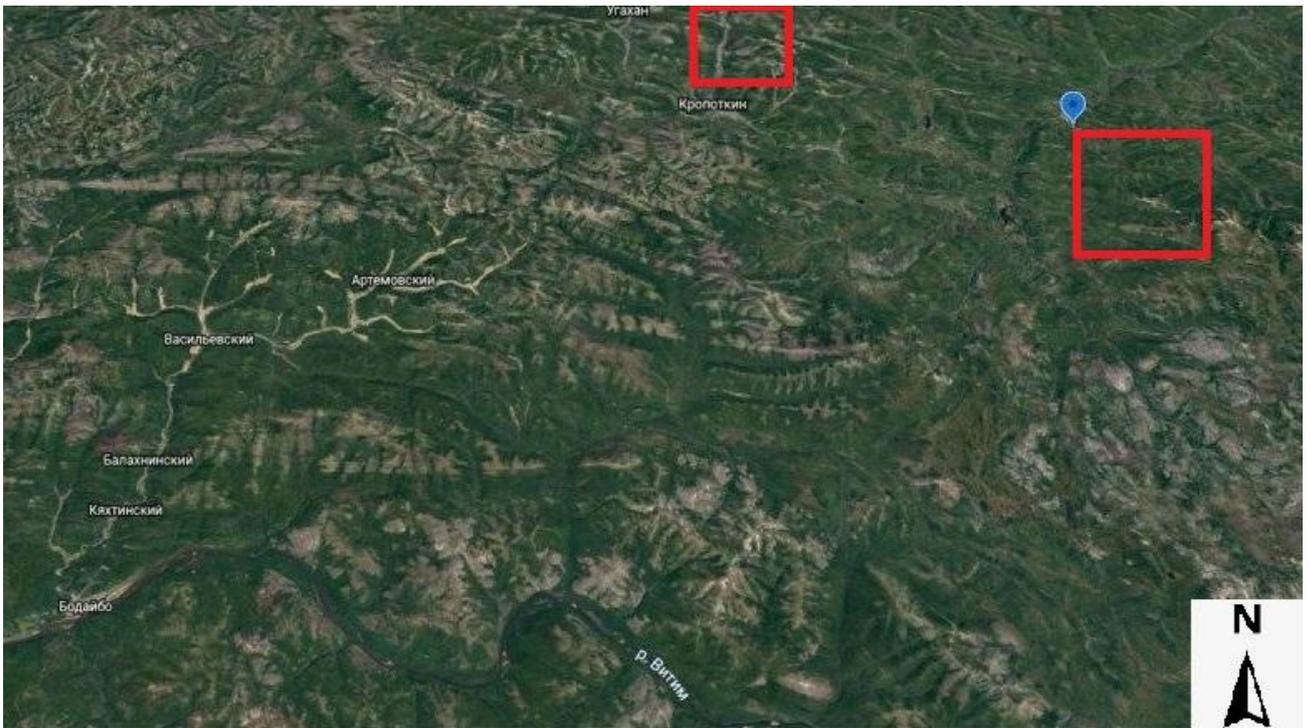


Рисунок 2. Обзорный космический снимок участков работ и дорог.

Ближайшие продовольственные и хозяйственные магазины находятся в Кропоткине в 38 км от места работ, в самом поселке инфраструктура не развита. Местных жителей очень мало, человека 4, в основном вахтовики и геологи. В поселке и рядом с ним, где был наш лагерь протекает река Жуя и ее притоки. Питьевую воду берут из чистых притоков к реке Жуе.

Климат в данной местности резко континентальный с продолжительной морозной зимой и коротким жарким летом. Летом температура воздуха может достигать почти 40 °С, что является уникальным случаем для столь высокой широты. Лето прохладное и непродолжительное. Средняя температура июля составляет +18 градусов. Зимы очень холодные и длительные. Средняя температура января составляет -30 градусов. В сентябре уже может выпасть снег, поэтому работы надо было закончить до первого снега.

## 1.2. Геология района работ

### 1.2.1. Общее геологическое строение

Данные работы проводились на участке, относящемся к Светловскому рудному полю рифейско-вендского возраста.

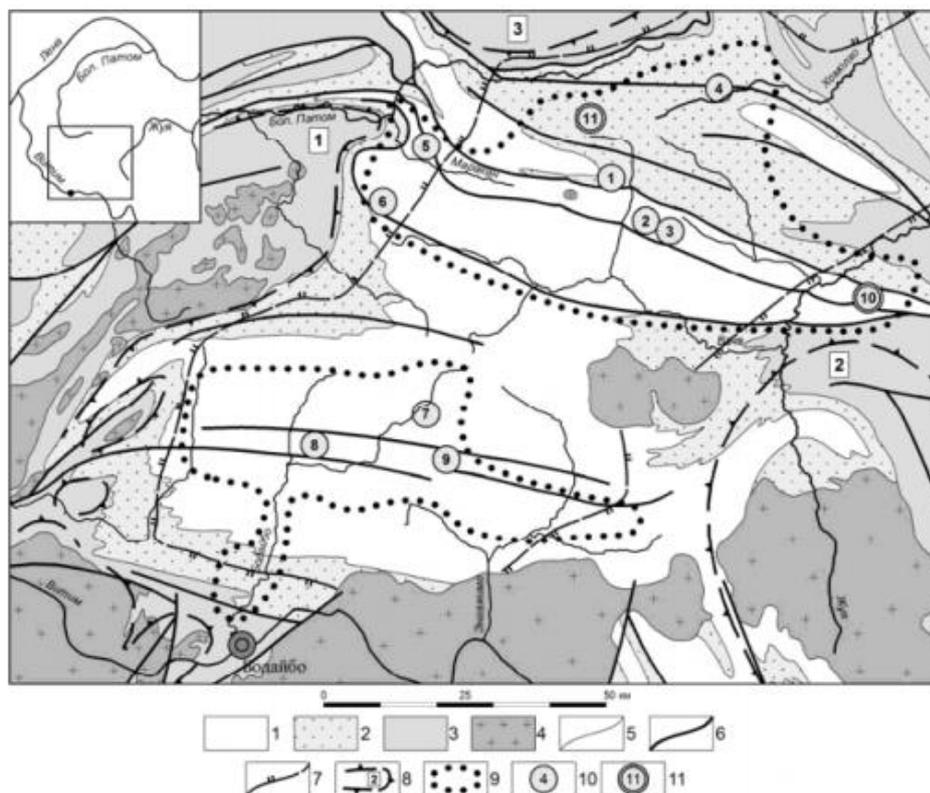


Рисунок 3. Схематическая геологическая карта Бодайбинского рудного района [2].

1-3-рифейско-вендские отложения: 1 – венд, бодайбинская серия (аунакитская, вачская, анангрская, догалдынская и илигирская свиты), 2 – средний-верхний рифей, ныгринская серия (бужуихтинская, угаханская, хомолхинская и имняхская свиты), 3 – средний рифей, баллагаханская серия (хорлухтаханская, хайвергинская, бугорихтинская и бодайбинская свиты); 4 – верхнепалеозойские гранитоиды конкудеромамаканского комплекса; 5 – геологические границы; 6 – главные разрывные нарушения; 7 – изограда купольных структур (1 – Мамской группы, 2 – Верхне-Жуинской, 3 – Верхне-Хайвергинской); 9 – основные золотороссыпные районы; 10 – золоторудные месторождения (1 – Сухоложское, 2 – Вернинское, 3 – Невское, 4 – Высочайшее, 5 – Ожерелье, 6 – Ыканское, 7 – Догалдынская жила, 8 – Кавказ, 9 – Копыловское); 11 – потенциальные золоторудные месторождения (рудные зоны с промышленными параметрами: 10 – в Светловском и 11 – в Верхне-Угаханском рудных полях)

Бодайбинский рудный район входит в состав Байкало-Патомской золоторудной провинции, и сложен рифейско-вендскими карбонатно-терригенными отложениями, прорванными магматическими породами конкудеро-мамаканского комплекса.

К средне-верхнерифейским отложениям относятся породы ныгринской серии, включающей в себя среднерифейские бужуихтинскую и угаханскую свиты и верхнерифейские хомолхинскую и имняхскую. Данные отложения сложены существенно терригенными (сланцы, песчаники) углеродистыми и терригенно-карбонатными (известняки, сланцы, песчаники) литолого-стратиграфическими подразделениями. Отложения верхнего рифея и венда слагают собой бодайбинскую серию, включающую в

себя ауникитскую, вачскую, анагарскую, догалдынскую и илигирскую свиты. Это преимущественно песчано–сланцевый в различной степени углеродистый комплекс стратиграфических подразделений (рис.3).

Для региона характерны разрывные структуры различной морфологии, формировавшиеся в течение длительного времени. Разломы фундамента скрыт осадочным чехлом и предполагаются по ряду прямых и косвенных признаков: уступам поверхности фундамента по материалам точечного сейсмического зондирования, продольным и поперечным перегибам зеркала складчатости в рифейского-палеозойских отложениях, аномалиям и градиентным зонам в региональных магнитных и гравиметрических полях, пояса даек, градиентным зонам регионального метаморфизма, зонам резкой смены фациального состава отложений и т.д. Разломам фундамента принадлежит значительная роль в процессах осадконакопления, складчатости, метаморфизма и гранитообразования. Они являлись основными путями миграции рудообразующих флюидов и часто являются рудоконтролирующими. [3] К поверхностным разломам относятся разрывы, непосредственно выявляемые по всему комплексу признаков в пределах образований фундамента и складчатого чехла, имеющих относительно небольшие размеры, мощность зоны измененных пород, амплитуду перемещений, геологическую значимость. Основными для изучаемой области являются ранне-среднепалеозойские разломы, связанные с линейным складкообразованием. Продольные вязкие разломы относятся к соскладчатым. Остальные разломы этого возраста поздне- и постскладчатые образовались на заключительных стадиях складкообразования после прекращения процесса пластической деформации, но при той же ориентировке оси максимального сжатия. Так же складчатые структуры усложнены за счет дизъюнктивных дислокаций, к которым относятся поздне- и постскладчатые взбросы, надвиги и сбросы отставания, поздне- и постскладчатые сдвиги. [3] В пределах Бодайбинского рудного района наблюдаются рудопроявления: свинца и цинка, железа, олова, вольфрама, молибдена, меди и никеля, магнезита, редких и редкоземельных элементов. Основными полезными ископаемыми являются коренное и россыпное золото. Основные промышленные типы золоторудных месторождений представлены кварцево-жильными зонами и кварцевыми жилами золото-кварцевой формации и пластообразными залежами кварцево-сульфидных прожилково-вкрапленных руд золото-кварц-сульфидной формации. Формирование золотого оруденения Бодайбинского района происходило в течение длительного времени и включало в себя 4 этапа, завершившиеся внедрением гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса. [3] Первый этап или седиментационная стадия заключается в обогащении углеродистых глинистых толщ (хомолхинская, аунакитская)

др) золотом в осадочном процессе, а так же молибденом и бором. Вторым этапом является формирование рудоконтролирующих зон рассланцевания. Основные рудоконтролирующие разломные структуры, определяющие в дальнейшем возможность золотого рудообращения, сформировались на заключительных этапах линейного складкообразования рифейско-вендских отложений. Они представляют собой субсогласные простирацию пород зоны рассланцевания с проявлением интенсивных метасоматических процессов – сульфидизации (пирит + пирротин) и железомagneзиального карбонатного метасоматоза (бурошпатизации). Именно эти сульфиды и бурый шпат отличаются повышенным содержанием тонкодисперсного золота. Бурошпатизация протекает, согласно Ф.А. Летникову, в С-флюидных системах, имеющих астеносферный источник. Флюиды этих систем мигрируют в земную кору по глубинным разломам и контролируют образование месторождений золота. В процессе же миграции флюидов в разломных зонах могло происходить их дополнительное обогащение золотом за счет его выноса из металлоносных высокоуглеродистых пород. Процесс формирования золотоносных зон бурошпатизации является рудноподготовительным и месторождения 20 рудного золота образуются в их пределах при переработке золотоносных пород последующими процессами. Третий этап (метаформогенное преобразование золотоносных пород). Завершение линейной складчатости сопровождалось гранитизацией и регионально-метаморфическими преобразованиями пород. При региональном метаморфизме бурошпат-содержащих пород на изограде биотита происходят метаморфические изменения бурых шпатов и пирита, в ходе которых субмикроскопическое или связанное золото укрупнялось и выделилось в свободном, самородном химически устойчивом виде. В зонах низкого регионального метаморфизма, к которым относится большая часть Бодайбинского района, значительной миграции золота не было, а его перераспределение происходило в условиях активизации разломных зон рассланцевания. На последнем, четвертом этапе, происходит окончательное формирование месторождений золота. Послеметаморфический возраст золоторудных месторождений устанавливается в западной части Маракано-Тунгусского узла. Рудные тела этих месторождений располагаются среди пород, метаморфизованных в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Они локализованы в зонах диафтореза с ярко проявленными серицитизацией, мусковитизацией, с развитием новообразованного пирита и сидерита. Наиболее отчетливо рудоносные процессы наблюдаются в узлах пересечения зон рассланцевания и зон секущих разломов. В этот этап гидротермально-метасоматические преобразования проявились в надинтрузивных зонах в субмеридиональных разломах и сформированных при линейной складчатости продольных

рудоконтролирующих зонах расланцевания при их активизации. Формирование золоторудных месторождений происходило в пределах синскладчатых рудоконтролирующих структур при наложении на них низкотемпературных процессов сингранитного этапа, наиболее интенсивно проявленных в секущих тектонических зонах на периферии надинтрузивных зон. Часть золота поступала в породы вместе с сингранитными флюидами, а основная его масса заимствовалась из вмещающих обогащенных золотом пород в пределах рудоконтролирующих структур при их гидротермально-метасоматической переработке и тектонической активизации.

Основной геологической структурой участка работ является опрокинутая на юго-запад Тунгусская антиклиналь III-го порядка северо-западного простирания. Складка осложнена складками более высокого порядка (IV-V порядков). Генерально осевая поверхность складки имеет падение на северо-восток с углом падения  $40-50^{\circ}$ . Северное крыло складки выполаживается к северу (от  $30$  до  $18^{\circ}$ ) и переходит также в запрокинутую Бугарихтинскую синклираль, которая не имеет осложняющих складок.

Ядро Тунгусской антиклинали сложено породами хомолхинской свиты (все три подсвиты). Шарнир имеет пологое погружение на северо-запад. На восточном фланге участка в ядре антиклинали выходят карбонатно-углеродистые породы угаханской свиты. В южном подвернутом крыле антиклинали находятся преимущественно карбонатные породы имняхской свиты образующие сопряженную Тунгусскую синклираль. Породы имняхской свиты смяты в интенсивные изоклиральные складки высоких порядков. Юго-восточной и южный фланг участка образован выходами углеродистых пород аунакитской вачской свит с сильно сокращенной мощностью и анангской свиты, которые образуют осложняющую синклираль IV порядка широтного простирания.

Пликативные складчатые деформацией осложнены серией соскладчатых взбросо-надвигов. Плоскости с местителей падают на северо-восток предположительно под углом  $45-55^{\circ}$ . На рудном поле повсеместно проявлен кливаж осевой поверхности. Плоскости сланцеватости падают на ССВ (азимут падения  $15-30^{\circ}$ ) со средним углом падения  $45^{\circ}$ . В ходе предшествующих по поисковым работ в были также уставлены секущие разрывные нарушения, более поздние по отношению с основными надвигами. Эти нарушения имеют субмеридиональное и северо-восточное простирание и восточное падение с крутыми углами ( $65-70^{\circ}$ ). По кинематическому типу секущие нарушения относятся к сбросо-сдвигам. Секущие нарушения прослеживаются от нескольких сотен метров до 8 км. Наиболее хорошо эти нарушения изучены в пределах Верхне-Тунгусского рудопроявления [6].

Золотое оруденение контролируется зонами надвигов и участками осложнения складчатости (складки IV-V порядков) в пределах Тунгусской антиклинали. На Светловском рудном поле было выявлено четыре минерализованные зоны, которые включают рудные зоны Спектральную (Северную), Верхне-Тунгусскую, Дорожную (Эти две зоны некоторые исследователи объединяют в единую Верхне-Тунгусскую зону) и сильно удаленную от Тунгусской антиклинали зону Дальнюю (рис. 4).

Золотое оруденение сопровождается выраженными гидротермально-метасоматическим преобразованием пород. Наиболее ярко выраженным процессом является Fe-Mg карбонатизации (анкерит и сидерит), при выветривания которой образуются зоны бурого шпата (лимонитизированный сидерит и анкерит). Наиболее интенсивная Fe-Mg карбонатизация приурочена к участкам структурного осложнения (слоевые и кливажные трещины, зоны трещиноватости) особенно в отложениях верхней подсвиты хомолхинской свиты (hm<sub>3</sub>). Fe-Mg карбонат распределен в зонах неравномерно. Обычно образует интенсивную вкрапленность в виде порфиробластов ромбоидальной или эллипсоидной формы. Размеры порфиробластов меняются в широких пределах, наиболее крупные образуются в углеродистых филлитах и алевролитах. В песчаниках обычно наблюдается мелкая сыпь. Общее содержание Fe-Mg карбонатов изменяется от 5 до 25 %.

Иногда образуется полосчатые агрегатные скопления или линзовидные обособления. Участки Fe-Mg карбонатизации образует линейно вытянутые зоны согласные с общим простиранием пород и направлением кливажа. Было отмечено, что в золотоносных зонах наблюдается резкое укрупнение порфиробластов, а также их срастание в линзовидные агрегаты.

Также в минерализованных зонах отмечается серицитизация, которая особенно ярко в проявлена при образовании кварцевых прожилков и жил, в зальбандах которых образуются листочки мусковита.

Сульфидизация пород повсеместно затрагивает породы хомолхинской свиты и представлена в основном просечками, линзочками, прожилками пирротина, также в виде линзочек кварц-пирротинового состава. В пределах минерализованных зон пирротин часто встречается в сростках с кварцем и анкеритом. При этом наблюдается укрупнение кварц-пирротин-анкеритовых агрегатов. Максимальная насыщенность пород пирротинными прожилками наблюдается в горизонтах высокоуглеродистых филлитовидных сланцев. Пирротин представлен обычно в виде прожилков толщиной от 1 мм до 5 мм и линз размером до 10 см по длинной оси. Часто пирротинные выделения приурочены к контактам между горизонтами с различной литологией, например, концентрируясь на контакте между песчаниками и алевролитами или алевролитами и

филлитовидными сланцами. В минерализованных золотоносных зонах с пирротиновыми прожилками в незначительных количествах ассоциирует ильменит, редко халькопирит, арсенопирит, рутил (при разложении ильменита), сфалерит, и галенит. В наиболее богатых пирротином участках его содержание достигает 10 %.

Значительная распространенность пирротина в породах хомолхинской свиты обуславливает появления интенсивных магнитных аномалий над ними. Так центральная часть Тунгусской антиклинали выражается отрицательной магнитной аномалией. Отрицательная намагниченность обусловлена высокой остаточной намагниченностью пирротина, которая превышает индукционную в несколько десятков раз. Пирротинизация, вероятно, происходила в несколько этапов, что обусловило, как обратное, так и прямое намагничивание (участки перемагничивания) пирротинизированных участков. Поэтому поле  $\Delta T_a$  над зонами пирротинизации имеет сложный высокоградиентный характер, особенно это хорошо проявляется при наземной магнитной съемке.

Пиритовая минерализация имеет резко подчиненное значение. Вкрапленный пирит в виде мелких кубических кристаллов встречается в ассоциации с пирротиновой минерализацией, часто, например, в зоне Спектральная образует сростки с пирротином

Кварцево-жильные образования довольно широко распространены в пределах рудного поля, особенно в его восточной части. Выделяют [1] несколько генераций кварца. Метаморфогенный кварц этапа линейной складчатости. В этих жилах отсутствует рудная минерализация. Постметаморфические жилы характеризуются развитием серицита и хлорита. Жилы этого типа согласны с рассланцеванием, обычно образуют линзы и складки и проявлены в надвиговых зонах. Часто эти жилы содержат Fe-Mg карбонат. Жилы и прожилки этого типа сопровождают золоторудную минерализацию.

Известные рудные зоны, имеющие выходы на поверхность, сопровождаются контрастными литохимическим и шлиховыми ореолами.

Характерной особенностью участка работ является его положение в зоне нарастания степени регионального метаморфизма с запада на восток. В зоне перехода от зеленосланцевой фации (верхней биотитовой субфации) к эпидот-амфиболитовой фации (с переходом за изограду граната). В связи с этим в породах хомолхинской широко распространён метаморфогенный ильменит, который образует равномерно рассеянную вкраплённость в алевролитах и филлитах хомолхинской свиты. При этом таблички ильменита образуют характерные структуры кручения, которые хорошо видны на плоскостях сланцеватости. В зонах наложенных гидротермально-метасоматических изменений ильменит замещается на рутилом и кварцем. Так в зоне Спектральная

вкрапленники ильменита повсеместно замещены рутилом и кварцем. При этом первоначальные порфиробласты ильменита имели явно укрупненные размеры (до 5 мм).

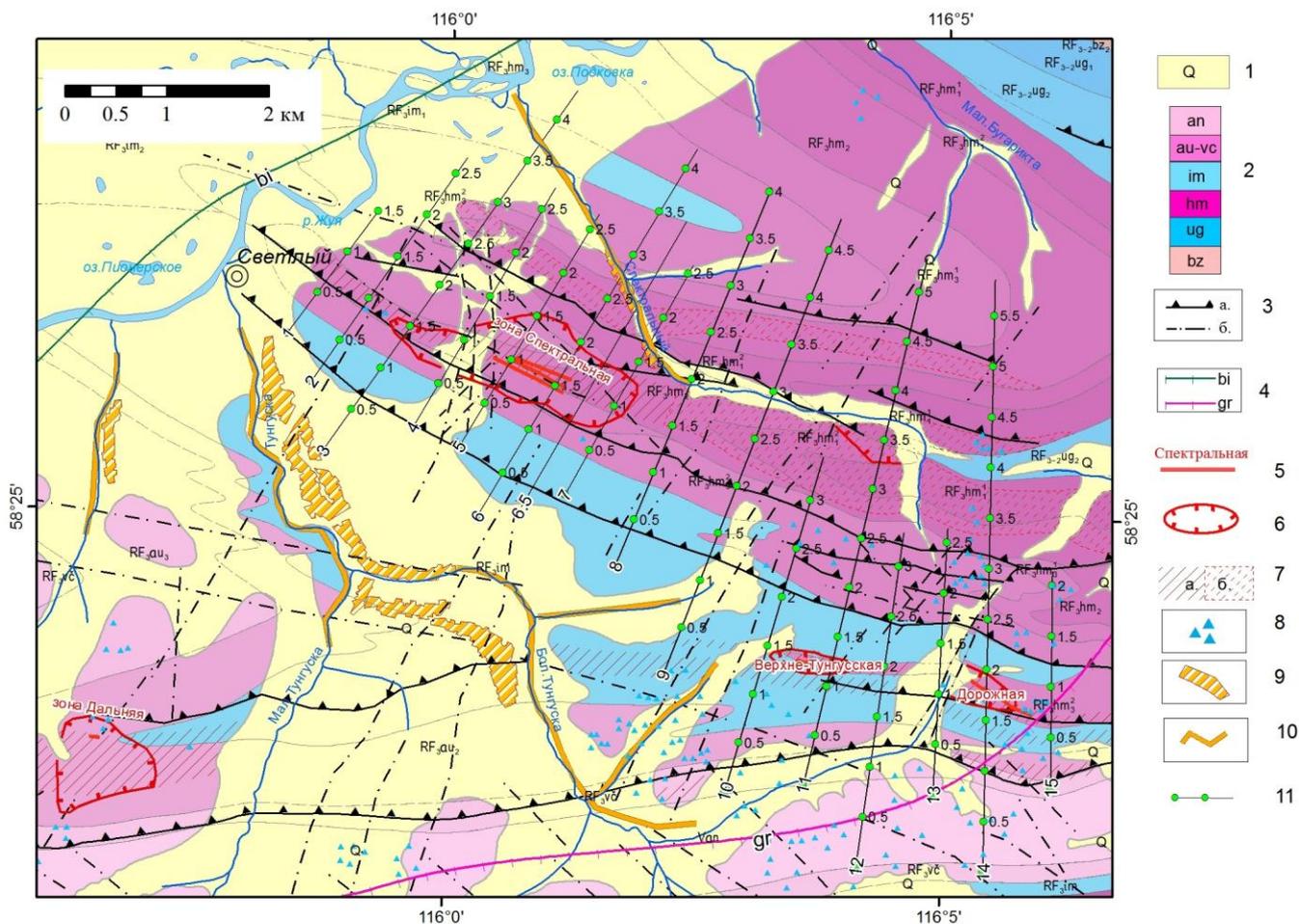


Рисунок 4. Геологическая схема Светловского рудного поля [10]

Условные обозначения:

- 1- Четвертичные аллювиальные отложения; 2- Основные литолого-стратиграфические подразделения: bz – бужихтинская, ug – угаханская; hm- хомолхинская, im –имнянская, au-vc – аунакитская и вачская, an – ангарская свиты; 3 – Основные тектонические нарушения: а – надвиги, б – секущие разрывы; 4 –изограды регионального метаморфизма (bi – биотина, gr - граната); 5 – Рудные зоны и их названия; 6 – Контрастные шлиховые ореолы; 7 - зоны наложенных ГМ изменений с проявлением кварцевой, сульфидной минерализации и железисто-магнезиальной карбонатизации (а-установленные, б - предполагаемые); 8 – кварцевые развалы; 9 – Шахтные поля при добыче россыпного золота на аллювиальных террасах; 10 -Промышленные россыпи золота; 8 – Геофизические профили с пикетажем в км.

## 1.2.2. Стратиграфия

Свита	Индекс	Описание	Мощность, м
И М Н Я Х С К А Я	im <sub>2</sub>	Белые и розовые, голубовато-серые мелко-среднезернистые известняки, зеленовато-серые хлорит-серицитовые сланцы, с прослоями двуслюдястых мелкозернистых известковистых песчаников.	>300
	im <sub>1</sub> <sup>2</sup>	Серые, светло-серые, зеленовато-серые слюдястые мелко-среднезернистые известняки с прослоями кварц-хлорит-серицитовых сланцев, известковистых алевролитов. Преобладающей породой являются известняки.	450-500
	im11	В нижней части серые, темно-серые углистые известковисто-слюдястые сланцы и мелко-среднезернистые известковистые песчаники с прослоями углисто-кварцевых сланцев, алевролитов и известняков. Верх пачки сложен желтовато-серыми хлорит-серицитовыми с вкрапленниками биотита сланцами, песчанистыми известняками и песчаниками	70-100
Х О М О Л Х И Н С К А Я	hm <sub>3</sub> <sup>3</sup>	Филлиты, слюдястые алевроитовые филлитовидные сланцы с прослоями алевролитов и мелкозернистых песчаников. <b>Сланцы (филлиты) 70%, алевролиты 24 %, песчаники 6 %.</b> Содержание УВ в филлитах от 3 до 10 %.	180-240
	hm <sub>3</sub> <sup>2</sup>	Частое тонкое переслаивание темно-серых углистых метаморфизованных алевролитов и углистых метаморфизованных алевролитистых сланцев с крайне тонкими прослоями мелко-зернистых песчаников . <b>Сланцы 24%, алевролиты 68%, песчаники 8%. Характерной чертой является высокое содержание УВ в сланцах и алевролитах в среднем 7%</b>	50-70
	hm <sub>3</sub> <sup>1</sup>	Кварцевые, карбонатные алевро-псаммитовые алевролитистые сланцы, метаморфизованные алевролиты и мелкозернистые песчаники. <b>Сланцы 64%, алевролиты 14%, песчаники 22 %.</b>	210-320
	hm <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Преимущественно светло-серые мелкозернистые песчаники с редкими маломощными прослоями алевро-псаммитовых сланцев. <b>Песчаники (75%), сланцы 25 %</b>	70-80
	hm <sub>2</sub> <sup>2</sup>	Углисто-слюдястые алевролиты, сланцы с прослоями метаморфизованных алевролитов. <b>Сланцы 55%, алевролиты 26%, песчаники 18 %.</b> В нижней части преобладают зернистые разности.	300-400
	hm <sub>2</sub> <sup>1</sup>	Светло-серые метапесчаники, метаморфизованные алевролиты с крайне редкими прослоями псаммитовых алевроитовых сланцев. <b>Песчаники 77%, алевролиты 23 %.</b>	50-60
	hm <sub>1</sub>	Темно-серые алевролиты, алевро-псаммитовые кварцево-слюдястые сланцы с редкими прослоями внизу темно-серых плотных мелко и среднезернистых известняков и песчаников. Алевролиты 56 %, сланцы 36%, песчаники и известняки 8%.	>200
УГАХА НСКАЯ	ug	Мелко средне и крупно зернистые темно-серые известняки известковистые песчаники, с маломощными прослоями слюдясто-известковистых темно-серых сланцев и алевролитов. <b>Известняки 64%, известковистые сланцы и алевролиты 27%, песчаники 9%.</b>	

Таблица 1. Литолого-стратиграфического подразделения пород, слагающих Тунгусскую антиклиналь из отчета Назарьева. (Синим цветом выделены маркирующие углеродистые горизонты, которые предположительно выделяются на геоэлектрических разрезах.) [8]

Хотя Тунгусское рудное поле имеет относительно высокую поисковую изученность, остался ряд нерешенных геолого-структурных задач, которые имеют важное поисковое значение. Так не совсем ясно насколько сложное строение имеет западное замыкание Тунгусской антиклинали, есть ли здесь осложняющие антиклинальные складки, благоприятные для локализации золотого оруденения. Есть ли также осложняющие складки в северном крыле антиклинали, которое в структурном отношении также является перспективным для выявления минерализованных золотоносных зон.

## 2. Геофизические исследования

### 2.1. Полевые работы

Работы проводились исходя из имеющихся данных, полученных в ходе работ прошлых лет на данном участке и при обработке ретроматериалов. Полевые работы, в которых я принимала участие, проводились на двух участках.

Несколько слов об изученности прошлых лет данного участка: площадь рудного поля была практически полностью закрыта крупномасштабной электроразведкой ЕП и наземной магниторазведкой в 1:25000 (ф. Назарьев, 1974), 1:10000 (ф. Иванов) и 1:5000 (ф. Назарьев, 1974). В ходе работ ФГУП «ЦНИГРИ» 2013-2015 годах по отдельным профилям была выполнена комплексная съемка методами электроразведки ЕП, гравиразведки и магниторазведке. Также в пределах рудной зоны по трем профилям была выполнена электротомография ВП. При поисковом бурении выполнялся каротаж в методами КС, ГК, ГГК, ПС (ф. Назарьев, 1974).

В ходе работ «ЦНИГРИ» 2013-2015 годы вся площадь рудного поля была покрыта комплексной аэрогеофизической съемкой (магниторазведка и аэрогаммаспектрометрия) в масштабе 1:10000.

Работы проводились с 22 июня по 7 сентября 2019 г. В ходе работ выполнялись следующие исследования: метод естественного электрического поля и метод переходных процессов. Целью данных работ являлась локализация предполагаемых золотоносных минерализованных зон и оценка их геометрических параметров (простираения, падения, протяженности на глубину и мощности). Для этого на 15 профилях были выполнены съёмки методами ЕП и МПП. И так же был пройден дополнительный 6,5 профиль длиной 3.2 км между профилями 6 и 7 для уточнения глубинного строения восточного фланга зоны Спектральной (рис. 5).

Опорные геофизические профили были размечены с шагом 20м с помощью GPS навигатора GARMIN и мерного шнура, точность установки пикетов составляет  $\pm 2$  м, что отвечает требованиями к разбивке топосети при геофизических работах масштаба 1:10000.

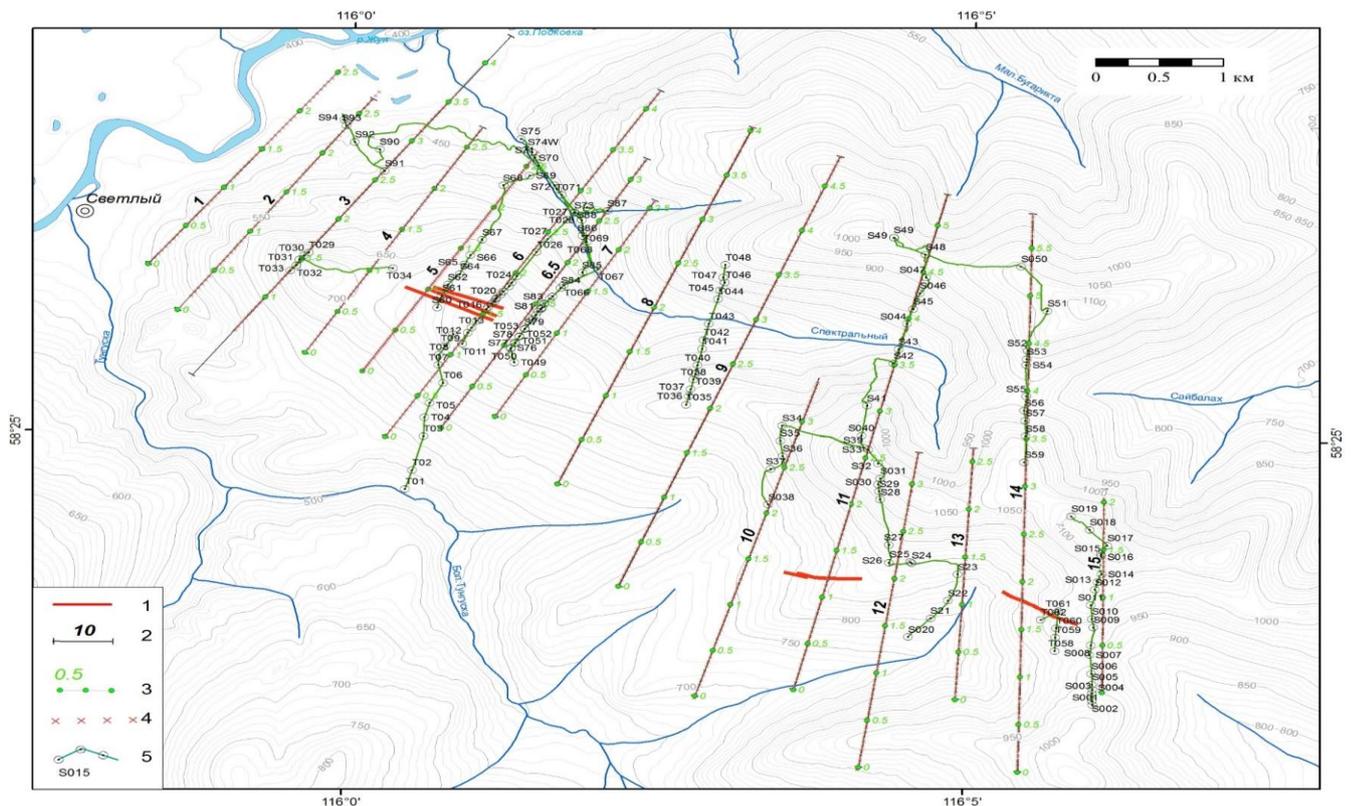


Рисунок 5. Схема профилей.

(Условные обозначения к рисунку : 1 – Рудные зоны; 2 – Проектные геофизические профили МПП и ЕП ; 3 – Фактические профили ЕП и номера пикетов в км; 4 – Точки зондирования МПП (центры петель); 5 – Геологические маршруты и точки геологических наблюдений.)

Хотя площадь рудного поля полностью закрыта электроразведкой ЕП. Однако качество оцифрованных ретроматериалов электроразведки ЕП и точность их пространственной привязки не позволяют уверенно сопоставлять эти материалы с результатами зондирований МПП. Поэтому съемка ЕП была выполнена повторно. Между тем ретроспективные материалы электроразведки ЕП позволили привести данные профильной съемки ЕП 2019 года к единому уровню.

В результате многолетних работ геофизическими методами были закартированы основные пликативные нарушения, участки осложнения складчатости изгибы шарниров, а также разрывные нарушения, складчатые, взбросо-надвиги и секущие разрывы сдвиги преимущественно северо-восточного простирания.

В результате обобщения геофизических материалов была составлена схема изученности рудного поля крупномасштабными геофизическими работами (рис.6).

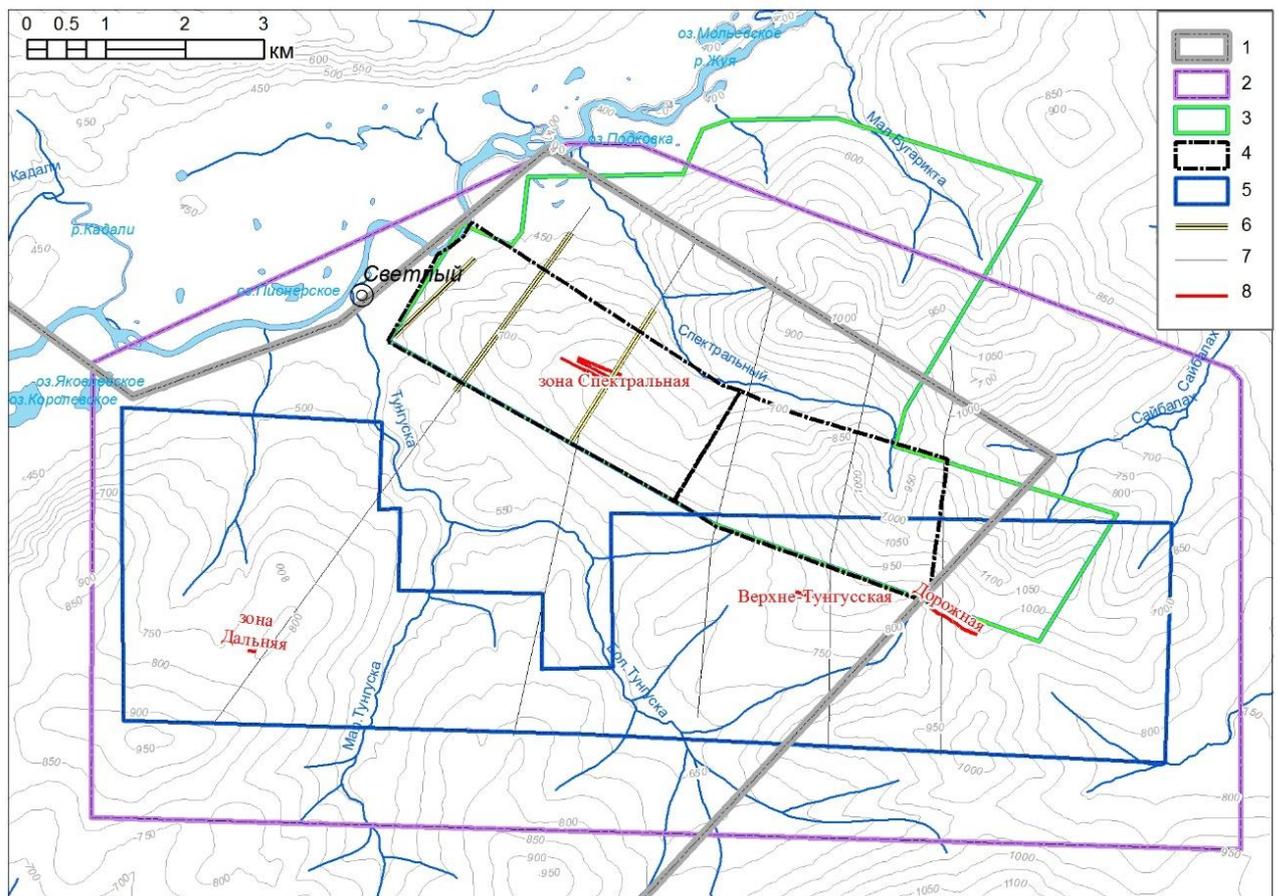


Рисунок 6. Схема изученности рудного поля крупномасштабными геофизическими съемками. [10]  
 Условные обозначения к рисунку 1: 1- Наземная съемка ЕП масштаб 1:50000, гравиразведки, электроразведки СЭП и геохимия по ВОР (ф. Кулаков, 1977); 2 - Аэрогеофизическая съемка масштаб 1:10000 (магнитная и АГС) [ф. Сущинский и Иванов ФГУП «ЦНИГРИ», 2013-2015]; 3 – Наземная съемка ЕП, ДЭП, магниторазведка и геохимическая съемка по ВОР масштаб 1:25 000 [ф. Назарьев, 1974]; 4 – детализационный участок на зоне Спектральная, съемка методами ЕП, ДЭП и магниторазведки масштаб 1: 5000 [ф. Назарьев, 1974]; 5 – Наземная съемка ЕП, магниторазведка и геохимия по ВОР масштаб 1:10000 [ф. Иванов, Агеев и др. ЗАО «СибГК», 2009]; 6 – Опорные геофизические и геохимические профили: электроразведка ЕП, гравиразведка, магниторазведка, литохимическое опробование ВОР и шлиховая съемка масштаб 1:10000 [ф. Сущинский и Иванов ФГУП «ЦНИГРИ», 2013-2015]. 7 – Интервалы электротомографии ВП на опорных профилях. 8 – Выявленные рудные зоны.

## **2.2 Метод естественного электрического поля**

Электроразведка методом ЕП традиционной и хорошо зарекомендовавший себя в условиях Бодайбинского золоторудного района геофизический метод, позволяющий эффективно картировать выходы углеродистых пород на поверхность.

Метод естественного постоянного электрического поля (ЕП) применяется для поисков и разведки сульфидных месторождений, графитовых залежей и пластов антрацита и при геологическом картировании, а также при решении некоторых гидрогеологических задач. Профиля при работах данным методом разбиваются в крест известного или ожидаемого простирания изучаемых объектов.

Данный метод основан на изучении естественных электрических полей локального характера. Происхождение этих полей связано с физико-химическими процессами (окислительно-восстановительные реакции, диффузия), а также с электрокинетическими явлениями в многофазных средах, сопутствующими фильтрации подземных вод через поры горных пород. Фильтрация подземных вод в верхних частях разреза происходит преимущественно по направлению понижения рельефа, вследствие чего потенциал естественного поля в этом направлении обычно убывает. Таким образом, изучение естественного поля является средством поисков сульфидных месторождений, картирования графитизированных пород и исследования динамики подземных вод.

Электроразведка методом ЕП выполнялась градиент установкой с шагом 10 м. Для удаление дрейфа собственных потенциалов неполяризующихся электродов (меднокупоросные керамические электроды) применялась попеременная (реверсивная) перестановка приемных электродов (задний электрод переносился вперед и т.д.). Для измерения разности потенциалов на паре приемных электродов использовался мультиметр (тестер) с входным сопротивлением не менее 1 ГОм.

Потенциал рассчитывался суммированием значений градиента в направлении с юга на север. При этом за счет реверсивной перестановки электродов дрейф собственного потенциала автоматически удалялся.

Абсолютная погрешность расчетного потенциала ЕП составила  $\pm 5$  мВ.

### **Аппаратура.**

При работах с применением метода ЕП используется следующая аппаратура: 2 неполяризующихся электрода (меднокупоросные керамические электроды), катушка с проводом, мультиметр (тестер) с входным сопротивлением не менее 1 ГОм. (рис. 7).



Рисунок 7. неполяризующиеся электроды и мультиметр.

Непосредственной задачей наблюдений в методе естественного поля является измерение разности потенциалов между двумя точками земли. Для этой цели используются измерительная (приемная) установка, состоящая из измерительного прибора, двух заземлителей и проводов, соединяющих заземлители с прибором. В качестве измерительного прибора в методе естественного поля применяется мультиметр. Заземлителями служат неполяризующиеся электроды. Заземлители к прибору присоединяются с помощью легких электроразведочных проводов (ГПСМПО).

Основными требованиями, предъявляемыми к неполяризующимся электродам, являются небольшая и постоянная поляризация электродов. Более существенное значение при этом имеет постоянство поляризации, тогда как абсолютное значение ее играет не столь существенную роль и при правильной системе работ мало влияет на качество наблюдений.

Мы применяем в нашей работе неполяризующиеся электроды А.С. Полякова. Электрод состоит из пористого сосуда конусообразной формы, на который сверху насажен штампованный из пластмассы корпус и пробка с медным электродом. Корпус закреплен на пористом сосуде с помощью менделеевской замазки. Верхняя часть корпуса глазурирована и является изолятором. Нижняя часть не глазурируется и представляет собой пористый сосуд, через который происходит контакт с землей. Медный электрод представляет собой почти полусферическое окончание медного стержня, диаметром около 0,8 см, в котором сверху высверлено отверстие для присоединения вилки. Медный

стержень запрессован в пробке при заводском изготовлении. Между пробкой и корпусом для герметизации вставляется резиновая прокладка.

### **Подготовка электродов к работе и работа с ними.**

В процессе работы и во время хранения поверхность медных стержней может загрязниться или покрыться пленкой окислов, что вызовет большую и неустойчивую поляризацию электродов. В этом случае стержни необходимо прополоскать в разбавленной азотной кислоте, с концентрацией 10-15%, не больше 2-3с. Если прополаскивание не даст необходимого результата, необходимо сменить стержни.

Выбор именно неполяризующихся электродов связан с тем, что обычные металлические шпильки создают собственные электрические поля при контакте металла с вмещающей средой.

Для заливки электродов используется химически чистый кристаллический медный купорос, который растворяется в дистиллированной воде. При отсутствии последней можно использовать прокипяченную дождевую или снеговую воду. Если на кристаллах медного купороса имеются следы загрязнения, его следует промыть дистиллированной водой.

Пористые сосуды, перед тем как их заливать, должны быть замочены в воде или лучше в растворе медного купороса. При работе с насыщенным раствором в каждый сосуд добавляют небольшое количество мелких кристаллов медного купороса.

При заливке сосудов медным купоросом необходимо оставлять незаполненным такой объём камеры, чтобы при погружении в неё пробки со стержнем уровень поднялся до верха камеры. После заливки сосуда в него вставляют пробку и измеряют поляризацию электродов. При этом следят, чтобы поверхность пробки и глазированной части сосуда не была влажной или грязной. Пробки следует ввинчивать до отказа.

Для измерения поляризации электродов их помещают в сильно увлажненную землю или в воду в непосредственной близости друг от друга. Если при этом обнаруживается плохая чувствительность, необходимо электроды поставить в воду или раствор медного купороса.

Перед началом работ все электроды должны быть приведены в рабочее состояние. Выбирается пара с наименьшей поляризацией. Остальные электроды хранятся на базе в не залитом виде. После окончания работ или перед длительным перерывом электроды освобождают от раствора медного купороса, пробки вынимают и укладывают в вату.

Заземления в методе естественного поля проводят путем установки их в верхнем слое почвы. Если почва не рыхлая и не влажная, то в месте заземления почву разрыхляют

и электрод вдавливают в разрыхленный слой. Если при этом почва сухая, лунку предварительно проливают водой.

### Методика полевых работ.

В методе ЕП применяются 2 способа наблюдений.

При работе по способу градиента снимают разности потенциалов между соседними точками профиля. На практике применяется система попеременной (реверсивной) перестановки приемных электродов. Работы по этой системе ведут таким образом, что каждый из электродов поочередно становится то передним, то задним. После наблюдений на данной точке передний электрод остается на месте, а задний при этом передвигается на один интервал. Подсоединив концы линий к электродам, производят наблюдение, после чего задний электрод переносится на два интервала вперед и т. д. При этом надо следить за тем, чтобы при каждом переходе электроды отсоединялись от проводов и провода не менялись местами (рис. 8).

При такой системе работ в каждую измеренную разность потенциалов помимо измеряемой величины выходят разности потенциалов, обусловленные поляризацией электродов и неидентичностью условий заземлений. Разность потенциалов поляризации электродов на двух соседних точках имеет разные знаки, и при вычислении кривой потенциала она автоматически исключается.

Аномалии, выявленные при работе по способу градиента, рекомендуется детализировать по способу потенциала с малыми линиями. Для этого неподвижный электрод устанавливается в непосредственной близости от аномалии или даже на одной из точек в пределах её.

При работе по способу градиента необходимо следить за правильностью каждого наблюдения, поскольку ошибки отдельного измерения отражаются на значении потенциала многих других точек. Признаком грубых ошибок является резкое смещение нормального поля на какой-либо точке профиля. Контроль производится минимум на 10% профиля, на одном участке, примерно 300м. Ошибок допускается не более 5%.

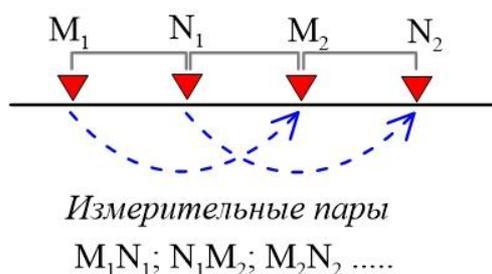


Рисунок 8. Схема установки и перестановки электродов при выполнении электроразведки ЕП методом градиента.

Суть работы способом потенциалов заключается в том, что электродный потенциал всех точек исследуемых профилей измеряется в процессе съемки относительно одной точки, для которой значение электродного потенциала принимается равным нулю (электрод сравнения).

Электрод сравнения N в процессе измерений остается неподвижным, в то время как второй электрод M перемещается вдоль линии профиля. Для перемещения электрода идущий к нему провод подключается к переносной катушке и перемещается по мере удаления относительно неподвижного электрода. При данной съемке используются неполяризующиеся электроды, которые изготовлены из одинакового химически чистого металла и контактируют с землей через раствор соли того же металла (в нашем случае - Cu и CuSO<sub>4</sub>).

Съемка производится с шагом в 10 метров. Контроль измерений осуществляется на каждой 10 точке, для проверки качества и вычисления погрешности измерения. После полевых работ подсчитывается погрешность измерений.

Результаты измерения представлены в виде графиков изменения потенциала вдоль линий профилей. Существенно искажают результаты метода ЕП токи в земле, возбуждаемые промышленными электрическими установками (трансформаторная будка, ЛЭП), расположенными вблизи участка работ. Помехи могут быть также созданы интенсивными естественными электрическими полями, вызванными фильтрацией вод, диффузией водных растворов. Существуют специальные способы борьбы с помехами, в ряде случаев позволяющие снизить их уровень или же учесть их влияние при обработке материалов.

Для оценки точности съемки был пройден контрольный профиль. Абсолютная погрешность расчетного потенциала ЕП составила ±5 мВ.

#### **Ведение документации.**

Основным документом полевых работ является полевой дневник.

Записи в дневнике выполняются по данным формам:

М	$\Delta U, \text{мВ}$	$\Delta U, \text{мВ}$ (контроль)	Примечание
0	-0,5	-0,7	Под ЛЭП
10	-5,5		
20	-8,7		У ручья
.....			
100	-11,9	-12,2	

*Таблица 2. Пример оформления дневника по способу потенциала.*

N/M	gradU	$\Delta U$	Контроль	Примечание
0	-3,2	-3,2		
10	-7,5	-7,5		Карьер
20	2,4	-6,1	2,4	
.....				
100	-3,8			

Таблица 3. Пример оформления дневника по способу градиент.

### Обработка данных.

Для обработки данных, полученных методом естественного поля, не требуется применение специализированного программного обеспечения. Достаточно на основе полученных значений разности потенциалов построить графики естественного поля в программе «Excel» (рис. 9).

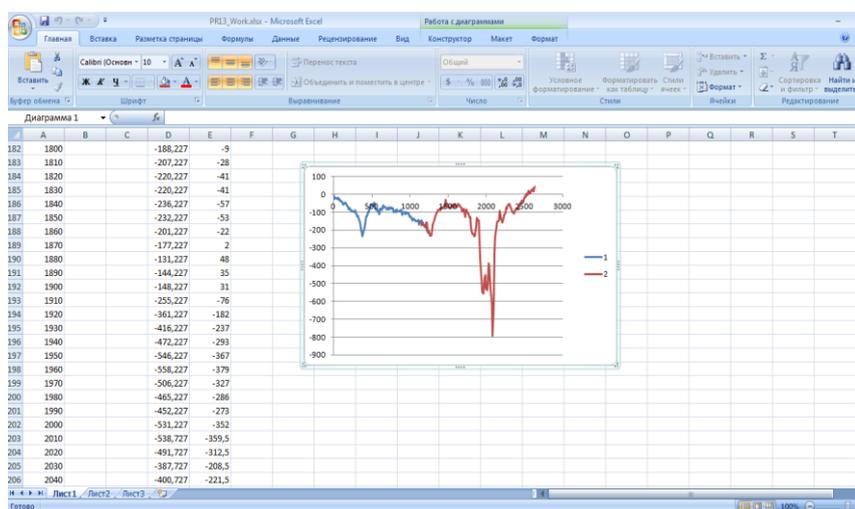


Рисунок 9. Построение графиков ЕП.

При работе методом градиента полученные значения переводятся в потенциал. Потенциал рассчитывался суммированием значений градиента в направлении с юга на север. При этом за счет реверсивной перестановки электродов дрейф собственного потенциала автоматически удалялся.

При переносе неподвижного удаленного электрода на новую точку выполняется приведение всех полученных данных к одному уровню. Все полученные значения разности потенциалов пересчитываются к значению поля в одной точке. Производится увязка значений поля одного интервала, путем опускания и поднятия графиков поля относительно графиков поля другого интервала профиля на значения среднего смещения в точках перекрытия.

Далее строится карта графиков изолиний потенциала естественного поля в программе Surfer.

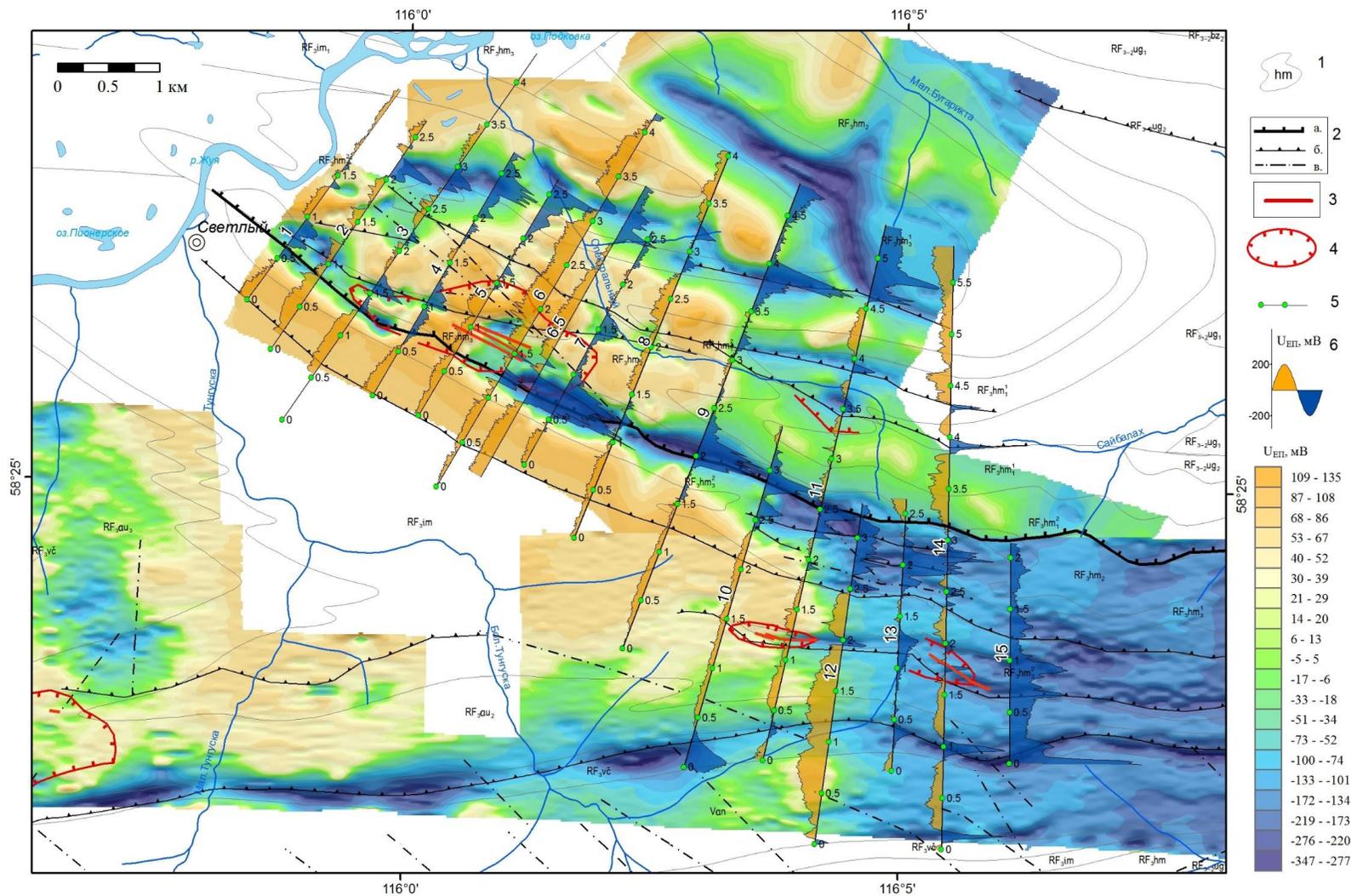


Рисунок 10. Карта графиков и изолиний потенциала естественного электрического поля в пределах Светловского рудного поля.

Условные обозначения: 1- Границы основных литолого-стратиграфические подразделений с индексами; 2 – Основные тектонические нарушения: а – региональные надвиги, б – надвиги второго порядка, в – секущие разрывы, 3 – зоны трещиноватости; 4 - Рудоконтролирующая зона расланцевания с проявлением кварцевой, сульфидной минерализации и железисто-магнезиальной карбонатизации;; 5 – Геофизические профили с пикетажем в км и положением точек зондирования МПП (зелёные точки); 6 – Графики Уеп вдоль опорных профилей.

### 2.3. Метод переходных процессов

Электроразведка МПП почти не использовалась в Бодайбинском районе (единичные случаи применения). Между тем электрические свойства рудовмещающих пород (крайне низкое УЭС) и их структурное положение (частое пологое залегание) предполагают высокую эффективность электроразведки МПП. Метод позволяет выделять и разделять породы с очень низким УЭС. Так рудовмещающие углеродистые породы среднего-верхнего рифея с высокими содержанием углеродистого вещества (>2-3 %) имеют весьма низкое УЭС (от 1 до 100 Ом). Поэтому предполагалось, что зондирования МПП позволит установить структурное положение углеродистых пород на глубине (до глубины 300 м), а также позволит установить степень их углеродистости.

При выполнении зондирований МПП использовалась многофункциональная аппаратура АИЭ-2 производства компании ООО КГЭ «АСТРА» (рис. 11). В качестве источника и приёмника сигнала использовалась квадратная одновитковая петля со стороной 50 м из одножильного медного провода. Сопротивление одной медной жилы по периметру петли (200 м) составляет 0.5 Ом. Площадь приёмной и генераторной петель составила 2500 м<sup>2</sup>.



Рисунок 11. Многофункциональная аппаратура АИЭ-2

В ходе работ петля перемещалась вдоль линии профиля с шагом 50 м, то есть петли раскладывались по профилю без перекрытия, петля к петле (рис. 12). Точки углов петель задавались с помощью GPS-навигатора с ориентировкой на уже разбитую на местности сеть профилей.

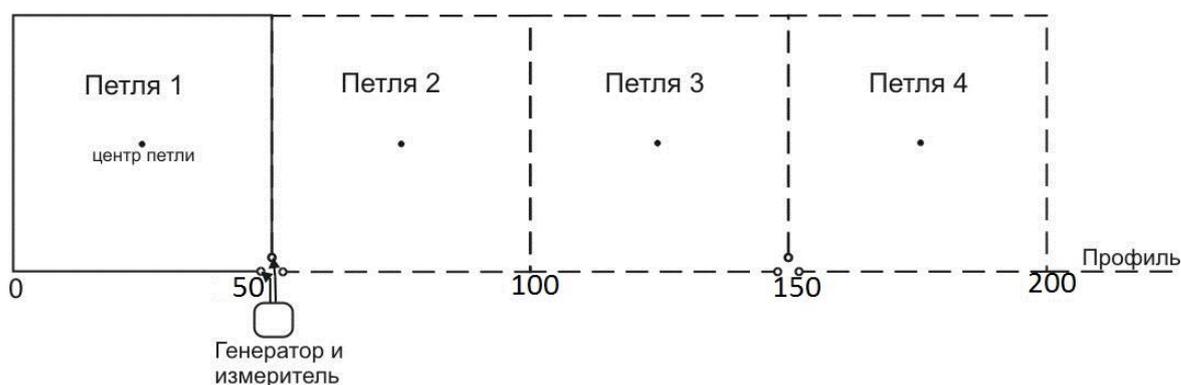


Рисунок 12. Расположение петель на профиле МПП.

Аппаратура размещалась в рюкзаке оператора, который переходил от точки к точке через 100 м (рис. 13). Таким образом, на одной стоянке последовательно производились измерения на двух петлях. Петля подсоединялась к аппаратуре посредством подводящего кабеля длиной около 5 м. Подводящий кабель позволяет расположить аппаратуру на некотором расстоянии от провода петли и, тем самым, минимизировать влияние на результат измерения металлических деталей рюкзака.



Рисунок 13. Аппаратура во время работы.

Измерения на каждой точке проводились последовательно в двух разных динамических диапазонах (1 и 10 В). Использование двух режимов объясняется длительным характером спада переходного сигнала на участке и его большим динамическим диапазоном. В ходе дальнейшей обработки данные измерений в двух диапазонах (1 и 10 В) состыковывались в единую кривую переходного сигнала, что позволило более детально изучить кривую спада в широком временном интервале от 0,1 мкс до 40 мс.

В ходе измерений, длительность импульса тока и паузы составила 40 мс, значение тока в излучающей петле варьировалось от 5 до 10 А в зависимости от уровня помех, который также был определяющим при выборе числа накоплений (от 150 – до 300).

Электромагнитные помехи были наиболее интенсивны вблизи линий электропередач в западной участка вблизи поселка и вблизи старательской базы в устье ручья Спектральный.

С целью оценки погрешности измерения переходного сигнала были проведены контрольные наблюдения, в объеме 10 % от общего количества рядовых наблюдений (70 точек). Средняя относительная погрешность была рассчитана по формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \% \quad (1)$$

и её значение составило 4.1 %, что не превышает нормативного уровня в 10 %, определенного действующей Инструкцией по электроразведке.

Построение геоэлектрических разрезов осуществлялось в программе TEMIMAGE с помощью подбора для каждой точке зондирования горизонтальной слоистой модели среды (рис. 14). Хотя реальная структура геологической среды в районе месторождения сугубо трехмерная, одномерная модель в масштабе точки зондирования является допустимым приближением по двум причинам. Во-первых, на северном фланге рудного поля залегание пород пологое (верхнее крыло лежащей складки). Во-вторых, вихревые токи, возбуждаемые токовой петлей локализуются в основном в проводящих углеродистых породах без большого латерального распространения (эффект фокусировки). Геоэлектрические разрезы, построенные путем синтеза отдельных одномерных моделей довольно адекватно отражают геологические структуры и позволяют судить о глубине и направлении падения хорошо проводящих углеродистых пород.

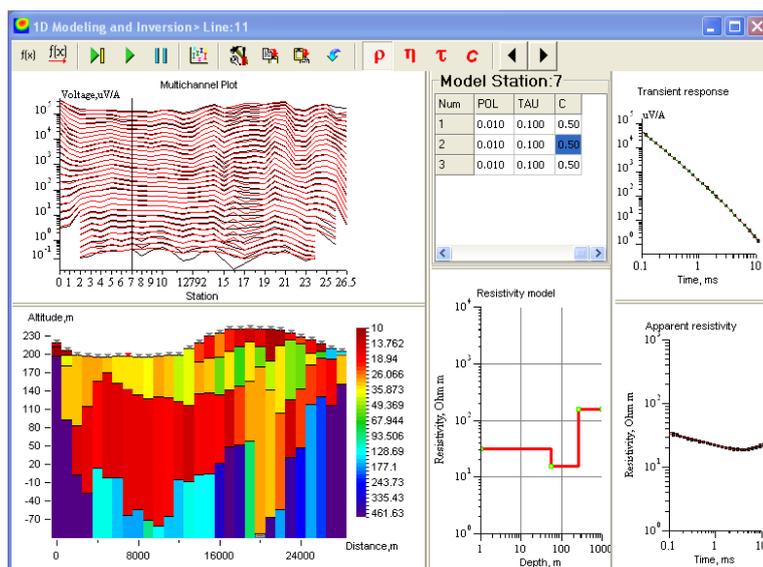


Рисунок 14. Рабочее окно программы «TEMIMAGE».

## 2. Результаты геофизических работ.

На основе проведенных работ была построена карта изолиний  $U_{еп}$ , а так же по каждому профилю были построены графики потенциала естественного электрического поля и геоэлектрические разрезы (УЭС), построенные по результатам зондирований МПП и сопоставлены между собой. В качестве примера привожу профили 1-5 и профиль 6 с элементами геологической интерпретации.

На рисунке 10 представлена карта изолиний  $U_{еп}$ , построенная в результате обработки оцифрованных ретроматериалов [8,2] и карта графиков  $U_{еп}$ , вдоль опорных профилей по результатам съемки 2019 года. Из рисунка видно, что данные съемки 2019 года хорошо сбиваются с данными предшествующих съемок.

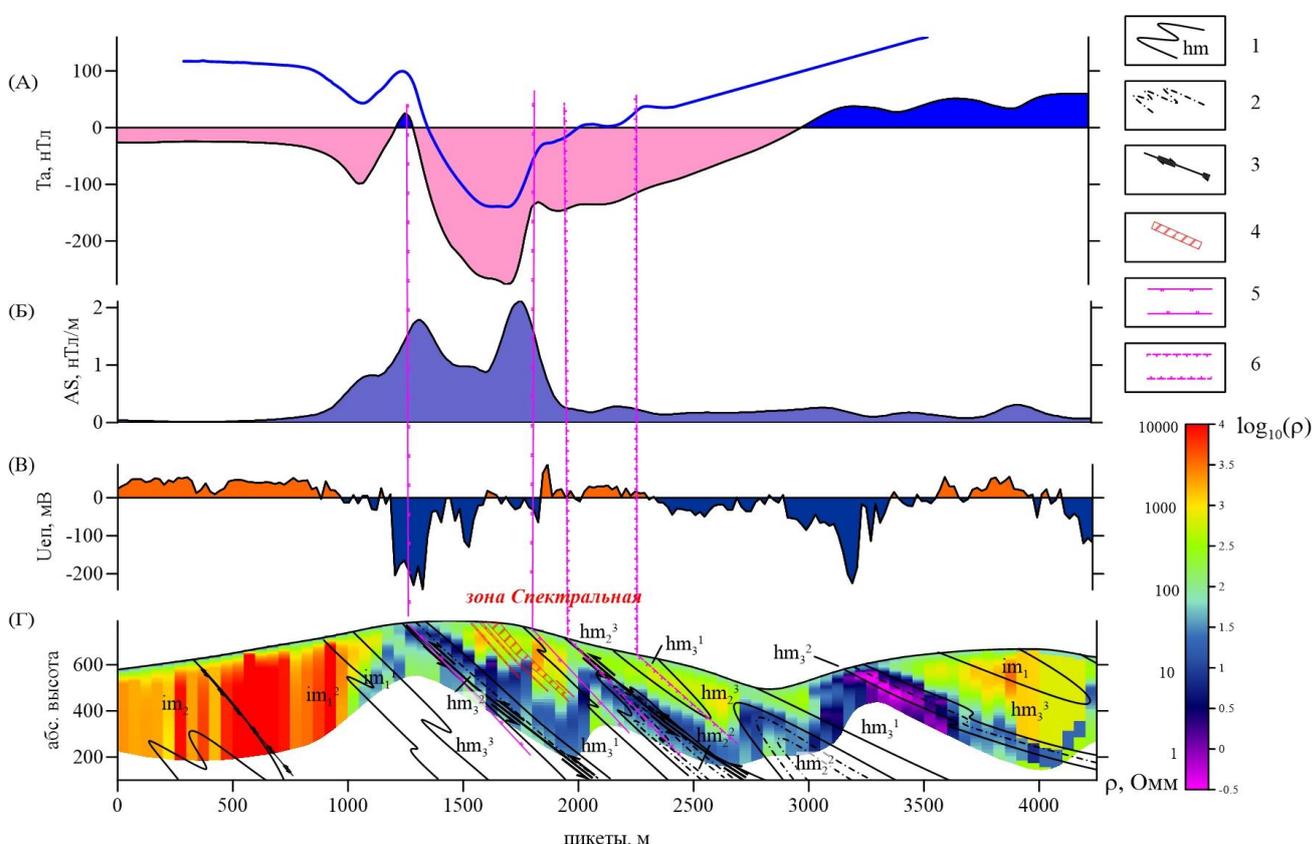


Рисунок 15. Результаты геофизических работ по профилю 6 с элементами их геологической интерпретации.

(А) – График аномального магнитного поля по результатам аэромагнитной съемки БПЛА (синяя линия) [Паршин, 2019] и аэромагнитной съемки 2013 года [ф.Тарасов, 2015]; (Б) – Полный градиент аномального магнитного поля (аналитический сигнал); (В) – График потенциала естественного электрического поля; (Г) – Геоэлектрический разрез (УЭС), построенный по результатам зондирований МПП с элементами геологической интерпретации.

Условные обозначения к рисунку 15: 1 – Границы между основными литолого-стратиграфическим подразделениями; 2 – Маркирующие горизонты проводящих углеродистых сланцев; 3- Надвиговые нарушения; 4 – известные рудные зоны (тела); 5 – рудоконтролирующая зона рассланцевания и наложенных гидротермально-метасоматических изменений (сульфидизация, серицитизация, Fe-Mg карбонатизация, кварцевое прожилкование); 6 – Участки перспективные по структурным признакам для выявления золоторудной минерализации.

На рисунке 15 представлены результаты геофизических наблюдений в районе зоны Спектральная (ПР.6). На геоэлектрическом разрезе хорошо видны осложняющие складки центральной части антиклинали. Рудная зона Спектральная приурочена к блоку основного надвига в подвернутом крыле антиклинали. Севернее рудной зоны Спектральная на разрезе отчетливо видна осложняющая складка, предположительно, приуроченная к еще одному надвигу. Вероятнее всего, в блоке этого осложняющего надвига есть еще одна минерализованная зона. Подобную структуру имеет и разрез по профилю 5. Далее на запад структура разрезов резко меняется. Проводящая зона маркирующая главный надвиг проявляется гораздо слабее. Такая структура геоэлектрических разрезов, вероятно, обусловлена серией осложняющих надвигов в антиклинали. Скорее всего, между профилями 4 и 5 находится сбросовое нарушение.

Также что на разрезах 1-5 в северных частях профилей ярко проявляется горизонт углеродистых сланцев  $hm_3^2$  (рис. 16). Характерной особенностью этого горизонта в этом месте является его высокая насыщенность вкрапленностью пирротина (>5%). При интенсивном окислении пирротин дает сульфатные корки и ржавые подтеки. Зона Верхне-Тунгусская и зона Дорожная приурочена к проводящей зоне, которая сложена верхней подсвитой хомолхинской свиты.

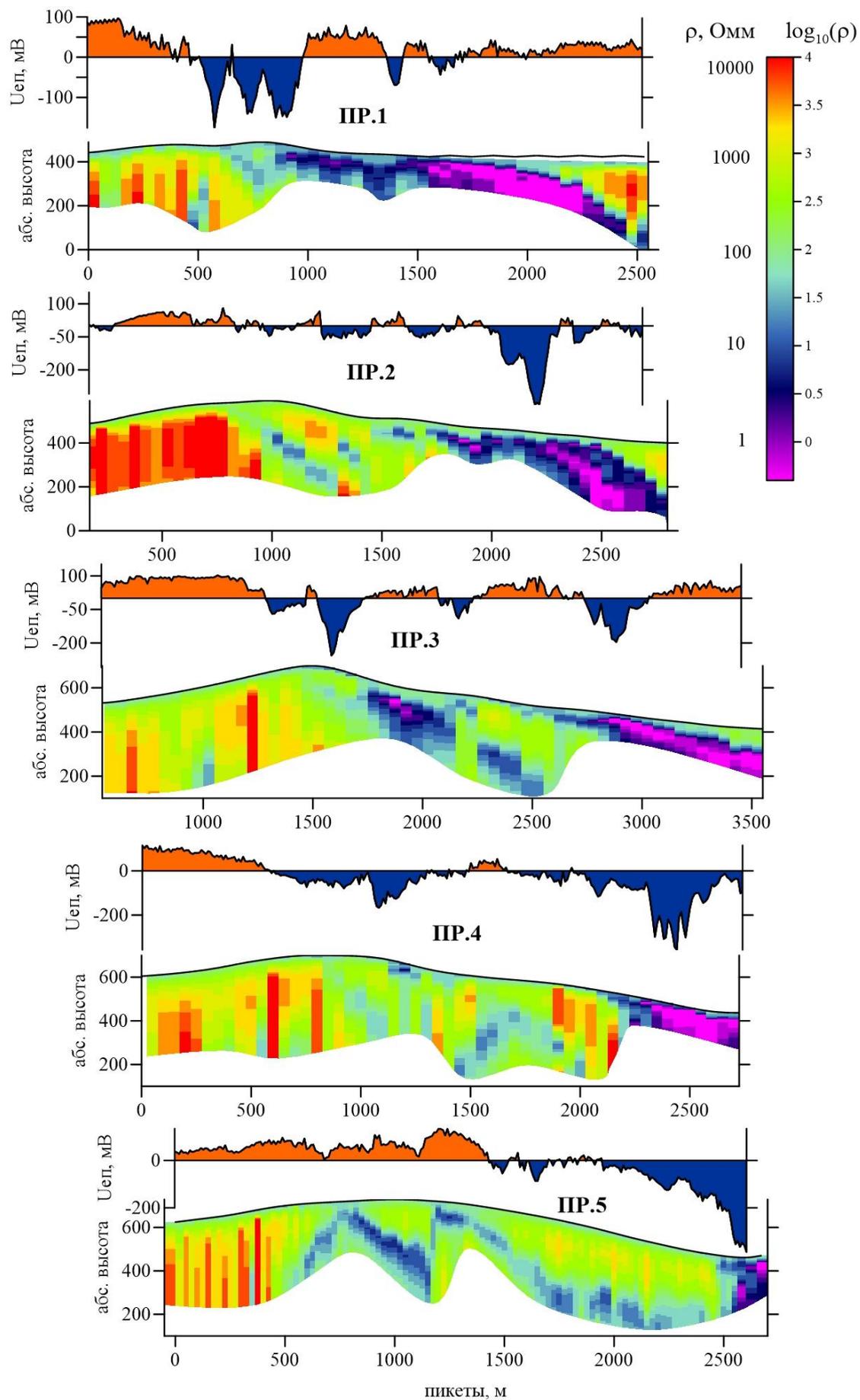


Рисунок 16. Результаты геофизических работ на западном фланге рудной зоны Спектральная (профили 1-5).

### 3. Моделирование метода естественного поля в лаборатории

При обработке данных по ЕП был замечен падающий тренд у данных снятых по схеме градиент, при этом в данных снятых по схеме потенциал по тому же профилю не наблюдалось такой зависимости (рис. 17,18). После обработки всех данных подобный тренд прослеживался на всех графиках, снятых по схеме градиент (рис. 19). Хотелось бы заметить, что с подобным трендом сталкивались и раньше, и другие исследователи, но ответ на этот вопрос так и не был найден.

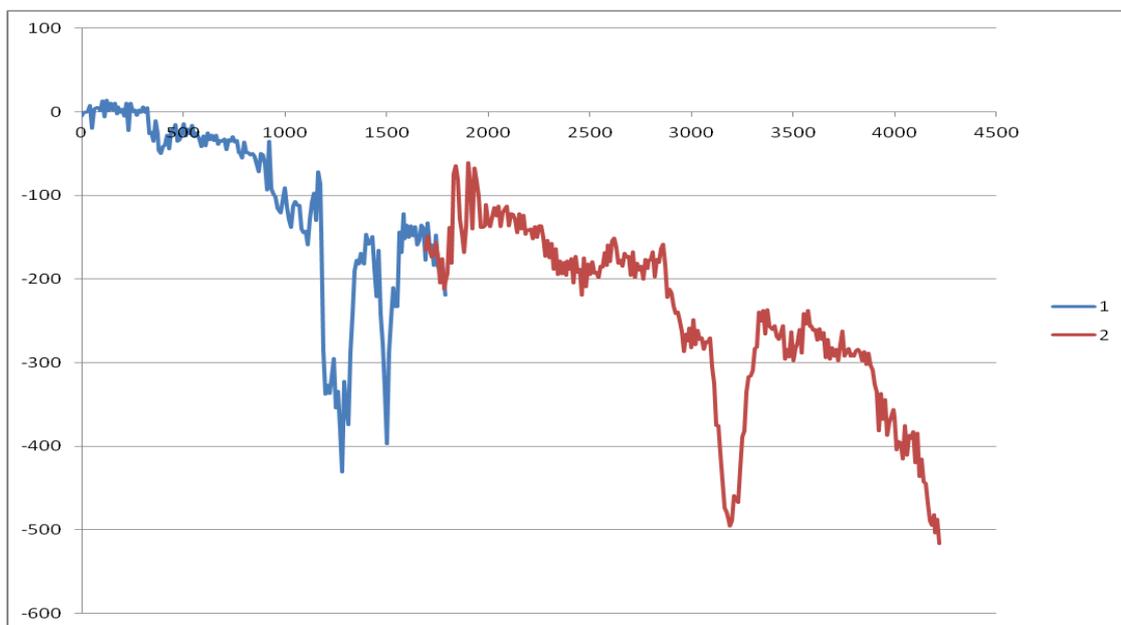


Рисунок 17. График 6 профиля, снятый по схеме градиент.

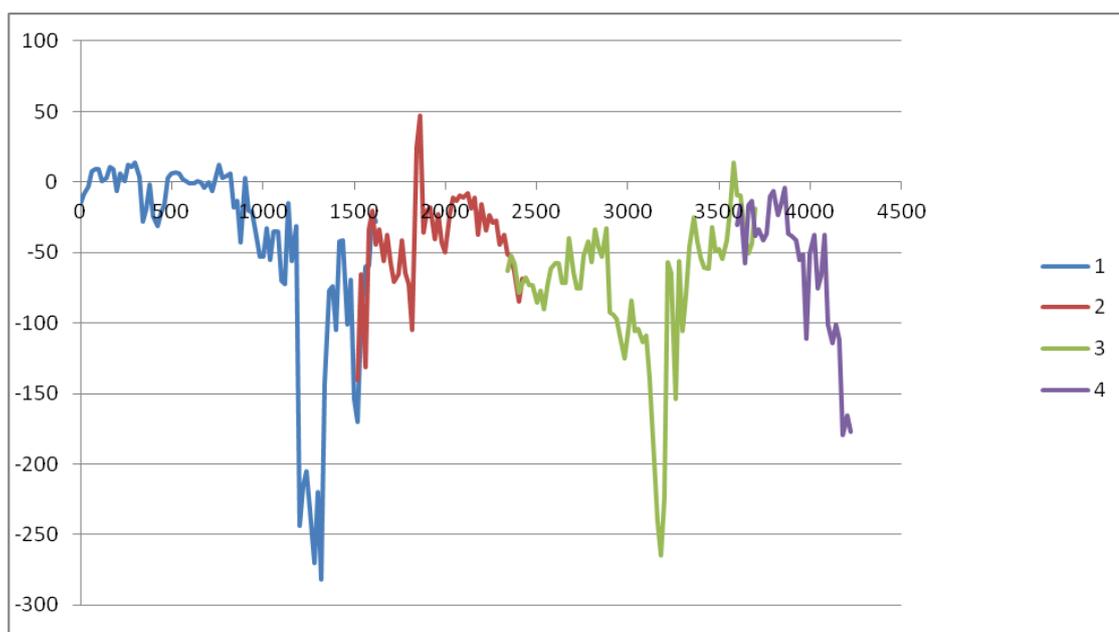


Рисунок 18. График 6 профиля, снятый по схеме потенциал.

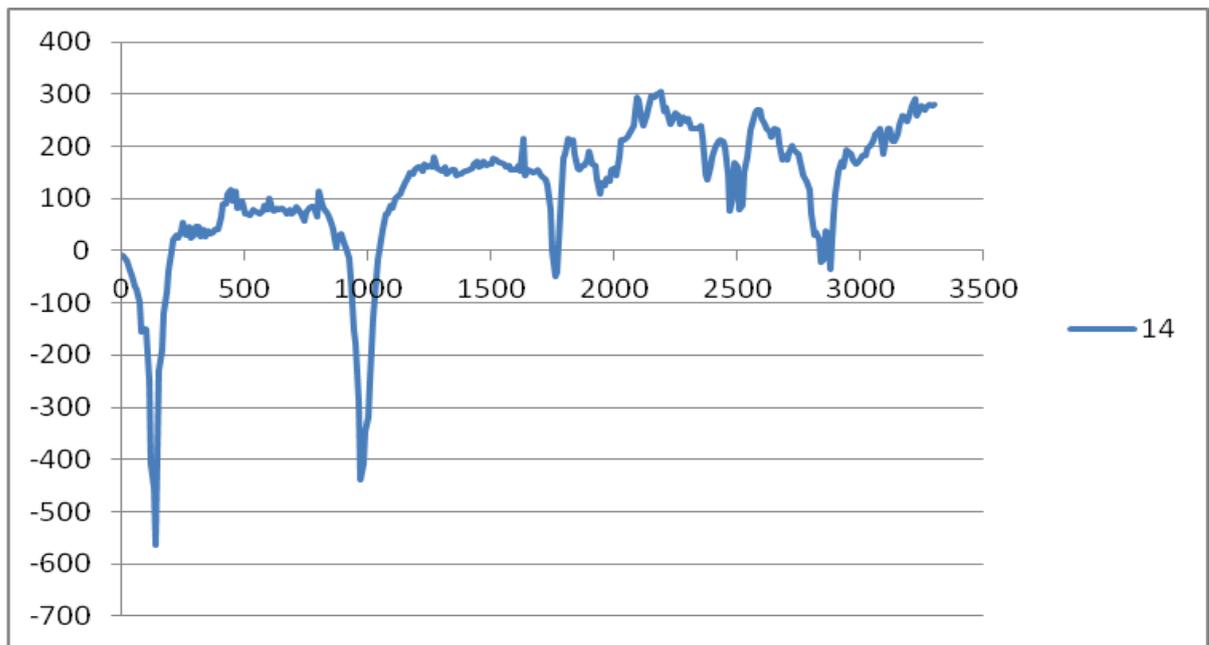


Рисунок 19. График 14 профиля, снятый по схеме градиент.

В полевых условиях для оценки точности был пройден контрольный профиль, по которому была сделана одна съёмка способом потенциала и 6 съёмок способом градиента (рис. 20). Полученные результаты не внесли ясности в ответе на данный вопрос.

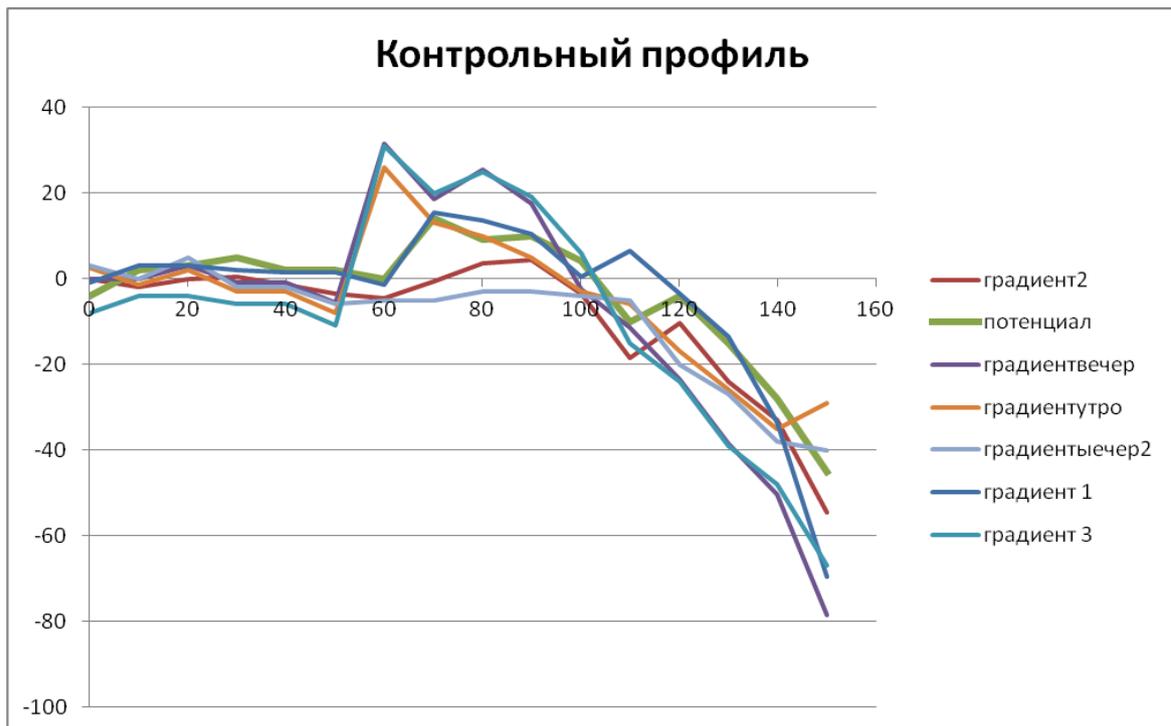


Рисунок 20. Контрольный профиль.

При подготовке к написанию выпускной квалификационной работы было принято решение попробовать разобраться с данным вопросом. Поэтому было решено сделать моделирование в лаборатории, для этого используется следующая аппаратура: мультиметр, медные электроды, заполненные раствором медного купороса, медно-цинковые модели, аквариум (рис. 21, 22, 23).



Рисунок 21. Медно-цинковые модели.



Рисунок 22. Медно-купоросные электроды для моделирования.

Аквариум заполняется водой, подвешивается медно-цинковая модель. Затем измеряется глубина модели, и начинаются измерения двумя способами градиентом и потенциалом. Измерения проводились через каждые 2 см, по 5 раз каждым способом над каждой моделью. Измерения производятся по той же методике, что описана в полевых работах. То есть по способу градиента снимают разности потенциалов между соседними точками профиля. Работа по этой системе производилась таким образом, что каждый из электродов поочередно становится то передним, то задним. После наблюдений на данной точке передний электрод остается на месте, а задний при этом передвигается на один интервал. Подсоединив концы линий к электродам, производят наблюдение, после чего

задний электрод переносится на два интервала вперед и т. д. При этом на каждом переходе электроды отсоединялись от проводов и провода не менялись местами.

По способу потенциала электрод сравнения N в процессе измерений остается неподвижным, в то время как второй электрод M перемещается вдоль линии профиля.

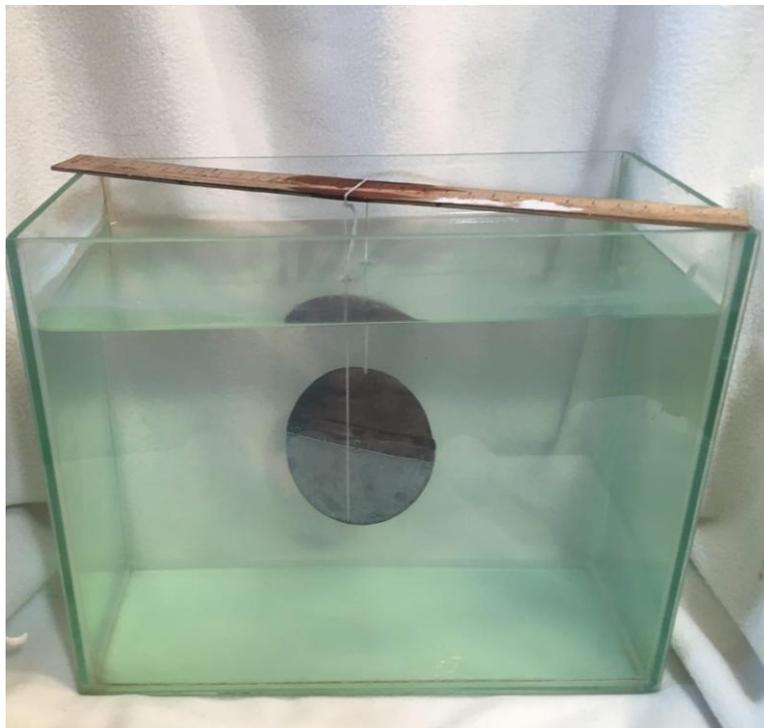


Рисунок 23. Аквариум для моделирования с моделью.

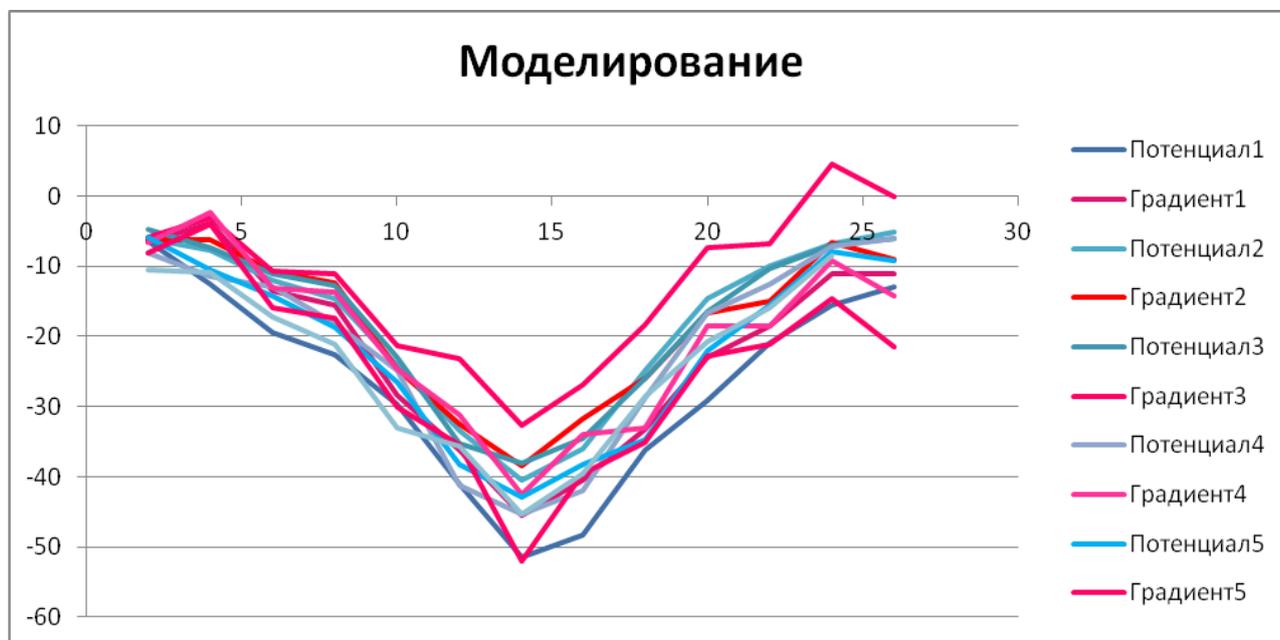


Рисунок 24. Графики моделирования над моделью с глубиной 6 см.

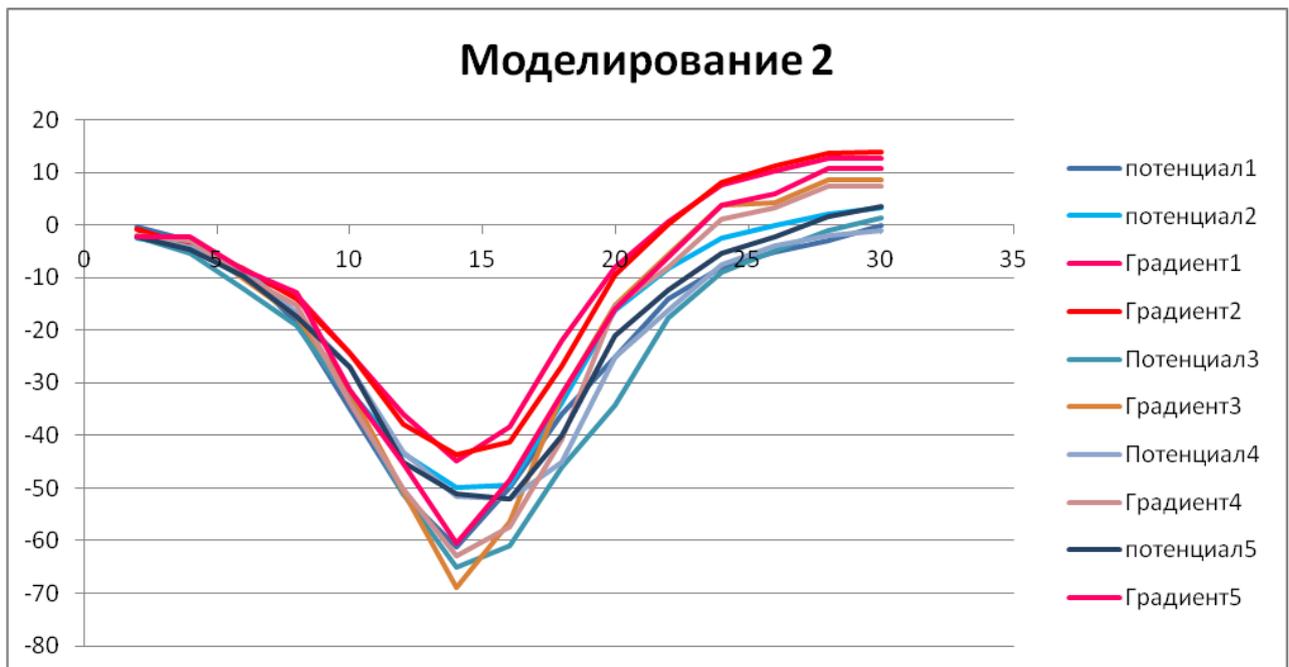


Рисунок 25. Графики моделирования над моделью с глубиной 5 см.

По результатам моделирования мы видим, что графики градиента начинаются одних и тех же примерно значений, что и потенциала, а к концу профиля значение градиента растёт, но особо явных отличий не прослеживается. Вероятнее всего, для того чтобы разобраться в этом вопросе нужно моделирование с использованием более длинного профиля наблюдений.

## **Заключение**

В данной работе была рассмотрена геологическая характеристика района работ, подробно рассмотрены частные стратиграфические подразделения Бодайбинского рудного поля.

В результате полевых работ, проведенных летом 2019 года, были получены данные по ЕП и МПП по 15 профилям. Была освоена методика проведения геофизических работ в условиях сильного перепада высот рельефа.

В результате выполнения работы было сделано следующее:

1. Выполнен сбор, обработка и геологическая интерпретация полевых материалов.
2. Выполнено моделирование двух способов в методе естественного электрического поля.

Все данные были обработаны при помощи специализированных программ и представлены в виде графиков, карт и изображений. Помимо этого, данные полученные по одному профилю разными методами были сопоставлены между собой. Далее была проведена интерпретация всех полученных результатов.

После чего было проведено моделирование с соблюдением методик проведения работ.

Результаты данной работы не являются окончательными. К сожалению, конкретных ответов моделирование не дало, но работа над этим вопросом не прекращается и планируется дальнейшее моделирование для решения данного вопроса.

Хотелось бы в дальнейшем провести крупномасштабное моделирование двух способов метода естественного электрического поля и получить ответ на поставленный вопрос.

## Список литературы

### *Опубликованная*

1. Иванов А. И., Золото Байкало-Патома: (геология, оруденение, перспективы) - Москва: ЦНИИГРИ, 2014. - 215 с.
2. Иванов А.И., Агеев Ю.Л. Геологическое строение и золотоносность Светловского рудного поля (Бодайбинский рудный район) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. №2. Выпуск 35, 2009 г.
3. Иванов А.И., Лифшиц В.И., Перевалов О.В. и др. Докембрий Патомского нагорья// М.: Недра, 1995. – 352 стр.
4. Инструкция по электроразведке. Наземная электроразведка, Недра, Ленинград, 1984 г., 534 стр.
5. Бискэ Ю.С., Геология России. Санкт-Петербург, 2019 г.

### *Фондовая*

6. Иванов А.И, Отчет о результатах работ по объекту: «Поисково-оценочные работы на рудное золото на Светловском рудном поле (Иркутская область)», ЗАО «СибГк» Иркутск, 2009 г.
7. Бобров В.А., Отчет по результатам поисковых работ на рудное золото на участках Светловской рудоносной площади Маракано-Тунгусского рудного узла в 1988-1991 гг., ГПП «Иркутскгеология», Иркутск, 1996 г.
8. Назарьев В.А. и др. Отчет о результатах поисковых работ в пределах Светлинского рудного поля (участок Спектральный) за 1972-1973 гг., Иркутск 1974 г.
9. Сущинский Л.С. и др. Окончательный отчет о по государственному контракту № ЕК-04-34/09 от 03.06.2013 г. по объекту № 1-25/13: «Поисковые работы на больше объёмное золотое оруденение, локализованное в углеродисто-терригенных комплексах в пределах Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций», ФГУП «ЦНИГРИ», Москва, 2015 г
10. Тарасов А.В. и Мухамадиев Б.Н. Информационный отчёт о результатах геофизических работ в пределах Светловского рудного поля с целью локализации золотоносных минерализованных зон на глубине и определения мест заложения поисковых скважин (Бодайбинский район, Иркутская область)», Санкт-Петербург, 2019 г.