

Министерство образования и науки РФ
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт Недропользования
Технологии геологической разведки

Допускаю к защите
А.В.Мироманов

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Первые результаты применения технологии электромагнитного зондирования
и вызванной поляризации (ЭМЗВП) на археологических и рудных объектах
Приольхонья

пояснительная записка
к дипломной работе
01.007.00.00-ПЗ

Разработал ст.гр. РФ-09-1 _____	<u>К.Ю. Ткачева</u>
Руководитель _____	<u>Ю.А.Давыденко</u>
Консультант _____	<u>Е.А. Хамидуллина</u>
Консультант _____	<u>В.В. Шульга</u>
Нормоконтроль _____	<u>Ю.А.Давыденко</u>

Иркутск 2014 г.

УТВЕРЖДАЮ
Декан _____ Б.Л.Тальгамер

ЗАДАНИЕ

на дипломную работу студентке Ткачевой К.Ю. группы РФ-09

1. Тема работы: Первые результаты применения технологии электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗВП) на археологических и рудных объектах Приольхонья.

Утверждена приказом по университету от 19.05.2014 г. № 1009

2. Срок представления студентом законченного проекта в ГЭК:

3. Исходные данные: данные ЭМЗВП, данные магнитной съемки, предоставленные С.В.Снопковым; данные вторичной магнитной съемки по Приморскому хребту.

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов): Введение; Общие сведения о районе работ; Геолого-геофизическая изученность района; Специальная глава; Методика интерпретации геофизических наблюдений; БЖД; Заключение

5. Перечень графического материала (с указанием обязательных чертежей)
Физическая карта Приольхонья; Обзорная геологическая карта района работ

Слайд 1: Титульный лист

Слайд 2: Введение

Слайд 3: Железновосстановительные горы

Слайд 4: Географическая карта района работ

Слайд 5: Геологическая карта

Слайд 6: Геофизическая изученность (результаты магнитометрии)

Слайд 7: Опытные-методические работы по поиску горнов

Слайд 8: Аппаратура

Слайд 9: Пример заземления приемной линии

Слайд 10: Опытные-методические работы на Приморском

Слайд 11: Процесс регистрации

Слайд 12: Получение результата при инверсии кривой зондирования ЭМЗВП

Слайд 13: Временные разрезы

Слайд 14: Результаты наложения магнитометрии

Слайд 15: Результат автоматической инверсии в Mars 1D

Слайд 16: Формула Коул-Коул

Слайд 17: Площадные глубинные срезы

Слайд 18: Интерпретация данных ЭМЗВП на Приморском

Слайд 19: Интерпретация данных ЭМЗВП на Приморском

Слайд 20: Заключение

6. Дополнительные задания и указания: _____

7. Консультанты по дипломной работе с указанием относящихся к ним разделов работы:

Руководитель дипломной работы: _____ Ю.А. Давыденко

Консультант по геологической части: _____ В.В. Шульга

Консультант по БЖД: _____ Е.А. Хамидуллина

Календарный план

Разделы диплома	Месяцы, недели																			
	март					апрель					май					июнь				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Введение																				
Общие сведения о районе работ																				
Геолого-геофизическая изученность района работ																				
Специальная глава																				
Методика интерпретации результатов геофизических наблюдений																				
БЖД																				
Заключение																				
Список литературы																				
Защита диплома																				X

Дата выдачи задания: 17 марта 2014г.

Руководитель проекта: _____ Ю.А. Давыденко

Заведующий кафедрой: _____ А.В.Мироманов

Задание принял к исполнению студент: _____ К.Ю.Ткачева

План выполнен: _____

Руководитель проекта: Ю.А.Давыденко " _____ " _____ 2014 г.

Содержание

Календарный план.....	3
Список литературы	3
Дата выдачи задания: 17_марта_2014г.....	3
Введение.....	5
Глава 1	7
Общие сведения о районе работ	7
Глава 2	8
Геолого-геофизическая изученность района работ	8
2.1. Геологическая изученность	8
2.1.1. Краткий геологический очерк Приольхонья.....	8
2.1.2. Стратиграфия	9
2.1.3. Тектоника.....	11
2.1.4. Полезные ископаемые региона.....	11
2.2. Геофизическая изученность	16
Глава 4	20
Специальная глава.....	20
4.1.Опытно-методические работы технологии ЭМЗВП по поиску.....	20
археологических памятников-горнов	20
4.2.Опытно-методические работы на Приморском.....	31
Глава 5	35
Методика интерпретации результатов	35
геофизических наблюдений	35
5.1. Интерпретация данных ЭМЗВП с целью поисков металлургических горнов	36
5.2. Интерпретация данных ЭМЗВП с целью поиска магнетитовых жил	45
на участке «Приморский».....	45
Заключение	50
Список литературы	51

Введение

Актуальность дипломной работы заключается в исследовании малоглубинности метода ЭМЗВП. В качестве эталонного объекта был выбран археологический памятник «Курминское озеро-2», выделенный по данным детальной магнитной съемки [7].

1-2 июня 2013 г. были проведены опытно-методические работы по технологии ЭМЗВП, главной целью которых являлось тестирование возможности использования аппаратно-программного электроразведочного комплекса «Марс» для решения задач инженерной геофизики и выполнения археологических исследований [8].

Результаты проведенных ранее археологических раскопок и магниторазведочных исследований свидетельствуют о том, что в Приольхонье на рубеже эр использовались ямные сырודутные железо-восстановительные горны. Радиоуглеродное датирование показало, что деятельность этих металлургических центров относится к концу I тыс. до н. э. - началу I тыс. н. э. Рабочая камера таких горнов сооружалась в плотном суглинке, на краю ямы либо канавы, глубина которых достигала 1,5 метров. Рабочая камера имела воронкообразную форму (похожую на перевернутую наклонную треугольную пирамиду, с закругленными ребрами). Верхнее отверстие рабочей камеры горна выходило на дневную поверхность, а нижнее - в пригорную яму, на глубине 1,0 - 1,4 м. Нижнее отверстие горна закрывалось куполообразным, каменно-кирпичным сооружением. Фрагменты такого сооружения были обнаружены во время раскопок у нижнего отверстия рабочей камеры одного из горнов металлургического центра Курминское озеро - 1. Фрагменты глиняной обмазки с отверстиями для сопел (диаметр 3-4 см) говорят о том, что использовался не только естественный, но и принудительный поддув воздуха (рис. 1).



Рис. 1. Железновосстановительные горны, участок “Курминское озеро - 1”.

Так же были выполнены опытно-методические работы на участке «Приморский».

- Задачи: 1) поиски металлической магнитной руды;
2) апробация методики ЭМЗВП.

Глава 1

Общие сведения о районе работ

Тестовые работы проводились в малонаселенном районе в 280 км от г. Иркутска. Археологический памятник «Курминское озеро - 2» находится в 1,8 км к северу от д. Курма, вблизи дороги «Курма - Зама». (Прил.1)

Между северо-западным побережьем острова Ольхон и материком лежит пролив с названием Малое Море. С точки зрения геологии, Малое море - молодая рифтовая долина. Возраст пролива около миллиона лет. Молодость Малого моря подтверждается очень малым количеством рыхлых отложений на дне пролива.

Малое море начинается с условной границы, проходящей по линии, соединяющей материковый мыс Зама и северную оконечность Ольхона, мыс Хобой. Иногда это место называют Большими Ольхонскими Воротами. Здесь Малое Море достигает наибольшей ширины - около 18 км.

Постепенно сужаясь, пролив тянется на юго-запад почти на 70 километров до залива Мухор, который иногда тоже считают частью Малого Моря. В этом месте Малое Море смыкается с водами пролива Ольхонские Ворота, омывающего юго-западную оконечность Ольхона и связывающего Малое море с Большим Байкалом. Здесь же, между дельтой реки Сармы и полуостровом Кобыля Голова, Малое Море достигает своей наименьшей ширины, около 4 километров.

Площадь Малого Моря около тысячи квадратных километров, глубины пролива достигают 200 метров, наибольшие приходятся на его самую широкую часть. В проливе, не считая Ольхона и двух островков в заливе Мухор, 12 живописных скальных островов и галечниковый островок Хынык вблизи устья Сармы. На островах пролива во множестве обитают чайки, а в 2006 году появились и бакланы, исчезнувшие в середине прошлого века.

Климат на Малом Море несколько более мягкий, чем на Большом Байкале. Здесь больше солнечных дней и выпадает меньше осадков. Береговая линия очень живописная, образующая удобные бухты и заливы.

Глава 2

Геолого-геофизическая изученность района работ

2.1. Геологическая изученность

2.1.1. Краткий геологический очерк Приольхонья

Приольхонье относится к складчатому обрамлению Сибирской платформы и сложено глубоко метаморфизованными породами ольхонской серии, которые в совокупности с залегающими в них разновозрастными магматическими образованиями получили название ольхонского кристаллического комплекса.

Геохронологическая позиция ольхонского комплекса до сих пор определяется неоднозначно - существуют представления об архейском, раннепротерозойском и палеозойском времени его формирования (Прил.2).

В конце XIX столетия И.Д.Черский и В.А. Обручев отнесли кристаллические комплексы Приольхонья к наиболее древним кристаллическим образованиям региона, составляя их лаврентьевской формацией архея Канады. Эта точка была общепринятой в первой половине XX столетия (Е.В.Павловский, А.С.Кульчицкий, Л.И. Салоп).

В 70-х годах XX века появились представления о вероятной принадлежности, как в целом серии (Н.А.Божко, Л.И.Демина, Л.Н.Куклей), так и отдельных ее частей (А.С.Ескин и др.) к раннему протерозою. Сторонники этой точки зрения для обоснования своих представлений кроме общегеологических данных привлекали результаты радиохронологических исследований. При этом учитывались наиболее древние изотопные датировки (1940-1140 млн. лет), предположительно отражающие время метаморфизма толщи. Молодые значения возраста ольхонских пород связывались с наложенными процессами метаморфизма и гранитизации в ходе тектономагматической активизации.

В конце 70-х годов XX столетия А.С. Ескин с соавторами в составе ольхонской толщи выделили три разновозрастные серии: архейскую ольхонскую, раннепротерозойскую ангинскую и рифейскую цаган-забинскую. По их мнению, в процессе формирования современной структуры Приольхонья намечается 4 основных этапа тектоно-магматических и метаморфических

преобразований: архейский, раннепротерозойский, позднепротерозойский и палеозойский.

Широкий интервал и прерывистость распределения значений изотопных датировок пород Приольхонья (от 306 до 1940 млн. лет) позволяет объединить их в три дискретные группы, отражающие основные этапы развития района: карельский (1600-2000 млн. лет), байкальский (1100-1400 млн. лет) и каледонский (300-650 млн. лет). В общем, они согласуются с главными циклами тектогенеза, выделенными еще А.С. Ескиным и др.

В соответствии с этим наиболее вероятным возрастом процессов осадочных накопления ольхонской серии представляется поздний архей или ранний протерозой. Проявления наиболее древних (архейских) метаморфических процессов подтверждается новыми данными о возрасте пород Приольхонья, полученными Е.И. Мишиной и др. при изучении гранито-гнейсов Sm-Nd методом. Ими определен модельный возраст для гранито-гнейсов и гранитов - 2,7-млрд. лет, что достаточно определённо говорит об архейском возрасте протолита гнейсово-купольной зоны.

Возраст первого этапа метаморфизма предполагается раннепротерозойский, что коррелируется с возрастом гранулитов мыса Калтыгей по данным Ф.А. Летникова и др. Этим геологическим событиям отвечает первая группа датировок (карельская).

Молодые датировки пород Приольхонья второй и третьей групп отражают процессы магматизма и сопровождающие их изменения древних пород ольхонской серии в байкальскую и каледонскую эпохи тектономагматической активизации.

2.1.2. Стратиграфия

Стратифицированные образования Приольхонья традиционно относят к древним (AR-PR₁) образованиям ольхонской серии. Стратиграфическое расчленение серии даётся неоднозначно разными авторами - общепринятой схемы стратиграфии и до сих пор не существует.

Е.В.Павловский и А.С.Ескин установили преобладание в ольхонской серии первично осадочных пород и в ее разрезе выделили четыре свиты (снизу): хобойская, хужирская, уланнурская и ташкайская.

На данном участке работ обнажаются толщи Б,В (по Е.Н.Смолянскому) (Хужирская свита).

Хужирская свита вскрыта в пределах прибрежной части Малого моря вдоль Приморского разлома узкими полосами шириной 500-1000 м, длиной до 21 км. В ее составе выделено две подсвиты (снизу вверх): эренхейская и шаманская. Главенствующую роль в них играют породы явно осадочного происхождения - мраморы, на втором месте по количеству стоят кварциты и ничтожное значение имеют разнообразные пироксенсодержащие породы и пироксенсодержащие кристаллические сланцы. Мощность эренхейской подсвиты определяется в 400-450 м, а шаманской варьирует в значительных пределах; от 0 до 250-300 м. Общая мощность свиты достигает 750 м.

Л.Н. Куклей детально закартировал центральную часть Приольхонья на основе дешифрирования крупномасштабных АФС и составил сводную геологическую карту масштаба 1:100000, а по отдельным участкам - карты масштаба 1:10000-1:40000. В разрезе ольхонской серии им выделено шесть свит (снизу): нижняя, кучелгинская, тажеранская, мухорская, уланнурская и ангинская.

Кучелгинская свита представлена частым переслаиванием доломитовых, доломит-кальцитовых мраморов, биотитовых, гранат-биотитовых, пироксен-амфиболовых, гранат-амфиболовых, гранат-биотит-силлиманитовых гнейсов, кварцитов, амфиболитов, пироксеновых кристаллосланцев. Контакт ее с нижней свитой тектонический. Видимая мощность свиты около 200 м. По составу она сопоставима с эренхейской подсвитой хужирской свиты Е.В. Павловского.

Тажеранская свита протягивается в северо-восточном направлении через всю площадь Приольхонского плато. Породы свиты отличаются своеобразием состава и могут быть отнесены к кремнисто-карбонатной формации. Она

сложена пироксеновыми кристаллосланцами, кальцитовыми и доломитовыми мраморами, кварцитами с редкими прослоями амфибол-биотитовых гнейсов и амфиболитов. В пачках кварцитов и мраморов отмечается повышенное содержание графита. Для всех пород характерен высокотемпературный метаморфизм в условиях гранулитовой и амфиболитовой фаций. В составе свиты встречаются многочисленные тела габбро-пироксенитов и эклогитоподобных пород. Мощность свиты около 380 м. По составу она сопоставима с шаманской подсвитой хужирской свиты Е.В. Павловского.

2.1.3. Тектоника

Вопрос о тектоническом строении Приольхонья является наиболее сложной и дискуссионной проблемой геологии района, что связано со спецификой геотектонической позиции региона, неоднозначным определением региональной структуры ольхонского комплекса, своеобразием внутрирегиональных складчатых и разломных форм, неясной этапностью тектонического развития.

Геотектоническая позиция Приольхонья определяется его близостью к краевому шву Сибирской платформы и гетерогенной Байкальской горной складчатой области, а также принадлежностью к Байкальской рифтовой зоне.

Такая позиция региона обусловила неоднократное проявление здесь разновозрастных геологических процессов: седиментогенеза, складкообразования, магматизма и метаморфизма в архее и протерозое, тектоно-магматической активизации в палеозое и мезозое, рифтогенеза в кайнозое. В результате сформировалась сложная геологическая структура, трудно поддающаяся расшифровке. Все это обусловило возникновение различных точек зрения на формирование структуры региона, часто диаметрально противоположных.

2.1.4. Полезные ископаемые региона

В Приольхонье отсутствуют богатые месторождения, но имеются многочисленные проявления и мелкие месторождения разнообразных полезных ископаемых. Из-за малых размеров многие из них недостаточно изучены,

отсутствие детальных данных об их геологическом строении затрудняет минерагеническую оценку региона.

Из широкого круга полезных ископаемых региона наибольших интерес представляют проявления рудных и нерудных полезных ископаемых метаморфогенного и магматогенного происхождения в связи с процессами ультраметаморфизма, гранитизации и мигматизации [10].

Металлические полезные ископаемые этой группы в районе представлены небольшими по масштабам месторождениями и рудопроявлениями железа марганца, полиметаллов, благородных и редких металлов, а неметаллические проявлениями графита, антофиллит-асбеста, керамических пегматитов.

Железо. По данным Б.А. Артемьева в пределах Ольхонского края известно порядка 40 бурожелезняковых, железо-марганцевых и марганцевых рудопроявлений. На базе этих месторождений ещё в XVIII веке в районе работал Ланинский завод на р. Анге по переплавке кучелгинских железных руд.

Но первые выплавки металла в Приольхонье, как показали археологические раскопки, производились кустарным способом местными жителями в начале нашей эры. В пади Барун-Хал, на острове Ольхон, а также на левом берегу реки Харги в делювии обнаружено большое количество обломков темно-коричневых шлаков.

Наиболее детально изучены Борсойское месторождение бурых железняков и их рудопроявления в урочищах Тумырбаш, Нарын-Елга, Шиниты-Хада и др.

Находки бурых железняков в Западном Прибайкалье отмечены также И.Д.Черским вблизи устья р. Сармы, Курмы и Онгурены, В.А. Обручевым на острове Ольхон в районе Шаманской пещеры. Эти данные показывают, что на западном побережье Байкала, между устьями р. Б. Голоустной и Онгурены, т. е. на протяжении приблизительно 165 км, имеются многочисленные небольшие месторождения бурого железняка с запасами до десятков тысяч тонн каждое.

Описанные выше проявления железа в Приольхонье в основном тяготеют к Тажеранской металлогенической зоне по схеме В.С. Малых. Образование гематитовых, мартитовых и лимонитовых руд связывается Б.А. Артемьевым с

инфильтрацией гидротермальных растворов непосредственно в коренные породы, зоны дробления по разломам, карстовые полости и в остаточную кору выветривания.

Кроме бурожелезняковых руд, в Приольхонье отмечаются и другие типы проявлений железа. Так, на склоне Приморского хребта встречены гривы сильно ожелезненных амфиболитов, имеющих повышенное содержание магнетита. Ожелезненные линзы в амфиболитах напоминают железистые кварциты. Такие же кварциты были встречены в правом борту долины реки Кучелги. Однако промышленная оценка этих рудопроявлений еще не дана.

Неметаллические полезные ископаемые представлены как химическим (мрамор), агрохимическим (фосфорит), огнеупорным (кварц) и горнотехническим (антофиллит-асбест, тальк, графит и др.) сырьем, абразивными материалами (корунд, гранат), поделочными камнями (амазонит), так и разнообразными строительными материалами (граниты, пегматиты, диориты, габбро, пироксениты, мраморы, сланцы кровельные, обломочные породы). Промышленное значение имеют проявления графита и керамического сырья.

Из горнотехнических материалов в Приольхонье известны проявления небольшие месторождения графита и антофиллит-асбеста.

Графит широко развит в мраморах, кварцитах и кристаллосланцах ольхонской серии. Он наблюдается в виде мелких частиц и вкраплений, содержание от долей до 4—8 % в обогащенных графитом мраморах.

Чаще всего скопления графита наблюдаются в породах Чернорудской структурной зоны, прилегающей к Приморскому хребту, где графитоносные известняки прослеживаются к СВ от нижнего течения р. Таловки (ул. Хужертуй), пересекая р. Ангу несколько выше п. Еланцы, направляясь далее к ул. Мухор- Булык и далее по СЗ склонам долины р. Кучулги и залива Мухор.

Антофиллит-асбест. С процессами метаморфизма ультраосновных пород района связаны проявления редкого и важного в практическом отношении антофиллит-асбеста, отличающегося от других разновидностей асбест,

наибольшей кислотоупорностью и щелочностойкостью. Они обнаружены Е.Н. Смолянским вблизи контакта Бирхинского габбро-диоритового массива в телах ультраосновных пород, по левому борту р. Анга около поселка Еланцы и в районе залива Бегул, а также по правому борту реки Кучелги, в районе пролива Ольхонские ворота, в устье р. Анги и по левому ее борту в районе деревни Тонты. Залежи антофиллита представлены жилами мощностью до 20 см или скоплениями неправильной формы размерами в несколько метров или десятков метров.

Керамические пегматиты. В качестве источников керамического сырья в Приольхонье уже на протяжении нескольких столетий используются широко развитые здесь гранитные пегматиты. Размеры пегматитовых жил достигают десятки и сотни метров по простиранию при мощности до 70 м. В районе выявлено около 10000 пегматитовых тел и практически каждое может быть использовано для получения керамического, стекольного, поделочного или ювелирного материала.

Промышленный интерес представляют наиболее крупные жилы, некоторые из них разведаны в южной части Приольхонья.

Так, в районе пос. Еланцы находится Нарын-Кунтинское месторождение керамических пегматитов, которое приурочено к западному эндоконтакту Бирхинского габбро-диоритового массива. Оно служит сырьевой базой Хайтинского фарфорового завода. Жилы этого месторождения ценятся, прежде всего, размером блоков калиевого полевого шпата и кварца - до 1 м. Из второстепенных минералов часто встречаются кристаллы биотита размером до 12-15 см.

В керамических пегматитах Приольхонья отмечены также проявления драгоценных, поделочных и технических материалов (амазонит, иризирующий плагиоклаз, красный гранат, черный и полихромный турмалин, адуляр, корунд, циркон, розовый, бесцветный и черный кварц), имеющие из-за малых размеров в основном минералогический интерес.

В абразивном производстве могут использоваться как осадочные (кварцевые пески) и метаморфические (кварциты) породы, так и содержащиеся в них минералы (гранат).

Гранат встречается в амфиболовых и пироксеновых кристаллосланцах, в биотитовых гнейсах и габброидах. Зерна альмандина размером до 5-7 мм распределены без видимой закономерности, обычно сильно трещиноватые. Содержание граната невелико, зерна часто корродированные вследствие метаморфического происхождения пород.

На левом борту пади Барун-Хал расположен крупный выход эклогитоподобных пород с кристаллами граната до 5 см в поперечнике. Эти гранаты не представляют интереса для ювелирного дела, но могут быть использованы как абразивное сырье.

Выветривание гранатсодержащих пород по берегам залива Мухор и проливов Малого моря и Ольхонские ворота с последующей волноприбойной обработкой их обломков приводит к образованию в бухтах гранатового песка - естественного абразивного материала. Так, на небольших песчаных пляжах залива Мухор между выступами скальных пород встречается обильный гранатовый песок, который окрашивает пляжи в розовый цвет.

В качестве строительных материалов могут использоваться, практически все породы Приольхонья, хотя разведка и разработка их затруднена, так как район очень удален от промышленных центров и слабо изучен.

2.2. Геофизическая изученность

В конце I тыс. до н.э. в Предбайкалье широко распространяются изделия из железа, большинство из которых, вероятно, изготавливались на месте. Об этом свидетельствуют многочисленные следы металлургического производства, зафиксированные в разных частях региона [9].

Одним из районов, в котором действовали сразу несколько сыродутных горнов по производству железа, находился на западном берегу пролива Малое море озера Байкал, к юго-западу от реки Курма. К настоящему времени здесь обнаружено более 20 участков локального скопления металлургических шлаков. На двух участках Курминское озеро 1 и Курма 28 – проведены раскопки, позволившие установить основные элементы технологии получения железа.

Методом, позволяющим провести предварительную реконструкцию металлургических центров (до проведения раскопок), является магниторазведка. Этот метод основан на измерении напряженности постоянного магнитного поля Земли и выявлении локальных аномалий, связанных с объектами, обладающими магнитными свойствами, контрастно отличающимися от свойств вмещающей среды. Благоприятной предпосылкой использования данного метода при изучении металлургических центров в Приольхонье является высокая магнитная восприимчивость продуктов металлургического производства, по сравнению с горными породами, в которых сооружались горны.

Таблица 1

Магнитная восприимчивость образцов

Тип образцов	Магнитная восприимчивость ($\times 10^{-3}$ ед. СИ)	
	диапазон	средн. значение
1. Шлаки	0.38 - 70	5.5
2. Обожженный суглинок	0.13 - 58	7.3
3. Вмещающие горные породы	0 – 0.7	0.25

Из табл.1 видно, что вмещающие осадочные породы (суглинки с дресвой и щебнем) практически немагнитны – 0.25×10^{-3} ед. СИ, а средняя магнитная восприимчивость шлаков и обожженных суглинков составляет $5 - 7 \times 10^{-3}$ ед. СИ. Таким образом, обожженные и оплавленные стенки рабочей камеры горна, а также локальные скопления кусков шлаков и обожженных суглинков должны создавать в магнитном поле локальные положительные аномалии.

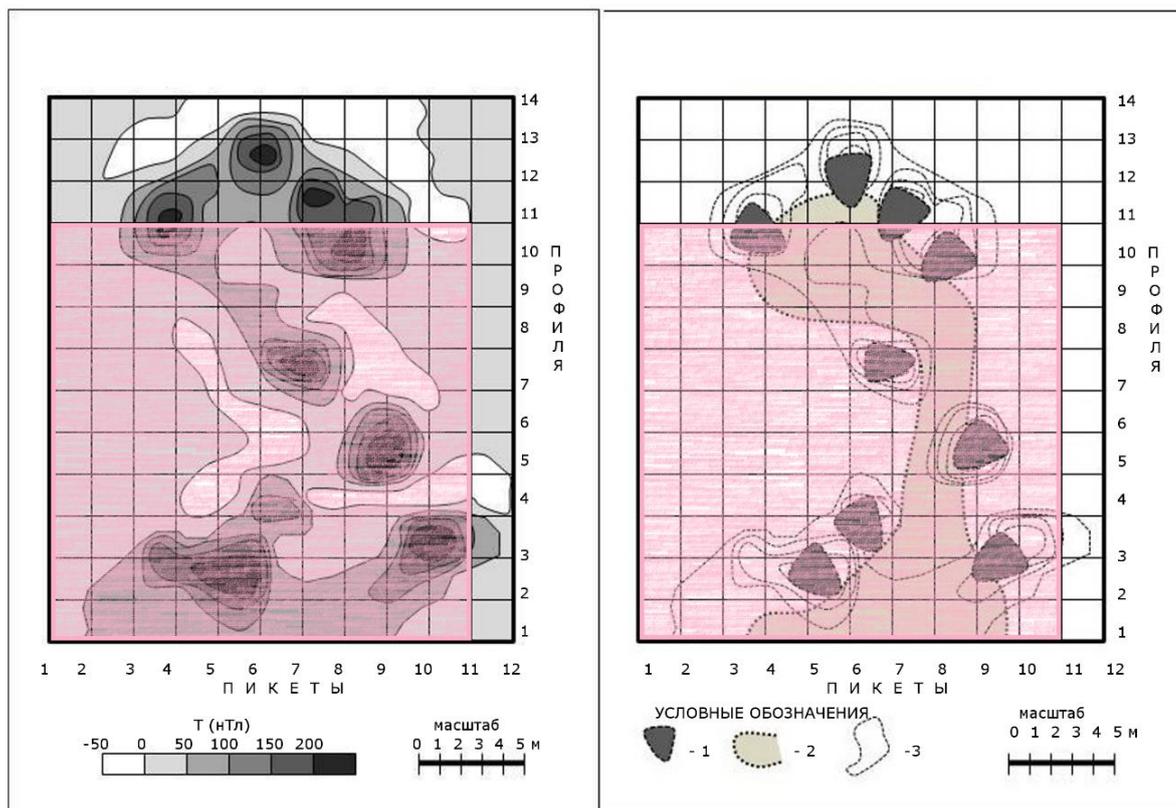
Первый опыт применения магниторазведки при изучении металлургических центров был получен при проведении исследований в распадке Барун-Хал и на участке Курминское озеро I. (Харинский, Снопков 2004; Кожевников, Харинский 2005)

Необходимость привлечения геофизических методов, при изучении участка Курминское озеро I, была обусловлена большой площадью участка, на поверхности которого были обнаружены кусочки металлургических шлаков и обожженной глины, и проблематичностью точной локализации археологического памятника. Проведенное измерение магнитного поля на данном участке позволило более точно определить расположение металлургического центра и спланировать проведение раскопок. Анализ результатов магниторазведочных и раскопочных работ показал, что металлургический центр отражается в магнитном поле повышенными значениями, а локальные аномалии поля, размером до 2 м в поперечнике, соответствуют местам расположения горнов.[7]

Проведенные в 2002-2012 гг. магнитометрические съемки с помощью геофизического протонного магнитометра ММП-203 на четырех участках позволили установить местоположение горнов и провести реконструкцию металлургических центров. Съемка проводилась по сети 1x1 м и 0.5x0.5 м при высоте датчика 0.5-1 м. Изучаемые участки имеют площадь от 200 до 1500 кв.м.

Археологический памятник Курминское озеро 2. Участок находится в 1,8 км к северу от д.Курма, вблизи дороги «Курма - Зама». В центре участка находится ряд слабовыраженных изометричных и вытянутых вдоль склона

углублений. По всей территории участка (более 1500 м²) обнаруживаются кусочки шлаков. Проведенная съемка на площадке 700 м² выявила, что магнитное поле участка имеет сложную структуру. (Рис.2а) В рамках аномальной зоны выделяется 9 локальных аномалий (с интенсивностью более 200 нТл), интерпретируемые как металлургические горны.



А

Б

Рис. 2. Результаты магнитометрических съемок (а) и схема предполагаемого строения металлургического центра (б) на участке “Курминское озеро – 2”. Розовым цветом отображен отснятый в ходе отчетных работ участок.

Интерпретация результатов: металлургический центр включает две пригорновые ямы, соединенные канавой, вдоль края которых расположено 9 горнов: 3 – на краю одной ямы, 4 – по периметру другой, 2 – вдоль канавы. (Рис.1б)

Таким образом, опыт использования магниторазведочных данных при исследованиях древних металлургических железопроизводящих центров в Приольхонье показал, что геофизические данные позволяют:

1. оконтурить металлургический центр и более точно выбрать площадь для проведения раскопок;
2. реконструировать устройство металлургического центра: выделить расположение горнов, пригорновых ям и канав.

Глава 4
Специальная глава
4.1. Опытные-методические работы технологии ЭМЗВП по поиску
археологических памятников-горнов

Опытные работы методом ЭМЗВП проводились 1-2 июня 2013 г.

Погодные условия были благоприятными, присутствовал небольшой ветер со скоростью 2-4 м/с, днем воздух прогревался до 20-25 градусов выше нуля, ночью температура опускалась приблизительно до 5 градусов Цельсия.

Заземление электродов производилось в первые 10-20 см грунта. Грунт на площади различный, со значительной примесью кусков шлаков и горных пород, обожженных суглинков. Сопротивление заземления приемных электродов было высоким, около 30 кОм. Измерения проводились установкой срединного градиента с юго-западной стороны от силовой линии АВ (рис.3).

Силовая линия АВ была протянута поперек проселочной дороги с юга-востока на северо-запад. Восточное заземление В было в болотистой местности, западное А в сухой, на склоне холма. При сопротивлении заземления АВ в 200 Ом. Поверхность участка съемки имеет незначительный западный уклон, который не оказывает заметного влияния на результаты зондирований.

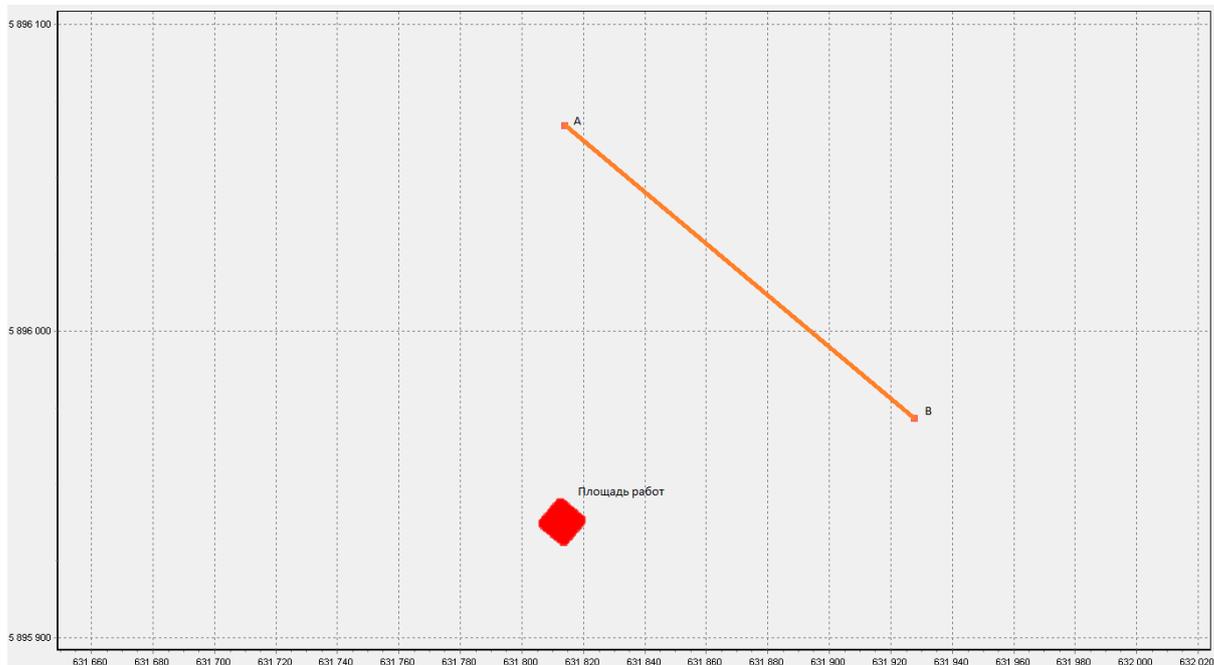


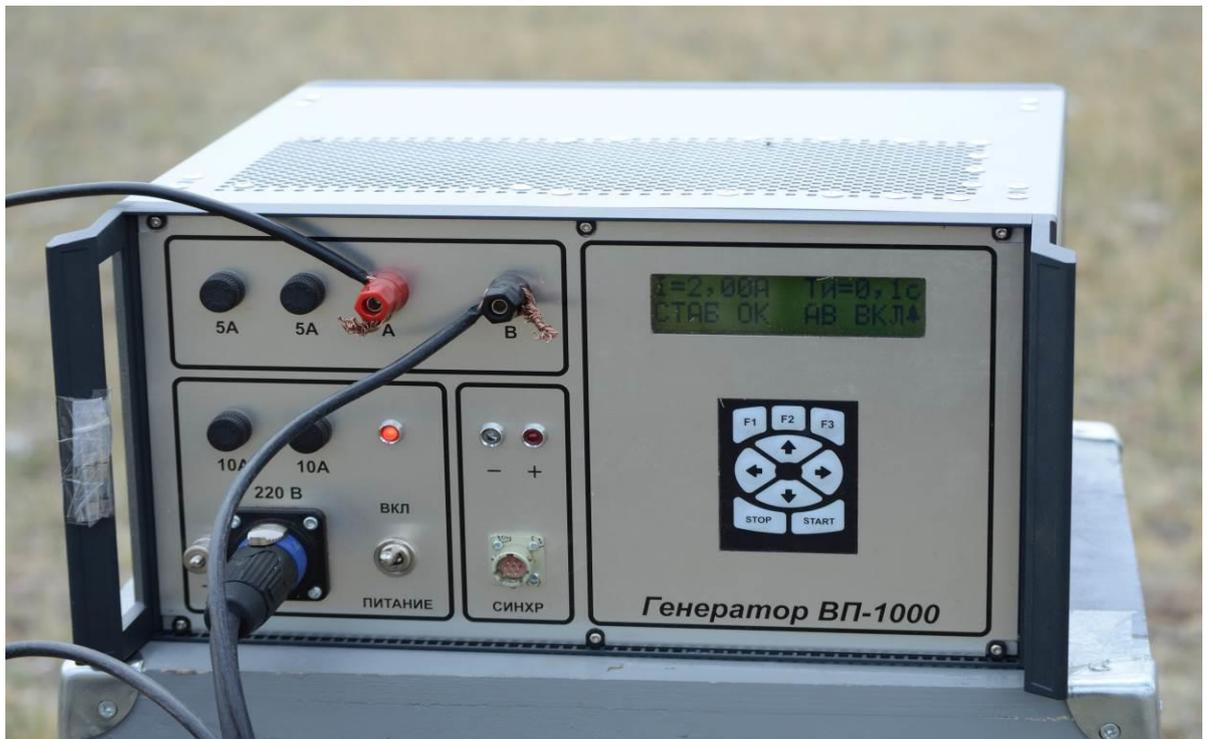
Рис.3. Общая схема расположения генераторной и измерительных линий.

Красным ромбом отмечена площадь работ.

Силовая установка состояла из агрегата бензинового 2кВт, коммутатора ВП-1000, линии АВ длиной 200м, состоящей из провода геофизического ГПМП и заземлений, выполненных с помощью 10 стальных электродов. Ток во время измерений составлял 2 А. Длина токового импульса 0.125 с., токовой паузы 0.125 с.



(a)



(б)



(в)



(г)

Рис.4. Силовая установка: агрегат бензиновый 2кВт (а), коммутатор ВП-1000 (а, б), заземления линии АВ: (в) – на склоне холма, (г) – в болотистой местности.

Используемая приемная аппаратура состояла из 8-ми канального измерительного модуля с АЦП.

Характеристики измерительного модуля:

- 4-е независимых высокоомных входа (более 100 мОм) позволяют эффективно работать даже в условиях плохого заземления (более 100 кОм)
- 18-ти разрядное АЦП последовательного приближения с частотой дискретизации в 100 кГц обеспечивает высокую разрешающую способность в сочетании с приемлемым для работы заземленной линией радиодинамическим диапазоном
- USB – интерфейс обеспечивает непрерывный сбор информации. В течении 3-х минут (типичное время записи) сохраняется более 60 Мб первичных данных.

Основные технические характеристики аппаратуры и оборудования АПЭК «МАРС», прошедших полевые испытания на опытных работах:

Таблица 2

Регистратор разности потенциалов электроразведочный со следующими основными техническими характеристиками:

Количество каналов	4
Все каналы гальванически развязаны	
Компенсация напряжения смещения потенциалов электродов:	+/- 1В
Входное сопротивление не менее	10 МОм
Коэффициенты усиления	0.5, 1, 2, 4, ..., 128
Частота дискретизации	Не менее 100 кГц
Разрядность АЦП	Не менее 18 бит
Максимальный входной сигнал	8 Вольт
Питание аккумулятор	12В (от 10В до 15В)
Потребляемый ток (приблизительно)	не более 0.3 А
Управление через порт USB	

Таблица 3

Коммутатор с токовой стабилизацией ВП-1000м:

Амплитуда импульсов стабилизированного тока	0.01 -4 А
Максимальное выходное напряжение	800 В
Максимальная выходная мощность	1 кВт
Длительности импульсов тока в режиме импульс (+) - пауза - импульс (-) - пауза	0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8.
Частоты выходного тока в режиме импульс - пауза	4; 2; 1; 0.5; 0.25; 0.125; 0.0625 Гц.
Стабильность частоты	5*10 ⁻³
Погрешность задания амплитуды тока	не более 2 %
Питание	200-245 В, 50 Гц

Таблица 4

Устройство GPS синхронизации для возможности работы измерителей,
удаленных от генератора:

Длительности импульсов тока в режиме импульс (+) – пауза – импульс (-) – пауза	0.125, 0.25, 05, 1, 2, 4, 8.
Частоты выходного тока в режиме импульс – пауза	4,88; 2,44; 1,22; 0,61; 0,3; 0,16; 0,08 Гц.
Погрешность следования импульсов	700 нс;
Напряжение питания антенны	3.3V;
Диапазон рабочих температур	-5... +40 град Цельсия;
Выходное напряжение синхроимпульсов	30 мВ;
Напряжение питания	9 - 14 V;
Потребляемый ток, не более	150 мА;

Проводилась непрерывная запись длительностью около двух минут 4-х измерительных каналов, одновременно регистрирующих переходные процессы с 4-х разносов приемной косы M_1N_1 , M_2N_2 , M_3N_3 и M_4N_4 , с расстоянием в 0,5 м между электродами (рис. 5). Заземление приемной линии осуществлялось с посредством вбивания в грунт медных электродов на глубину 10-20 см (рис. 5).

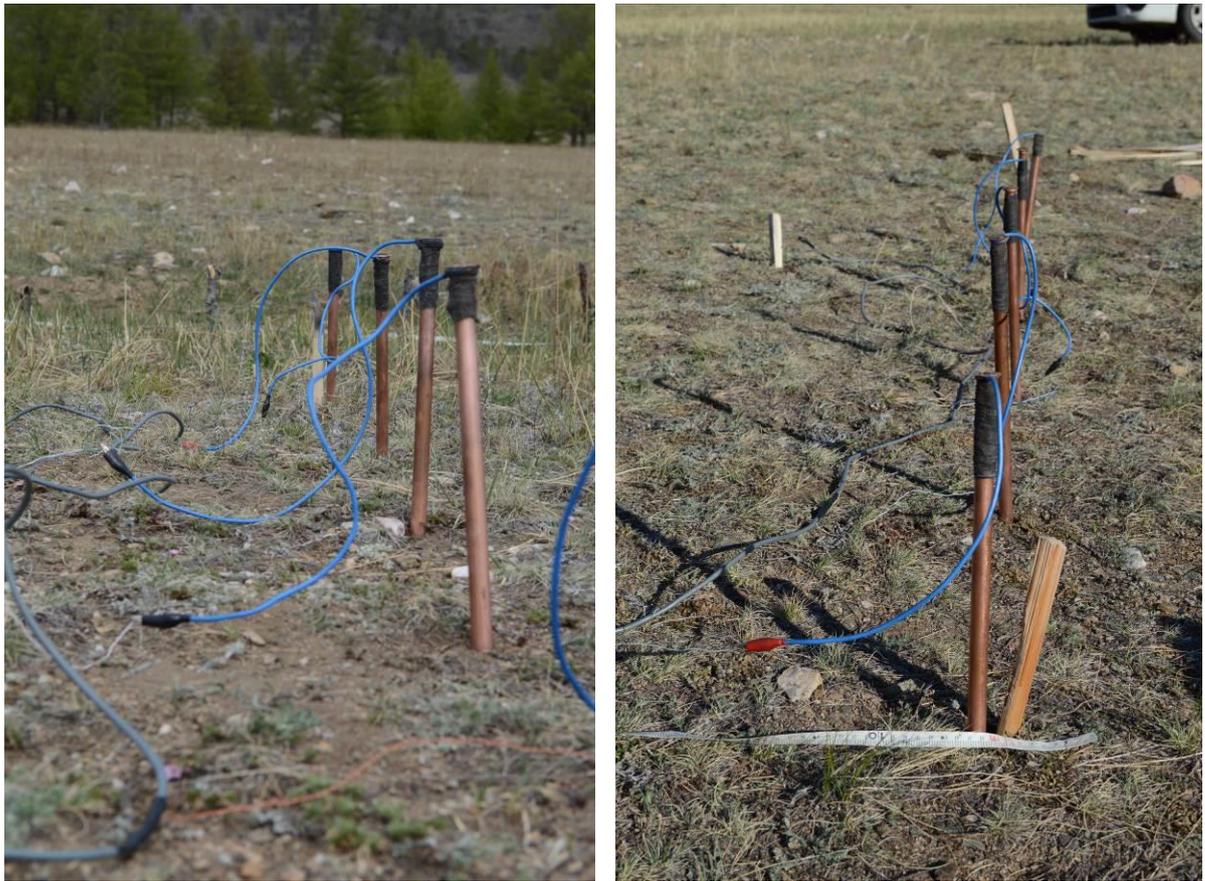


Рис. 5. Заземление приемной линии.

Питание измерительного модуля осуществлялось отдельным автомобильным аккумулятором (рис. 6).

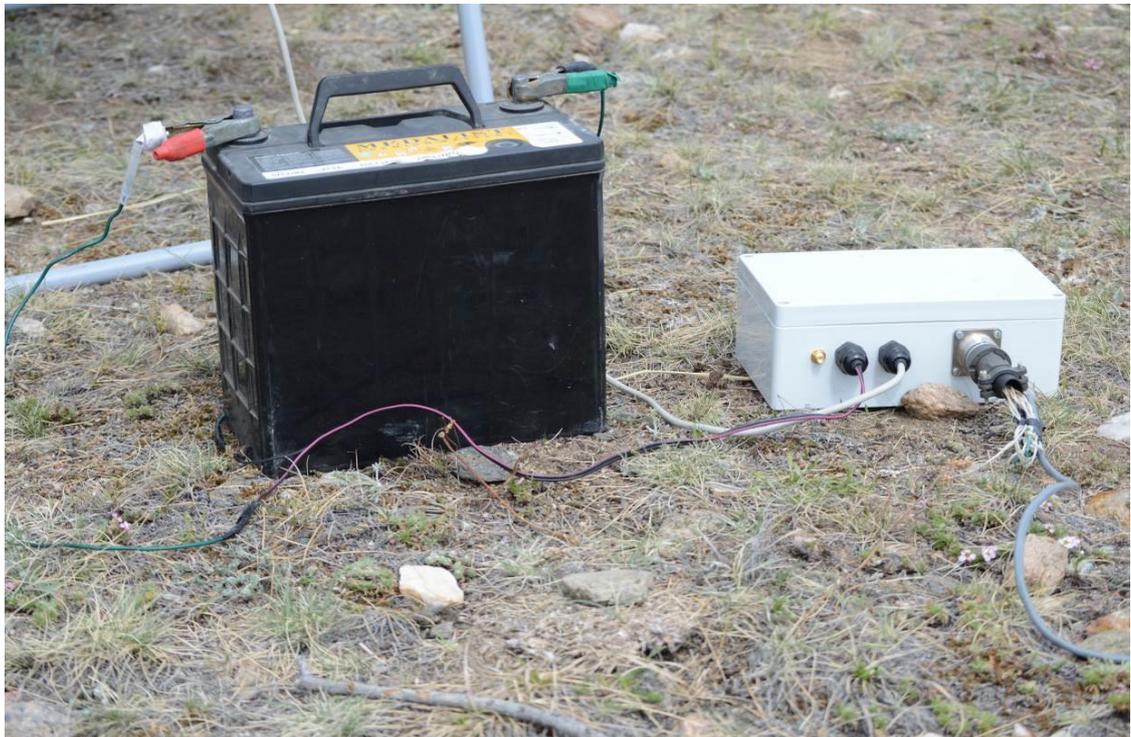


Рис. 6. Измерительный модуль, питаемый автомобильным аккумулятором.

Описание программы сбора данных с АЦП.

Для осуществления взаимодействия с измерительной системой (АЦП) была реализована программа, позволяющая просматривать регистрируемый сигнал в реальном времени, сохранять соответствующие данные на носитель информации, а также выполнять настройку параметров работы АЦП.

Структура программы выглядит следующим образом:

- «Интерфейс пользователя» дает возможность оператору управлять АЦП:
 - Подключиться к устройству
 - Отключиться от устройства
 - Установить число рабочих каналов
 - Выбрать коэффициенты усиления для каждого канала в отдельности
 - Установить величину напряжения ЦАП (как в ручном так и в автоматическом режиме)
 - Ручной режим подразумевает установку величины напряжения ЦАП исходя из желаний оператора
 - В автоматическом режиме вычисляется медиана сигнала в течении промежутка времени кратного периоду сигнала. Исходя из полученных значений, вычисляется и устанавливается величина напряжения ЦАП для каждого канала
 - Выбрать длительность «кадра» данных
 - Просматривать форму сигнала на входе рабочих каналов в режиме реального времени
 - Установить размер окна усреднения (используется для визуализации данных)
 - Задать директорию для сохранения собранных данных
 - Запустить операцию сбора данных
 - Остановить операцию сбора данных

- Следить за процессом сбора данных и контролировать изменения сигнала в процессе сбора

Интерфейс пользователя передает/получает команды и данные через «Командный поток» и «Поток управления сбором данных». Работа потоков разнесена во времени. Сначала через «Командный поток» выставляются желательные настройки АЦП. По команде на начало сбора данных с АЦП «Командный поток» блокируется. По окончании сбора данных – «Командный поток» разблокируется.

- «Командный поток» предоставляет возможность
 - Настройки АЦП
 - Позволяет получить служебную информацию об АЦП
 - Поддерживаемые устройством интерфейсы
 - МЗР АЦП
 - МЗР ЦАП
 - Версия модуля АЦП
- «Поток управления сбора данных» предоставляет возможность
 - Устанавливать размер «кадра данных»
 - Давать команду на начало сбора «кадра данных»
 - Останавливать сбор данных
 - По приему одного «кадра данных» дает немедленная команда на сбор следующего. Сигнализирует «Потоку конвертации и сохранения данных» о том, что есть готовый блок данных
- «Поток конвертации и сохранения данных» задействуется по окончании поступления «кадра данных» с АЦП
 - Преобразует 20-ти битные отсчеты АЦП в 32-битные (Integer)
 - Разбирает отсчеты по каналам
 - Сохраняет полученные конвертированные данные на диск, каждый канал в отдельный файл
 - Готовит данные для визуализации. Так как размер собранных данных избыточен для визуализации, они усредняются в

окнах (размер задается оператором через интерфейс пользователя).

- Визуализирует усредненные данные

Схема работы с программой выглядит следующим образом:

1. Запускаем программу
2. Подключаемся к АЦП
3. Выбираем папку для сохранения данных
4. Выставляем число рабочих каналов
5. Выставляем длину «кадра данных»
6. В РУЧНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ
 - a. Просматриваем сигнал на входе АЦП в режиме реального времени
 - b. Устанавливаем «Коэффициент усиления сигнала» и «Величину напряжения ЦАП» для каждого канала
 - c. Просматриваем сигнал на входе АЦП в режиме реального времени, если необходимо – повторяем п.7
 - d. Добиваемся того, чтобы сигнал лежал в динамическом диапазоне АЦП
 - e. Запускаем сбор данных
7. В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ
 - a. Задаем длительность одного периода сигнала
 - b. Просматриваем сигнал на входе АЦП в режиме реального времени
 - c. Устанавливаем «Коэффициент усиления сигнала» для каждого канала
 - d. Запускаем сбор данных (величина напряжения ЦАП будет установлена автоматически)
8. Ждем окончания сбора данных
9. Отключаемся от АЦП

На рис. 7-9 приведены иллюстрации рабочего окна программы сбора, а также примеры регистрируемых сигналов [6].

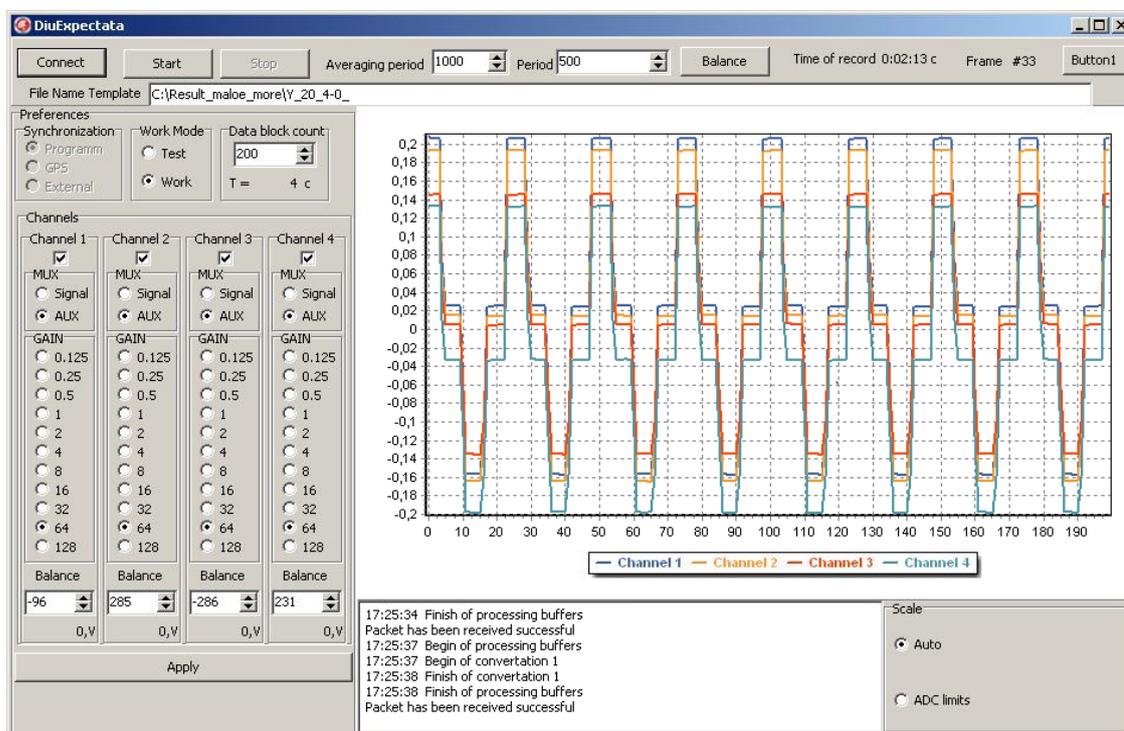


Рис. 7. Интерфейс рабочего окна программы сбора.

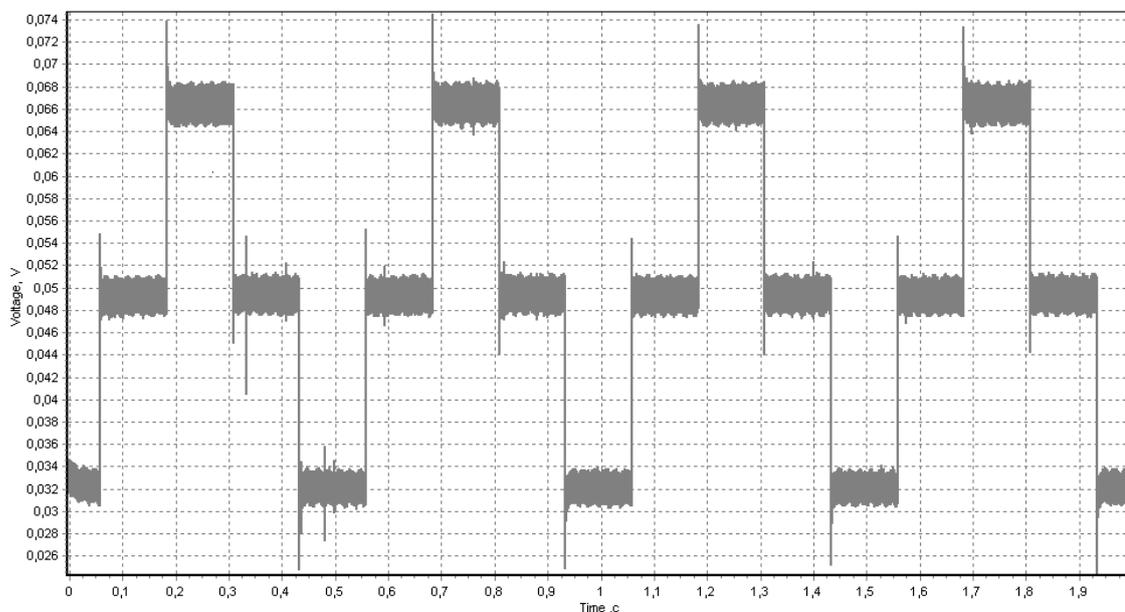


Рис.8. «Кадр данных» длительностью 2 секунды для канала №4 со значением параметра «Коэффициент усиления сигнала» равным 64.

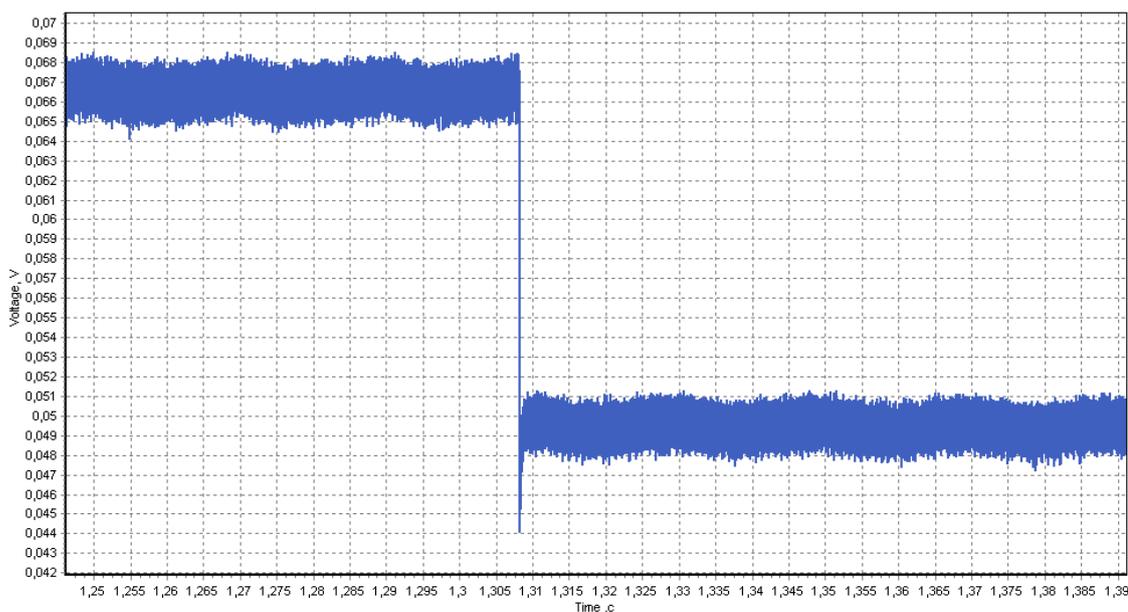


Рис. 9. Увеличенный фрагмент сигнала с рисунка 2 в момент выключения тока в линии.

4.2.Опытно-методические работы на Приморском

Опытные работы проводились 10-12 июня 2013 г. Погодные условия были благоприятными, присутствовал небольшой ветер со скоростью 2-4 м/с, днем воздух прогревался до 20-25 градусов выше нуля, ночью температура опускалась приблизительно до 5 градусов Цельсия. Заземление электродов производилось в первые 10-20 см грунта. Грунт на площади представлен аллювиальной россыпью.

Сопротивление заземления приемных электродов было высоким от 30-150 кОм. Измерения проводились установкой срединного градиента с юго-западной стороны от силовой линии АВ. Силовая линия АВ была протянута перпендикулярно склону Приморского хребта, с юга-востока на северо-запад. Восточной заземление В находилось у подножия, западное А в на склоне. При сопротивлении заземления АВ в около 800 Ом ток составил 0,2А.

Поверхность участка съемки (рис.10) имеет значительный западный уклон, который не оказывает заметного влияния на результаты зондирований.

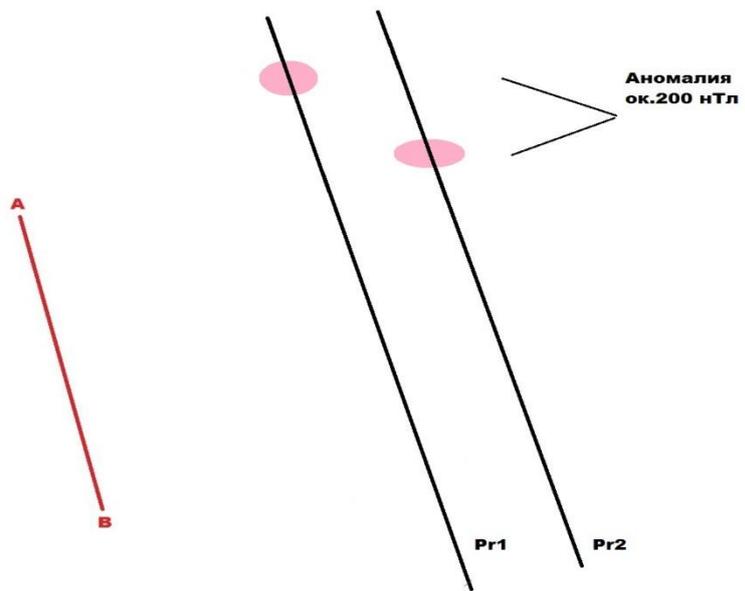


Рис. 10. Общая схема расположения генераторной линии и опытных профилей.



Рис.11.Схема измерительной установки на космоснике с рельефом местности

Используемая приемная аппаратура состоит из 4-х канального измерительного модуля с АЦП, работающем на частоте 100 кГц. Проводилась непрерывная запись длительностью около двух минут 4-х измерительных каналов, одновременно регистрирующих переходные процессы с 4-х разносов приемной косы M_1N_1 , M_2N_2 , M_3N_3 и M_4N_4 , с расстоянием в 5 м между электродами (рис.5), между профилями расстояние 10 метров. Заземление приемной линии осуществлялось с посредством вбивания в грунт медных электродов на глубину 10-20 см (рис.12).



Рис.12. Заземление приемной линии.

Приемными линиями, параллельными силовой линии АВ были отработаны профили Pr1 и Pr2 (рис.11). Уже в процессе регистрации стало очевидным влияние на амплитуду регистрируемого электромагнитного поля, в момент пропускания тока, локальных близповерхностных неоднородностей выделенных в процессе магнитометрической съёмки (рис.25Б), в то время как переходные процессы, записанные на том же участке для параллельного профиля отличаются относительной стабильностью.

В ходе работ был опробован опытный вариант приёмной многоэлектродной косы, выполненный из кабеля связи собственными силами. Общая длина косы составила 27 метров, выводы под электроды выполнены через 5 метров. Проводящие жилы не прерываются в местах вывода и проходят по всей длине

косы. Выводы №№ 2,3,4 запараллелены и являются общими для соответствующих разносов №2 – N_1 и M_2 , разносов №3 – N_2 и M_3 , разносов №2 – N_3 и M_4 .

Процесс регистрации, отображение хода измерений в программе сбора, а также процесс экспрессной обработки полевого материала представлены на рис.7-9, 14.

Также были выполнены магниторазведочные работы на четырех профилях А.В.Паршиным с расстоянием между пикетами 5 метров, между профилями 15 метров. Результат представлен на рисунке 25Б. По данным магниторазведки явно выделяются магнитные аномалии (возможны залежи магнетитовой руды).



Рис.13. Процесс регистрации.

Глава 5

Методика интерпретации результатов геофизических наблюдений

Программа «MARS1D» представляет собой аппарат для автоматической и полуавтоматической одномерной интерпретации профильных данных электромагнитных зондирований в рамках одномерной модели с учетом частотной дисперсии электропроводности. Под одномерной моделью понимается, что горизонтально расположенные слои с мощностью h имеют бесконечное простираение, а физические параметры слоя неизменны в его пределах. Для учета частотной дисперсии используется зависимость Cole-Cole, которая позволяет определить поляризационные характеристики разреза [11]:

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left[1 - \frac{\eta(i\omega\tau)^c}{1 + (i\omega\tau)^c} \right],$$

где ω – частота;

i - мнимая единица;

ρ - удельное электрическое сопротивление;

ρ_0 - сопротивление на постоянном токе;

η - коэффициент поляризуемости;

τ - время релаксации;

c - показатель степени.

Высокая скорость расчетов обеспечивается использованием в коде прямой задачи (автор А.Е. Каминский), фильтров Андерсона. В результате становится возможным использовать интерактивный режим; редактировать параметры разреза во время подбора кривой, как это делается в стандартных пакетах при подборе для кривых ВЭЗ без учета частотной дисперсии электропроводности. При решении обратной задачи используется оригинальный набор алгоритмов минимизации, что для верно подобранной модели позволяет устойчиво находить положение глобального минимума в многомерном признаковом пространстве при высокой скорости подбора. Наличие корреляционных зависимостей, которые неизбежно возникают в результате инверсии в рамках

модели с множеством раскрепленных параметров, оценивается с помощью корреляционных матриц. В результате с использованием априорной геолого-геофизической информации, можно закрепить часть параметров и вторично выполнить подбор наблюдаемых кривых. С целью подавления профильных аномалий и повышения качества сходимости на «крестах» профилей используется оригинальный подход, когда перед инверсией кривые осредняются в эллипсе с заданными осями. При осреднении используется робастная процедура, при этом вес кривой в центре эллипса задается выше, чем веса соседних кривых. У программы «MARS1D» интуитивно понятный интерфейс, что делает ее удобным средством интерпретации кривых зондирований.

В ходе тестовых измерений было записано 448 физических наблюдений, из которых:

- 420 физических наблюдений были записаны параллельно с питающей линией на удалении 100-110 метров от нее (Line 1- Line 105);
- 8 контрольных физических наблюдений были записаны параллельно с питающей линией на удалении 100-110 метров от нее (Line 42 - Line 43);
- 20 физических наблюдений были записаны перпендикулярно питающей линии на удалении 100-110 метров от нее (Line 106 – Line 110).

5.1. Интерпретация данных ЭМЗВП с целью поисков металлургических горнов

Непосредственно во время выполнения опытных работ была обработана часть полевого материала и сделана выборочная инверсия кривых ЭМЗВП в программе Mars 1D. В результате подбора (таблица 5, рис.14) подтвердилась высокая чувствительность кривой зондирования к геоэлектрическим параметрам верхней части разреза, где с помощью автоматической инверсии выделяются слои мощностью около метра [8].

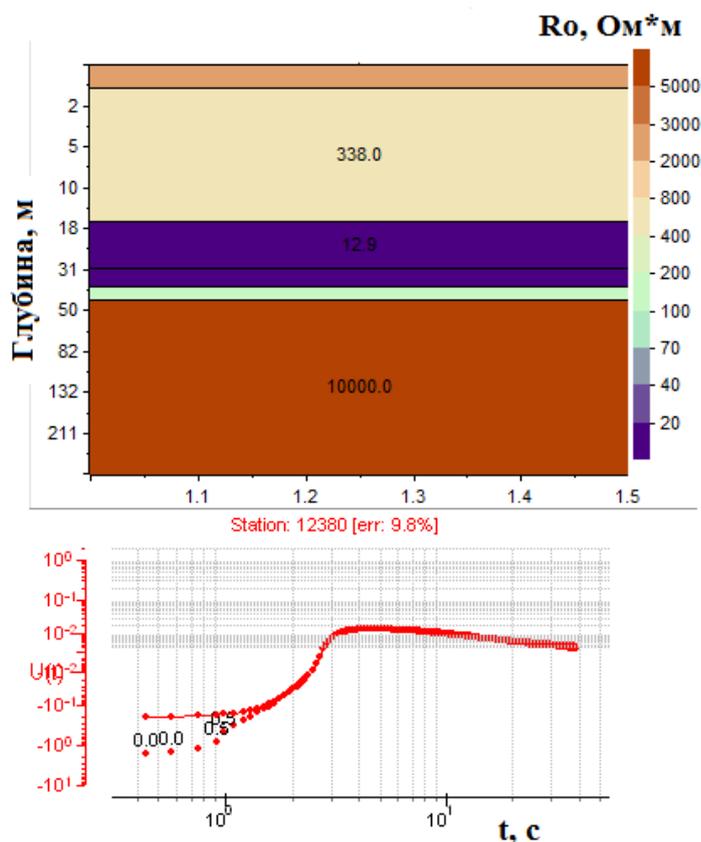


Рис. 14. Пример полученного результата при инверсии кривой зондирования ЭМЗВП.

Наблюдается высокая чувствительность к первым метрам верхней части разреза, что видно из таблицы 5.

Таблица 5

Модель геоэлектрического разреза, полученная в результате инверсии кривой зондирования ЭМЗВП (рис. 14)

N, номер слоя	ρ , Ом·м	η , %	τ , с	c	Мощность слоя h , м	Глубина z , м
1	938.03	52.78	0.034303	0.55	1.6	1.6
2	338.02	69.3	0.009055	0.55	13.1	14.7
3	12.94	0.01	4.998732	0.49	12.2	27.0
4	10.23	0.01	0.505009	0.55	6.7	33.7
5	95.03	2.39	0.503231	0.55	6.9	40.6
6	10000	0	0.01	0.55		

Среднеквадратическое отклонение между полевыми и модельными кривыми: 9.8%

Обратим внимание на временные срезы по значениям регистрируемого электромагнитного поля, нормированного на значения прямого поля в процессе записи в пределах площади работ (рис. 15).

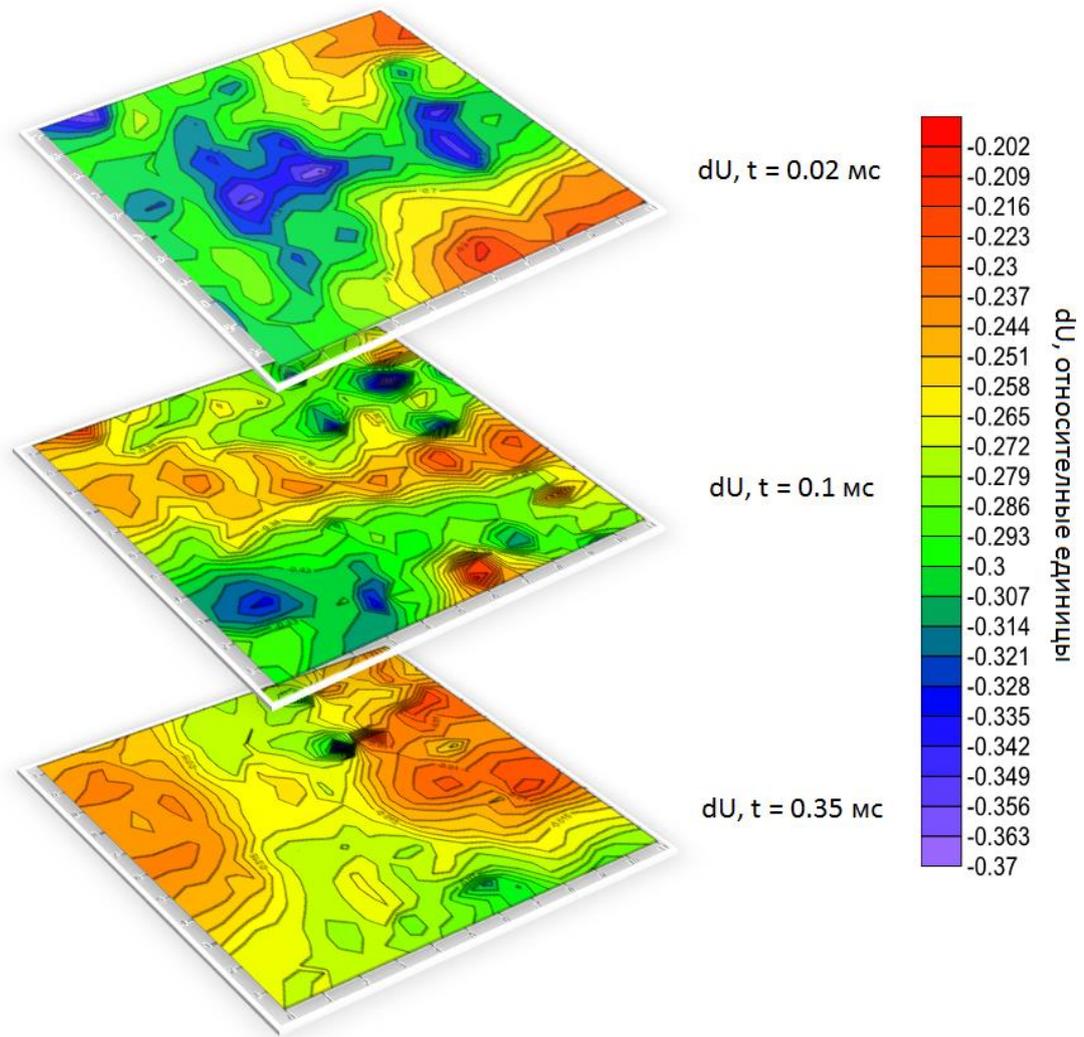


Рис. 15. Временные срезы по нормированным значениям регистрируемого электромагнитного поля.

Ниже приведены иллюстрации, на которых представлены наложения определенных срезов на материалы, полученные в ходе выполнения магнитометрии на данном участке, с целью демонстрации проявления в зарегистрированных сигналах как горнов (рис. 16) при $t = 0.1 \text{ мс}$, так и обнаружения возможных контуров предгорной ямы (рис. 17) при $t = 0.35 \text{ мс}$.

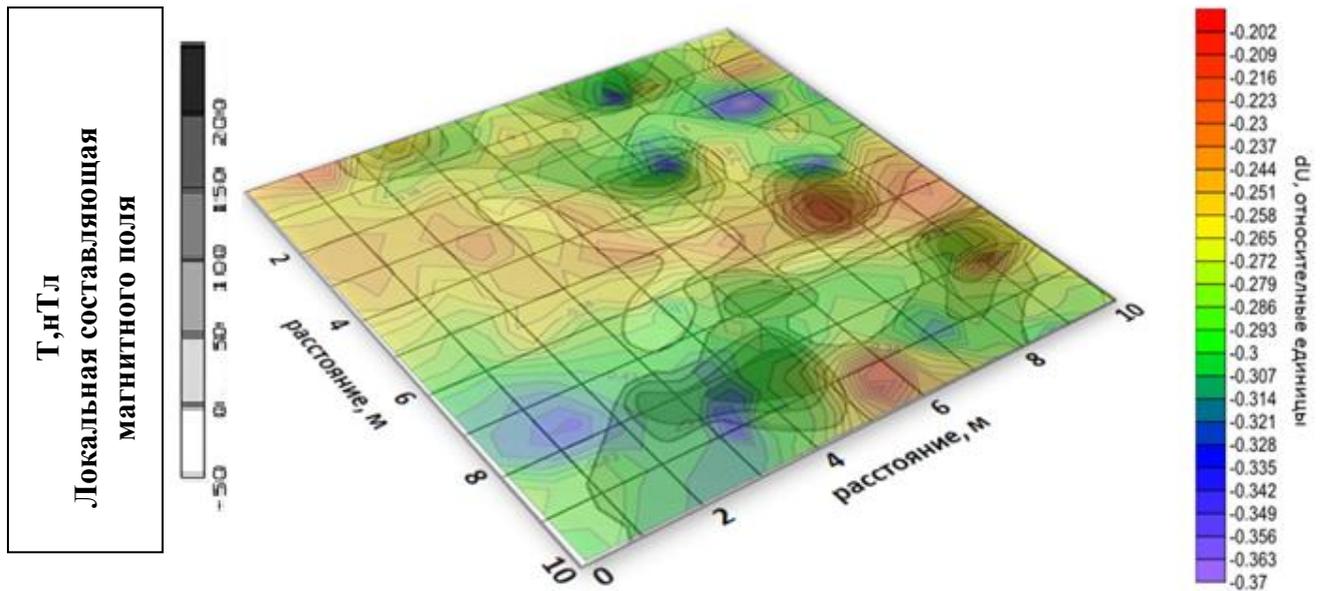


Рис. 16. Проявление горнов в регистрируемом электромагнитном поле

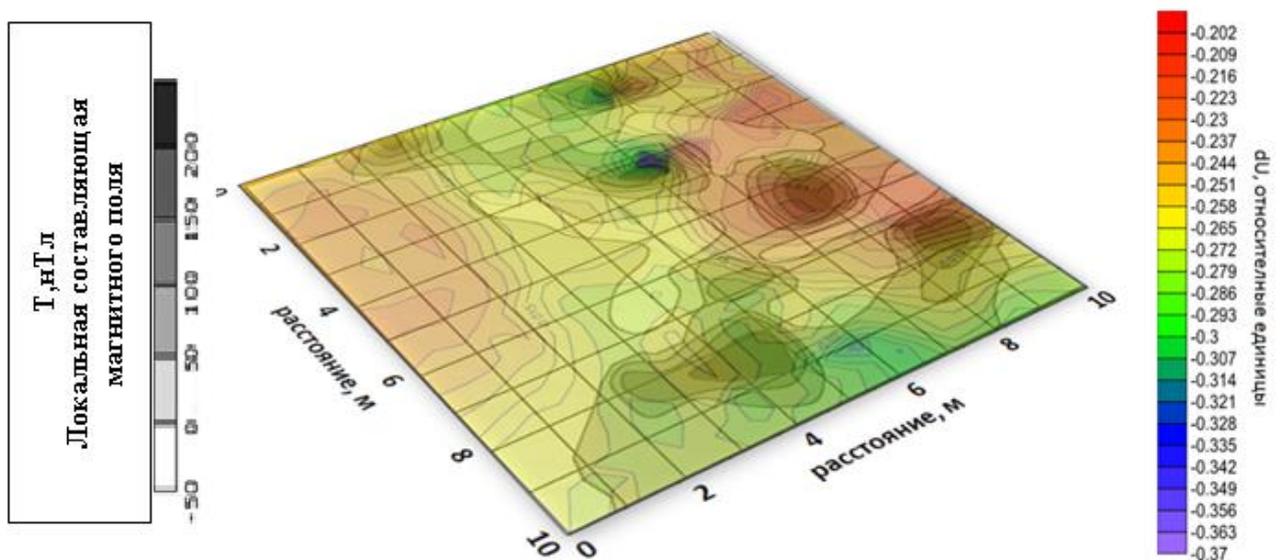


Рис. 17. Возможное проявление контуров предгорной ямы в регистрируемом электромагнитном поле ($t = 0.35$ мс)

Далее рассмотрим результаты более детальной обработки и интерпретации собранных материалов (рис.18), выполненные с привлечением всех имеющихся технических мощностей и потенциалов, что даст нам возможность оценить чувствительность и разрешающую способность технологии ЭМЗВП в области малоглубинных исследований.

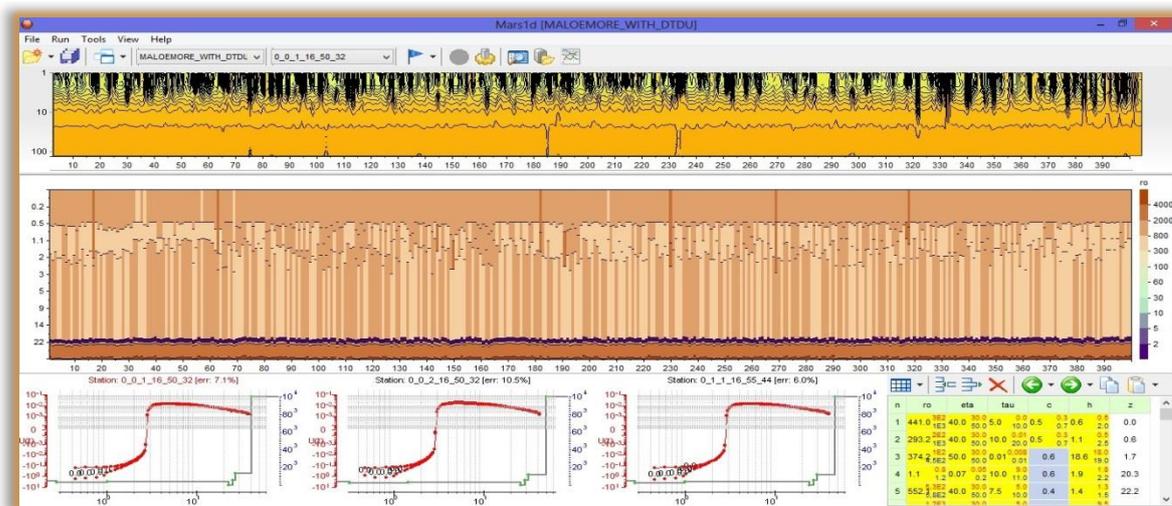


Рис. 18. Результат автоматической инверсии части площадных данных в программном комплексе Mars 1D с опорной моделью, приведенной в таблице 5.

Инверсия кривых ЭМЗВП выполнялась в рамках одномерной поляризующейся модели. Расчеты осуществлялись путём использования комплексных, зависящих от частоты удельных электрического сопротивления и электропроводности. Наиболее известным и часто применяемым представлением частотной характеристики вызванной поляризации вещества, удовлетворяющей большинству экспериментальных дисперсионных зависимостей, является формула Коул-Коул. Для комплексного удельного сопротивления и удельной электропроводности, она имеет вид:[11]

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left\{ 1 - \eta \left[1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right] \right\},$$

$$\sigma(\omega) = \sigma_0 \frac{1 + (i\omega\tau)^c}{1 + (1 - \eta)(i\omega\tau)^c},$$

где i – “мнимая единица”, ρ_0 и σ_0 - удельные электрическое сопротивление и электропроводность на постоянном токе, (См/м); η - поляризуемость $0 \leq \eta \leq 1$, τ - время релаксации (с); c - показатель степени $0 < c \leq 1$. Таким образом, количество определяемых в результате инверсии параметров для каждого слоя

возрастает в 2.5 раза: к удельным сопротивлениям и мощностям пластов добавляются еще три поляризационных параметра.

В результате подбора подтвердилась высокая чувствительность кривой зондирования к геоэлектрическим параметрам верхней части разреза, где с помощью автоматической инверсии выделяются слои мощностью около метра. Для того, чтобы выделить горны, в модели используются два верхних слоя толщиной до 2 м. Мощность проводящего, вероятно графитизированного слоя, ограничена двумя метрами на глубине около 20 м (таблица 2). Массовый полуавтоматический подбор показал устойчивость данной модели, среднеквадратическая невязка, как правило, не превышала 10%. Столь высокое значение невязки обусловлено переходом кривой ЭДС через ноль и не говорит о низком качестве результатов подбора.

Таблица 6

Геоэлектрическая модель, полученная в результате подбора с учетом частотной дисперсии электропроводности

N, номер слоя	ρ , Ом·м	η , %	τ , с	c	Мощность слоя h , м	Глубина z , м
1	168.3	45	5	0.4	1	1
2	421	47.5	10	0.6	0.4	1.4
3	319	0.03	0.1	0.6	17.2	18.6
4	1.1	47.7	10	0.6	1.8	20.4
5	1038.7	2.39	10	0.6	9.7	30.1
6	10000	0	0.01	0.6		
Среднеквадратическое отклонение между полевыми и модельными кривыми: 9.7%						

На рис.19 представлены полученные в ходе интерпретации разрезы, характеризующие изменения различных параметров геоэлектрической модели поляризующейся среды на данном участке.

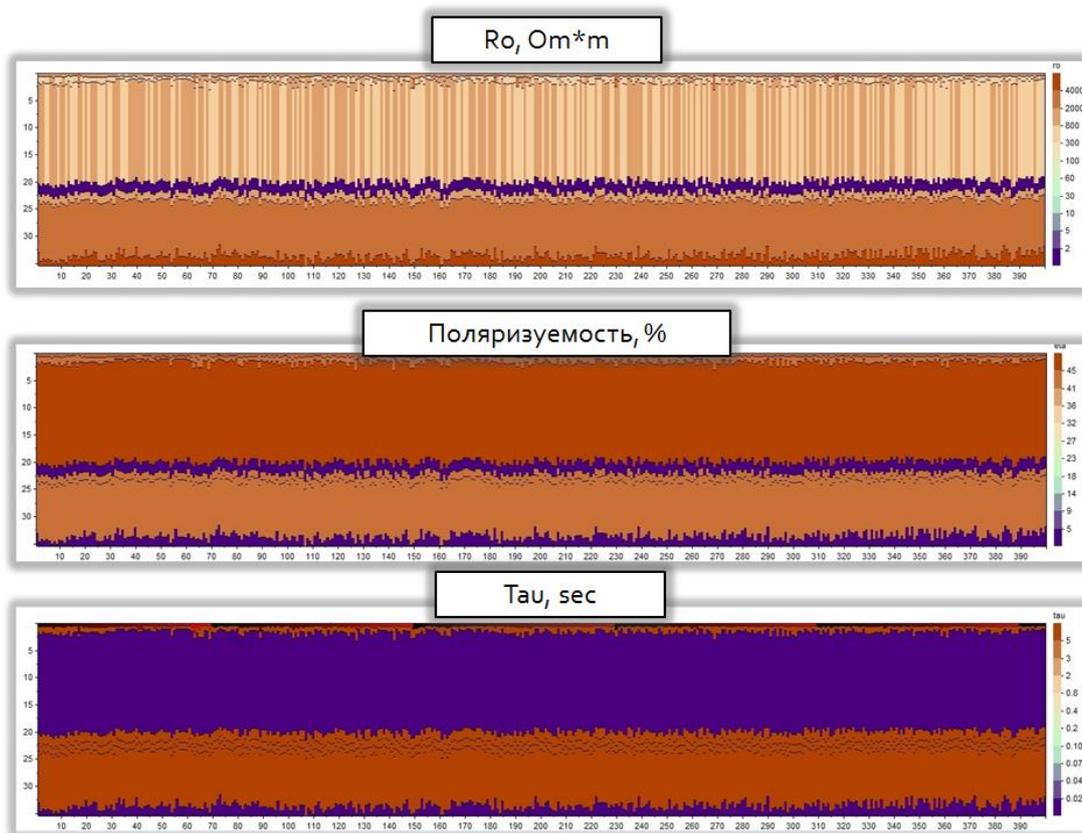


Рис. 19. Профильное представление результатов интерпретации полевого материала по различным параметрам геоэлектрической поляризующейся среды.

Использование данных результатов позволило на следующем шаге построить глубинные срезы по значениям модельного сопротивления R_0 . Иллюстрации некоторых срезов для различных значений глубин приведены на рис. 20.

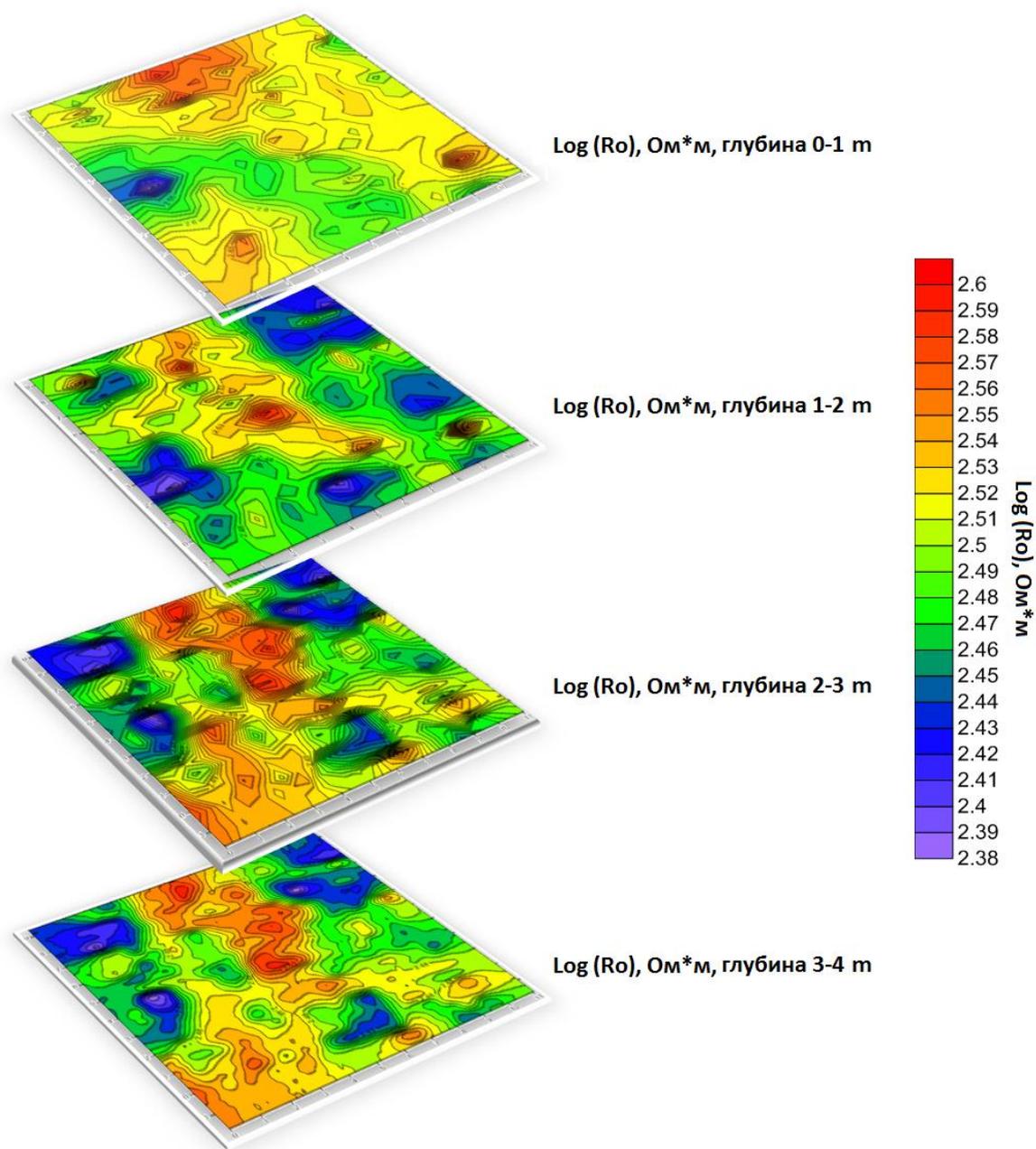


Рис. 20. Площадные глубинные срезы значений модельных сопротивлений в диапазоне 0-4 метра.

Срез по значениям поляризуемости среды на глубине 4-5 метров представлен на рис. 21.

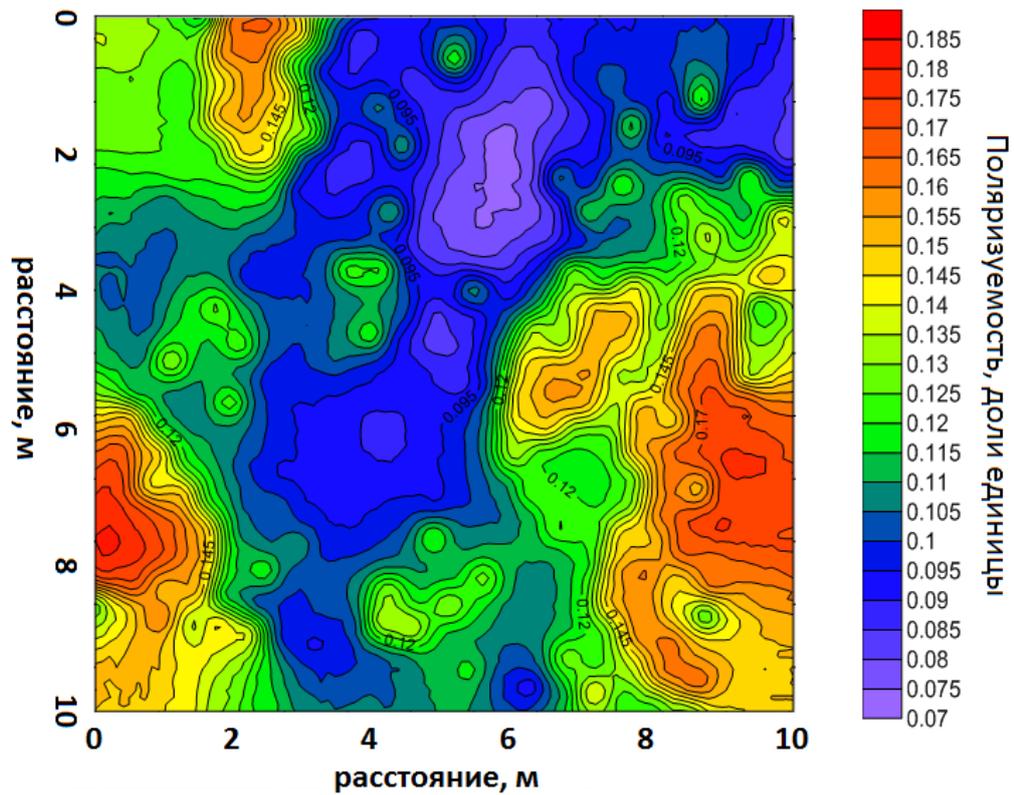


Рис.21. Значения поляризуемости среды на изучаемой площади на глубине 4-5 метров

Предполагая расположение горнов на глубине около 1 метра, проведем визуальное сравнение (рис. 22) соответствующих срезов и карты, полученной в результате магнитометрических съемок.

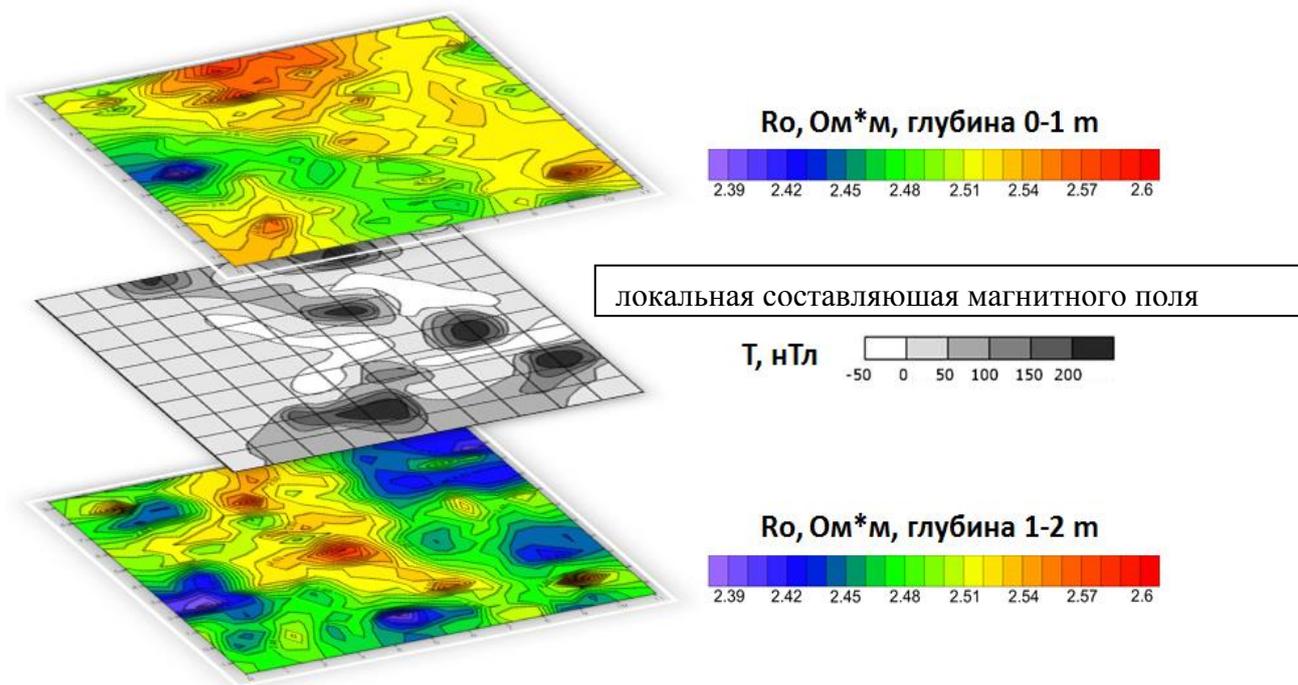
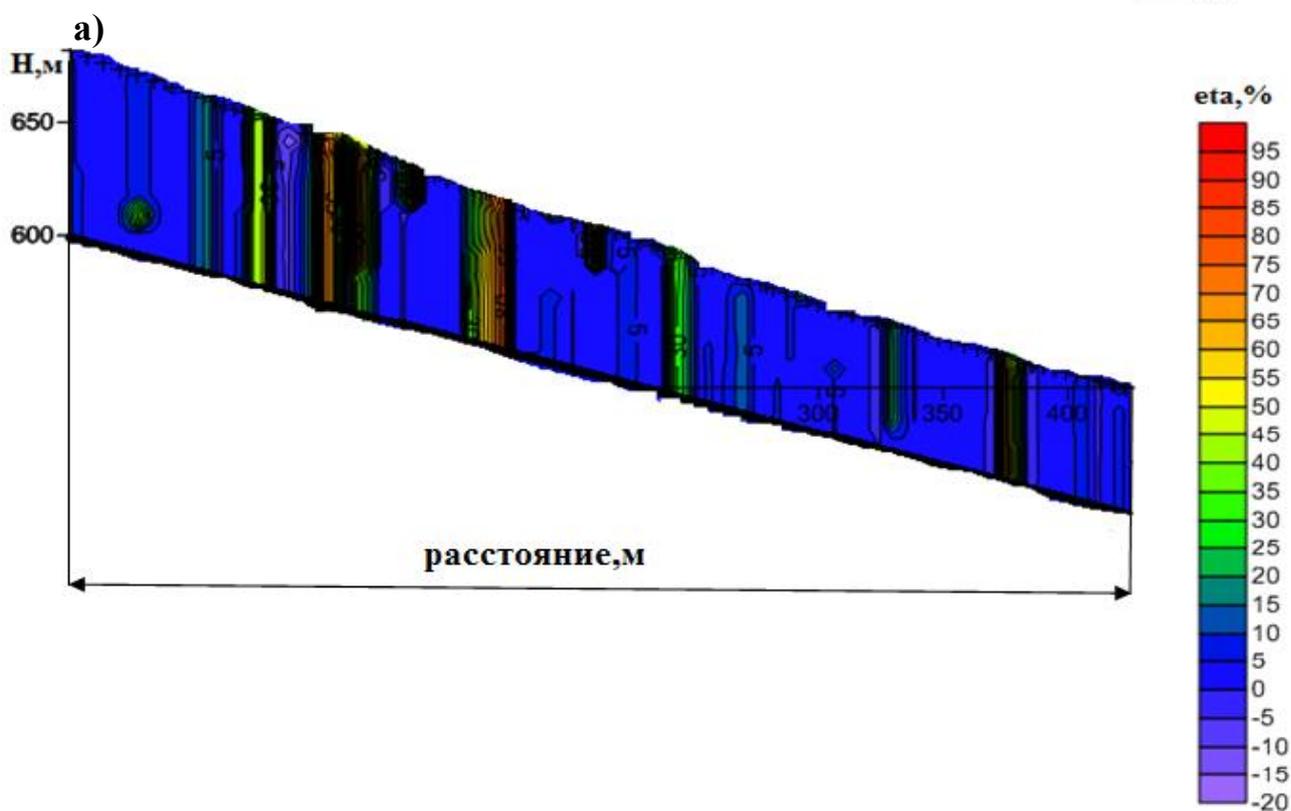
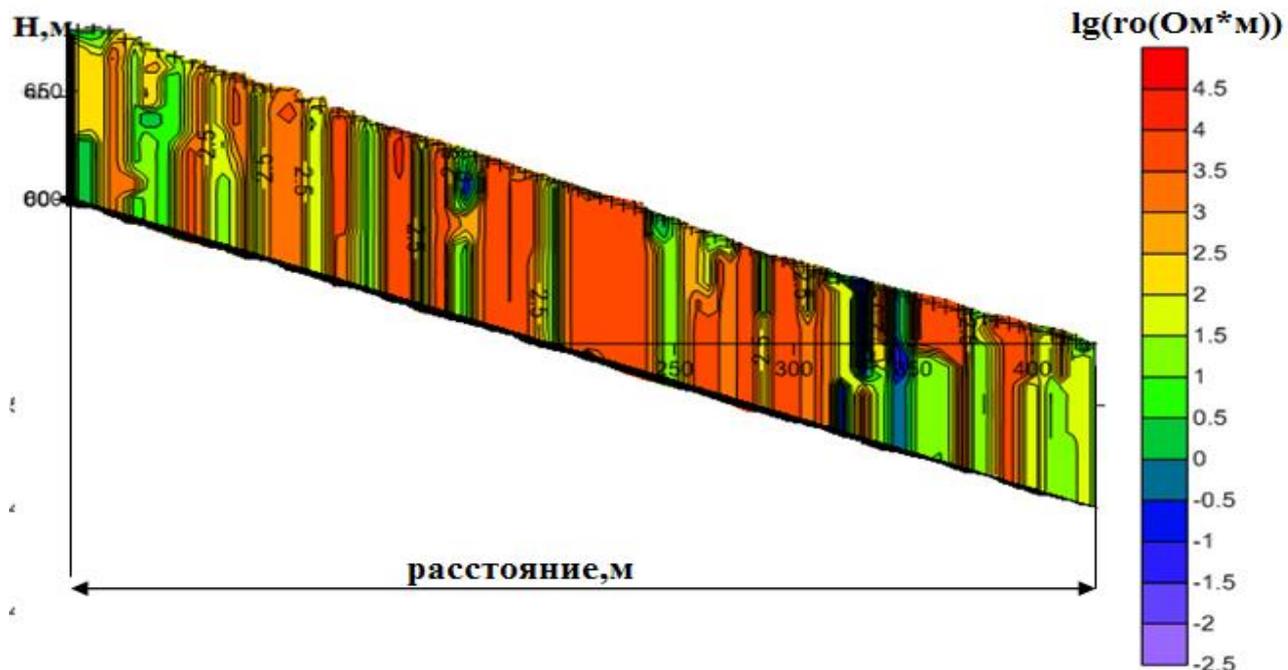


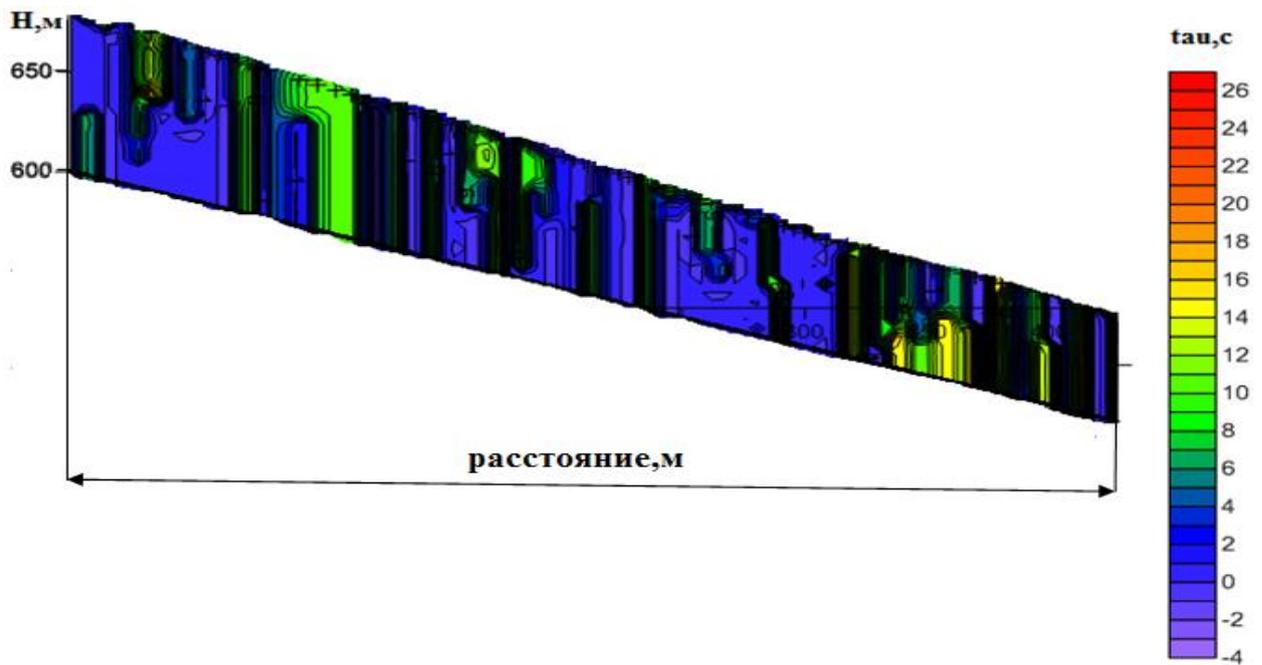
Рис. 22. Сравнение результатов ЭМЗВП и магнитометрии.

5.2. Интерпретация данных ЭМЗВП с целью поиска магнетитовых жил на участке «Приморский»

В ходе тестовых измерений было записано 180 физ. наблюдений. Во время выполнения опытных работ часть полевого материала была обработана и в программе Mars 1D сделана выборочная инверсия кривых ЭМЗВП. В результате подбора подтвердилась высокая чувствительность кривой зондирования к геоэлектрическим параметрам верхней части разреза, где с помощью автоматической инверсии выделяются слои мощностью около метра.



б)



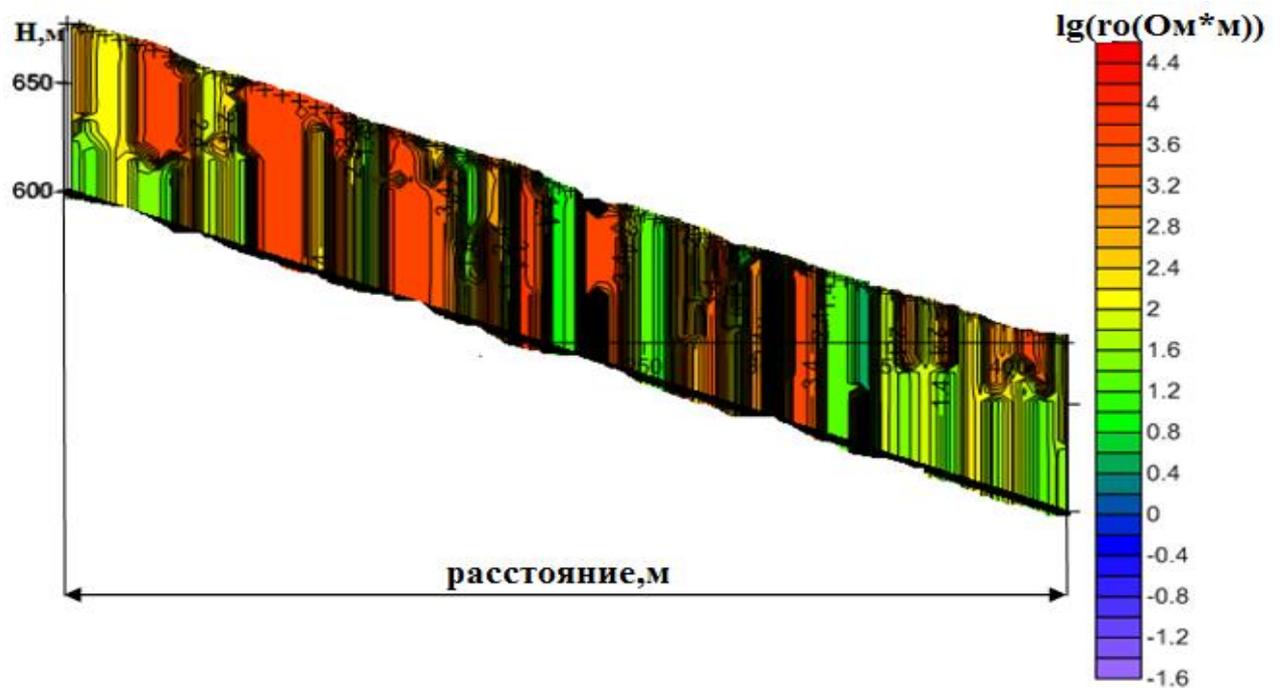
в)

Рис.23. Геоэлектрический разрез по профилю №1

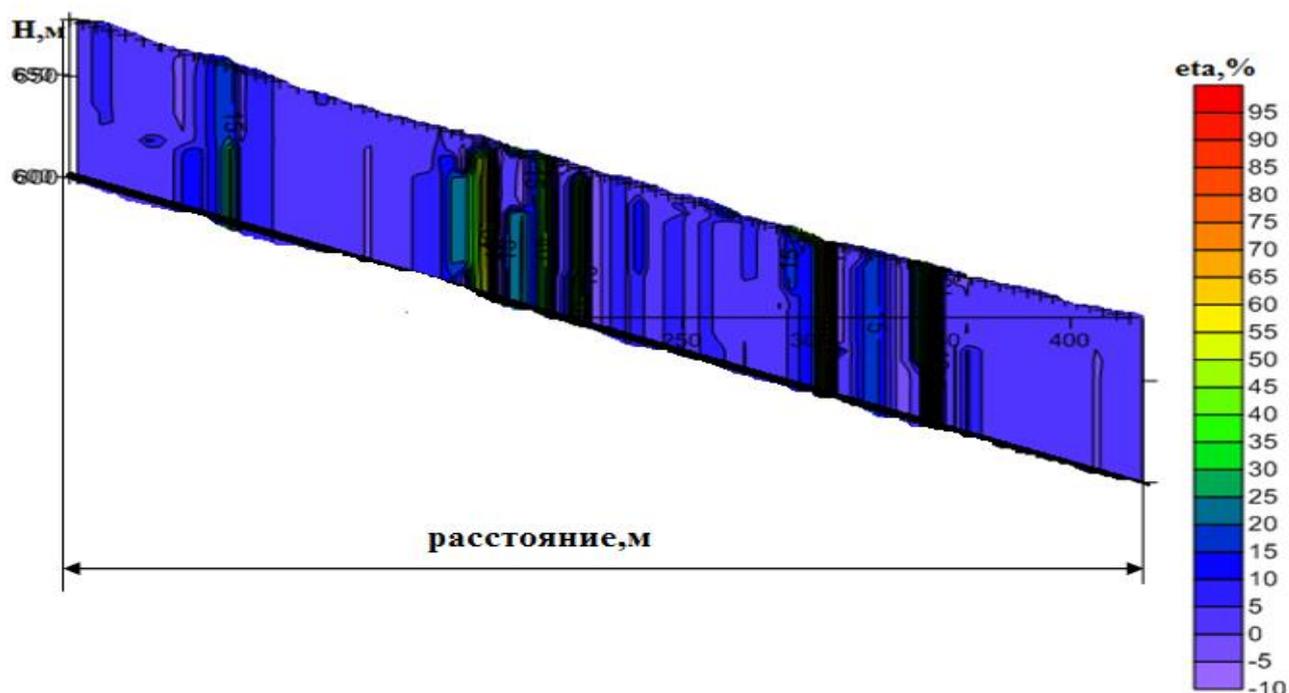
а) отстроенный по удельному электрическому сопротивлению $\lg(\rho_0(\text{Ом}\cdot\text{м}))$;

б) по поляризуемости $\eta, \%$;

в) по времени релаксации $\tau, \text{с}$.



а)



б)

Рис.24. Геоэлектрический разрез по профилю №2

а) отстроенный по удельному электрическому сопротивлению $\lg(\rho_0(\text{Ом}\cdot\text{м}))$;

б) по поляризуемости $\eta, \%$;

В рамках научно-исследовательских работ студенческих научных обществ кафедры технологий геологической разведки ИрГТУ, на том же участке по четырем профилям была выполнена магнитная съемка магнитометрами ММП-203 и GEM GSM-19. Результаты внесены в базу данных, в которой они прошли автоматизированную обработку (Блинов, Паршин, 2014), итоговая карта аномального магнитного поля представлена на рис. 25б.

Сопоставим данные электроразведки и магниторазведки на рис. 25. Наиболее близким является срез на глубине около 5 метров по параметру времени релаксации $\tau, \text{с}$.

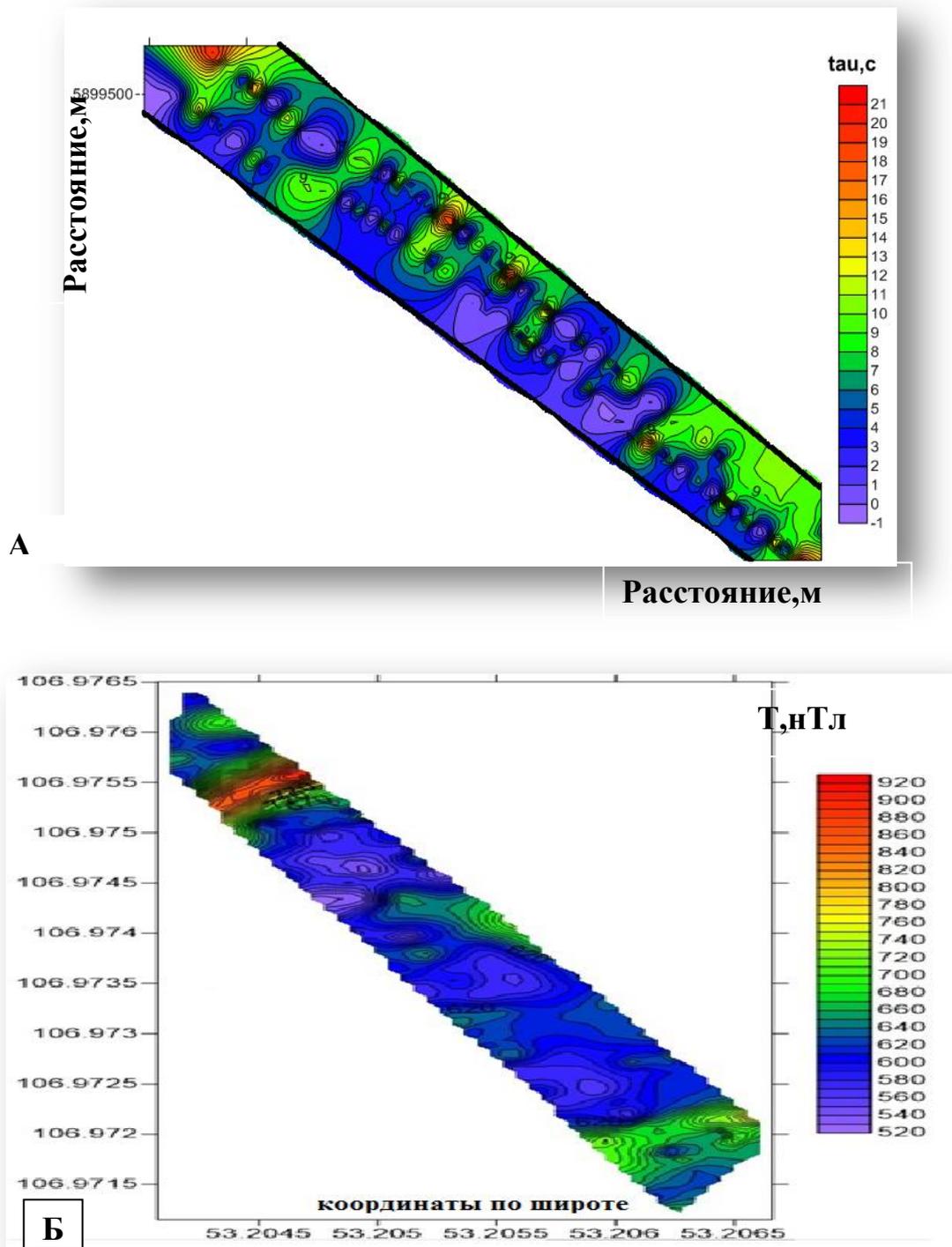


Рис.25. Сопоставление данных: А- электроразведки, Б- магниторазведки.

Данные магниторазведки предварительно указывают на то, что источником аномалии могут быть субвертикальные пласты намагниченных пород. Для подтверждения этих предположений предлагается выполнить геохимическую съемку с проходкой шурфов и сопоставить результаты

геофизических и геологических работ на цифровой модели на основе используемого на кафедре геоинформационного подхода (Демина и др., 2013).

Результаты, полученные в ходе моделирования и интерпретации имеющегося материала, свидетельствуют о возможности констатации того факта, что технология ЭМЗВП обладает необходимой чувствительностью и разрешающей способностью для проведения малоглубинных электромагнитных исследований, расширяя тем самым область применения данного метода зондирования в совокупности с программно-аппаратным электроразведочным комплексом “Марс” на выполнение инженерных и археологических задач геофизики, поисков рассыпных полезных ископаемых.

Заключение

В ходе выполнения дипломной работы были решены поставленные ранее задачи и получены положительные результаты.

По разрабатываемой технологии электромагнитных зондирований и вызванной поляризации (ЭМЗВП) выполнена интерпретация результатов, полученных в ходе опытно-методических работ в Приольхонье, с целью оценки глубинности и разрешающей способности метода. Определено, что глубинность и разрешающая способность определяется геометрическими размерами измерительной установки и геоэлектрическими свойствам разреза и может меняться в широких пределах. Разрешающая способность по латерали определяется шагом по профилю. Разрешающая способность по глубине уменьшается с логарифмическим шагом по оси глубин, начиная от 20 сантиметров для расстояния между электродами 0,5 метров. На Приморском при расстоянии между электродами в 5 метров разрешающая способность по глубине 100 метров. Выявлены аномалообразующие объекты по комплексу электромагнитного зондирования и вызванной поляризации (ЭМЗВП) и магниторазведки, которые приблизительно связаны с магнетитовыми жилами.

Результаты, полученные в ходе моделирования и интерпретации имеющегося материала, свидетельствуют о возможности констатации того факта, что технология ЭМЗВП обладает необходимой чувствительностью и разрешающей способностью для проведения малоглубинных электромагнитных исследований, расширяя тем самым область применения данного метода зондирований в совокупности с программно-аппаратным электроразведочным комплексом “Марс” на выполнение инженерных и археологических задач геофизики, поисков рассыпных полезных ископаемых.

Помимо этого, собранные материалы могут быть использованы для дальнейшей количественной интерпретации в рамках как одномерных, так и трехмерных моделей с учетом частотной дисперсии электропроводности.

В дальнейшем предполагается продолжить изучение обнаруженных аномалий.

Список литературы

1. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы
2. СНиП 23-05095. Естественное и искусственное освещение.
3. СанПин 2.2.4. 548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
4. СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к ЭВМ и организации работы.
5. Приказ Минздравсоцразвития №873 от 25.12.2006 г. «Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи сертифицированных специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам горной и металлургической промышленности и металлургических производств других отраслей промышленности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением».
6. **Демина О.И., Паршин А.В., Федоров А.М.** Геоинформационное обеспечение геолого-геохимических исследований месторождений сверхчистого кварцевого сырья на территории Восточного Саяна // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10-8. С. 1778-1782.
7. **Блинов А.В., Паршин А.В.** Совершенствование устаревших систем геофизических изысканий средствами открытых геоинформационных технологий (на примере пешеходной магнитометрии) // *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 7-2. С. 31-33.
8. **Бухалов С.В., Башкеев А.С.** Технология электромагнитных зондирований и вызванной поляризации (ЭМЗВП) //XV Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. - Екатеринбург: ИГфУрО РАН, 2014, С. 41-43.
9. **Снопков С.В., Снопков П.С.** Реконструкция металлургических центров по производству железа по магниторазведочным данным (Приольхонье, Западный берег Байкала). // *Интеграция археологических*

и этнографических исследований. - Иркутск; Омск, 2013. - Т. 2. - С. 123-126. - Библиогр.: с. 126

10. **Ткачева К.Ю.** Результаты тестирования технологии электромагнитного зондирования вызванной поляризации на археологическом объекте Курминское озеро-2 в Приольхонье //XV Уральская молодежная научная школа по геофизике. Сборник докладов. - Екатеринбург: ИГфУрО РАН, 2014, С. 223-225.
11. **Харинский А.В., Снопков С.В.** Производство железа населением Приольхонья в елгинское время // Известия Лаборатории древних технологий.- Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004. Вып. 2. - С. 167–187.
12. **Шульга В.В., Кочнев А.П.** Геология и рудоносность мигматитовых комплексов Приольхонья// Изд. Иркутского государственного технического университета, 2012 г.
13. **Cole K.S., Cole R.H.** Dispersion and absorption in dielectrics // J. Chem. Phys. – 1941. –v.6. – P. 341-353.