

МГУ имени М.В. Ломоносова

Кафедра геофизических методов исследования земной коры

№ госрегистрации
121042200088-6



УТВЕРЖДАЮ
Директор/декан

[Signature]
«28» декабря 2023 г.

УДК
550.83 Геофизические методы разведки

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Геофизические исследования и разработка новых геофизических технологий при решении фундаментальных и прикладных задач геологии, геоэкологии и геоэнергетики
(промежуточный)

Зам. директора/декана
по научной работе

[Signature]
«28» декабря 2023 г.

Руководитель темы
Булычев А.А.

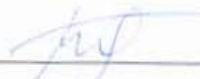
[Signature]
«27» декабря 2023 г.

Москва 2023

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы:

заведующий кафедрой, доктор
физико-математических наук,
профессор по кафедре, доцент
по кафедре

 (Булычев А.А.)

Исполнители темы:

доцент, кандидат физико-
математических наук, доцент
по кафедре

 (Бобачев А.А.)

доцент, кандидат физико-
математических наук, доцент
по кафедре

 (Большаиков Д.К.)

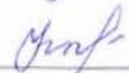
научный сотрудник, кандидат
геолого-минералогических на-
ук

 (Голубцова Н.С.)

доцент, кандидат геолого-
минералогических наук, до-
цент/с.н.с. по специальности

 (Золотая Л.А.)

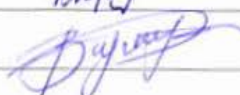
доцент, кандидат геолого-
минералогических наук

 (Коснырева М.В.)

доцент, кандидат технических
наук

 (Кузнецов К.М.)

профессор, кандидат физико-
математических наук, доктор
геолого-минералогических на-
ук, доцент/с.н.с. по специаль-
ности

 (Куликов В.А.)

инженер 2 категории

 (Куликова М.П.)

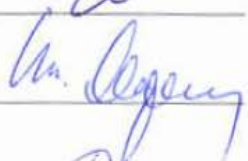
доцент, кандидат геолого-
минералогических наук

 (Лыгин И.В.)

старший научный сотруд-
ник, кандидат физико-
математических наук

 (Марченко М.Н.)

профессор, доктор техниче-
ских наук, доцент/с.н.с. по
специальности

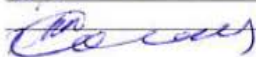
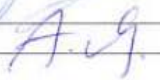
 (Модин И.Н.)

старший научный сотрудник,
кандидат технических наук,
доцент/с.н.с. по специальности
ассистент

 (Никулин Б.А.)

 (Палёнов А.Ю.)

доцент, кандидат геолого-минералогических наук, доцент по кафедре
профессор, кандидат физико-математических наук, доктор геолого-минералогических наук, доцент по кафедре
инженер 1 категории
старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук
ассистент
профессор, доктор физико-математических наук, доцент по кафедре
научный сотрудник
доцент, кандидат физико-математических наук, доцент по кафедре

 (Попов М.Г.)
 (Пушкарев П.Ю.)
 (Скобелев А.Д.)
 (Соколова Т.Б.)
 (Фадеев А.А.)
 (Шевнин В.А.)
 (Шустов Н.Л.)
 (Яковлев А.Г.)

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

«Геофизические исследования и разработка новых геофизических технологий при решении фундаментальных и прикладных задач геологии, геоэкологии и геоэнергетики»

(промежуточный) за 2023г.

Приоритетное направление научных исследований: Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы, безопасности хозяйственной деятельности и развития инфраструктуры России

Москва - 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ	
РЕФЕРАТ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	8
ГЛАВА 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ ГРАВИРАЗВЕДКИ	9
1.1. Изучение строения тектоносферы юго-восточной части Атлантического океана и структур Индийского океана с целью выяснения их истории тектонического развития.....	10
1.2. Разработка и модернизация алгоритмов обработки и интерпретации потенциальных полей	12
1.3. Изучение глубинного строения отдельных территорий земного шара с целью выяснения особенностей их геологического строения по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей.....	16
1.4. Научные исследования по смежным тематикам	18
ГЛАВА 2. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ МАГНИТОРАЗВЕДКИ .	20
2.1. Проведение независимой экспертизы методики и технологии магниторазведочных работ	20
2.2. Разработка перечня геологических и геофизических критериев и методов изучения нефтегазоносных бассейнов	21
2.3. Комплексирование данных космических съемок с геофизическими данными на территории Камчатки	23
ГЛАВА 3. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ	26
3.1. Исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии различных регионов с помощью комплексирования электроразведочных методов (МТЗ и МВЗ, АМТЗ, ЗСБ и ВЭЗ)	26
3.2. Обработка записей компонент электромагнитного поля, полученных в Александровской геофизической обсерватории МГУ (Калужская область) за период с 2011 по 2020 годы (10 лет), построение и интерпретация сводной кривой МТЗ ...	31
3.3. Анализ и обобщение результатов, полученных в нашей стране и за рубежом в области разработки электромагнитных методов изучения внутреннего строения Марса и Луны	32
3.4. Моделирование влияния трехмерных геоэлектрических неоднородностей на кривые магнитотеллурического зондирования	33
3.5. Опытные-методические работы по аэромагнитной съемке с борта беспилотного воздушного судна (БВС) в районе поселка Полярный	33
ГЛАВА 4. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ МАЛОГЛУБИННОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ	35
4.1. Развитие методов электротомографии на акваториях	35
4.2. Опытные-методические исследования при картировании тектонических нарушений методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) ..	37
4.3 Съемка опорного геофизического профиля на Александровском плато (Калужская область)	38
4.4. Геофизические исследования курганного некрополя Сельцо, электротомографические исследования покровских курганов	39
4.5. Георадиолокационные исследования среды обитания русской выхухолы на о. Саленское и о. Карасиное	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
ПРИЛОЖЕНИЯ (списки литературы и прочее)	46

РЕФЕРАТ

В отчете приводятся результаты научно-исследовательских работ (НИР), выполненных на кафедре геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в 2023 г. по теме: «Геофизические исследования и разработка новых геофизических технологий при решении фундаментальных и прикладных задач геологии, геоэкологии и геоэнергетики». Тема разрабатывается в рамках программы научных исследований факультета, утвержденной правительством РФ, по приоритетному направлению «Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы, безопасности хозяйственной деятельности и развития инфраструктуры России».

Отчет состоит из четырех глав. В каждой главе представлены результаты научных исследований лабораторий, которые составляют структуру кафедры: лаборатории гравirazведки, лаборатории магниторазведки, лаборатории электромагнитных методов и лаборатория малоглубинной электроразведки. Если говорить о научных направлениях, то исследования участников проекта связаны с совершенствованием методики наблюдений, обработки и интерпретации данных электроразведки, гравirazведки и магниторазведки, а также с комплексированием различных геолого-геофизических методов при работах, проводимых как на суше, так и на акваториях. Предложенные методики затем применяются для решения различных глубинных, структурных, нефтегазовых, инженерно-геологических, гидрогеологических, техногенных и экологических задач. В 2023 году разрабатывались следующие фундаментальные и прикладные геолого-геофизические проблемы:

В лаборатории гравirazведки проводились исследования по трем основным направлениям:

1. Дальнейшее изучение строения тектоносферы юго-восточной части Атлантического океана и структур Индийского океана с целью выяснения их истории тектонического развития.
2. Разработка и модернизация методики, алгоритмов обработки и интерпретации данных потенциальных полей.
3. Изучение глубинного строения отдельных территорий земного шара с целью выяснения особенностей их геологического строения по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей.

В лаборатории магниторазведки в 2023 году активно развивались технологии магнитной съемки в области наземной, морской и съемки на малых высотах с использованием БПЛА. Решались следующие задачи:

1. Проведение независимой экспертизы методики и технологии магниторазведочных работ, выполняемых на различных участках, расположенных в пределах Нюрбинского и Мирнинского районов Республики Саха Якутия (совместно с лабораторией гравirazведки).
2. Разработка перечня геологических и геофизических критериев и методов изучения нефтегазоносных бассейнов (совместно со специалистами кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ).
3. Совместно с коллегами из научного информационного центра НГИЦ РАН под руководством к.г.-м.н. Миловского Г.А. выполнены научно-аналитические работы на тему: «Комплексирование данных космических съемок с геофизическими данными на территории Камчатки».
4. Выполнен анализ ретроспективных материалов при изучении магматических пород бодракского субвулканического комплекса Крыма.

5. Развитие и совершенствование методики проведения, обработки и интерпретации высокоточных магнитометрических съемок в варианте градиентометрии для морских исследований при изучении строения шельфовых морей, транзитных и прибрежных зон Арктики и Мирового океана. Исследования проводились совместно с специалистами Морской арктической геологоразведочной экспедиции (МАГЭ).

Лаборатория электромагнитных зондирований. Значительным событием этого года в деятельности сотрудников стали организация и проведение Всероссийского семинара по электромагнитным зондированиям Земли, посвященного 100-летию юбилею профессора кафедры геофизики М.Н. Бердичевского (1923 – 2009), создателя теории и практики магнитотеллурических зондирований.

В 2023 г. научные исследования в лаборатории проводились по следующим направлениям:

1. Исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии различных регионов с помощью комплексирования электроразведочных методов (МТЗ и МВЗ, АМТЗ, ЗСБ и ВЭЗ).
2. Обработка записей компонент электромагнитного поля, полученных в Александровской геофизической обсерватории МГУ (Калужская область) за период с 2011 по 2020 годы (10 лет), построение и интерпретация сводной кривой МТЗ.
3. В рамках Проекта 23-Ш01-13 Междисциплинарных научно-образовательных школ МГУ выполнены анализ и обобщение результатов, полученных в нашей стране и за рубежом в области разработки электромагнитных методов изучения внутреннего строения Марса и Луны.
4. Моделирование влияния трехмерных геоэлектрических неоднородностей на кривые магнитотеллурического зондирования.
5. Выполнение опытно-методических работ по аэромагнитной съемке с борта беспилотного воздушного судна (БВС) в районе поселка Полярный, Чукотский Автономный Округ.

В лаборатории малоглубинной электроразведки в 2023 году проводились научные исследования по разработке новых геофизических технологий и их применению для решения задач археологической геофизики, экологической геофизики, для решения инженерных задач, для поиска различных полезных ископаемых. Отметим лишь некоторые направления:

1. В лаборатории активно развиваются методы электротомографии на акваториях, которые применяются для изучения различных водных объектов, участков мерзлоты и при проведении инженерных изысканий.
2. Опытно-методические исследования при картировании тектонических нарушений методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ).
3. Съемка опорного геофизического профиля на Александровском плато (Калужская область).
4. В рамках сотрудничества с Институтом археологии РАН выполнены геофизические исследования курганного некрополя Сельцо, проведены электротомографические исследования покровских курганов.
5. Решение экологических задач. Георадиолокационные исследования среды обитания русской выхухоли на озерах Саленское и Карасиное.

Результаты научных исследований, проводимых сотрудниками кафедры геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ, внедряются в учебный процесс в виде материалов лекций, семинаров, лабораторных работ, а также позволяют предлагать студентам и аспирантам новые темы для написания научных студенческих работ. Отчет состоит из 50 страниц и содержит 15 рисунков.

ВВЕДЕНИЕ

В отчете приводятся результаты научно-исследовательских работ (НИР), выполненных на кафедре геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в 2023 г. по теме: «Геофизические исследования и разработка новых геофизических технологий при решении фундаментальных и прикладных задач геологии, геоэкологии и геоэнергетики». Тема разрабатывается в рамках программы научных исследований факультета, утвержденной правительством РФ, по приоритетному направлению «Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы, безопасности хозяйственной деятельности и развития инфраструктуры России».

Исторически сложилось, что отчет по НИР состоит из четырех глав. В каждой главе представлены результаты лабораторий, которые составляют структуру кафедры. Это - лаборатория гравиразведки, лаборатория магниторазведки, лаборатория электромагнитных методов и лаборатория малоглубинной электроразведки. Если говорить о направлениях, то научные исследования участников проекта связаны с совершенствованием методики наблюдений, обработки и интерпретации данных электроразведки, гравиразведки и магниторазведки, а также с комплексированием различных геолого-геофизических методов при исследованиях, проводимых как на суше, так и на акваториях. Предложенные методики затем применяются для решения различных глубинных, структурных, нефтегазовых, инженерно-геологических, гидрогеологических, техногенных и экологических задач.

Работы по теме выполнены коллективом авторов – это профессорско-преподавательский состав и научные сотрудники кафедры. Многие исследования проводились совместно с различными институтами РАН и организациями предпринимательского сектора. Следует также отметить, что почти во всех исследованиях принимали участие студенты и аспиранты, проходящие обучение на кафедре.

Отчет состоит из аннотации, введения, четырех глав и заключения. В главах 1 - 4 представлены результаты НИР сотрудников структурных подразделений кафедры: 1 – лаборатории гравиразведки, 2 – лаборатории магниторазведки, 3 – лаборатории электромагнитных зондирований, 4 – лаборатории малоглубинной электроразведки. Многие результаты НИР получены в ходе осуществления летних и зимних учебно-научных практик, проводимых в Калужской области на учебно-научной базе МГУ имени проф. В.К. Хмелевского.

Авторами первой главы являются: профессор Булычев А.А., доцент Лыгин И.В., доцент Кузнецов К.М., старший научный сотрудник Соколова Т.Б., ассистент Фадеев А.А.; главы 2 – доцент Золотая Л.А., доцент Коснырева М.В., ассистент Паленов А.Ю., доцент Попов М.Г., третьей главы – профессор Куликов В.А., профессор Пушкарев П.Ю., доцент Яковлев А.Г., научные сотрудники Голубцова Н.С. и Шустов Н.Л.; главы 4 – профессор Модин И.Н., профессор Шевнин В.А., доценты Бобачев А.А. и Большаков Д.К., старший научный сотрудник Марченко М.Н., инж. Скобелев А.Д. Научный руководитель проекта – заведующий кафедрой геофизических методов исследования земной коры, д.ф.-м.н., профессор Булычев А.А.

ГЛАВА 1.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ ГРАВИРАЗВЕДКИ

Лабораторию гравirazведки представляют 5 штатных сотрудников кафедры (профессор, два доцента, ассистент и старший научный сотрудник). В 2023 году сотрудниками лаборатории гравirazведки научные исследования проводились по запланированным ранее направлениям:

1. Продолжить изучение строения тектоносферы юго-восточной части Атлантического океана и структур Индийского океана с целью выяснения их истории тектонического развития.
2. Продолжить разрабатывать и модернизировать методики и алгоритмы обработки и интерпретации потенциальных полей.
3. Продолжить изучение глубинного строения отдельных территорий земного шара с целью выяснения особенностей их геологического строения по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей.

По направлению «Изучение строения тектоносферы юго-восточной части Атлантического океана и структур Индийского океана» (1) написаны 3 статьи и по результатам обобщения многолетних исследований защищена 1 кандидатская диссертация на тему «Строение тектоносферы подводных поднятий Африкано-Антарктического сектора Южного океана по геофизическим данным» (рук. проф. А.А. Булычев, соискатель Д.А. Рыжова).

Направление «Разработка и модернизация алгоритмов обработки и интерпретации потенциальных полей» (2) получило свое развитие при исследовании по следующим тематикам, завершенных публикацией 4 статей:

- создание технологии картирования вулканогенно-осадочной толщи в сложнодислоцированном терригенном разрезе по данным сейсморазведки и магниторазведки;
- разработка методики геоплотностного и геомагнитного интерактивного моделирования в зависимости от объема и состава привлекаемой априорной геолого-геофизической информации;
- анализ возможностей применения спектрального способа обработки данных дифференциальной гидромагнитной съемки;
- применение машинного обучения для построения структурных границ разреза по потенциальным полям.

По направлению «Изучение глубинного строения отдельных территорий земного шара с целью выяснения особенностей их геологического строения по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей» (3) написана 3 статьи и защищена 1 кандидатская диссертация на тему «Особенности структуры земной коры Баренцево-морского региона по геолого-геофизическим данным» (рук. И.В. Лыгин, соискатель Д.А. Арутюнян)

В совокупности в 2023 году по перечисленным направлениям опубликовано 9 статей в реферируемых журналах, сделано 13 выступлений на конференциях различного уровня. Полный список публикаций приведен в Приложении 1.

Рассмотрим результаты работ по каждому из направлений.

1.1. Изучение строения тектоносферы юго-восточной части Атлантического океана и структур Индийского океана с целью выяснения их истории тектонического развития.

Африкано-Антарктический сектор Южного океана охватывает юго-восточную часть Атлантического и юго-западную часть Индийского океанов. Его развитие связано с расколом юго-западной Гондваны, отделением Африки и Южной Америки от Антарктиды и раскрытием Атлантического и Индийского океанов. Район исследований представляет собой литосферный клин между литосферой Атлантического и Индийского океанов.

Здесь представлены разнообразные по условиям формирования и развития морфоструктуры:

- Подводные поднятия разного генезиса: Мозамбикский и Мадагаскарский хребты, плато Агульяс, поднятие Метеор, хребет Агульяс и Шона;
- Котловины: Мозамбикская, Мадагаскарская, Агульяс, Капская и Африканско-Антарктическая;
- Срединговые хребты: Юго-Западный Индийский (ЮЗИХ), южный сегмент Срединно-Атлантического хребта (ЮСАХ) и Американо-Антарктический хребет (ААХ);
- Палеосрединговый хребет Агульяс.

Перечисленные структуры различаются по своим геофизическим характеристикам и морфологической выраженности, и представляют собой линейно-вытянутые и дугообразные хребты и плато, сложенные как утоненной континентальной корой, так и утолщенной океанической. Многочисленные подводные горы и поднятия образуются как на современных, так и на палеограницах плит вблизи срединно-океанических хребтов и трансформных разломов. Геологические и геофизические данные свидетельствуют о различном глубинном строении коры и тектоносферы исследуемых структур и их различном происхождении.

Полученные в работе результаты легли в основу построения новой схемы структурного районирования и новых моделей строения и истории развития коры и литосферы подводных поднятий различных типов (рис.1.1).

На основе анализируемой информации аномального гравитационного и магнитного полей установлено, что:

1. Мозамбикский и Мадагаскарский хребты имеют различия в строении тектоносферы. Мадагаскарский хребет представляется блоками базальтовой океанической коры, утолщенной за счет андерплейтинга. Мозамбикский хребет сложен утоненной континентальной корой на севере и корой смешанного типа на юге.

2. Плато Агульяс было образовано как крупная магматическая провинция вместе с поднятиями Северо-Восточная Георгия и Мод под действием горячей точки Буве. На севере плато вероятно сложено утоненной континентальной корой, на юге – утолщенной океанической.

3. Поднятия Айлос Оркадас и Метеор характеризуются схожим строением коры, которая сложена утолщенной океанической корой, сформировавшейся под действием горячей точки Шона.

4. Строение коры подводных поднятий зависит от условий их образования, связанных с реорганизацией границ плит и магматической активностью горячих точек.

5. Схема структурного районирования Африкано-Антарктического сектора Южного океана, построенная на основе анализа потенциальных полей, показывает, что

литосфера этого региона сложена гетерогенными блоками, сформированными на разных спрединговых хребтах и разделенными структурами палеограниц плит разных типов.

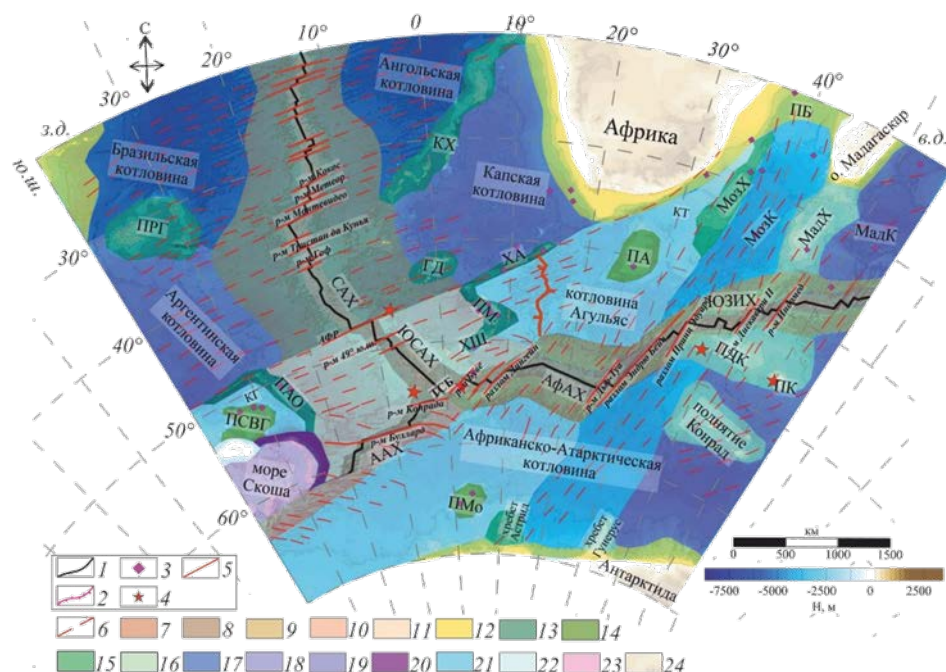


Рис. 1.1. Строение тектоносферы подводных поднятий Африкано-Антарктического сектора Южного океана по геофизическим данным

Условные обозначения: 1 – ось срединноокеанических хребтов; 2 – ось палеоспредингового хребта; 3 – скважины глубоководного бурения (DSDP, ODP, IODP); 4 – горячие точки; 5 – разломные зоны; 6 – псевдоразломы; 7-11 – области с океанической корой, образованные в результате спрединга; 12 – области переходной зоны от континентальной литосферы к океанической; 13-16 – области океанической литосферы с аномальной корой; 17- 22 – области с древней мощной океанической корой; 23 – море Скоша; 24 – область континентов.

Совместный анализ аномальных гравитационных и магнитного полей и глубинных плотностных моделей позволяют выйти на условия происхождения поднятий, в которых важную роль играет взаимодействие плюмового магматизма с кинематическими перестройками, что приводит к формированию поднятий и гетерогенного строения коры. Большинство современных геодинамических обстановок характеризуются особым набором геофизических аномалий. Например, по результатам анализа гравитационного поля в свободном воздухе, ось спрединговых и палеоспрединговых хребтов обладает интенсивной линейной отрицательной аномалией, диапазон которой изменяется от -80 до -30 мГал. Такая информация и характеристики полей позволили построить реконструкцию развития подводных поднятий Африкано-Антарктического сектора Южного океана вдоль трансатлантического профиля.

Выполненная методика по изучению Африкано-Антарктического сектора Южного океана, использованная в защищенной диссертации, может быть применена к другим регионам Мирового океана. Исследования этого региона могут быть продолжены, поскольку в данной работе рассматривалось строение коры и тектоносферы подводных поднятий, но также было бы полезно изучить строение разломных зон.

По результатам исследований в 2023 году опубликована одна статья в журналах «Вестник Камчатской региональной ассоциации "Учебно-научный центр"». Серия: Науки о Земле» и [Рыжова и др., 2023] и защищена одна кандидатская диссертация [Рыжова, 2023].

1.2. Разработка и модернизация алгоритмов обработки и интерпретации потенциальных полей.

Направление «Разработка и модернизация алгоритмов обработки и интерпретации потенциальных полей» (2) включает исследования, направленные на совершенствование и разработку подходов, методов, алгоритмов. В 2023 году направление получило свое развитие при исследовании по следующим темам:

- создание технологии картирования вулканогенно-осадочной толщи в сложнодислоцированном терригенном разрезе по данным сейсморазведки и магниторазведки;
- разработка методики геоплотностного и геомагнитного интерактивного моделирования в зависимости от объема и состава привлекаемой априорной геолого-геофизической информации;
- анализ возможностей применения спектрального способа обработки данных дифференциальной гидромагнитной съемки;
- применение машинного обучения для построения структурных границ разреза по потенциальным полям.

По результатам исследований опубликованы четыре статьи в журналах «Геофизические исследования» [Лыгин и др., 2023], «Геофизика» [Лыгин и др. 2023] и «Гелиогеофизические исследования» [Кузнецов, Булычев, Лыгин, 2023; Шклярчук, Кузнецов, 2023].

1.2.1. Создание технологии картирования вулканогенно-осадочной толщи в сложнодислоцированном терригенном разрезе по данным сейсморазведки и магниторазведки

Сейсморазведка является основным геофизическим методом структурных построений, но в неблагоприятных сейсмогеологических условиях эффективность ее снижается. В осадочных бассейнах такие условия возникают в областях с тектонически нарушенным пологим залеганием осадочных толщ. В то же время, наличие крутопадающих (негоризонтальных) контактов между комплексами горных пород при их различии по плотности или намагниченности (например, эвапоритовые или вулканогенно-осадочные комплексы и др.) создает предпосылки применения гравиразведки и магниторазведки для эффективного уточнения структурных построений.

В ходе детальных комплексных исследований в районе Вашуткина-Талотинской складчато-надвиговой зоны (Печорское море) установлена корреляция формы локальных магнитных аномалий и выделенных сейсморазведкой элементов структурного плана территории.

Целенаправленный анализ особенностей волновой картины и локальных аномалий магнитного поля позволил локализовать в осадочной толще магнитоактивный слой, обладающий свойствами, характерными для вулканогенно-осадочных комплексов. В результате сейсмамагнитного моделирования восстановлена морфология его кровли и подошвы. С использованием методики автоматизированного подбора намагниченности построена трехмерная модель магнитного слоя, полностью объясняющая структуру магнитных аномалий наличием вулканогенно-осадочного слоя.

Результаты исследования опубликованы в работе [Лыгин и др., 2023].

1.2.2. Разработка методики геоплотностного и геомагнитного интерактивного моделирования в зависимости от объема и состава привлекаемой априорной геолого-геофизической информации.

Под геоплотностным и геомагнитным моделированием понимается построение геоплотностных и геомагнитных разрезов на основе анализа и интерпретации аномалий гравитационного и магнитного полей; в первом случае разрез отображает распределение в геологической среде плотности, во втором – намагниченности. Конечная цель процесса моделирования состоит в получении двумерных (разрезы) или трехмерных (объемные) моделей, гравитационный или магнитный эффект которых с заданной точностью совпадает с полученными в результате инструментальных измерений аномалиями поля силы тяжести или магнитного поля (с “наблюдаемым” полем).

При разработке темы рассмотрены возможные пути учета априорной информации в зависимости от ее объема и состава, степени изученности региона и сложности моделей физико-геологической среды. Предварительно были детально проанализированы особенности методики геоплотностного и геомагнитного моделирования, связанные с разными физико-геологическими условиями территорий, основные положения которой изложены в работе предыдущего года [Широкова, Лыгин, Соколова, 2022]. На текущем этапе исследования предлагается новый, опирающийся на интерактивный подбор, инструментарий для моделирования, который позволяет интерпретатору регулировать процесс моделирования (включая алгоритм решения обратной задачи) с учетом всех имеющихся априорных данных вне зависимости от их формата и объема.

Представляемая методика моделирования реализует возможность формализации и учета практически неограниченных по объему и составу априорных геолого-геофизических данных, предусматривая вариативность в подходах к моделированию в зависимости от содержащейся в них информации. В алгоритм моделирования включены шесть основных этапов (1. сбор и подготовка исходных данных; 2. построение начальной модели среды; 3. формирование особых условий неформального подбора с использованием специальных инструментов. Построение весовой корректирующей функции R ; 4. дополнительные ограничения при решении обратной задачи; 5. подбор модели среды. Решение обратной задачи; 6. верификация результативной модели) и четыре возможных подхода (1. простой – “потенциальный”; 2. легкий – “концептуальный”; средний – “геофизический”; 4. полный – “геолого-геофизический”). Подход выбирается интерпретатором с учетом особенностей используемых данных. Все плотностные модели удовлетворяют наблюдаемому полю с относительной погрешностью не хуже 1%, но существенно отличаются по характеру распределения плотности (рис. 1.2).

Наиболее важные выводы относительно возможностей и перспектив применения методики интерактивного подбора следующие.

1. Интерактивный учет априорных геолого-геофизических данных базируется на выделении по их совокупности наиболее нестабильных по плотности или намагниченности областей для последующего использования при моделировании в их пределах.

2. В рамках предложенного подхода объем и состав априорной геологической и геофизической информации, используемой для формирования критериев локализации областей интерактивного подбора и задания значений весовой корректирующей функции R , не ограничен.

3. Собственно процедуры формализации задания R в каждом конкретном случае зависят от особенностей решаемой геолого-геофизической задачи, объема и характера геолого-геофизических данных. Помимо способов, описанных в данной статье, при

необходимости могут быть созданы иные, учитывающие особенности физико-геологического строения изучаемой площади и задач исследования.

4. Разработанные инструменты учета априорной геолого-геофизической информации при интерактивном моделировании не уменьшают количества альтернативных моделей, но обеспечивают возможность создания геологически сбалансированной модели, максимально удовлетворяющей всем априорным данным.

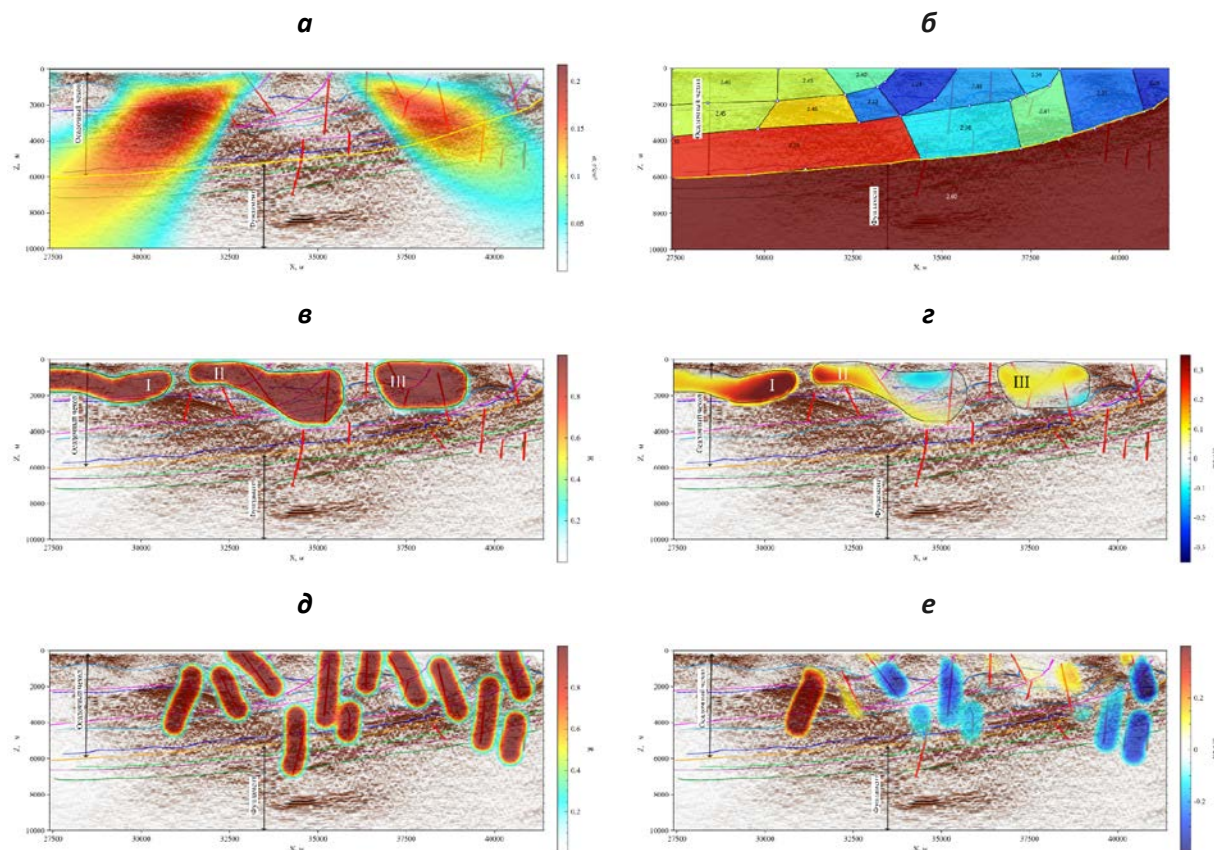


Рис. 1.2 Варианты плотностных моделей среды, полученные на основе одного и того же комплекта априорных данных при подходах 1, 2, 3.

а: Подход 1. Подобранная модель распределения плотности в предположении источников типа “горизонтальный цилиндр” на фоне структурного сейсмического разреза.

б: Подход 2. Блочная плотностная модель, полученная в результате интерактивного подбора, с указанием значений плотности в блоках.

Подход 3:

в: Распределение весовой корректирующей функции R в соответствии с уровнем интенсивности амплитуд сейсмического сигнала.

г: Плотностной разрез после интерактивной коррекции внутри областей аномальных амплитуд сейсмического сигнала.

д: Распределение весовой корректирующей функции R в областях вблизи разрывных нарушений.

е: Плотностной разрез после интерактивной коррекции в зонах разрывных нарушений.

На рисунках **в**, **г** римскими цифрами I, II, III обозначены области приоритетного подбора.

Результаты исследования обсуждены на конференциях:

- 49-я сессия Международного семинара им. Д.Г. Успенского - В.Н. Страхова «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» (г. Екатеринбург, Россия, 23-27 января 2023) [Лыгин и др., 2023];
- «ГеоЕвразия-2023. Геологоразведочные технологии - наука и бизнес» (Москва, Россия, 27-29 марта 2023) [Чепиги и др., 2023];
- Ломоносовские чтения - 2023. Секция Геология. Подсекция Геофизика (г. Москва, Воробьевы горы, МГУ, геологический факультет, Россия, 12 апреля 2023) [Лыгин, 2023].

Исследования опубликованы в работе [Лыгин и др., 2022]. Статья была опубликована в декабре 2022 года и не вошла в отчет прошлого года.

1.2.3. Анализ возможностей применения спектрального способа обработки данных дифференциальной гидромагнитной съемки.

Одной из ключевых проблем при картировании аномалий магнитного поля является учет временных вариаций магнитного поля Земли. Решение данной проблемы с использованием наземных магнитовариационных станций (МВС) при больших удалениях от них невозможен, вследствие значительной изменчивости геомагнитных вариаций. Установка МВС в районе исследований в море требует специализированного оборудования и зачастую затруднена. В связи с этим для учета вариаций на акваториях применяются технологии дифференциальных гидромагнитных измерений.

Рассмотрен метод спектральной обработки дифференциальных гидромагнитных съёмок. Анализ показал более устойчивый результат в сравнении с методом прямого интегрирования. Важно отметить ограничения такого подхода: невозможно восстановить средний уровень поля; алгоритм является неустойчивым; не все частоты аномального магнитного поля могут быть корректно восстановлены.

Спектральный метод свободен от присущего прямому интегрированию накоплению ошибок при увеличении базы градиентометра и длины галса. При этом изменение конфигурации продольного градиентометра (взаимного положения датчиков) в ходе одного галса существенно сказывается на точности восстановления аномалий магнитного поля, что необходимо учитывать при выборе базы градиентометра и методики съемки.

Результаты исследования опубликованы в работе [Кузнецов, Булычев, Лыгин, 2023].

1.2.4. Применение машинного обучения для построения структурных границ разреза по потенциальным полям.

На сегодняшний день применение алгоритмов на основе нейронных сетей позволяет решать широкий круг задач геофизики. Однако, их применение в обработке и интерпретации геопотенциальных полей встречается редко.

В ходе работы построен и протестирован на модельных и реальных данных алгоритм на основе многослойных нейронных сетей прямого распространения для решения задачи восстановления структурных границ по потенциальным полям с опорой на данные с уже известным положением искомой границы. Предложенный алгоритм на основе нейронных сетей может быть использован для построения структурных горизонтов с опорой на имеющиеся сети профильных данных, так и с опорой на площадные данные. Этот подход может найти свое место при построении объемных геолого-геофизических моделей.

Подходы на основе нейронных сетей могут стать одним из инструментов для интерпретации потенциальных полей. На их основе возможно доработать и создать новые подходы для решения различных задач гравиразведки и магниторазведки.

Важно отметить, что несмотря на активное развитие реализации нейронных сетей на персональных компьютерах, зачастую их применение требует использование более мощных систем вплоть до суперкомпьютеров. Также важным является то, что подбор архитектуры, параметров нейронных сетей выполняется эмпирическим путем, что требует большого временного ресурса.

Несмотря на вышеописанное, активное развитие технологий применения нейронных сетей делает это направление перспективным. Стоит отметить, что поскольку нейронные сети помогают найти сложные функциональные связи между параметрами поля и атрибутами изучаемой среды, то они могут быть эффективны, особенно при решении задач комплексной интерпретации геолого-геофизических данных.

Разработанная методика построения структурных поверхностей с применением алгоритмов машинного обучения может лечь в основу алгоритмов моделирования солнечно-земных связей.

Результаты исследования опубликованы в работе [Шклярук, Кузнецов, 2023].

1.3. Изучение глубинного строения отдельных территорий земного шара с целью выяснения особенностей их геологического строения по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей.

В рамках исследования по данному направлению исследован Баренцевоморский регион. Результаты исследования изложены в трех статьях, обсуждены на двух конференциях. По результатам исследования защищена кандидатская диссертация.

Баренцевоморский регион интересен как с точки зрения развития различных концепций геологического строения окраинных морей, так и в плане поиска и разведки полезных ископаемых. Несмотря на пристальное внимание исследователей к региону, в представлениях о его геологическом строении и истории развития остается ряд дискуссионных вопросов, а существующие тектонические схемы различаются концептуально.

Новая информация о геологическом строении получена на основе современных цифровых моделей геофизических полей. Базовыми методами определения вещественного состава и пространственного распределения петрофизических характеристик геологических структур являются гравиразведка и магниторазведка, достоинством которых является равномерное информационное покрытие. Современные методы обработки и трехмерного моделирования источников гравитационных и магнитных аномалий на базе актуализированных априорных данных позволили привнести дополнительную информацию о геологическом строении региона. Результаты трехмерного моделирования источников гравитационного и магнитного полей наряду с реконструированными поверхностями (граница Мохо и подошва осадочного чехла) послужили основанием для построения схемы строения фундамента Баренцевоморского региона (рис.1.3).

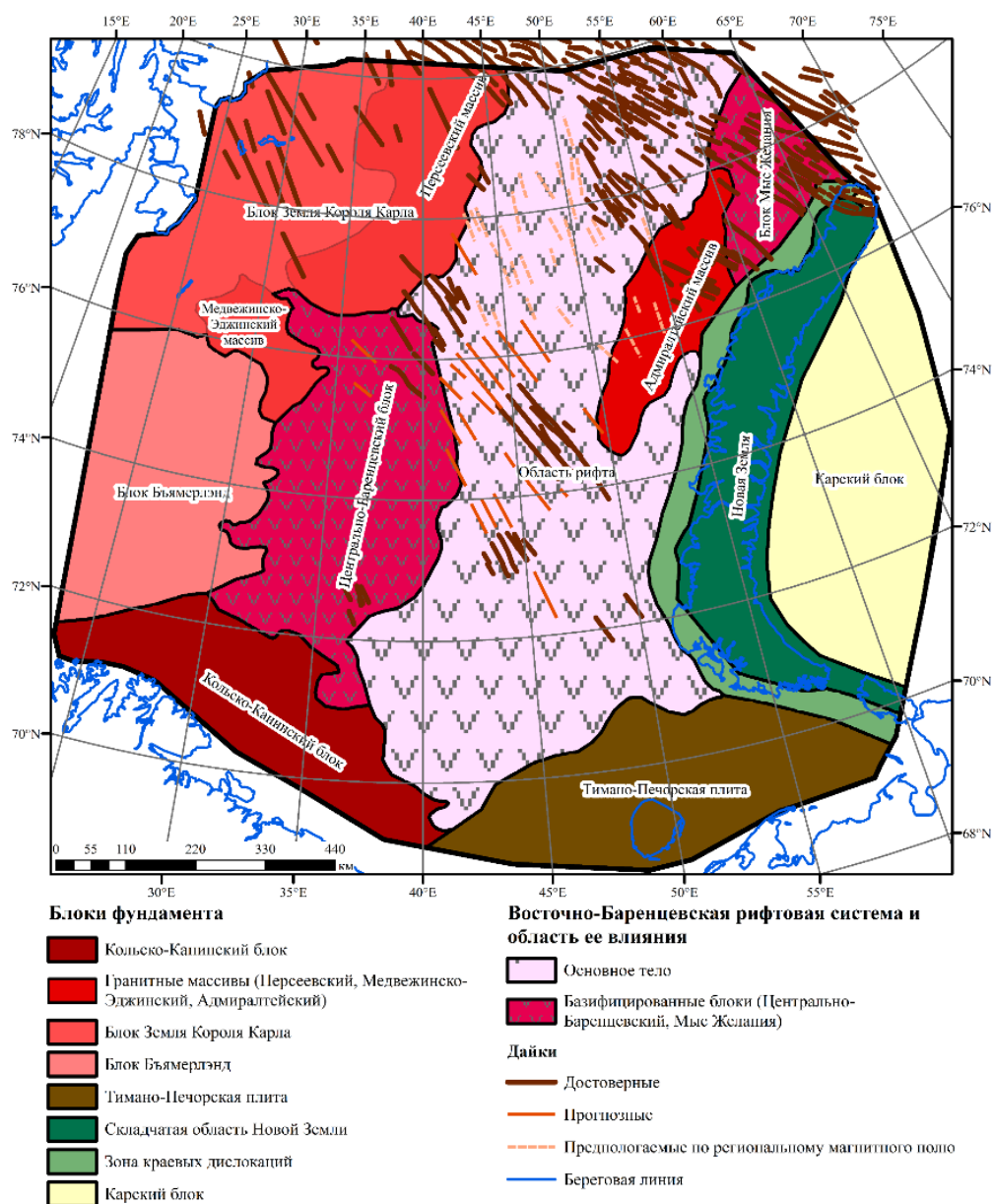


Рис. 1.3. Особенности строения гетерогенного фундамента Баренцевоморской плиты по результатам комплексной интерпретации.

В результате выполненных исследований:

1. Разработана методика прогноза структурной поверхности с применением машинного обучения. Важным элементом методики является возможность верификации прогнозной границы по её гравитационному эффекту. Методика апробирована при создании моделей морфологии границы Мохоровичича (Мохо) и подошвы осадочного чехла.
2. Составлена уточненная схема гетерогенного основания Баренцевоморской плиты, представленного кристаллическими массивами, рифтовым телом и блоками с переходным типом коры. Рифтовое тело с попавшими под его влияние блоками (базифицированные блоки Центрально-Баренцевский и мыса Желания) более плотные, чем блоки континентального типа (Земля Короля Карла и Бьямерлэнд, массивы Адмиралтейский, Персеевский и Медвежинско-Эджинский), что частично обусловило вторичное погружение первых и воздымание вторых.

3. Установлены закономерности между физическими свойствами фундамента (плотность и намагниченность) и структурами осадочного чехла.

- Над наиболее низкоплотными, слабомагнитными и поднятыми структурами часто сформированы поднятия. Так, Адмиралтейскому массиву соответствует Адмиралтейское поднятие, над Персеевским массивом находятся поднятия Персеевское и Вернадского. Подобное соответствие характерно для центральных частей свода Федынского, поднятия Бьямерлэнд, Лунинской седловины и других.

- Прогиб Ольги характеризуется противоположной закономерностью – он заполнен «плотным» и магнитным материалом. Прогиб, по всей видимости, сформировался как поперечная трещина в континентальном блоке Земля Короля Карла, раскрывшейся при формировании Восточно-Баренцевского рифта.

- Основания поднятий Штокмановское и Маловатское имеют магматическую природу (они плотные и магнитные). Аномалии поля силы тяжести над перечисленными структурами не подчиняются строгому прямому соответствию «антиформа – положительная аномалия» в силу сложного соотношения гравитационных эффектов плотностных границ и плотностных неоднородностей в земной коре. Именно поэтому встречаются структуры, имеющие обратное соответствие со знаком гравитационной аномалии.

4. Линейные аномалии магнитного поля, проявленные в его локальной компоненте, имеют преимущественно северо-западное простирание и протяженность до 500–600 км (местами предполагается более 1000 км) и распространены практически на всей российской акватории Баренцева моря (за исключением его южной части). Они секут региональные аномалии магнитного поля и устойчиво сохраняют свои параметры (простирание, форму, размеры и амплитуду), что говорит об их единой тектонической природе.

5. Совокупность доступной геолого-геофизической информации позволяет обоснованно считать источниками линейных магнитных аномалий субвертикальные дайки габбро-долеритового состава. По оценкам, выполненным с применением вейвлетов Пуассона, верхние кромки даек залегают на глубинах близких к отметке - 1500 м.

По результатам исследований в 2023 году опубликованы три статьи в журналах «Физика Земли» [Лыгин и др., 2023], «Геофизика» [Лыгин, Арутюнян, 2023], «Гелиогеофизические исследования» [Лыгин и др., 2023] и защищена одна кандидатская диссертация [Арутюнян, 2023].

1.4. Научные исследования по смежным тематикам

1.4.1. Опыт прецизионных гравиметрических исследований

Под руководством ассистента А.А. Фадеева продолжают совершенствоваться методики полевых гравиметрических наблюдений. В 2023 году выполнено обобщение опыта таких работ и сделан доклад на конференции «ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2023. Секция Геология. Подсекция Геофизика» (г. Москва, Воробьевы горы, МГУ, геологический факультет, Россия, 12 апреля 2023).

Опыт прецизионных гравиметрических исследований использован при комплексном геолого-геофизическом изучении трещиноватости в пределах юго-западного Крыма (мыс Фиолент, Гераклеяское плато) [Крылов и др., 2023].

1.4.2. Анализ пространственно-временной неоднородности геомагнитных вариаций

Под руководством доцента И.В. Лыгина развивается направление по анализу пространственно-временной неоднородности геомагнитных вариаций. На эту тему сделан доклад на конференции «VII Гравиметрический и магнитометрический семинар памяти профессора В.Р. Мелихова» (г. Москва, Воробьевы горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра геофизических методов исследования земной коры, Россия, 12 мая 2023).

1.4.3. Гидромагнитные съемки

В начале 2023 года в рамках реализации Программы развития Московского университета (Соглашение № 195 от 15 сентября 2022 г.) закуплен морской продольный градиентометр-магнитометр MariMag300m. Это позволило возродить проведение полевых гидромагнитных съемок на кафедре геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета. Результаты работы с градиентометром нашли отражения в 3-х докладах.

Заключение

В 2023 году исследования выполнены по всем запланированным темам. Всего опубликовано 11 статей в реферируемых журналах.

В 2024 году сотрудники планируют продолжить выполнять научные исследования по следующим двум темам:

1. Продолжить разрабатывать и модернизировать алгоритмы обработки и интерпретации потенциальных полей.
2. Продолжить изучение глубинного строения отдельных акваторий и территорий земного шара с целью выяснения особенностей их геологического строения по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей.

ГЛАВА 2.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ МАГНИТОРАЗВЕДКИ

Лабораторию магниторазведки представляют 4 штатных сотрудников кафедры (три доцента и ассистент).

В 2023 году под руководством доцента Золотой Л.А. в лаборатории активно разрабатывались технологии магнитной съемки в области наземной, морской и съемки на малых высотах с использованием БПЛА, которые позволили получить новые практические результаты в решении фундаментальных и прикладных геологических задачах. Основные исследования можно сформулировать следующим образом:

1. Совместно с сотрудниками лаборатории гравиразведки **проведена независимая экспертиза методики и технологии магниторазведочных работ**, выполняемых на различных участках, расположенных в пределах Нюрбинского и Мирнинского районов Республики Саха Якутия Вилюйской геологоразведочной экспедицией (ВГРЭ) АК «АЛРОСА» (ПАО) (г. Мирный).
2. **Разработка перечня геологических и геофизических критериев и методов изучения нефтегазоносных бассейнов** (совместно со специалистами кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ).
3. Совместно с коллегами из научного информационного центра НГИЦ РАН под руководством к.г.-м.н. Миловского Г.А. выполнены научно-аналитические работы на тему: **«Комплексирование данных космических съемок с геофизическими данными на территории Камчатки»**.

2.1. Проведение независимой экспертизы методики и технологии магниторазведочных работ, выполняемых Вилюйской геологоразведочной экспедицией (ВГРЭ) АК «АЛРОСА» (ПАО) (г. Мирный).

Проведена независимая экспертиза методики и технологии магниторазведочных работ, выполняемых ВГРЭ на участке Хоту-Куель в 2022, 2023 г.г. в объеме 300 пог.км, которые были завершены построением карты аномального магнитного поля с точностью ± 0.6 нТл. Были выполнены трансформации магнитного поля и проведена интерпретация полученных результатов с целью локализации кимберлитовых трубок.

При проведении экспертизы были изучены геолого-геофизические материалы, перспективные на обнаружение алмазоносных месторождений на площадях «Усть-Накынский» и «Мирнинский», расположенные в пределах Нюрбинского и Мирнинского районов Республики Саха (Якутия).

Проведены обработка и анализ данных опытно-методических (ОМР) профильных магнитных измерений полного вектора индукции магнитного поля T , выполненных по разным методикам съемки и топографического обеспечения (по просекам и без рубки профилей, с навигацией по профилям с приемником типа Garmin в разных режимах, со встроенным в магнитометр GPS-приемником) в объеме 11 пог.км, на объекте Мирнинский.

Проведены оценка и анализ источников погрешностей съемок, выполненных в разных режимах съемки и топообеспечения, и даны рекомендации по проверке и выбору магниторазведочной аппаратуры; по оптимизации методики магнитных измерений для достижения максимальной точности съемки (менее ± 1 нТл). Согласно техническому заданию проведена переобработка и предварительная интерпретация данных площадной

магнитной съемки участка Хоту-Куэль (объект Усть-Накынский, магнитометр G-859 непрерывная съемка, м-б 1:5000, 3000 пог.км).

Основным результатом работ можно считать сформулированные рекомендации по методике интерпретации площадной магниторазведочной съемки по участку Хоту-Куэль, с предоставлением карт аномалий и карт графиков магнитного поля Т, высокочастотных и низкочастотных трансформаций с целью выделения региональной и локальных составляющих, а также районирования магнитного поля с использованием современного программного обеспечения.

Проведена экспертиза магниторазведочных работ по ряду важных вопросов:

- Супервайзинга полевых работ;
- Анализ результатов ОМР в объеме 11 пог. км. с использованием различных методик профильной съемки квантовых и протонных магнитометров;
- Обозначены рекомендации по выбору аппаратуры, способу измерений и дополнительных приемов по оптимальной подготовке полевых магнитометров и магнитовариационных станций;
- Проведен контроль полного цикла методики камеральных работ на Усть-Накымском участке;
- Разработана оптимальная методика поэтапной обработки данных, которая завершена построением карты аномального магнитного поля масштаба 1:5000;
- Комплексирование геологических данных предоставленных Заказчиком, с использованием современного программного обеспечения проанализированы особенности локального магнитного поля над кимберлитовыми трубками;
- Рекомендовано создание новых алгоритмов на основе методов машинного обучения для локализации и выделения магнитных аномалий, связанными с перспективными объектами.

На основе проделанной экспертной многоплановой работы проанализировано содержание «Временных методических рекомендаций по проведению магниторазведочных работ» (2007), установленными в Вилюйской ГРЭ АК «АЛРОСА» ПАО, и подготовлена новая редакция «Методических рекомендаций по проведению высокоточных магнитных съемок».

2.2. Разработка перечня геологических и геофизических критериев и методов изучения нефтегазоносных бассейнов (совместно со специалистами кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ).

Подведены итоги аналитических научно-исследовательских работ по пилотному участку «Верхнечонское месторождение».

Верхнечонское месторождение, приуроченное к Верхнечонскому поднятию Непского свода Непско-Ботуобинской антеклизы, находится на эксплуатационном этапе ПРР. Интерпретация материалов гравитационных и магнитных съемок позволила получить первые представления о структуре фундамента и осадочного чехла, об ориентировке структурных элементов фундамента, о площадях развития объектов высокой намагниченности, в том числе объектов, перспективных на поиски магнетитового оруденения. *В рамках этого проекта были обоснованы общие выводы и рекомендации по использованию гравиразведки и магниторазведки в комплексе геолого-геофизических поисковых работ.*

Предпосылками включения гравиразведки и магниторазведки в комплекс геофизических методов поиска и разведки месторождений углеводородов является ряд факторов:

- Необходимость привлечения данных потенциальных методов из-за физико-геологических особенностей строения территории, возникающих при резком снижении эффективности сейсморазведки на ряде участков в сложных сейсмогеологических условиях. К таким факторам, как известно, относятся: появление в разрезе крутопадающих (более 10-15 градусов) границ раздела; присутствие областей потери корреляции, вызванных геологическими и скоростными неоднородностями среды; наличие тектонических нарушений и возникновение при этом дифрагированных волн, сильно осложняющих волновую картину; неровность (шероховатость, «не гладкость») поверхности отражающих горизонтов.

- Эффективность гравиразведки обусловлена физическими основами метода – тесной связи скорости распространения упругих волн в толщах с плотностью горных пород. Из чего следует, что наличие плотностной неоднородности с высокой степенью вероятности свидетельствует о наличии сложной волновой картины скоростей упругих волн.

- В практику комплексной интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и сейсморазведки в последние годы всё увереннее входит применение технологий сейсмо-плотностного и сейсмо-магнитного моделирования. Новейшие методики геоплотностного и геомагнитного моделирования ориентированы на максимальный учет априорной геологической информации на всех этапах комплексной интерпретации данных. Такой подход обеспечивает не только снижение неоднозначности решений, но и существенное повышение их практической значимости.

- Присутствие в разрезе магматических пород делает магниторазведку (через изучение аномалий магнитного поля, их интерпретацию и построение геомагнитной модели объекта) неотъемлемой частью геолого-геофизического комплекса на всех этапах исследования.

- Методические и производственные факторы. Современные технологии измерения магнитного и гравитационного полей позволяют быстро и дешево (по сравнению с сейсморазведкой и бурением) проводить высокоточные съемки в наземном, морском, и аэро- вариантах. Благодаря этому, как правило, аномалии гравитационного и магнитного полей регистрируются и используются для интерпретации по равномерной сети и при том значительно более детальной, чем сейсморазведочные данные. Легче и быстрее актуализируются устаревшие по точности и детальности съемки прошлых лет.

- Главные особенности физико-геологической модели таких сред, определяющие методику применения и возможности геофизических методов исследования и, в том числе, грави- и магниторазведки:

- Интенсивное развитие программного обеспечения, предложенное Исполнителем, в том числе и специализированного, открывает новые возможности анализа и интерпретации данных, обеспечивает комплексный подход к решению обратных задач и построению итоговых прогнозных геолого-геофизических моделей нефтяных месторождений (рис. 2.1).

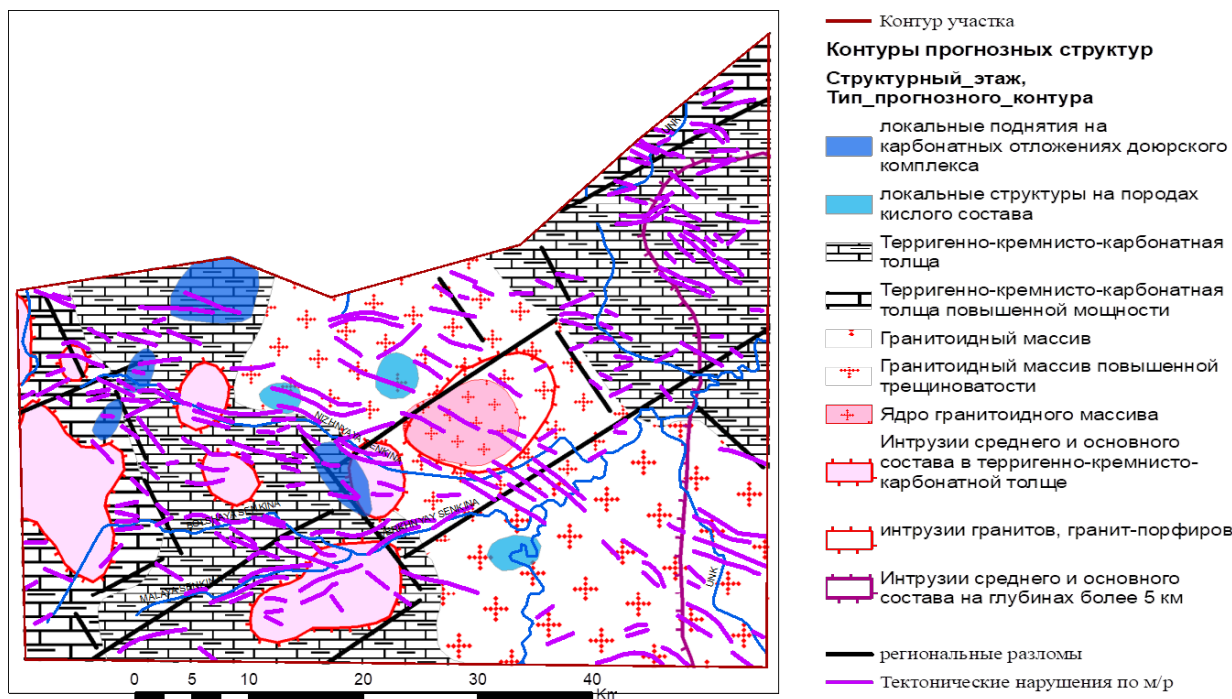


Рис. 2.1. Схема прогнозных территорий по результатам комплексной геолого-геофизической интерпретации

2.3. Комплексирование данных космических съемок с геофизическими данными на территории Камчатки.

Целью научной работы ставилось изучение возможности использования комплекса дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с привлечением материалов РОСГЕОЛФОНДА по гравитационным и магнитным съемкам и фондовых отчетов по геолого-тектоническому изучению золоторудных полей на примере Кигичинского, Ваняваямчкого и Тымлатского узлов северо-восточной части Камчатского полуострова (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Контур площади исследований.

За отчетный период была выполнена квалификационная бакалаврская работа Медведева П.Д. под научным руководством доцента Л.А. Золотой. Были сделаны выводы, что при прогнозировании золоторудных полей разработанные приемы дешифрирования КС и их интерпретации необходимо сочетать с априорной геолого-тектонической

информацией, а также следует дополнять анализом потенциальных полей и их трансформант. В потенциальных полях ярко отражаются разломы и тектонические нарушения различных рангов, и они имеют, часто петрофизическую природу. Использование в комплексе геофизических методов и методов ДЗЗ существенно повышает достоверность геолого-тектонических выводов с целью прогнозирования золоторудных зон (рис. 2.3 и рис.2.4).

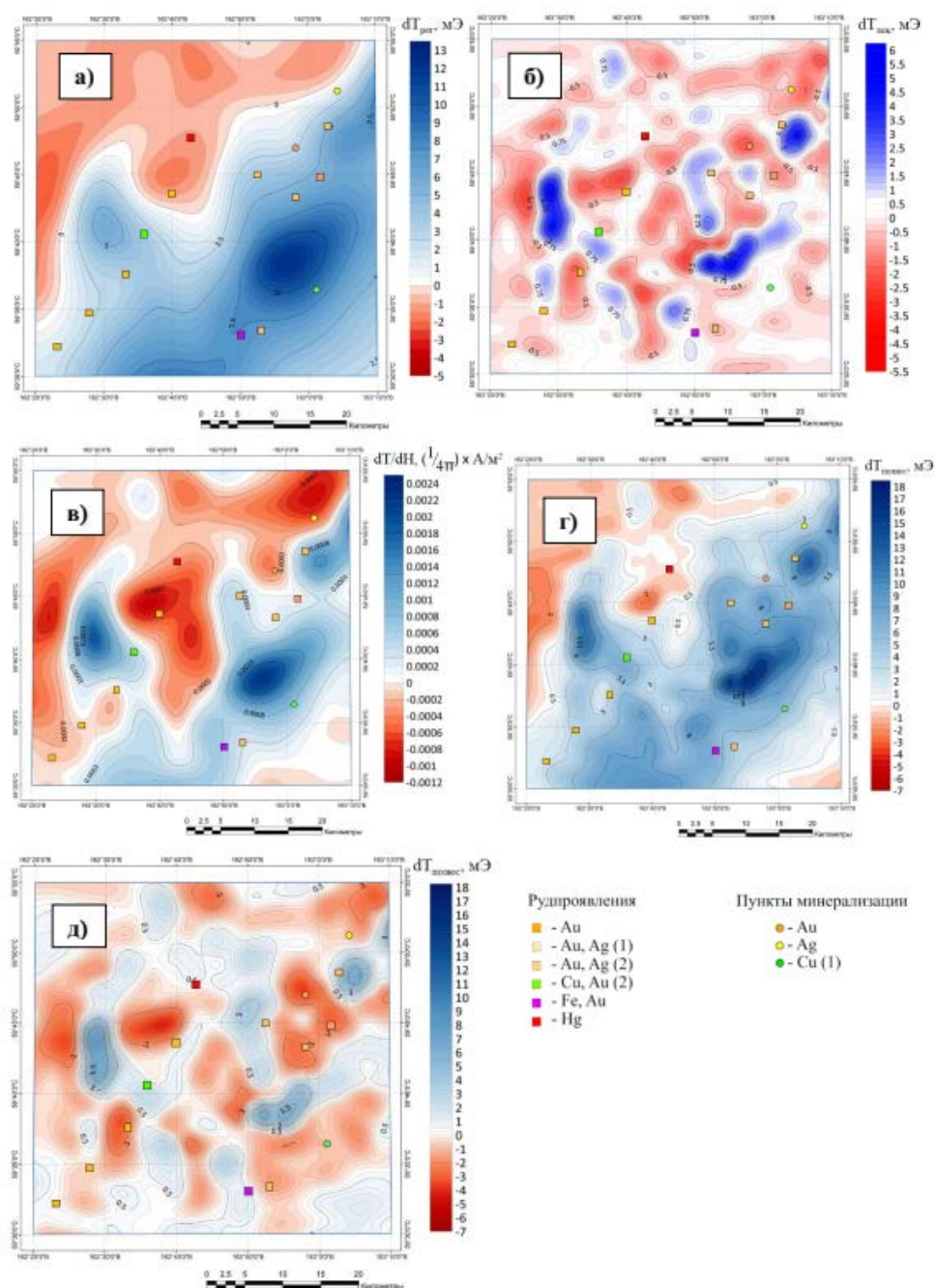


Рис. 2.3. Трансформанты магнитного поля по исследуемой площади.

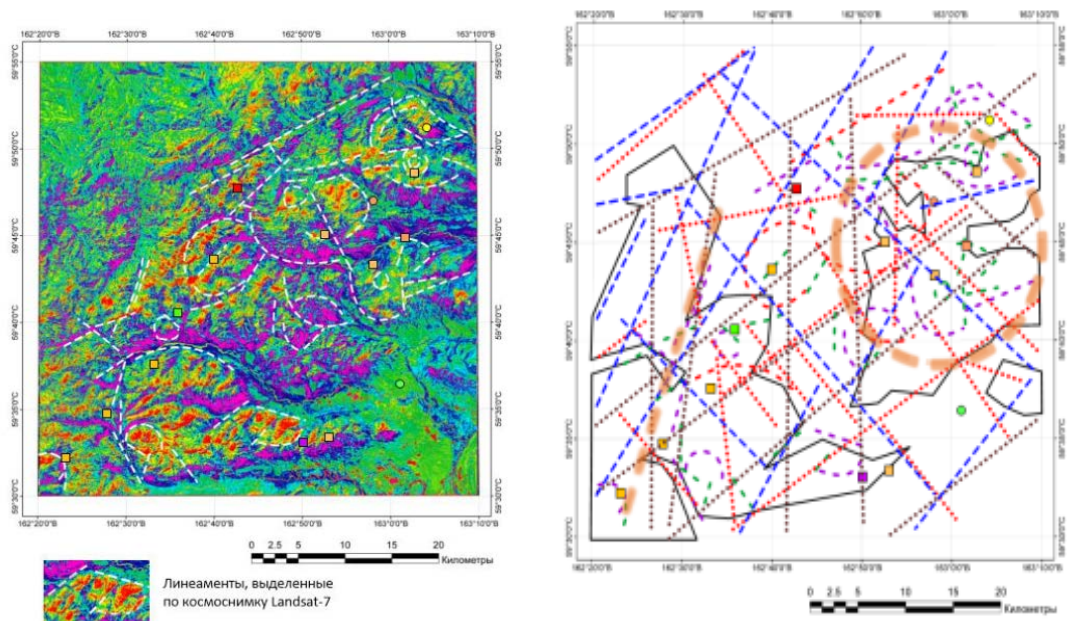


Рис. 2.4. Результаты дешифрирования космоснимка Landsat-7 (слева); сводная схема линиментов по данным потенциальных полей и дешифрирования (справа).

Анализ результатов показал, что часть линеаментов нашли отражение в потенциальных полях. Комплексная интерпретация позволила на изученных золоторудных узлах Камчатского полуострова спрогнозировать новые перспективные участки для поиска месторождений золота.

Также в 2023 г. в лаборатории магниторазведки были проведены следующие исследования: а) анализ ретроспективных материалов при изучении магматических пород бодракского субвулканического комплекса Крыма; б) Продолжено развитие научного направления по методике проведения, обработке и интерпретации высокоточных магнитометрических съемок в варианте градиентометрии для морских исследований при изучении строения шельфовых морей, транзитных и прибрежных зон Арктики и Мирового океана совместно с специалистами Морской арктической геологоразведочной экспедиции (МАГЭ); в) Продолжены исследования, направленные на изучение строения тектоносферы юго-восточной части Атлантического океана и структур Индийского океана с целью выяснения их истории тектонического развития.

ГЛАВА 3.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Лабораторию электромагнитных зондирований представляют 5 штатных сотрудников кафедры (два профессора, доцент и два научных сотрудника).

Значительным событием этого года в деятельности **сотрудников лаборатории электромагнитных зондирований** стали организация и проведение Всероссийского семинара по электромагнитным зондированиям Земли, посвященного 100-летию юбилею профессора кафедры геофизики М.Н. Бердичевского (1923 – 2009), создателя теории и практики магнитотеллурических зондирований, основателя лаборатории электромагнитных зондирований на кафедре геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

В 2023 г. научные исследования в лаборатории проводились по следующим основным направлениям:

1. Исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии различных регионов с помощью комплексирования электроразведочных методов (МТЗ и МВЗ, АМТЗ, ЗСБ и ВЭЗ) под руководством профессора Куликова В.А.
2. Обработка записей компонент электромагнитного поля, полученных в Александровской геофизической обсерватории МГУ (Калужская область) за период с 2011 по 2020 годы (10 лет), построение и интерпретация сводной кривой МТЗ.
3. В рамках Проекта 23-Ш01-13 Междисциплинарных научно-образовательных школ МГУ выполнены анализ и обобщение результатов, полученных в нашей стране и за рубежом в области разработки электромагнитных методов изучения внутреннего строения Марса и Луны (руководитель профессор Пушкарев П.Ю).
4. Моделирование влияния трехмерных геоэлектрических неоднородностей на кривые магнитотеллурического зондирования (руководитель профессор Пушкарев П.Ю).
5. Выполнение опытно-методических работ по аэромагнитной съемке с борта беспилотного воздушного судна (БВС) в районе поселка Полярный, Чукотский Автономный Округ (доцент Яковлев А.Г., научный сотрудник Шустов Н.Л. и ассистент лаборатории магниторазведки Паленов А.Ю.).

3.1. Исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии различных регионов с помощью комплексирования электроразведочных методов (МТЗ и МВЗ, АМТЗ, ЗСБ и ВЭЗ).

3.1.1. Продолжение комплексных электроразведочных работ методами АМТЗ, ЗСБ и ВЭЗ по региональным профилям через р. Угра, которые направлены на поиск и изучение разновозрастных погребенных долин (проект 2022г).

В период с 2015 г. по 2022 г. в районе научно-учебного полигона «Александровка» были выполнены комплексные электроразведочные измерения по трем субширотным профилям, направленные на изучение миоценовой палеодолины, закартированной в среднем течении р. Угра. В процессе работ сформировался комплекс, включающий следующие электроразведочные методы: вертикальное электрическое зондирование с измерением вызванной поляризации (ВЭЗ-ВП), зондирование становлением поля (ЗСБ), аудиоманнитотеллурическое зондирование (АМТЗ). По результатам интерпретации

данных проявляется как объект пониженного сопротивления. Это связано с тем, что ее верхние горизонты (новосельская свита) сложены преимущественно проводящими глинами с прослоями алевроитов.

С другой стороны, на псевдоразрезах кажущейся поляризуемости (метод ВЭЗ-ВП), в отличие от псевдоразрезов рк, оба палеовреза проявляются практически одинаково – зоной минимальных значений на больших разносах. Это объясняется тем, что наиболее поляризующиеся пиритизированные терригенные отложения тульского и бобриковского горизонтов визейского яруса срезаны и замещены отложениями азовской серии. Учитывая, что тульский и бобриковский горизонты имеют региональное распространение и выдержанный литологический состав, можно рассматривать отсутствие восходящей ветви на кривых кажущейся поляризуемости как устойчивый поисковый признак палеоврезов большой мощности (рис.3.2).

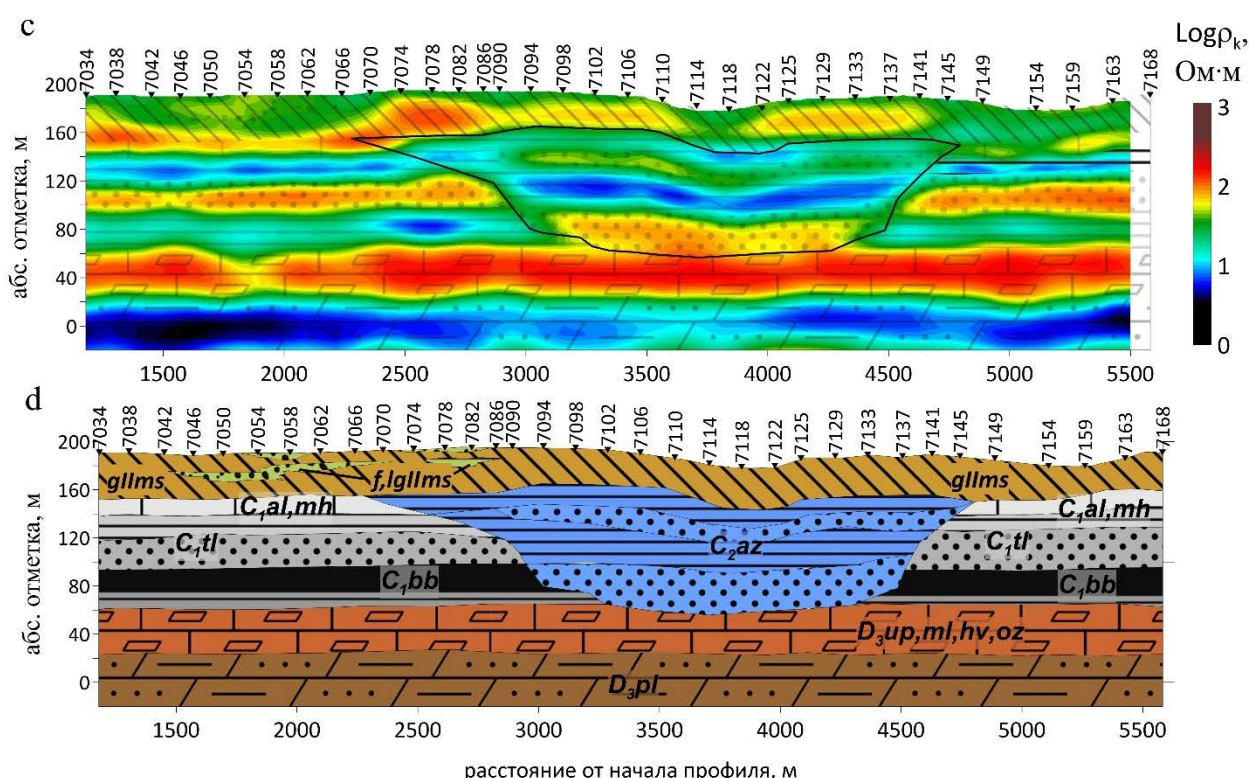


Рис. 3.2. Профиль № 5. Модель УЭС по результатам двумерной инверсии электроразведочных данных (с); геолого-геофизическая модель (d).

Выполненные работы продемонстрировали эффективность разработанного электроразведочного комплекса для изучения разновозрастных палеодолин в условиях разреза юго-западной части Московской синеклизы. Планируется дальнейшее развитие работ в восточном направлении, в том числе через скважину № 143, для привязки электроразведочных моделей к результатам бурения.

По результатам работ написана статья «Строение азовской палеодолины по результатам комплексных электроразведочных работ, выполненных в Износковском районе Калужской области» Куликов В.А., Алексанова Е.Д., Ионичева А.П., Королькова А.В., Шагарова Н.М., Шустов Н.Л. (в журнале «Инженерные изыскания» № 4 2023 г.).

3.1.2. Проведение полевых работ, обработка и интерпретации данных, полученных методами МТЗ и ГМТЗ по профилю Псков - Старая Русса - Валдай для изучения глубинного строения Ильменский аномалии коровой электропроводности (из проекта 2022г).

В 2018–2022 г. в кооперации ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Геологического факультета МГУ и ГИН РАН на 9 широтных профилях проведены глубинные магнитотеллурические (МТ) зондирования проекта SMOLENSK, существенно расширившие массив синхронных зондирований KIROVOGRAD на СЗ с Воронежского кристаллического массива (ВКМ) в зону сочленения крупнейших сегментов Восточно-Европейской платформы. Основными задачами здесь стало исследование раннепротерозойских шовных зон с проводящими метаосадками, аналогичных выделенным на ВКМ, изучение общей конфигурации осадочных бассейнов и особенностей строения Воыно-Оршанской и Среднерусской систем позднепротерозойских авлакогенов.

В июле 2023 г. эти исследования были продолжены – проведено 53 синхронных зондирования на самом северном широтном профиле Псков - Валдай (PV) и на меридиональном профиле Великие Луки - Порхов (VP). Пятикомпонентные измерения ЭМ поля велись в магнитной системе координат синхронно несколькими станциями, включая удаленную станцию ALX на Геофизической базе МГУ в д. Александровка Калужской области, используемую в помехоподавляющей обработке данных. Длина приёмных линий MN была 80 м, длительность записей в среднем составляла 20 часов. Оценивались передаточные операторы импеданса, типпера и горизонтального магнитовариационного (МВ) отклика (отн. ALX). Уровень естественного МТ поля был достаточно высокий, что позволило получить качественные данные до 4000 с в большей части пунктов измерений.

Важнейшим результатом новых зондирований стала северная локализация Ильменской коровой аномалии электропроводности, открытой в 1960-70х годах группой И.И. Рокитянского по редким данным МВ зондирований и подробно изученной нами в 2021-22 г. южнее на профилях Пушкинские Горы - Андреаполь и Остров – Осташков. Еще одним важным результатом стало подтверждение возможности получения кондиционных результатов МТ/МВ зондирований вблизи (на удалении от 40 км) важнейшего источника региональных ЭМ помех – электрифицированной Октябрьской ж/д. Эта возможность позволит продолжить массив зондирований SMOLENSK еще далее на север.

По результатам работ был сделан доклад на Конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН: «Новые синхронные МТ зондирования на востоке Фенноскандии: профили Псков – Валдай и Великие Луки – Порхов» (авторы Ионичева А.П., Варенцов Ив М., Куликов В.А., Родина Т.А., Лозовский И.Н., Шагарова Н.М., Ширяев М.И., Яковлев А.Г.).

3.1.3. Продолжение полевых работ и дальнейшая интерпретация данных, полученных комплексом геофизических методов по изучению Мейерской зоны надвигов (из проекта 2022г).

Комплексные геофизические работы, включающие методы аудиоманнитотеллурического зондирования (АМТЗ), зондирования становлением поля (ЗСБ) и магнитную разведку были проведены сотрудниками и студентами кафедры геофизики Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова зимой 2023г в пределах Мейерской зоны, выделенной профессором СПбГУ Ш.К. Балтыбаевым В Северном Приладожье в качестве границы раздела между терригенно-вулканогенными образованиями палеопротерозоя, накапливавшимися на перикратонной окраине Карельского массива (ладожская серия) и свекофеннской ювенильной океанической коры.

Мейерская зона входит в качестве составного элемента в сутурную зону Раахе-Ладога, и, одновременно составляет часть всего подвижного пояса свекофеннид (пояс Саво).

Основными целями исследований являются:

- визуализация геофизическими методами приповерхностной шарьяжно-складчатой структуры на некоторую глубину в формационно-дифференцированном разрезе ладожского комплекса для подтверждения или корректировки строения объема Мейерской зоны, выявленных структурно-геологическим методами на поверхности эрозионного среза;
- оценка возможных причин и факторов, определяющих прослеживаемый на профилях АМТЗ-МТЗ контраст свойств объемов и элементов структуры пород по аномальной электропроводности на основе изучения структурно-текстурных и минерально-вещественных особенностей породных разностей, видимых на поверхности.

Части разреза метаосадочного чехла, которые сложены гранатовыми и безгранатовыми гнейсами ладожской серии, а также системой внедрившихся в них пологих силлоподобных тел ряда диориты-гранодиориты, не показывают существенной расслоенности по параметру электропроводности. Они фиксируются как относительно однородные объемы с УЭС в диапазоне 2500–5000 Ом·м. Фиксация пологих проводников с низкими удельными сопротивлениями наилучшим образом привязывается к толщам сортавальской серии, лежащей на высокоомных гранито-гнейсах фундамента, и может быть объяснена обогащенностью верхних частей ее разреза углеродным материалом.

Весьма важным и интересным для характеристики приповерхностной глубинной структуры Мейерской зоны представляется также вывод о существовании погруженного гранито-гнейсового выступа (или крупной куполовидной складки кровли архейского основания) в южной части изученного участка. Северная, наиболее поднятая, граница выступа отмечается дугообразной аномалией повышенной проводимости (это связано с соответствующим подъемом верхней пачки проводящих пород облекающей сортавальской серии) и полосы интенсивных локальных аномалий магнитного поля.

На профиле АМТЗ № 1 мы можем провести эту границу в районе точек № 29–30, на профиле АМТЗ № 4 через точку № 5, на профиле АМТЗ № 3 через точку № 19 (рис. 3.3.).

В целом, эта куполовидная форма продолжает на запад цепочку малых куполовидных выступов фундамента среди пород чехла (Риекка, Хавус, Инари) и хорошо согласуется с идеей определяющей роли интерференции пресекающихся систем региональных складок последовательных генераций в формировании структур центрального типа (куполов, выступов) в области глубокого реоморфизма фундамента, как раз совпадающей с зонами амфиболитовой фации и гранитизации чехольных образований. Именно там достигаются условия сближения деформационных свойств пород чехла и фундамента и их высокой подвижности, необходимой для формирования совместных пликативных складчатых форм.

Представленный комплекс геолого-геофизических работ оказался весьма продуктивным для решения задач изучения близповерхностных структур тектоно-метаморфического расслоения пород чехла и фундамента. Последующие исследования подобного рода планируется расширить на участки с крутыми залеганиями структур этих толщ, а также обозначить на других площадях проявление предполагаемого диапиризма реоморфизованного фундамента в объемы чехла (куполовидные выступы фундамента среди чехольных образований).

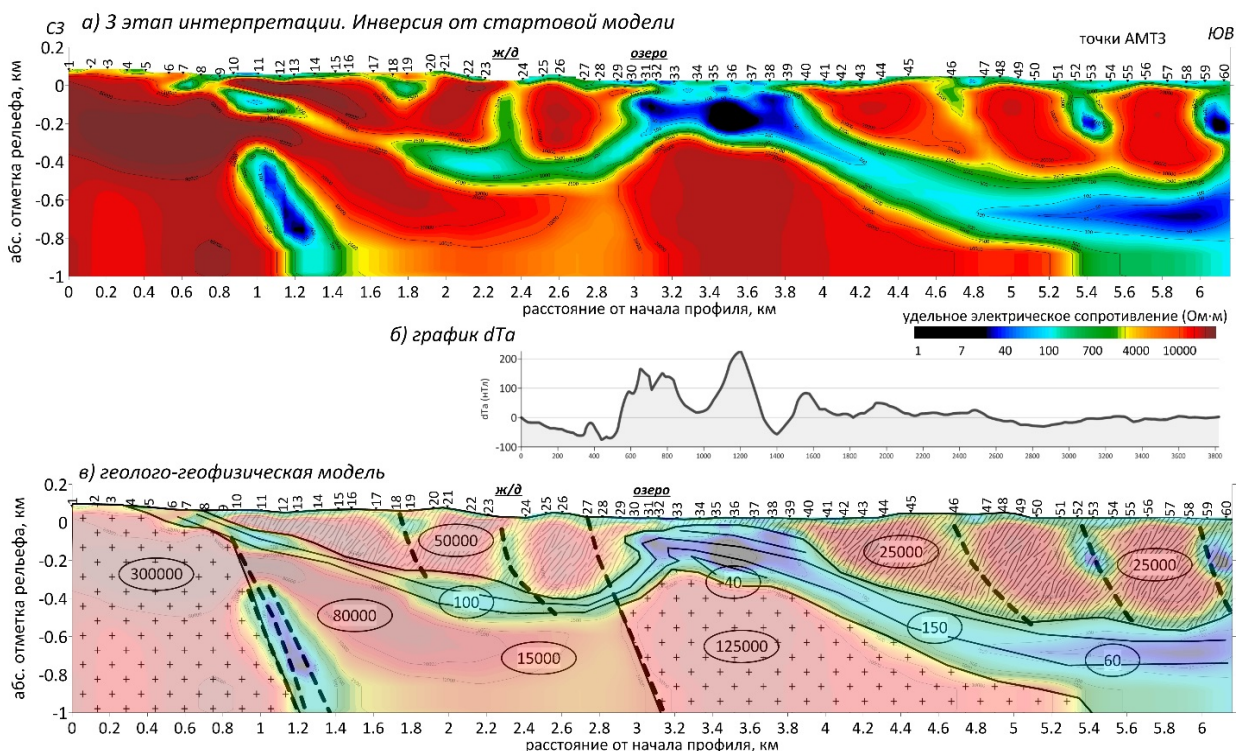


Рис. 3.3. Глубинный разрез УЭС по профилю АМТЗ № 1 по результатам 2D инверсии от скорректированной стартовой модели (а) и предполагаемая геолого-геофизическая модель, на блоках которой указаны преобладающие значения УЭС, Ом·м (в).

По результатам работ написана статья (в печати):

В.А. Куликов, Ю.А. Морозов, А.П. Ионичева, Н.М. Шагарова, А.Г. Яковлев, Е.Ю. Соколова, М.А. Матвеев, Е.Н. Терехов «Визуализация покровно-складчатой структуры метаморфических толщ в системе “чехол–фундамент” методом АМТЗ (на примере Мейерской зоны приладожья)». (Журнал «Геофизические исследования», 2023г, том 24, № 4, с. 58-80).

3.2. Обработка записей компонент электромагнитного поля, полученных в Александровской геофизической обсерватории МГУ (Калужская область) за период с 2011 по 2020 годы (10 лет), построение и интерпретация сводной кривой МТЗ.

Выполнена обработка записей компонент электромагнитного поля, выполненных в Александровской геофизической обсерватории МГУ (Калужская область) за период с 2011 по 2020 годы (10 лет) с помощью низкочастотных станций LEMI. С помощью программ А.В. Кувшинова (ETH Zurich) построены кривые магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и глубинного магнитовариационного зондирования (ГВМЗ). В результате интерпретации сводной кривой МТЗ-ГВМЗ выявлены проводящие слои: осадочный чехол, астеносфера, срединномантийный проводник. По данным материалам И.А. Савельевым защищена магистерская работа.

3.3. В рамках Проекта 23-Ш01-13 Междисциплинарных научно-образовательных школ МГУ выполнены анализ и обобщение результатов, полученных в нашей стране и за рубежом в области разработки электромагнитных методов изучения внутреннего строения Марса и Луны.

За отчётный период работа по данному направлению была связана с анализом и обобщением результатов, полученных в нашей стране и за рубежом, с оценкой возможностей космической электроразведки и подготовкой статьи по этой тематике.

Электроразведка представляет собой раздел разведочной геофизики, включающей десятки методов, которые можно разделить на три группы: методы постоянного поля, низкочастотные и высокочастотные. Методы постоянного тока требуют заземлений и расстановки большого числа электродов, что весьма сложно обеспечить в высокоомных условиях Марса и Луны, а также в беспилотном режиме. Поэтому мы сконцентрировались на возможностях низкочастотных и высокочастотных методов. Среди низкочастотных методов есть использующие естественные и искусственные источники, из них первые обладают наибольшей глубиной. Так, метод глубинного магнитовариационного зондирования (ГВМЗ) уже применяется при изучении мантии Марса и Луны с орбиты и с поверхности. Метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ) имеет предпосылки для применения в космосе, более того, Американские учёные планируют выполнить МТЗ на Луне в 2024 году.

Из низкочастотных методов с искусственным источником хорошие перспективы имеет метод зондирования становлением поля (ЗС). В нём возможно совмещать источник и приёмник, что обеспечивает компактную и удобную в работе установку. Эти идеи высказывались ещё Советскими, а позднее – Американскими геофизиками для поисков подповерхностных вод на Марсе, также ими были созданы соответствующие технологии, опробованные на Земле. Для детальных площадных исследований нам представляется перспективным использование метода частотного зондирования (ЧЗ) со стационарным источником и лёгким передвижным приёмником, который может перемещаться с помощью беспилотного аппарата, в том числе летательного для условий Марса. Для просвечивания массивов горных пород может быть эффективен метод радиоволнового просвечивания (РВП). Причём в высокоомных условиях Марса и Луны методы ЧЗ и РВП могут давать информацию как об удельном электрическом сопротивлении (УЭС), так и о диэлектрической проницаемости (ДП) горных пород.

Основным высокочастотным методом электроразведки является метод георадиолокации. Он использовался на Марсе как в орбитальном варианте, так и для детальных исследований на поверхности одного из участков (работа Китайских геофизиков 2021 года). Хотя достоверно определить наличие жидкой воды не удалось, были получены некие косвенные свидетельства её наличия, а также следы существования в прошлом. Видится необходимым некоторое усовершенствование использовавшихся систем, а также наращивание изучаемых площадей для получения более достоверных результатов. Перспективные для изучения Марса и Луны методы электроразведки приведены в таблице 3.1.

Отметим, что почти все методы позволяют проводить зондирование, то есть в каждой точке оценивать изменение электрических свойств с глубиной. Причём максимальная глубина исследований при тех же параметрах аппаратуры и методики в высокоомных условиях Луны и Марса оказывается во много раз больше, чем на Земле. Более подробно результаты представлены в статье: - Шустов Н.Л., Пушкарев П.Ю., Гудкова Т.В., Панферов С.В. Возможности космической электроразведки. Гелиогеофизические исследования, 2023, выпуск 41, с. 16-26.

Таблица 3.1. Сравнение методов космической электроразведки.

Метод	Источник	Приёмник	Глубинность	Свойства	Применялся
ГМВЗ	-	П, О	100 - 1000 км	УЭС	+
МТЗ	-	П	10 - 100 км	УЭС	-
ЗС	П	П	10 м - 10 км	УЭС	-
ЧЗ	П	П, А	10 м - 10 км	УЭС, ДП	-
РВП	П	П, А	10 м - 1 км	УЭС, ДП	-
Георадар	О	О	10 м - 1 км	ДП	+
Георадар	П	П	1 – 100 м	ДП	+

ГМВЗ – глубинное магнитовариационное зондирование, МТЗ – магнитотеллурическое зондирование, ЗС – зондирование становлением поля, ЧЗ – частотное зондирование, РВП – радиоволновое просвечивание. П – поверхность, А – аэро-вариант, О – орбита. УЭС – удельное электрическое сопротивление, ДП – диэлектрическая проницаемость.

3.4. Моделирование влияния трехмерных геоэлектрических неоднородностей на кривые магнитотеллурического зондирования.

Составлена трёхмерная геоэлектрическая модель, содержащая приповерхностные неоднородности, выполнен расчёт модельных данных МТЗ, проанализировано влияние приповерхностных искажений на низкочастотные данные МТЗ. Подготовлена статья «Анализ синтетических магнитотеллурических данных, рассчитанных для геоэлектрической модели с приповерхностными неоднородностями» (авторы М.А. Суконкин, П.Ю. Пушкарев) для журнала «Геофизика» (принята в печать).

Также составлена трёхмерная геоэлектрическая модель тектоносферы, содержащая проводящие структуры в осадочном чехле, консолидированной земной коре и верхней мантии, проведён расчёт модельных данных МТЗ, выполнен анализ чувствительности ко всем рассмотренным типам структур. Подготовлена статья «Чувствительность магнитотеллурических зондирований к типичным аномалиям электропроводности в тектоносфере» (авторы Д.Д. Попов, П.Ю. Пушкарев) для журнала «Вестник МГУ. Серия Геология» (принята в печать).

3.5. Опытные-методические работы по аэромагнитной съемке с борта беспилотного воздушного судна (БВС) в районе поселка Полярный, Чукотский Автономный Округ.

В период с 1 августа по 9 октября 2023 года силами сотрудников кафедры Геофизики (А.Г. Яковлев, А.Ю. Паленов, Н.Л. Шустов) и студентов третьего курса в рамках производственной практики были проведены опытно-методические работы по аэромагнитной съемке с использованием БВС. Работы проводились в рамках производственного проекта по геологическому картированию с целью определения перспектив существующих золотоносных месторождений.

Всего было сделано около 2000 погонных километров аэромагнитной съемки на площади около 100 кв. км с обтеканием рельефа местности. Высота съемки составляла 35 метров над рельефом. В ходе работ были разработаны алгоритмы формирования полетных заданий для квадрокоптеров в условиях горного рельефа, отлажена методика проведения аэромагнитных исследований с борта БВС в условиях сильно переменных погодных условий. Произведена оценка оптимального времени проведения летных работ с использованием БВС как по времени суток, так и при смене погодных сезонов.

Использовались два вида БВС: гибридные (с бортовым бензоэлектрическим агрегатом) и аккумуляторные. Были разработаны рекомендации по скоростным режимам работы БВС (как для горизонтальной, так и для вертикальной скорости). Особое внимание уделялось отработке системы синхронизации точного времени между вариационными станциями, рабочими летными магнитометрами и бортовыми системами GPS квадрокоптеров. Объем контрольных измерений составил 5%. При этом учитывалось несколько параметров контроля качества съемки (аппаратурная точность и точность позиционирования). Получена геологически достоверная карта магнитного поля.

ГЛАВА 4.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ МАЛОГЛУБИННОЙ ГЕОФИЗИКИ

Лабораторию малоглубинной геофизики представляют 7 штатных сотрудников кафедры (два профессора, два доцента, старший научный сотрудник и два инженера).

В лаборатории в 2023 году проводились научные исследования по разработке новых геофизических технологий и их применению для решения задач археологической геофизики, экологической геофизики, для решения инженерных задач, для поиска различных полезных ископаемых. Отметим лишь некоторые направления:

1. В лаборатории активно развиваются методы электротомографии на акваториях, которые применяются для изучения различных водных объектов, участков мерзлоты и при проведении инженерных изысканий (доцент Бобачев А.А.).
2. Опытные-методические исследования при картировании тектонических нарушений методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) (руководитель - профессор Модин И.И.).
3. Съёмка опорного геофизического профиля на Александровском плато (Калужская область) (руководитель - профессор Модин И.И.).
4. В рамках сотрудничества с Институтом археологии РАН выполнены геофизические исследования курганного некрополя Сельцо, проведены электротомографические исследования покровских курганов (руководитель - профессор Модин И.И.).
5. Решение экологических задач. Георадиолокационные исследования среды обитания русской выхухолы на озерах Саленское и Карасиное (руководитель - профессор Модин И.И.).

4.1. Развитие методов электротомографии на акваториях, которые применяются для изучения различных водных объектов, участков мерзлоты и при проведении инженерных изысканий

Электроразведка при исследованиях на различных акваториях используется уже давно [Schlumberger et al., 1934]. Современная аппаратура и новые методики работ позволяют существенно повысить эффективность электроразведки методом сопротивлений при работе на воде.

Можно выделить три подхода к выполнению работ методом электротомографии (ЭТ) на акватории. Первый – добавить поплавки к обычным косам и выполнять многоэлектродные зондирования с неподвижной косой с поверхности водоема. В зимних условиях это работа с поверхности льда с пробуриванием лунки для электродов.

Другой подход – использование буксируемой установки, например, методика непрерывных акваторных зондирований [Бобачев и Ерохин, 2011; Rucker and Noonan, 2013]. Этот подход позволяет добиться высокой скорости полевых наблюдений. Однако при работе с поверхности акватории, вода будет первым исследуемым слоем, который обычно никому не интересен. Если глубина воды небольшая (до 5 метров), то слой воды не будет оказывать значительного влияния на результаты интерпретации. Но при увеличении глубины водоема разрешающая способность метода для изучения верхнего слоя отложений будет уменьшаться. Кроме того, при использовании таких акваторных зондирований невозможно провести наблюдения в зоне предельного мелководья (зона прибоя). В результате между наблюдениями на суше и на воде возникает неисследованная область.

Третий подход – использование донной установки для электротомографии. В отличие от измерений на поверхности воды, работы с донными установками проводятся

достаточно редко [Toran et al,2010; Dahlin and Loke, 2018; Миринец и Бобачев, 2022]. Это, в первую очередь, связано с низкой скоростью полевых работ, так как работы проходят в режиме "Старт-Стоп" с полной смоткой-размоткой косы для каждой раскладки. Основное преимущество донной расстановки заключается в том, что вода уже мало мешает исследованию донных отложений, особенно если она пресная. Это позволяет работать на достаточно больших глубинах (первые десятки метров). Кроме того, появляется возможность работать в транзитной зоне, в непосредственной близости от берега, совмещая в одной расстановке донные и поверхностные наблюдения.

Непрерывные акваторные зондирования

В методе непрерывных акваторных электрических зондирований измерения электрического поля производят с помощью движущегося маломерного судна и плавающей многоэлектродной косы с одним питающим диполем. Измерения проводят одновременно на разных разносах. В итоге получают большой набор вертикальных электрических зондирований, выполненных с достаточно частым шагом наблюдения. Такой набор данных позволяет проводить 2D инверсию.

В качестве примера таких данных приведем результаты опытно-методических работ на западном берегу полуострова Ямал через реку Юнетаяха. Ширина реки составляет примерно 50 метров, длина профиля наблюдений – около 500 м, длина электроразведочной косы с 16 приемными диполями около 300 м (рис. 4.1).

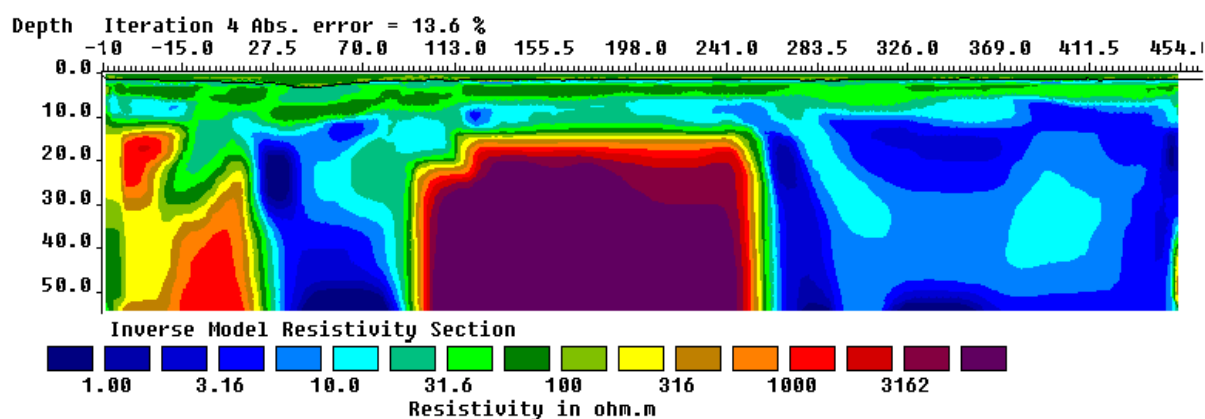


Рис.4.1. Геоэлектрический разрез по данным 2D-инверсии

Четко видно блоковое строение основания геоэлектрического разреза. Высокоомный блок (УЭС более 10000 Ом·м) связан с высокольдистыми породами. Рядом с этим блоком залегают хорошо проводящие горные породы (УЭС менее 10 Ом·м). Такие низкие удельные сопротивления характерны для отложений с высоким содержанием соли. Такое блочное строение разреза подтверждено последующим бурением.

Электротомография с донной косой

Донная электротомография похожа на стандартную сухопутную томографию с соответствующей аппаратурой. Мы использовали станцию Syscal Pro Switch 72 (IRIS Instruments, Франция), положение которой в пространстве играет важную роль. Она располагается не в центре расстановки (как обычно делают), а на краю и на некотором расстоянии от первого электрода. Это позволяет располагать станцию в лодке, а рабочая часть косы при этом лежит на дне водоема. Это приводит к необходимости использования специализированных электроразведочных кос.

Расположение станции на берегу позволяет сочетать сухопутные и акваторные измерения, получая в результате непрерывный геоэлектрический разрез.

Работы на водохранилище рядом с г. Мирный (р. Ирелях)

Особенностью этих полевых работ было сочетание донной косы с шагом 4 м и обычной поверхностной косы с шагом 5 метров в одном профиле.

Были получены полевые результаты как с донной косой (Шлюмбеже и дипольная осевая), так и с обычными косами (трехэлектродная и дипольная осевая установки). Перекрытие между измерениями с различными косами было около 120 метров. Так как ширина водохранилища более 300 метров, пришлось отработать две раскладки с донной косой.

На результатах 2D инверсии четко видно, как зона пониженных сопротивлений протягивается под правый мерзлый берег водохранилища, образуя обходной талик. Мощность талых пород более 30 метров (рис. 4.2).

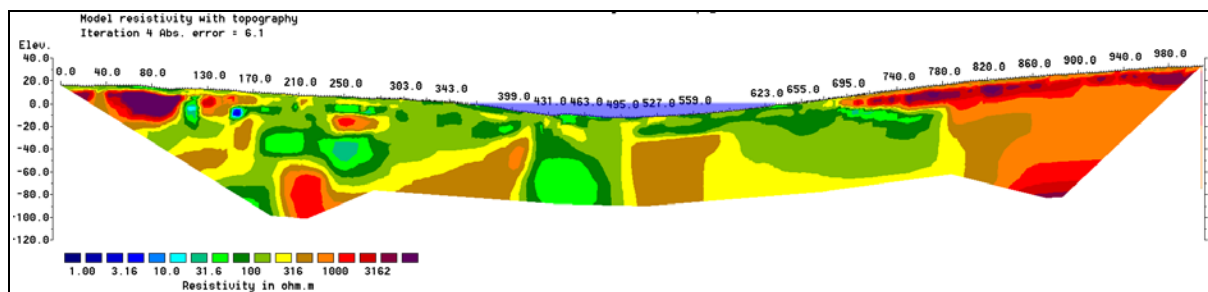


Рис. 4.2. Геоэлектрический разрез по результатам 2D инверсии. Заливкой показана вода.

Выводы. Электротомография является эффективным инструментом при геофизическом изучении акваторий и примыкающих к ним территорий. Непрерывные акваторные зондирования обеспечивают высокую скорость полевых наблюдений, позволяют проводить работы при наличии течения. Наблюдения с донной установкой обеспечивают непрерывность профиля "вода-суша". Можно проводить работы в широком диапазоне глубин дна: от нуля до 30-40 метров.

4.2. Опытно-методические исследования при картировании тектонических нарушений методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ).

Выполнено сравнение результатов магниторазведки и ЕИЭМПЗ на Западном участке. Можно формально выделить несколько типов аномальных зон по соотношению магнитного поля и поля ЕИЭМПЗ.

Выделяется четыре типа аномалий, которые друг с другом никак не коррелируют: автономные магнитные аномалии положительного и отрицательного знака (аномалии 7, 8 и аномалии 11, 12), а также автономные аномалии ЕИЭМПЗ (аномалии 10 и 9). Кроме этого можно выделить 4 типа линейных аномалий магнитного поля и поля ЕИЭМПЗ, которые накладываются друг на друга:

1 тип - положительные аномалии магнитного поля и положительные аномалии ЕИЭМПЗ (аномалии 2 и 3); их происхождение можно объяснить, как проявление даек, которые имеют высокую намагниченность и удельные сопротивления, что обеспечивает им проявленность в поле ЕИЭМПЗ;

2 тип - положительные аномалии магнитного поля и аномалии пониженного поля ЕИЭМПЗ (аномалия 1), по нашему мнению, это могут быть дайки, по которым не

происходят никакие движения, и которые по своим электрическим свойствам не сильно отличаются от вмещающей среды,

3 тип - повышенные аномалии поля ЕИЭМПЗ и пониженные значения магнитного поля, по нашему мнению, это могут быть тектонические нарушения, по которым происходит движение с излучением поля ЕИЭМПЗ;

4 тип - аномалии пониженного магнитного поля и аномалии пониженных значений поля ЕИЭМПЗ, которые могут быть связаны с тектоническими нарушениями, по которым не происходит никаких движений.

Таким образом, можно выделить только одну аномалию номер 4, которые может представлять в настоящий момент современное активное тектоническое нарушение длиной около 1500 м, которое расположено в центре Западного участка и имеет северо-западное направление.

Это предположение должно быть проверено другими геофизическими и геологическими методами. Частичное подтверждение наших выводов можно обнаружить на разрезах электротомографии по этому участку. Обнаруженная структура четко выделяется субвертикальной зоной пониженных сопротивлений на всех геоэлектрических разрезах электротомографии. Ширина зоны измененных пород меняется от 40 до 80 м. Контраст сопротивлений составляет от 1.5 до 3, что может соответствовать повышенной трещиноватости. Необходимо отметить, что зона разлома не соответствует понижению рельефа как современные долины и вероятно является древним образованием.

4.3. Съемка опорного геофизического профиля на Александровском плато (Калужская область).

Исследования выполнены в рамках совместного проекта лаборатории глубинной электроразведки, магниторазведки и малоглубинной геофизики для заверки геофизических результатов, полученных при технической апробации съемок индуктивной аэроэлектроразведки с использованием дронов. В проекте принимали участие инженер А.В.Кувинов, доцент Д.К.Большаков, проф. И.Н.Модин, н.с. Е.Д.Алексанова и студенты старших курсов отделения геофизики. Работы проводились в рамках зимней практики 2023 года, летней практики студентов МГРИ и осенней практики студентов 2-ого года магистратуры.

Работы проведены по профилю длиной 2165 м, пересекающему Александровское плато с запада на восток. Осенью был выполнен переход через реку Угра и на противоположном правом берегу реки профиль продолжен на 855 м (рис. 4.3).

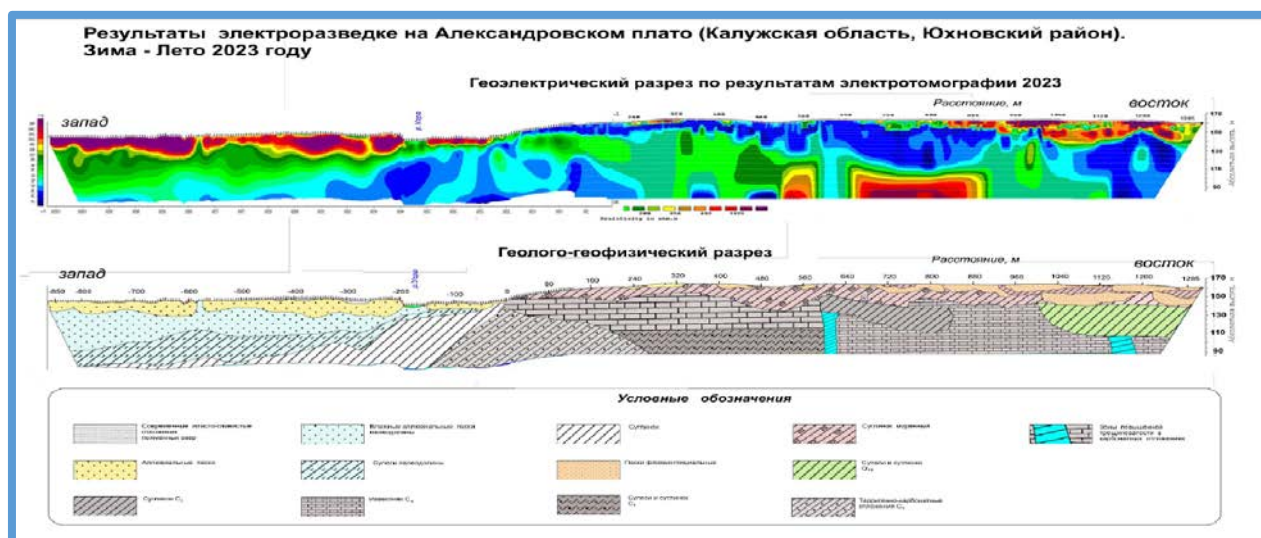


Рис. 4.3. Результаты электроразведки на Александровском плато.

Проведение исследований с помощью метода ЗСБ, АМТЗ, георадиолокации и сейсморазведки МПВ позволило построить с учетом скважин геологического бурения опорный разрез на глубину от практически поверхности земли (с помощью георадиолокации) до глубины 500 м с помощью метода АМТЗ. С помощью комплексных геофизических исследований было показано, что реальная технология электромагнитных зондирований с помощью дрона в настоящий момент является достоверно доказанной.

4.4. Геофизические исследования курганного некрополя Сельцо, электротомографические исследования покровских курганов (в рамках сотрудничества с Институтом археологии РАН).

4.4.1. Геофизические исследования курганного некрополя Сельцо.

Раскопки «Владимирских курганов» 1851–1854 гг. охватили около 7700 насыпей на 180 памятниках. Их поиск не вызывал трудностей, курганы частично были видны на местности. Для современных археологов задача усложнилась – распахка уничтожила следы раскопок XIX в. и сохранившиеся после них курганы. Сейчас большинство памятников визуально не определяются, их местонахождение неизвестно. Несмотря на лаконичность, полевая документация раскопок XIX в. позволяет выбрать памятники для современного изучения. Возникает задача определения их местоположения и изучения внутренней структуры для рационального планирования археологических раскопок. Для решения задачи был разработан комплексный подход, основанный на геофизических методах – электроразведке и магниторазведке. Подход показал свою результативность при исследовании двух памятников Суздальского Ополя – Шекшово-9 и Гнездилово-12, позволив впервые для средней полосы России восстановить структуру невыраженных на поверхности курганных некрополей. В работе мы рассматриваем опыт обнаружения и исследования внутренней структуры третьего памятника – некрополя Сельцо-8. Первые результаты исследований, описанные ранее, охватывали только часть памятника. В настоящем исследовании мы поставили перед собой две задачи. Первая задача – определение границ и внутренней структуры невыраженного на поверхности некрополя Сельцо-8 для планирования его дальнейшего археологического изучения. Вторая задача – определение возможностей сравнительной интерпретации геофизических данных по исследованным некрополям Суздальского Ополя.

Первоначально территория поиска была ограничена контуром площадью 4 Га. Контур был определен на основании нескольких вариантов привязки картографических материалов раскопок памятника в 1851 г. От центра контура как от точки с наибольшим приоритетом мы стали развивать магнитную съемку в северном направлении, так как на начальном этапе съемки южная часть контура была под посевами. На южном планшете, отснятом после сбора урожая, были обнаружены следы курганных насыпей. Наиболее яркие природные объекты на карте магнитного поля – типичные для Суздальского Ополя элементы сети палеомерзлотных полигональных структур. Фоновое почвенно-геологического строение однородно. В южной части площади обращают на себя внимание несколько кольцевых положительных аномалий модуля полного вектора магнитной индукции T амплитудой до 5 нТл – курганных ровиков. Наиболее крупный курган содержит следы раскопок 1851 г. – согласно дневниковым описаниям, некоторые курганы раскапывали перпендикулярными «траншеями». Этот объект уверенно выделяется с помощью магниторазведки и электроразведки.

С помощью описанной выше методики интерпретации на основании распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) верхнего слоя нам удалось выявить структуру невыраженного на поверхности курганного некрополя «Сельцо-8». Археологические объекты некрополя по значению УЭС заметно отличаются от фона, что позволяет определить границу памятника и установить его площадь, которая по нашим оценкам составляет 1,8 Га. Яркие элементы полученной картины – более 80 кольцевых

аномалий, интерпретируемые как курганные ровики, и локальные повышения УЭС в их центрах, интерпретируемые как курганные погребения по обряду ингумации (погребение тела в грунт).

Некрополь «Сельцо-8» был охвачен геофизическими исследованиями в соответствии с апробированной авторами методикой. За небольшое время (9 полевых дней – магниторазведка, 9 полевых дней – электротомография) получены данные, интерпретация которых позволила решить следующие археологические задачи: определить границы памятника; закартировать границы и отдельные насыпи; определить объекты, затронутых раскопками 1851 г.; выявить наиболее крупные и статусные погребения; создать 3D реконструкцию облика курганного некрополя в XII в. и середине XIX в.

4.4.2. Исследования покровских курганов, на высоком левом берегу р.Жиздра между с. Покровское и д. Корчевские Дворики

Исследования выполнены сотрудниками лаборатории малоглубинной геофизики Геологического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова по инициативе начальника отдела, зам.директора по научной работе НП «УГРА» А.В.Рогуленко и старшего научного сотрудника НП «Угра» Г.А.Массалитиной. В геофизических работах принимали участие гл. инженер - геофизик А.Д.Скобелев, геофизик А.А.Соколов и проф.И.Н.Модин. Целью работ являлось изучение внутренней структуры курганов.

Участок «Покровские курганы» расположен на высоком, левом (северном) берегу реки Жиздра, в лесу между с. Покровское и д. Корчевские Дворики, примерно на равном расстоянии между ними. Всего на данной территории насчитывается свыше тридцати курганов. При проведении раскопок артефактов не обнаружено, поэтому принадлежность памятника к определенному историческому времени до сих пор не установлена. Нами была исследована территория, на которой расположено 10 курганов.

Электротомографические исследования проводились с помощью станции Омега-48, которая работает с двумя сегментами кос по 24 электрода в каждом, производит 10 одновременных измерений сигналов и использует косы с шагом 1 м между электродами. Протокол использовался для комбинированной трехэлектродной установки $A_{mn}+mnB$, симметричной инверсной установки Шлюмберже $mABn$ и дипольной осевой установки. Полученные данные позволили построить разрезы до глубины около 16 м. Однако из-за отсутствия априорной геологической информации мы приводим разрезы только до глубины 3 м, что не вызывает сомнений в их геологической трактовке. Было отработано 5 профилей общей длиной 283 м.

Для 16902 блоков, на которые был разбиты все разрезы, полученные по 5 профилям, была построена общая гистограмма электрических свойств разреза. Благодаря этому удалось в первом приближении разделить весь массив данных на 4 распределения. Условно можно разделить распределения УЭС для 4-х литотипов: суглинки (сопротивления от 10 до 40 Ом·м); пески глинистые, влагонасыщенные (сопротивления от 30 до 250 Ом·м); пески маловлажные (сопротивления от 80 до 1000 Ом·м) и сухие пески (сопротивления от 630 до 8000 Ом·м).

Результаты инверсии показывают, что представленные геоэлектрические разрезы имеют в целом двухслойное строение. Сверху залегает слой сухих песков мощностью в среднем около 1 м. Под ним в большинстве случаев наблюдается слой с низкими сопротивлениями, характерными для суглинков и супесей. Курганы не отличаются высокой мощностью песков. Их мощность возрастает в соответствии с увеличением высоты курганной насыпи. Судя по характеру геоэлектрического разреза, сами курганы насыпаны из песчаного материала, который составляет всю верхнюю часть геологического разреза. То

есть материал курганов не является привнесенным. Курганы набросаны из грунтов со смежных участков.

Необходимо отметить одну характерную особенность строения курганов. Это поведение нижней границы курганной насыпи. Из 10 курганов на 5 отмечается вогнутую вверх поверхность подошвы курганной насыпи. То есть нижняя граница кургана приблизительно геометрически повторяет поведение верхней поверхности постройки (курганы 1, 2, 3, 9 и 10). В трех случаях нижняя граница слегка выгнута вниз (курганы 4, 5 и 8). И в двух случаях граница остается абсолютно ровной (курганы 6 и 7). Указанная особенность лишь косвенно может указывать на наличие или отсутствие захоронения и эта гипотеза требует тщательной проверки.

Наибольшее количество строительного материала изъято с пространства непосредственно прилегающего к кургану. То есть наброска грунта в центр происходила по выкапыванию его по широкому периметру сооружения. Ровик вокруг кургана на полученных разрезах не просматривается. Вероятно, это можно объяснить таким образом, что строители перед собой не ставили цель построить курган с правильными геометрическими границами и накапывали курган без всякой системы равномерно, собирая материал с возможно большей поверхности. Возможно и другое объяснение, у нас слишком мало данных и наличие ровика можно было бы выявить при площадной электротомографической съемке.

Наш опыт выполнения подобных исследований на курганах древнего Суздаля (к настоящему моменту нами откартировано около 430 древнерусских курганов на трех группах могильников (Шекшово, Гнездилово и Сельцо)) показывает, что по размерам Покровские курганы похожи на Суздальские. Подавляющее большинство суздальских курганов имеют диаметр от 8 до 12 м. Средний размер покровских курганов 10,5 м. Надо отметить, что древнерусские курганы Гороховца (XII в., городской парк Пужалова Гора), на которых мы работали в 2015 году, имеют очень небольшие размеры около 5-6 м в диаметре и высотой не превышают 0.5 – 0.7 м. У гороховецких курганов по данным электроразведки не было выделено ровиков, фоновые и аномальные элементы курганных насыпей также не похожи на суздальские могильники.

В результате выполненных исследований удалось для двух курганов выполнить реконструкцию их первоначально облика (рис. 4.4).

Выполненные исследования могут быть продолжены по нескольким направлениям.

Во-первых, необходимо сделать нормальную, кондиционную площадную съемку рельефа хотя бы на части курганного могильника. По чисто техническим, не зависящим от исполнителя объективным причинам выполнить такую съемку летом 2023 года было невозможно.

Во-вторых, необходимо выполнить площадную электротомографическую съемку участка и покрыть этой съемкой площадку, на которой будет сразу несколько курганов.

В-третьих, провести детальную съемку металлодетектором с целью обнаружения подъемного железного материала.

В-четвертых, можно расширить геофизический комплекс методов применением магниторазведки и георадиолокации. Первый метод может отреагировать на структуру грунтов и возможные процедуры кремации во время проведения обряда захоронения. Георадиолокация может хорошо и детально откартировать верхнюю высокоомную часть разреза, представленную песками.

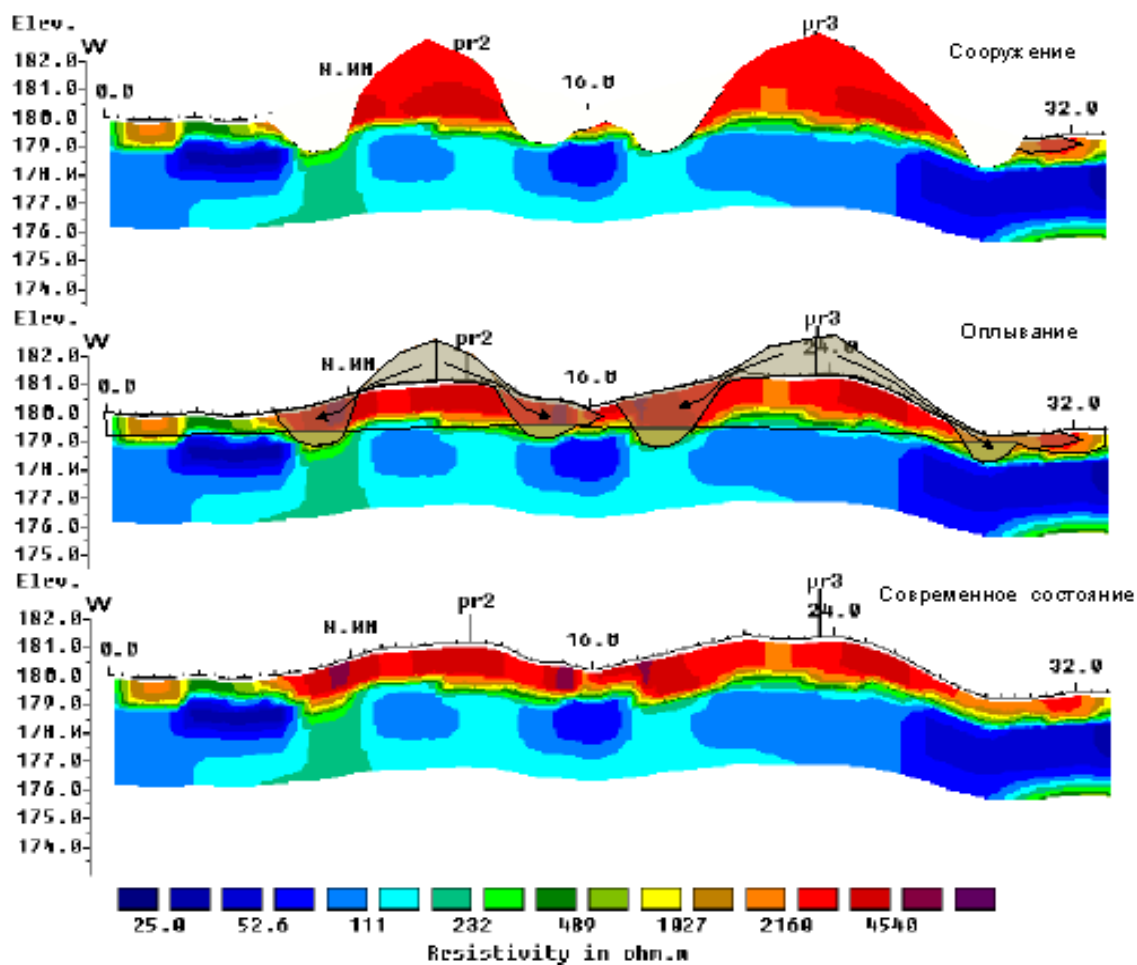


Рис. 4.4. Реконструкция двух курганов на профиле 1 (курган 1 и курган №2). Исходный вид курганов на верхнем рисунке, постепенное оплывание конусов курганов на среднем рисунке и современное состояние курганов на момент мая 2023 г.

4.5. Георадиолокационные исследования среды обитания русской выхухолы на о. Саленское и о. Карасиное

Исследования выполнены сотрудниками лаборатории малоглубинной геофизики Геологического факультета МГУ им.М.В. Ломоносова. Исследования научно обоснованы и выполнены по инициативе д.б.н. зоолога М.В.Рутовской – научного сотрудника Института проблем Экологии и Эволюции им.А.Н.Северцова (ИПЭЭ РАН). Активным участником этих исследований была К.Еськова, сотрудница ИПЭЭ РАН. Скоординировал эти работы начальник отдела, зам.директора по научной работе НП «УГРА» А.В.Рогуленко. В геофизических работах принимали участие ст. геофизик А.В.Кувинов, геофизик В.С.Степченков и проф.И.Н.Модин. Целью работ являлось выявление подводных нор и канальцев, по которым выхухоль выходит из подземных нор проживания в водоем. Серьезным осложняющим фактором является частичная приуроченность нор выхухолы к норам бобров и соответственно к глубоким бобриным траншеям. Поскольку бобров в настоящее время во много раз больше, то однозначного определения положения нор выхухолы нет. Кроме этого при интерпретации георадарограмм, каналы выхухолы могут быть над тоннелями. Таким образом, возникает сложная система подводных ходов, которая в ряде случаев обнаруживается, а в ряде случаев никак не проявляется в наложения достаточно глубоких и широких траншей-каналов бобров на каналы и норы выхухолы.

Ширина канала бобриных ходов составляет 20-30 см, а глубина может достигать от 30 см до полуметра. При этом реальная ширина поверху бобриных ходов может достигать

0,5 м. Таких аномалий было выявлено довольно много, но мы на них не акцентировали свое внимание. Единственное, что можно отметить по этому поводу, что обнаружение с помощью геофизики выходов бобров не составляет большой проблемы. Они прекрасно картируются как с помощью георадара, так и высокочастотным эхолотом. Ширина и глубина каналов выхухоли примерно в 2-3 раза меньше.

Исследования проводились с помощью георадара ОКО-3 (ООО «ЛОГИС», г.Раменское Московской области), который работал с двумя антенными блоками 150 и 400 МГц. Сразу оговоримся, что попытка обнаружить подземные ходы на суше не привела к желаемому результату: выделить признаки наличия нор не получились, а сама по себе волновая картина оказалась слишком сложной для интерпретации. В основном мы опирались на результаты 400 МГц антенны.

Озеро Карасиное, расположено вниз по течению р. Жиздры и следует за о. Гороженое. Длина озера 168 м (8 июня 2023 г.), максимальная ширина - 28 м. Глубина воды в средней части водоема от 1.5 м вблизи северо-западного берега до 1.9 м вблизи юго-восточного берега. Дно неровное с большим числом рытвин, канав и дюн. Обнаружены объекты, воткнутые в дно. Вдоль правого берега наблюдаются небольшие объекты, плавающие внутри толщи воды (**OIW**) на глубине от 1 до 1.5 м. Всюду на возвышениях на радарограммах просматриваются водоросли.

Измерения были выполнены вблизи обеих сторон озера: вдоль северо-западного берега и юго-восточного берега. Примерно такая же картина была получена и на озере Салинское (рис. 4.5).



Рис.4.5. Работы на озере Салинское (слева); Русская выхухоль (справа).

Выводы. На о. Карасиное и о.Салинское обнаружено большое количество канавок, которыми могут пользоваться зверьки, когда входят в водоем. Дно этих двух озер очень неровное, что указывает на высокую активность водных обитателей.

На о. Карасиное обнаружено 43 потенциальных места, где могут быть подводные ходы и норки выхухоли. На о. Салинское обнаружено 38 потенциальных места, где могут быть подводные ходы и норки выхухоли.

Для точной идентификации необходимо выполнить работы на тестовых участках, где абсолютно точно в данный момент обитает выхухоль, что возможно сделать достаточно сложно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Основные результаты научно-исследовательской работы сотрудников кафедры геофизических методов исследования земной коры в 2023 г. по госбюджетной теме: «Геофизические исследования и разработка новых геофизических технологий при решении фундаментальных и прикладных задач геологии, геоэкологии и геоэнергетики» можно сформулировать следующим образом:

В лаборатории гравиразведки проводились исследования по трем основным направлениям:

1. Дальнейшее изучение строения тектоносферы юго-восточной части Атлантического океана и структур Индийского океана с целью выяснения их истории тектонического развития.
2. Разработка и модернизация методики, алгоритмов обработки и интерпретации данных потенциальных полей.
3. Изучение глубинного строения отдельных территорий земного шара с целью выяснения особенностей их геологического строения по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей.

В лаборатории магниторазведки в 2023 году активно развивались технологии магнитной съемки в области наземной, морской и съемки на малых высотах с использованием БПЛА. Решались следующие задачи:

1. Проведение независимой экспертизы методики и технологии магниторазведочных работ, выполняемых на различных участках, расположенных в пределах Нюрбинского и Мирнинского районов Республики Саха Якутия (совместно с лабораторией гравиразведки).
2. Разработка перечня геологических и геофизических критериев и методов изучения нефтегазоносных бассейнов (совместно со специалистами кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ).
3. Совместно с коллегами из научного информационного центра НГИЦ РАН под руководством к.г.-м.н. Миловского Г.А. выполнены научно-аналитические работы на тему: «Комплексирование данных космических съемок с геофизическими данными на территории Камчатки».
4. Выполнен анализ ретроспективных материалов при изучении магматических пород бодракского субвулканического комплекса Крыма.
5. Развитие и совершенствование методики проведения, обработки и интерпретации высокоточных магнитометрических съемок в варианте градиентометрии для морских исследований при изучении строения шельфовых морей, транзитных и прибрежных зон Арктики и Мирового океана. Исследования проводились совместно с специалистами Морской арктической геологоразведочной экспедиции (МАГЭ).

Значительным событием этого года в деятельности **сотрудников лаборатории электромагнитных зондирований** стали организация и проведение Всероссийского семинара по электромагнитным зондированиям Земли, посвященного 100-летию юбилею профессора кафедры геофизики М.Н. Бердичевского (1923 – 2009), создателя теории и практики магнитотеллурических зондирований.

В 2023 г. научные исследования в лаборатории проводились по следующим направлениям:

1. Исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии различных регионов с помощью комплексирования электроразведочных методов (МТЗ и МВЗ, АМТЗ, ЗСБ и ВЭЗ).
2. Обработка записей компонент электромагнитного поля, полученных в Александровской геофизической обсерватории МГУ (Калужская область) за период с 2011 по 2020 годы (10 лет), построение и интерпретация сводной кривой МТЗ.
3. В рамках Проекта 23-Ш01-13 Междисциплинарных научно-образовательных школ МГУ выполнены анализ и обобщение результатов, полученных в нашей стране и за рубежом в области разработки электромагнитных методов изучения внутреннего строения Марса и Луны.
4. Моделирование влияния трехмерных геоэлектрических неоднородностей на кривые магнитотеллурического зондирования.
5. Выполнение опытно-методических работ по аэромагнитной съемке с борта беспилотного воздушного судна (БВС) в районе поселка Полярный, Чукотский Автономный Округ.

В лаборатории малоглубинной электроразведки в 2023 году проводились научные исследования по разработке новых геофизических технологий и их применению для решения задач археологической геофизики, экологической геофизики, для решения инженерных задач, для поиска различных полезных ископаемых. Отметим лишь некоторые направления:

1. В лаборатории активно развиваются методы электротомографии на акваториях, которые применяются для изучения различных водных объектов, участков мерзлоты и при проведении инженерных изысканий.
2. Опытно-методические исследования при картировании тектонических нарушений методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ).
3. Съемка опорного геофизического профиля на Александровском плато (Калужская область).
4. В рамках сотрудничества с Институтом археологии РАН выполнены геофизические исследования курганного некрополя Сельцо, проведены электротомографические исследования покровских курганов.
5. Решение экологических задач. Георадиолокационные исследования среды обитания русской выхухоли на озерах Саленское и Карасиное.

Результаты научных исследований, проводимых сотрудниками кафедры геофизических методов исследований земной коры геологического факультета МГУ, внедряются в учебный процесс в виде материалов лекций, семинаров, лабораторных работ, а также позволяют предлагать студентам и аспирантам все новые темы для написания научных студенческих работ.

По результатам научных исследований в 2023 г. по теме: «Геофизические исследования и разработка новых геофизических технологий при решении фундаментальных и прикладных задач геологии, геоэкологии и геоэнергетики» сотрудниками и аспирантами кафедры геофизических методов исследования земной коры написаны и изданы: 2 учебных пособия, 37 научных статей в журналах (в изданиях из списков WoS или Scopus – 15, в журналах из списка RSCI WoS – 22). Опубликованы 22 статьи в сборниках и 23 тезисов докладов, сделано 67 докладов на конференциях различного уровня. Защищены три кандидатские диссертации. Выполнены научно-исследовательские работы по 5 хозяйственным договорам. Объем дополнительного финансирования по договорам составил **6518,0** т.р.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Список статей, опубликованных авторами главы 1.

1. Дубинин Е.П., Рыжова Д.А., Чупахина А.И., Грохольский А.Л., Булычев А.А. Строение литосферы и условия формирования подводных поднятий приантарктического сектора Южной Атлантики на основе плотностного и физического моделирования // *Геотектоника* — 2023. — № 4 — С. 32–55.
Переведенный вариант: Dubinin E.P., Ryzhova D.A., Chupakhina A.I., Grokholsky A.L., Bulychev A.A. The structure of the lithosphere and formation conditions of submarine rises in the sub-antarctic sector of south Atlantic based on density and physical modeling // *Geotectonics* — 2023 — Vol. 57, №4 — p. 386–404.
2. Крылов О.В., Лубнина Н.В., Владов М.Л., Модин И.Н., Брянцева Г.В., Косевич Н.И., Паленов А.Ю., Скобелев А.Д., Гущин А.И., Осадчий В.О., Евстигнеев В.П., **Фадеев А.А.** Создание учебного полигона по комплексному геолого-геофизическому изучению трещиноватости в пределах юго-западного Крыма (мыс Фиолент, Гераклейское плато) // *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология* — 2022. — № 6 — С. 160–174.
Переведенный вариант: Krylov O.V., Lubnina N.V., Vladov M.L., Modin I.N., Bryantseva G.V., Kosevich N.I., Palenov A.Y., Skobelev A.D., Gushchin A.I., Osadchiy V.O., Evstigneev V.P., **Faadeev, A. A.** Creation of a training site for an integrated geological and geophysical study of fracturing in southwestern crimea (cape fiolent, heracles plateau). *Moscow University Geology Bulletin* — 2023 — Vol. 78, №1 — p. 153–166.
3. **Кузнецов К.М., Булычев А.А., Лыгин И.В.** Анализ возможностей применения спектрального способа обработки данных дифференциальной гидромагнитной съемки // *Гелиогеофизические исследования*. — 2023. — № 38. — С. 46–53.
4. **Лыгин И.В., Арутюнян Д.А., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М., Кривошея К.В.** Картирование магматических комплексов по данным гидромагнитных съемок Баренцевоморского региона // *Физика Земли*. — 2023. — № 4. — С. 96 – 114.
Переведенный вариант: Lygin I.V., Arutyunyan D.A., Sokolova T.B., Kuznetsov K.M., Krivosheya K.V. Mapping of magmatic complexes based on hydromagnetic surveys in the barents sea region // *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*. — 2023. — Vol. 59, no. 4. — P. 586–603.
5. **Лыгин И.В., Арутюнян Д.А., Чепиго Л.С., Кузнецов К.М., Шклярук А.Д.** Методика построения структурных поверхностей по геолого-геофизическим данным на основе машинного обучения на примере реконструкции границы Мохо в Баренцевоморском регионе // *Гелиогеофизические исследования*. — 2023. — № 38. — С. 3 – 16.
6. **Лыгин И.В., Арутюнян Д.А.** Особенности строения земной коры Баренцева моря по результатам трехмерного плотностного и магнитного моделирования // *Геофизика*. — 2023. — № 3. — С. 85-93.
7. **Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Клецина Л.Н., Кузнецов К.М.** и др. Технология картирования вулканогенно-осадочной толщи в сложнодислоцированном терригенном разрезе по данным сейсморазведки и магниторазведки (Печорское море) // *Геофизические исследования*. — 2023. — Т. 24, № 1. — С. 5 – 30.
8. **Лыгин И.В., Чепиго Л.С., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М., Булычев А.А.** Методика геоплотностного и геомагнитного интерактивного моделирования в зависимости от объема и состава привлекаемой априорной геолого-геофизической информации // *Геофизика*. 2022. № 6. С. 58-71.
9. **Рыжова Д.А., Дубинин Е.П., Коснырева М.В., Булычев А.А.** Структурное районирование Африкано-Антарктического сектора Южного океана на основе анализа аномальных гравитационного и магнитного полей // *Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле*. — 2023. — Т. 58, № 2. — С. 67–80.

10. **Рыжова Д.А., Коснырева М.В., Дубинин Е.П., Булычев А.А.** Гетерогенное строение литосферы антарктического сектора южной Атлантики по результатам плотностного моделирования // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология — 2023. — № 4 — С. 3–11
11. **Шклярчук А.Д., Кузнецов К.М.** Применение машинного обучения для построения структурных границ разреза по потенциальным полям // Гелиогеофизические исследования. — 2023. — № 38. — С. 18-29.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

Список использованной литературы в главе 4.

1. **Бобачев А.А., Ерохин С.А.** Практика применения электротомографии на малоглубинных акваториях // Инженерные изыскания - 2011 - № 11. С. 24–29.
2. **Миринец А.К., Бобачев А.А., Миронюк С.Г.** Выделение мерзлых и газонасыщенных грунтов в Обской губе Карского моря по данным донной электротомографии в комплексе с акустическим профилированием и бурением // Геофизика – 2022 – №6. С. 33-41.
3. **Dahlin T., Loke M.H.** Underwater ERT surveying in water with resistivity layering with example of application to site investigation for a rock tunnel in central Stockholm // Near Surface Geophysics - 2018 - Vol. 16, 230-237.
4. **Rucker, D.F., Noonan, G.E.** 2013. Using marine resistivity to map geotechnical properties: A case study in support of dredging the Panama Canal// Near Surface Geophysics - 2013 - Vol. 11, 625-637
5. **Schlumberger C., Schlumberger M., Leonardon E.G..** Electrical exploration of water-covered areas. Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers 110 – 1934 – Pp 122–134
6. **Toran, L., Johnson, M., Nyquist, J., Rosenberry, D.** Delineating a road-salt plume in lakebed sediments using electrical resistivity, piezometers, and seepage meters at Mirror Lake, New Hampshire, U.S.A. Geophysics - 2010 -75 (4), WA75–WA83.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

Список защищенных диссертаций, тезисов докладов и выступлений сотрудников и аспирантов лаборатории Гравиразведка

Защищенные диссертации

1. **Арутюнян Д.А.** Особенности структуры земной коры Баренцевоморского региона по геолого-геофизическим данным // Автореф. на соиск. степ. канд. геол.-мин. наук: 1.6.9. М. МГУ. 2023. – рук. Лыгин И.В.
2. **Рыжова Д.А.** Строение тектоносферы подводных поднятий Африкано-Антарктического сектора Южного океана по геофизическим данным // Автореф. на соиск. степ. канд. геол.-мин. наук: 1.6.9. М. МГУ. 2023. – рук. Булычев А.А., Дубинин Е.П.
3. **Чепиго Л.С.** Методы анализа гравитационного поля с учетом сферичности // Автореф. на соиск. степ. канд. техн. наук: 1.6.9. М. МГУ. 2023. – рук. Лыгин И.В.

Тезисы докладов

1. **Арутюнян Д.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б.** Особенности строения фундамента Баренцевоморского региона // Инновации в геологии, геофизике и географии-2023.

- Материалы 8-ой Международной научно-практической конференции / Под ред. Н. В. Лубнина, — Москва: Издательство Проспект, 2023. — С.53-56.
2. **Дубинин Е.П., Рыжова Д.А.,** Грохольский А.Л., Кохан А.В., Чупахина А.И., **Булычев А.А.** Строение и эволюция литосферы антарктического сектора Южной Атлантики // *Геология морей и океанов: Материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии* (ИО РАН Москва, 2023) — 2023. — Т.3, — С. 137–141.
 3. **Дубинин Е.П., Рыжова Д.А.,** Чупахина А.И., Грохольский А.Л., **Булычев А.А.** Тектоническое строение антарктического сектора Южной Атлантики. // *Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2023* (ГЕОС Москва, 2023) — 2023 — Т. 1, — С. 151–155.
 4. **Лыгин И.В.** Подходы обработки и анализа данных потенциальных полей // Сборник тезисов докладов научной конференции Ломоносовские чтения. Секция Геологии. Подсекция геофизики. — Ломоносовские чтения 2023 года. — МГУ имени М. В. Ломоносова, Геологический факультет Москва: 2023. — С. 9–11.
 5. **Лыгин И.В., Арутюнян Д.А., Кузнецов К.М., Соколова Т.Б.,** Рогозева М.А. Картирование Мезозойского даечного комплекса в Баренцевом и Карском морях по магнитному полю. // *Сборник материалов международной научно-практической конференции Геосочи-2023. Актуальные проблемы геологии и геофизики* (ООО ПолиПРЕСС г. Тверь, 2023) — Т. 1 — С. 113–117.
 6. **Лыгин И.В., Чепиго Л.С., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М., Булычев, А.А.** Систематизация подходов создания оптимальных геологических решений при интерактивном геоплотностном и геомагнитном моделировании. Материалы 49-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского - В.Н. Страхова. — ИГф УрО РАН Екатеринбург: 2023. — С. 206–210.
 7. **Рыжова Д.А.** Гетерогенное строение литосферы Африкано-Антарктического сектора Южного океана на основе анализа потенциальных полей // Материалы 49-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского - В.Н. Страхова. — ИГф УрО РАН Екатеринбург: 2023. — С. 317–321.
 8. **Фадеев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М.** Опыт прецизионных гравиметрических исследований // Сборник тезисов докладов научной конференции Ломоносовские чтения. Секция Геологии. Подсекция геофизики. — Ломоносовские чтения 2023 года. — МГУ имени М. В. Ломоносова, Геологический факультет Москва: 2023. — С. 5–8. <https://lomonosov-msu.ru/rus/event/8033/>.
 9. **Чепиго Л.С., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М., Булычев А.А., Арутюнян Д.А.** Учет априорной геолого-геофизической информации при решении обратной задачи гравirazведки и магниторазведки // *Труды VI Международной геолого-геофизической конференции ГеоЕвразия-2023. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес, Том I (III)* (Тверь, 2023), 2023. — С. 105–107.
 10. **Шайхуллина А.А.,** Коснырева М.В., **Дубинин Е.П., Булычев А.А.** Структурное районирование северо-восточного сектора Индийского океана по геофизическим данным. // *Геология морей и океанов: Материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии* (ИО РАН Москва, 2023), 2023. — С. 222–223.
 11. **Янголенко М.В.** Гравитационные поля астроблем Земли, Луны и Марса // Тезисы доклада на Конференции «Студенческая конференция Геологического факультета «День научного творчества - 2023» (подсекция Геология), 2023. <https://lomonosov-msu.ru/rus/event/8191/>

Выступления на конференциях

1. **Арутюнян Д.А., Лыгин И.В.** Структура земной коры Баренцева моря по данным потенциальных полей // VII Гравиметрический и магнитометрический семинар памяти профессора В.Р. Мелихова, Московский государственный университет имени М.В.

- Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра геофизических методов исследования земной коры, Россия, 12 мая 2023.
2. **Арутюнян Д.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б.** Особенности строения фундамента Баренцевоморского региона // 8-ая Международная научно-практическая конференция «Инновации в геологии, геофизике и географии-2023», Инновационный Центр Наук о Земле Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе, Россия, 4-6 июля 2023.
 3. **Вишняков Д.Д., Лыгин И.В.** Особенности пространственно-временной изменчивости геомагнитных вариаций в Европе // VII Гравиметрический и магнитометрический семинар памяти профессора В.Р. Мелихова, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра геофизических методов исследования земной коры, Россия, 12 мая 2023.
 4. **Дубинин Е.П., Рыжова Д.А., Чупахина А.И., Грохольский А.Л., Булычев А.А.** Тектоническое строение антарктического сектора Южной Атлантики. // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2023. LIV Тектоническое совещание, Москва, Россия, 31 января - 4 февраля 2023.
 5. **Кузнецов К.М.** Особенности освоения гравirazведки и магниторазведки. Результаты 2022/23 учебного года // VII Гравиметрический и магнитометрический семинар памяти профессора В.Р. Мелихова, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра геофизических методов исследования земной коры, Россия, 12 мая 2023.
 6. **Лыгин И.В.** Подходы обработки и анализа данных потенциальных полей // ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2023. Секция Геология. Подсекция Геофизика., г. Москва, Воробьевы горы, МГУ, геологический факультет, Россия, 12 апреля 2023.
 7. **Лыгин И.В., Арутюнян Д.А., Кузнецов К.М., Соколова Т.Б., Рогозева М.А.** Картирование Мезозойского даечного комплекса в Баренцевом и Карском морях по магнитному полю // Международная научно-практическая конференция «Геосочи-2023. Актуальные проблемы геологии и геофизики», г. Сочи, Россия, 24-27 апреля 2023.
 8. **Лыгин И.В., Чепиго Л.С., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М., Булычев А.А.** Систематизация подходов создания оптимальных геологических решений при интерактивном геоплотностном и геомагнитном моделировании // 49-я сессия Международного семинара им. Д.Г. Успенского - В.Н. Страхова «ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ, МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ», Екатеринбург, Россия, 23-27 января 2023.
 9. **Рыжова Д.А., Дубинин Е.П., Коснырева М.В., Булычев А.А.** Строение коры и литосферы антарктического сектора Южной Атлантики по результатам плотностного моделирования и анализа геолого-геофизических данных // XI Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование» MARESEDU-2022, Москва, Россия, 21-28 октября 2022.
 10. **Фадеев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М.** Опыт прецизионных гравиметрических исследований // ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2023. Секция Геология. Подсекция Геофизика., г. Москва, Воробьевы горы, МГУ, геологический факультет, Россия, 12 апреля 2023.
 11. **Чепиго Л.С., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М., Булычев А.А., Арутюнян Д.А.** Учет априорной геолого-геофизической информации при решении обратной задачи гравirazведки и магниторазведки // VI Международная геолого-геофизическая конференция «ГеоЕвразия-2023. Геологоразведочные технологии - наука и бизнес», Москва, Россия, 27-29 марта 2023.
 12. **Чепиго Л.С., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Яковлев Д.В., Обухов А.Н., Иванова С.Р., Кузнецов К.М.** Комплексный геолого-геофизический разрез Енисей-Хатангского прогиба на основе двумерного моделирования в ПО GravMagInv // Международная

научно-практическая конференция «Геосочи-2023. Актуальные проблемы геологии и геофизики», г. Сочи, Россия, 24-27 апреля 2023.

13. **Шевалдышева О.О., Лыгин И.В., Слюта Е.Н.** Stationary and mobile lunar gravimeters // The Thirteenth Moscow Solar System Symposium, Институт космических исследований РАН, Россия, 10-14 октября 2022.