МГУ имени М.В. Ломоносова

Кафедра геофизических методов исследования земной коры

№ госрегистрации
121042200088-6

УТВЕРЖДАЮ
Директор/декан
_____ Еремин Н.Н.
«27» декабря 2022 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
_____
«27» декабря 2022 г.

Руководитель темы
Булычев А.А.
_____
«26» декабря 2022 г.

Москва 2022

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 _____ (Большаков Д.К.)
научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук _____ (Голубцова Н.С.)
доцент, кандидат геолого-минералогических наук, доцент/с.н.с. по специальности _____ (Золотая Л.А.)
инженер 1-ой категории, кандидат физико-математических наук _____ (Зорин Н.И.)
доцент, кандидат геолого-минералогических наук _____ (Коснырева М.В.)
доцент, кандидат технических наук _____ (Кузнецов К.М.)
профессор, кандидат физико-математических наук, доктор геолого-минералогических наук, доцент/с.н.с. по специальности _____ (Куликов В.А.)
доцент, кандидат геолого-минералогических наук _____ (Лыгин И.В.)
старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук _____ (Марченко М.Н.)
профессор, доктор технических наук, доцент/с.н.с. по специальности _____ (Модин И.Н.)
старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент/с.н.с. по специальности _____ (Никулин Б.А.)
ассистент _____ (Палёнов А.Ю.)

доцент, кандидат геолого-минералогических наук, доцент по кафедре	_____ (Попов М.Г.)
профессор, кандидат физико-математических наук, доктор геолого-минералогических наук, доцент по кафедре	_____ (Пушкарев П.Ю.)
инженер 1-ой категории	_____ (Скобелев А.Д.)
старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук	_____ (Соколова Т.Б.)
ассистент	_____ (Фадеев А.А.)
профессор, доктор физико-математических наук, доцент по кафедре	_____ (Шевнин В.А.)
научный сотрудник	_____ (Шустов Н.Л.)
доцент, кандидат физико-математических наук, доцент по кафедре	_____ (Яковлев А.Г.)

РЕФЕРАТ

Ключевые слова:
восточно-европейская платформа, магнитная съемка с использованием беспилотных летательных аппаратов, инженерная геофизика, геофизические методы исследования земной коры, археологическая геофизика, магнитотеллурическое зондирование, геофизика, малоглубинная электроразведка, тектоносфера, петротермальная геофизика, гравитационное аномальное поле, кора и мантия земли, мировой океан, 3d-электротомография, аномалии электропроводности, геотермальные ресурсы, магнитовариационное зондирование
Ключевые слова по-английски:
eastern european platform, 3d-electrotomography, shallow-depth electrical exploration, world ocean, geophysical methods for studying the earth’s crust, archaeological geophysics, magnetic survey using unmanned aerial vehicles, earth’s crust and mantle, engineering geophysics, magnetovariational sounding, petrothermal geophysics, geothermal resources, tectonosphere, electrical conductivity anomalies, magnetotelluric sounding, gravitational anomalous field, geophysics

В отчете приводятся результаты научно-исследовательских работ (НИР), выполненных на кафедре геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в 2022 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». 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, для решения различных глубинных, структурных, нефтегазовых, инженерно-геологических, гидрогеологических, техногенных и экологических задач. В рамках этого направления разрабатывались следующие фундаментальные и прикладные геолого-геофизические проблемы: В лаборатории гравиразведки проводились исследования по следующим основным направлениям: 1. Изучение глубинного строения отдельных территорий земного шара, в том числе тектоносферы юго-восточной части Атлантического океана и структур Индийского океана, земной коры Баренцева моря, острова Сахалин и др. с целью выяснения их строения и истории тектонического развития по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей. 2. Разработка и модернизация алгоритмов обработки и интерпретации потенциальных полей. Исследование применимости гравиразведки и магниторазведки в различных физико-геологических ситуациях на различных этапах комплексных геолого-поисковых работ. Совершенствование технологии плотностного и магнитного моделирования. Разработка новых под-

ходов и алгоритмов интерпретации гравиметрических и магнитометрических данных. 3. Отдельно стоит выделить научные исследования студентов под руководством сотрудников лаборатории. Студентами разрабатывались такие темы, как создание алгоритмов обработки и интерпретации геофизических данных на основе нейронных сетей и машинного обучения; применение высокоточной гравиразведки при различных условиях наблюдения; анализ гравитационных полей Земли, Луны и Марса. В лаборатории магниторазведки решались следующие задачи: 1. Изучение влияния магнитных возмущений на траекторию наклонных скважин. 2. Разработка практических аспектов комплексирования результатов площадных магнитных съемок и полевых палеомагнитных наблюдений при изучении магматических пород Крыма. 3. Разработка методики проведения работ, обработки и интерпретации данных высокоточных магнитометрических съемок в варианте градиентометрии для морских исследований при изучении строения шельфовых морей, транзитных и прибрежных зон Арктики и Мирового океана. 4. Изучение возможностей использования беспилотных летающих аппаратов (БПЛА) для решения различных геолого-геофизических задач. 5. Оценка глубинного и скоростного строения геологической среды по результатам сейсмоэкологического мониторинга. В лаборатории электромагнитных зондирований проводились следующие научные исследования: 1. Исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии различных регионов с помощью магнитотеллурических (МТ) и магнитовариационных (МВ) зондирований (МТЗ и МВЗ). 2. Совершенствование методики обработки МТ- и МВ-данных и анализ эффективности методов подавления влияния приповерхностных неоднородностей. 3. Исследования в области рудной геофизики (комплекс ВП, электротомография, магниторазведка). 4. Разработка методик геофизической съёмки с помощью БПЛА. 5. Разработка аппаратуры и программного обеспечения. В лаборатории малоглубинной электроразведки выполнены исследования по следующим основным направлениям: 1. Разработка новых геофизических технологий и их применение для решения задач археологической геофизики, экологической геофизики, для решения инженерных задач, для поиска различных полезных ископаемых. 2. Разработка аппаратуры для малоглубинной электроразведки. 3. Совершенствование методики проведения электроразведочных работ на суше, в воздухе и на акваториях с целью изучения особенностей строения верхней части разреза (ВЧР). 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 все новые темы для написания научных студенческих работ.

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетными направлениями научных исследований, проводимых на кафедре геофизических методов исследования земной коры являются те направления, которые позволяют получать научно-технические результаты и создавать инновационные технологии в области глубинной и малоглубинной геофизики. В настоящем отчете приведены результаты работ, проводимых в соответствии с планом НИР на 2022 г., утвержденным на заседании Ученого Совета МГУ имени М.В. Ломоносова. 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., доцент Попов М.Г., ассистент Паленов А.Ю., 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. Научный руководитель проекта – заведующий кафедрой геофизических методов исследования земной коры, д.ф.-м.н., профессор Булычев А.А.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ГЛАВА 1. 1. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ ГРАВИРАЗВЕДКИ

Лабораторию гравиразведки составляют 5 штатных сотрудников кафедры (профессор, два доцента, ассистент и ст.н.с.). В 2022 году сотрудниками лаборатории гравиразведки 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, в том числе земной коры Баренцева моря с целью выяснения их истории тектонического развития по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей.

Эти направления включали в себя следующие темы исследований: 1) Совершенствование технологии плотностного и магнитного моделирования. Разработка новых подходов и алгоритмов интерпретации гравиметрических и магнитометрических данных (рук. доц. И.В. Лыгин) (опубликованы 2 статьи, 2 доклада); 2) Исследование применимости гравиразведки и магниторазведки в различных физико-геологических ситуациях на различных этапах комплексных геолого-поисковых работ (рук. с.н.с. Т.Б. Соколова) (1 статья, 1 доклад); 3) Изучение строения тектоносферы поднятий в Индийском океане и юго-восточной части Атлантического океана (рук. проф. А.А. Булычев) (3 статьи, 8 докладов); 4) Изучение особенностей строения земной коры Баренцевоморского региона (рук. доц. И.В. Лыгин) (1 статья сдана в печать); 5) Исследования по изучению магнитного поля Земли. Тема: «Определение положения Южного магнитного полюса» (рук. доц. И.В. Лыгин) (1 статья); 6) Статистический анализ структуры гравитационного и магнитного полей Пур-Тазовской нефтегазоносной провинции (совместно с каф. Геологии и геохимии горючих ископаемых, рук. ст.н.-с. Соколова Т.Б.) (1 доклад); 7) Исследование особенностей геологического строения северной оконечности Сибирской платформы и сопряженных территорий с применением комплекса геофизических методов (рук. ст.н.с. Соколова Т.Б.) 8) Студенты под руководством сотрудников лаборатории при подготовке дипломных работ выполняли научные исследования по темам: a. Анализ гравитационных полей Земли, Луны и Марса (1 дипломная работ, 4 доклада); b. Сопоставление вариаций концентрации озона над Европой в 2010 г. с сейсмичностью (рук. доц. И.В. Лыгин) (1 дипломная работа, 1 доклад); c. Разработка алгоритмов обработки и интерпретации геофизических данных на основе нейронных сетей и машинного обучения (рук. доц. К.М. Кузнецов) (1 дипломная работа, 1 доклад); d. Высокоточная гравиразведка при различных условиях наблюдения (рук. асс. А.А. Фадеев) (1 дипломная работа, 1 доклад); e. Изучение структуры южного склона Анабарского щита на основе комплекса цифровых моделей гравитационного и магнитного полей регионального масштаба и данных детальных аэросъемок (рук. ст.н.с. Соколова Т.Б.) (1 дипломная работа, 1 доклад); В совокупности в 2022 году по перечисленным направлениям опубликовано 7 статей в реферируемых журналах, 14 тезисов докладов, сделано 29 выступлений на 11 конференциях различного уровня. Полный

список журнальных статей 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 В ходе исследования рассмотрены тектоносфера и условия формирования Мозамбикского хребта. Мозамбикский хребет располагается в юго-западной части Индийского океана между двумя мезозойскими океаническими бассейнами: бассейном Натал и Мозамбикским бассейном. Представления о его тектоническом строении остаются дискуссионными. Аномальное строение коры Мозамбикского хребта может быть объяснено либо андерплейтингом – утолщением океанической коры снизу за счет магматизма, либо растяжением и утонением континентальной коры. На основании данных об аномальном гравитационном и магнитном полях, сейсмотомографии и другой геолого-геофизической информации было проведено плотностное моделирование по четырем профилям. Физическим моделированием определены условия формирования Мозамбикского хребта. Формирование Мозамбикского хребта произошло при расколе Африкано-Антарктического материка, наличии структурных неоднородностей в литосфере Африканского континента и влиянии плюма Кару. Рассмотрена структурная сегментация и геолого-геофизическая характеристика рифтовой зоны южного сегмента Срединно-Атлантического хребта (ЮСАХ), заключенного между Агульяс-Фолкдендской разломной зоной и тройным соединением Буве. Основным методом исследований являлось физическое моделирование сегментации осевой зоны южного сегмента Срединно-Атлантического хребта. Моделирование проводилось в лаборатории экспериментальной геодинамики Музея Землеведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Показано, что осевая морфология рифтовой зоны изменяется с севера на юг от характерной для медленно спрединговых хребтов рифтовой долины до морфологии осевого поднятия, типичной для хребтов с быстрыми скоростями спрединга. Вместе с этим изменяется и характер морфоструктурной сегментации рифтовой зоны: трансформные разломы типичные для северной части сегмента сменяются нетрансформными смещениями оси на юге. Структурные изменения отражаются и в характеристиках аномальных потенциальных полей. Сопоставляются математическое и физическое моделирование, которое в настоящее время относительно редко используется в задачах изучения динамики системы литосфера-мантия. Экспериментальные исследования, проведенные с помощью физического моделирования структурообразующих деформаций, выполненного на уникальной установке, показали, что изменения морфоструктурной сегментации рифтовой зоны ЮСАХ связано с изменением реологических свойств литосферы (уменьшением толщины хрупкого слоя литосферы), вызванных повышенной прогретостью мантии по мере приближения к горячим точкам Буве и Шона, расположенным вблизи южного окончания сегмента САХ. По результатам исследований опубликованы две статьи в журналах «Вестник Камчатской региональной ассоциации ”Учебно-научный центр”. Серия: Науки о Земле» и [Рыжова и др., 2022] и «Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология» [Чупахина А.И. и др., 2022], сделано 9 докладов. 1.2. Разработка и модернизация алгоритмов обработки и интерпретации потенциальных полей 1.2.1. Исследование применимости гравиразведки и магниторазведки в различных физико-геологических ситуаци-

ях на различных этапах комплексных геолого-поисковых работ На реальных примерах исследованы возможности сейсмогравитационного моделирования для территорий, отличающихся физико-геологическим строением, масштабом исследований, степенью изученности. Показано, что полностью формализовать единый подход к построению сейсмоплотностной модели невозможно, так как методика моделирования неизбежно меняется в зависимости от физико-геологической ситуации, полноты и качества априорных данных. На результативность сейсмогравитационного моделирования влияют как геологические особенности разреза (степень расчлененности рельефа отражающих горизонтов, контрастность и глубина залегания плотностных границ, сложность геологического развития региона), так и методические параметры съемок. По результатам исследований опубликована одна статья в журнале «Вестник Московского университета. Серия 4: Геология» и [Широкова, Лыгин, Соколова, 2022]. 1.2.2. Совершенствование технологии плотностного и магнитного моделирования. Разработаны новые подходы и алгоритмы интерпретации гравиметрических и магнитометрических данных Систематизируются подходы геоплотностного и геомагнитного моделирования. В зависимости от объема и состава привлекаемых априорных геолого-геофизических данных определены четыре подхода: простой – “потенциальный”; легкий – “концептуальный”; средний – “геофизический”; полный – “геолого-геофизический”. Для всех подходов последовательность этапов моделирования (методика) общая. Однако разный состав априорной информации для каждого подхода обуславливает возможность применения специально разработанных инструментов интерактивного моделирования, что в конечном счете определяет геологическую значимость результирующей модели. Инструменты моделирования, которые делятся на ручные и автоматизированные, дают возможность интерактивно учитывать геолого-геофизические особенности разреза при любых формах хранения данных. Предлагаемая методика моделирования с использованием инструментов учета априорной геолого-геофизической информации позволяет получить геологически сбалансированную модель, максимально удовлетворяющую всем априорным данным. Для иллюстрации возможностей методики составлены примеры, подчеркивающие особенности интерактивного моделирования в разных структурных геолого-геофизических ситуациях. Создан подход автоматизированного решения линейной обратной задачи гравиразведки, реализующий построение градиентных по латерали и вертикали плотностных моделей с возможностью выбора преимущественной глубины источников. Обратная задача решается методом градиентного спуска с переменной скоростью. Показано, что если задать возрастающую с глубиной скорость градиентного спуска, то в процесс подбора плотностной модели «включаются» глубокие ячейки. В общем случае скорость градиентного спуска зависит и от глубины, и от горизонтальных координат и он может задаваться функционально или явно. По результатам исследований опубликованы две статьи в журналах «Геофизика» [Лыгин, Чепиго, Соколова и др., 2022] и «Геофизические исследования» [Чепиго, Лыгин, Булычев, 2022]. 1.3. Изучение глубинного строения отдельных территорий земного шара, в том числе земной коры Баренцева моря с целью выяснения их истории тектонического развития по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей. 1.3.1. Изучение особенностей строения земной коры Баренцевоморского региона. Для изучения

магматических комплексов в осадочном чехле Баренцевоморского региона проанализированы практически все доступные на сегодняшний день материалы гидромагнитных съемок исследуемого региона. С использованием современных методов интерпретации были обработаны результаты наблюдений, проведенных в 1995–2017 гг. на профилях общей протяженностью более 93 тыс. километров. Установлено, что в центральной и северной частях исследуемого региона широко распространены рои даек северо-западного простирания; в южной части - дайки не выявлены. Показано, что магматические образования в осадочном чехле фиксируются локальными магнитными аномалиями двух типов – линейными, источниками которых являются дайки, и мозаичными, связываемыми с локальными очагами магматизма. При глубине моря 100–500 м и мощности осадочного чехла более 8 км преимущественная глубина залегания верхних кромок тел, создающих аномалии, составляет около 1.5 км. Анализ аномального магнитного поля позволил уточнить строение осадочного чехла, историю протекания магматических процессов и тектонического развития Баренцевоморского региона. По результатам исследований подготовлена одна статья, которая принята к печати в журнале «Физика Земли» [Лыгин, Арутюнян, Соколова и др., в печати]. 1.3.2. Изучение особенностей геологического строения острова Сахалин (рук. доц. И.В. Лыгин.) Для условий сухопутной части о. Сахалин сейсмические разрезы имеют низкую информативность для глубинных частей разреза. С целью уточнения региональной структурно-тектонической модели, которая является фундаментальной базой для последующего понимания структуры осадочного бассейна, строения углеводородных систем и поиска ловушек УВ, привлечены материалы гравиразведки. На основе трехмерного плотностного моделирования сконструирована модель кровли палеогеновых отложений, которая инициировала возможность проведения работ по бассейновому моделированию, что, в свою очередь, позволило спрогнозировать перспективные зоны скопления углеводородов. По результатам исследований опубликована одна статья в журнале «Геофизика» [Лыгин, Правдивец, Сурков и др., 2022]. 1.3.3. Исследования по изучению магнитного поля Земли В период с декабря 2019 г. по июнь 2020 г. проходила кругосветная антарктическая экспедиция Военно-морского флота РФ при поддержке Русского географического общества, посвященная 200-летию открытия Антарктиды и 250-летию со дня рождения адмирала И.Ф. Крузенштерна на океанографическом исследовательском судне (ОИС) ВМФ “Адмирал Владимирский”. Одной из основных задач экспедиции было инструментальное определение положения Южного магнитного полюса (ЮМП), последнее определение которого было осуществлено более двадцати лет назад. Планирование магнитометрических работ, их методическое сопровождение и обработка полученных материалов выполнены сотрудниками кафедры геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета МГУ и Институтом прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова. По комплексу инструментальных определений (модульные протонные дифференциальные магнитометры, векторные трехкомпонентные феррозондовые магнитометры, судовой компас) положение ЮМП определено с погрешностью ±5 км. Опираясь на инструментальные определения ЮМП в 1980 и 2000 гг., подтверждено, что в течение последних 40 лет перемещение ЮМП происходит с выдержанными скоростью и направлением. По результатам исследований опубликована одна статья в журна-

ле «Физика Земли» [Лыгин, Арутюнян, Булычев, и др., 2022]. 1.4. Научные исследования студентов под руководством сотрудников лаборатории. 1.4.1. Разработка алгоритмов обработки и интерпретации геофизических данных на основе нейронных сетей и машинного обучения. Под руководством доц. К.М. Кузнецова продолжено изучение возможностей современных подходов и алгоритмов машинного обучения для решения задач гравиразведки и магниторазведки. В 2022 году реализованы алгоритмы на основе нейронных сетей для получения трансформант геопотенциальных полей, которые могут применяться при дальнейшей интерпретации. По результатам исследований подготовлена магистерская диссертация по теме «Трансформации потенциальных полей на основе нейронных сетей» и сделан доклад на конференции «VI Гравиметрический и магнитометрический семинар памяти профессора В.Р. Мелихова»: [Шклярук, Кузнецов, 2022]. 1.4.2. Высокоточная гравиразведка при различных условиях наблюдения. Под руководством асс. А.А. Фадеева выполнены гравиметрические наблюдения на территории МГУ имени М.В. Ломоносова на Воробьевых горах с целью отработки методики высокоточных гравиметрических съемок в городских агломерациях. Выполнена серия профильных гравиметрических работ над приповерхностными геоплотностными неоднородностями малых размеров. Проведена качественная интерпретация полученных данных. Определена геометрия предполагаемых источников гравитационных аномалий. Результаты исследований представлены в виде 5 докладов на конференциях различного уровня: • XXIX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2022», Россия, 11-22 апреля 2022 [Боровская, Трубко, Фадеев, 2022]. • V Международная геолого-геофизическая конференция «ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии - наука и бизнес», Москва, Россия, 30 марта - 1 апреля 2022 [Фадеев, Трубко, Боровская, 2022а], [Фадеев, Трубко, Боровская, 2022б]. • 48-Е Заседание международного научного семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Страхова «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей», Санкт-Петербург, Россия, 24-28 января 2022 [Фадеев, Трубко, Боровская, 2022в]. • День научного творчества геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова 2022 года [Боровская, Трубко, 2022]. Сотрудники кафедры приняли участие в комплексных исследованиях структуры шламонакопителя в Европейской части РФ с целью ее ликвидации для построения геолого-геофизической модели, оценки объема и распространения вредных химических отходов. На ее площади выполнены высокоточные гравиметрические исследования в комплексе с электротомографией. Результаты доложены на международной конференции «ГеоСочи-2022. Актуальные проблемы геологии и геофизики в нефтегазовой отрасли». 1.4.3. Анализ гравитационных полей Земли, Луны и Марса В исследовании рассмотрены некоторые особенности гравитационного поля Луны, проанализированы возможности их регистрации с использованием лунных гравиметров прошлых лет и некоторых гравиметров, которые используются на Земле. Для некоторых астроблем Земли, Луны, Марса проанализированы и сопоставлены аномалии гравитационного поля, выполнено плотностное моделирование. Под руководством доц. И.В. Лыгина подготовлена бакалаврская работа по теме «Лунные гравиметры передвижного и стационарного типов». Результаты исследований представлены в виде 4-х докладов и 2-х тезисов на конференциях различного уровня: • День научного творчества геологического факультета

МГУ им. М.В. Ломоносова, 7 апреля 2022 [Брагина А.А., Дедова Т.А., Белялова А.Н., Шачнева, 2022] – Доклад отмечен премией. Научные руководители: доц. Лыгин И.В., доц. Кузнецов К.М. • Международный молодежный научный форум «ЛОМОНОСОВ-2022» [Зайцева, Чепиго, 2022], 11-22 апреля 2022 – Научный руководитель: доц. Лыгин И.В. • VI Гравиметрический и магнитометрический семинар памяти профессора В.Р. Мелихова, МГУ имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра геофизических методов исследования земной коры, Россия, 13 мая 2022 [Шевалдышева, Лыгин, 2022]. • The Thirteenth Moscow Solar System Symposium, Институт космических исследований РАН, Россия, 10-14 октября 2022 [Шевалдышева, Лыгин, Слюта, 2022], [Шевалдышева, Лыгин,2022]. ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Список опубликованных в журналах статей сотрудников лаборатории гравиразведки 1. Лыгин И.В., Арутюнян Д.А., Булычев А.А., Кузнецов К.М., Минлигареев В.Т. Инструментальное определение положения Южного магнитного полюса Земли в кругосветной антарктической экспедиции на ОИС ВМФ Адмирал Владимирский // Физика Земли. — 2022. — Т. 2, № 2. — С. 27–40. Переведенный вариант: Lygin I.V., Arutyunyan D.A., Bulychev A.A., Kuznetsov K.M., Minligareev V.T. Instrumental determination of the earth’s south magnetic pole position during the round-the-world antarctic expedition on board the russian navy orv admiral vladimirsky// Izvestiya. Physics of the Solid Earth. — 2022. — Vol. 58, no. 2. — P. 172–184. 2. 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. 3. Лыгин И.В., Правдивец Д.Д., Сурков М.В., Жаров А.Э., Бакуев О.В., Фомин А.Е. Модель кровли палеогеновых отложений Северной части острова Сахалин по данным гравиразведки и сейсморазведки // Геофизика. — 2022. — № 3. — С. 32–44. 4. Рыжова Д.А., Толстова А.И., Дубинин Е.П., Коснырева М.В., Булычев А.А., Грохольский А.Л. Строение тектоносферы и условия формирования Мозамбикского хребта: плотностное и физическое моделирование // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. — 2022. — Т. 53, № 1. — С. 46–58. Переведенный вариант: Ryzhova D.A., Kosnyreva M.V., Dubinin E.P., Bulychev A.A. The structure tectonosphere of the mozambique and madagascar ridges by geophysical data // Moscow University Geology Bulletin. — 2022. — Vol. 77, no. 1. — P. 18–27. 5. Чепиго Л.С., Лыгин И.В., Булычев А.А. Решение обратной задачи гравиразведки с переменной скоростью градиентного спуска // Геофизические исследования. — 2022. — Т. 23, № 1. — С. 5–19. 6. Чупахина А.И., Дубинин Е.П., Грохольский А.Л., Рыжова Д.А., Булычев А.А. Физическое моделирование сегментации осевой зоны южного сегмента Срединно-Атлантического хребта // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. — 2022. — № 3. — С. 89–98. 7. Широкова Т. П., Лыгин И. В., Соколова Т. Б. Особенности сейсмогравитационного моделирования в разных физико-геологических ситуациях // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2022. — № 1. — С. 42–53. Переведенный вариант: Shirokova T. P., Lygin I. V., Sokolova T. B. The features of seismic-gravity modeling in different physical–geological situations // Moscow University Geology Bulletin. — 2022. — Vol. 77, no. 2. — P. 198–210.

ГЛАВА 2.

2. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ МАГНИТОРАЗВЕДКИ

Сотрудниками лаборатории магниторазведки (заведующая лабораторией - доц., к.г.-м.н. Золотая Л.А., сотрудники - доц., к.г.-м.н. Коснырева М.В., доц., к.г.-м.н. Попов М.Г., асс. Паленов А.Ю.) в 2022 году выполнялись исследования в рамках госзадания, научного сотрудничества с другими организациями и отдельных хозяйственных договоров. Большое внимание при исследованиях было уделено развитию новых геофизических технологий в области наземной и морской съемок, а также съемки с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на малых высотах, которые позволили получить новые практические результаты. В этих исследованиях можно выделить несколько основных направлений:

2.1. Изучение влияния магнитных возмущений на траекторию наклонных скважин (рук. доц. Золотая Л.А.). Работа выполнялась совместно с Геофизическим Научным Центром РАН. Проведен анализ данных высокоточного мониторинга магнитного поля, проводимого во время интенсивных геомагнитных возмущений вблизи приполярных территорий непосредственного бурения наклонных скважин. В итоге исследований было убедительно показано, что учет магнитных вариаций магнитного склонения крайне необходим для корректировки положения и траектории наклонной скважины. Выполнена оценка влияния геомагнитных возмущений на основные геометрические параметры скважины с использованием данных, полученных на обсерваториях и магнитно-вариационных станциях (МВС), что чрезвычайно важно для их расположения в промежутке от средних до высоких приполярных широт. На эту тему была выполнена квалификационная магистерская работа Ощенко А.А. под научным руководством доцента Л.А. Золотой. В этой работе приводятся теоретические основы влияния магнитных возмущений на траекторию бурения наклонных скважин. Разработан новый алгоритм моделирования траектории скважины BMT (Borehole Modeled Trajectory), позволивший провести анализ амплитуд магнитных возмущений в северных широтах и оценить их влияние на ошибки позиционирования положения скважин. По результатам исследований были опубликованы статья в журнале ФИЗИКА ЗЕМЛИ, №3, 2022 г., с. 136-152, авторы Соловьев А.А., Сидоров Р.В., Ощенко А.А., Зайцев А.Н. «О необходимости высокоточного мониторинга геомагнитного поля при наклонно-направленном бурении в Российской Арктике». Дополнительно результаты научных исследований по этой теме представлялись на международных конференциях: • Доклад на международной конференции ГЦ РАН на тему: «О новом подходе к учету сильных вариаций магнитного поля Земли при сопровождении наклонно-направленного бурения в Российской Арктике» (18 февраля 2022 года). • Доклад на конференции ”Нефть и газ 2022”, РГУ им. Губкина, ”О необходимости высокоточного мониторинга геомагнитного поля при наклонно-направленном бурении в Российской Арктике” (28 апреля 2022 года). • Доклад на XXIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных ”Ломоносов” на тему ”Учет влияния интенсивных вариаций магнитного поля Земли при наклонном бурении в Российской Арктике” (13 апреля 2022 года). 2.2. Разработка практических аспектов комплексирования результатов площадных магнитных съемок и полевых палеомагнитных наблюдений при изучении магматических пород Крыма (рук. доц. Золотая Л.А.). Исследования проводились совместно с лабораторией Главного геомагнитного поля и петромагнетизма Института Физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН и петромагнитной лабораторией кафедры динамической гео-

логии геологического факультета МГУ. Под научным руководством доц. Золотой Л.А. аспирантом Филипповичем А.А. написана и защищена 25 мая 2022 года кандидатская диссертация на тему: «Физико-геологическое моделирование структур бодракской свиты с учетом палеомагнитных данных» с присвоением звания кандидата геолого-минералогических наук. В рамках этой большой научно-исследовательской работы было уточнено строение бодракского субвулканического комплекса Горного Крыма на основе результатов комплексной интерпретации площадных магнитных съемок, петромагнитных и палеомагнитных данных. Представлены результаты статистической обработки этих данных, полученных на образцах среднеюрских магматических пород. Построена серия двухмерных магнитных моделей. Совместно с представителями кафедры исторической геологии проф. Никишиным А.М. и доц. Правиковой Н.В. проведено их геологическое истолкование. Систематизированы геофизические материалы по зоне сочленения Скифской плиты и Горного Крыма, в свою очередь, полученные из Росгеолфонда. Проведена их переобработка и геологическая интерпретация. На основе этих данных выявлено геологическое строение среднеюрских магматических образований в Бахчисарайском районе Крыма. Результаты вышеописанных исследований опубликованы и представлены в 2022 году на конференциях: • Тезисы доклада «Изучение Почтовской магнитной аномалии по материалам геолого-геофизических исследований» в сборнике Ломоносовские чтения 2022 года. Секция Геология. Подсекция Геофизика. Авторы: Филиппович А.В., Золотая Л.А., Коснырева М.В. • В сборнике «Труды V Международной геолого-геофизической конференции «ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес», опубликованы тезисы доклада: «Комплексная интерпретация геолого-геофизических материалов в области сочленения равнинного и горного Крыма». Авторы: Филиппович А.В., Золотая Л.А., Коснырева М.В., Правикова Н.В., Чепиго Л.С. • Представлен доклад на конференции Ломоносовские чтения – 2022: «Изучение Почтовской магнитной аномалии по материалам геолого-геофизических исследований» (Устный). Авторы: Филиппович А.В., Золотая Л.А., Коснырева М.В. • Представлен доклад на конференции «ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии - наука и бизнес» под названием «Комплексная интерпретация геолого-геофизических материалов в области сочленения равнинного и горного Крыма.» (Устный). Авторы: Филиппович А.В., Золотая Л.А., Коснырева М.В., Правикова Н.В., Чепиго Л.С. • Опубликована статья в журнале ВАК «Геофизика» (№6), изданном в январе 2022 года. «Анализ ретроспективных геолого-геофизических материалов при изучении магматических пород бодракского субвулканического комплекса Крыма». //Авторы Филиппович А.В., Золотая Л.А. 2.3. Разработка методики проведения работ, обработки и интерпретации данных высокоточных магнитометрических съемок в варианте градиентометрии для морских исследований при изучении строения шельфовых морей, транзитных и прибрежных зон Арктики и Мирового океана (рук. доц. Коснырева М.В.). Исследования проводились совместно со специалистами Морской арктической геологоразведочной экспедиции (МАГЭ). Аспирант Шепелев А.А. (рук. доц. Коснырева М.В.) принимал участие в проведении комплексных геофизических работ, которые компания МАГЭ осуществляла на шельфе Карского моря. Целью исследований являлась оценка возможности применения высокоточной набортной гравиметрической съемки в комплексе с сейсморазведкой и маг-

ниторазведкой при решении инженерно-геологических задач. Опыт проведённых работ показал, что даже при попутных наблюдениях, имеется возможность надёжного выделения гравитационных аномалий до 0.5 мГал, а при благоприятных условиях (густая сеть профилей) и до 0.1-0.2 мГал. Комплексная интерпретация потенциальных полей с данными сейсморазведки позволяет получить достоверную картину о распространении палеоврезов, тектонических нарушений и других потенциально опасных геологических и техногенных структур. Важно отметить, что по результатам высокоточной гравиметрической съемки появляется возможность выявить опасные области разуплотнений различной геологической природы, например, такие, как скопление газа в верхней части разреза (ВЧР), не пригодные и опасные для постановки плавучих буровых установок. Частично результаты исследований вошли в статью: Шепелев А.А., Жилин Ф.Е., Демонов А.П. Эффективность выполнения гидромагнитных градиентометрических исследований с использованием магнитовариационной станции при инженерно-геологических изысканиях на континентальном арктическом шельфе // Инженерные изыскания. - 2021. - Т. 15, № 3-4- С. 32–41. Результаты исследований были представлены также • в докладе на V Всероссийской молодежной научной конференции ”Актуальные проблемы нефти и газа”, ИПНГ РАН, Россия, 20 октября 2022 - 21 октября 2022 на тему: «Надводная гравиметрия в комплексе с гидромагнитометрией в рамках выполнения инженерно-геологических изысканий на шельфе (Устный) Авторы: Кочетов М.В., Шепелев А.А., Челышев С.В. Подготовлена и передана в печать в журнал Вестник МГУ «серия Геология» научная статья «Возможности набортных гравиметрических и гидромагнитных исследований при решении инженерно-геологических задач на шельфе» Авторы: М.В. Кочетов, А.А. Шепелев, С.В. Челышев. Кроме того, доцентом Коснырevой М.В. были продолжены совместные научные исследования с аспиранткой кафедры Рыжовой Д.А., направленные на изучение строения тектоносферы юго-восточной части Атлантического океана и структур Индийского океана с целью выяснения их истории тектонического развития (см. главу 1). По результатам исследований в соавторстве опубликовано 4 статьи и сделано 8 докладов на международных и Российских конференциях. 2.4. Изучение возможностей использования БПЛА для решения различных геолого-геофизических задач (рук. асс. Паленов П.Ю.). Проведены наблюдения посредством беспилотной аэромагнитной съемки для изучения магнитного поля Александровского полигона геофизических практик (Калужская обл.), получены новые результаты картирования палеорусловых отложений в районе урочища Борисенки. Получены новые детальные результаты наземной магнитометрической съемки и съемки с БПЛА на Крымском полигоне, в окрестностях «силла Короновского». Совместно с с.н.с. М.Н. Марченко и н.с. Н.Л. Шустовым осуществлена разработка прототипа аппаратуры метода длинного кабеля в варианте съемки с БПЛА, получены первые результаты на Александровском полигоне, доложенные на конференции «Электроразведка 2022». Совместно с проф. И.Н. Модиным и н.с. Н.Л. Шустовым проведена серия исследований возможности поисков песчано-гравийных смесей (ПГС) методом радиометрии с борта БПЛА. Проведены опытные испытания возможностей применения георадара и дипольного индукционного профилирования с БПЛА в комплексе с радиометрией для оконтуривания ПГС. Совместно с сотрудниками почвенного факультета МГУ выполнено почвенно-геофизическое исследо-

вание почвенных горизонтов с целью определения экранирования почвами радиометрического сигнала. Первые результаты доложены на конференции «Электроразведка 2022». По результатам исследований в соавторстве сделано 2 доклада на конференции. • «Разработка и опробование рабочего прототипа аэроэлектороразведочной аппаратуры «аэрон» (реализация метода БДК для БВС)». Марченко М.Н., Модин И.Н., Волков С.И., Паленов А.Ю., Шустов Н.Л., Толчинский С.М., Научно-практическая конференция «Электроразведка-2022», Москва, Россия, 26-28 октября 2022. • «Первые результаты по изучению электрофизических свойств почво-растительного слоя на территории Александровского геофизического полигона в Калужской области». Модин И.Н., Шустов Н.Л., Паленов А.Ю., Кувинов А.В., Петрова К.В., Матышак Г.В., Гончарова О.Ю. Научно-практическая конференция «Электроразведка-2022», Москва, Россия, 26-28 октября 2022. 2.5. Оценка глубинного и скоростного строения геологической среды по результатам сейсмо-экологического мониторинга (рук. доц. Попов М.Г.). Доцентом Поповым М.Г. проводились исследования возможности оценки глубинного строения геологической среды по результатам сейсмо-экологического мониторинга. Рассмотрены результаты локального сейсмо-экологического мониторинга региона Кавказских Минеральных Вод и нескольких районов АЭС. По энергии обменных волн от далеких землетрясений оценены показатель анизотропности и показатель напряженного состояния среды S для разных уровней глубин и разных временных интервалов указанных регионов. Исследования показали, что сейсмо-экологический мониторинг эффективен для выявления, оценки и учета глубинных участков скоростной изменчивости геодинамических показателей. По результатам исследований опубликована статья: 2022 Оценка глубинного и скоростного строения геологической среды по результатам сейсмо-экологического мониторинга Попов М.Г., Макеев В.М., Попова О.Г. в журнале Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, издательство Наука (М.), № 5, с. 27-38.

ГЛАВА 3.

3. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ Лабораторию электромагнитных зондирований представляют 5 штатных сотрудников кафедры (заведующий лабораторией – доц.. к.ф.-м.н. Яковлев А.Г., сотрудники – проф., д.г.-м.н. Куликов В.А., проф., д.г.-м.н. Пушкарев П.Ю., научные сотрудники: к.г.-м.н. Голубцова Н.С. и Шустов Н.Л.). Основные направления НИР лаборатории: 1). Исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии различных регионов с помощью магнитотеллурических (МТ) и магнитовариационных (МВ) зондирований (МТЗ и МВЗ); 2). Совершенствование методики обработки и анализ эффективности методов подавления влияния приповерхностных неоднородностей в МТ-данных; 3). Научные исследования в области рудной геофизики (комплексирование методов МТЗ, вызванной поляризации (ВП), электротомографии (ЭТ) с магниторазведкой и гравиразведкой); 4). Разработка методик геофизической съёмки с помощью БПЛА; 5). Разработка аппаратуры и программного обеспечения; 6). Сбор и анализ архивных электроразведочных материалов. Значительная часть научных исследований лаборатории проводится в тесном сотрудничестве и при поддержке геофизической компании «Северо-Запад». Под руководством доцента Яковлева А.Г. и при участии сотрудников и студентов кафедры выполняются производственные

геофизические работы во многих регионах (Урал, Восточная Сибирь, Таймыр, Норильский рудный район, Рудный Алтай, Камчатка, Боливия, Бразилия и др.). Проводимые работы можно подразделить на: а) глубинные, б) нефтепоисковые, в) рудные, г) инженерно-геологические. Также осуществляется разработка и производство аппаратуры (МТ-станция «NORD», многофункциональный измеритель «Мэри Смарт» и др.) и программное обеспечение (Epi-Kit, MT-Corrector и др.) для регистрации, обработки и интерпретации данных МТЗ и ЗСБ с использованием современных технологий. Остановимся более подробно на некоторых результатах. 3.1. Исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии различных регионов с помощью МТ- и МВ- зондирований. Изучение коровых аномалий электропроводности. 3.1.1. Изучение Ладожской аномалии электропроводности земной коры (рук. проф., д.г.-м.н. Куликов В.А.). Ладожская коровая аномалия электропроводности приурочена к Ладожско-Ботническому поясу, который является границей между Свекофеннским орогеном, сформированным при закрытии одноименного океана, и Карельским кратоном. В период с 2018 по 2022 гг на обширной территории южного Приладожья были выполнены площадные и профильные измерения методом глубинных МТЗ ГМТЗ) в объеме 109 ф.н. Впервые на территории Южного Приладожья были получены МТ/МВ-данные в широком диапазоне частот с использованием базовой станции и данных магнитной обсерватории Борок для расчета горизонтального магнитного тензора, которые позволили уточнить геоэлектрическую структуру земной коры северо-восточной части Восточно-Европейского Кратона. Была выполнена 3D инверсия и построена трехмерная геоэлектрическая модель изучаемой территории, а также более детальные модели удельного электрического сопротивления (УЭС) на основе двухмерной инверсии по отдельным профилям. Было прослежено продолжение южной ветви Ладожской аномалии электропроводности и уточнено ее глубинное строение. Также были получены принципиально новые зоны коровой аномальной электропроводности, которые, возможно, маркируют тектонические границы первого порядка между Южно-Прибалтийским поясом и Среднерусским орогеном. Результаты четырехлетних работ в Южном Приладожье были обобщены в диссертационной работе Ионичевой Анны Павловны, которая была защищена в диссертационном совете МГУ.016.6(04.03) 25 мая 2022 года. По материалам работ методом ГМТЗ, выполненным в Южном Приладожье, в 2022 году были опубликованы следующие научные статьи: • Геоэлектрическая модель Южного Приладожья по результатам 3d инверсии магнитотеллурических данных / В. А. Куликов, А. П. Ионичева, С. Ю. Колодяжный и др. // Физика Земли. — 2022. — Т. 68, № 5. — С. 45–59. • 3D inversion of magnetotelluric sounding data in the southern Ladoga region / V. A. Kulikov, A. P. Ionicheva, A. B. Королькова et al. // Moscow University Geology Bulletin. — 2022. — Vol. 77, no. 1. — P. 133–141. • Анализ и интерпретация МТ-данных, полученных в Южном Приладожье в 2018-2021 гг / В. А. Куликов, А. П. Ионичева, П. Ю. Пушкарев и др. // Труды V Международной геолого-геофизической конференции ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес. — Т. 1. — ПолиПРЕСС Тверь, 2022. — С. 98–101. 3.1.2. Изучение Ильменской коровой аномалии электропроводности. В 2022 г. продолжились работы по изучение корово-мантийной геоэлектрической структуры в зоне тройного сочленения крупнейших сегментов Восточно-Европейской платформы (Фенноскандии, Волго-Уралии и Сар-

матии) в рамках масштабного проекта глубинных электромагнитных (ЭМ) зондирований литосферы SMOLENSK. В рамках проекта в 2022 г. были проведены две экспедиции. В период с 23.02 по 06.02.2022г., в рамках студенческой зимней факультативной практики, были выполнены измерения методом ГМТЗ по региональному профилю г. Пушкинские Горы – г. Андреаполь. Объем измерений – 31 ф.н. В июле 2022 г. были проведены измерения методом ГМТЗ по профилю г. Остров – г. Осташков. Объем измерений 43 ф.н. В состав сводного полевого отряда входили сотрудники, аспиранты и студенты кафедры геофизики Геологического факультета МГУ, а также сотрудники института ЦГЭМИ ИФЗ РАН. Измерения проводились на территории Смоленской, Тверской, Псковской областей России. По результатам качественного анализа и количественной интерпретации МТ-данных можно констатировать, что профили ГМТЗ пересекают две аномалиеобразующие структуры, относящиеся к разным гипсометрическим уровням (рис. 3). Глубинный проводник, ось которого проходит примерно по линии г. Великие Луки – г. Локня, слабо проявляется на первичных данных МТЗ и представляет собой на результатах 2D инверсии субвертикальную зону шириной 30-40 км пониженных сопротивлений, преимущественно, в верхней и средней коре. Есть основания полагать, что выделенная зона является южным продолжением Ильменской аномалии электропроводности (Рокитянский) и отвечает региональной Центрально-Белорусской сутурной зоне, разделяющей крупные сегменты коры ВЕП. Ось второго аномалиеобразующего объекта, ярко проявленного в первичных МТ-полях, проходит в районе п. Западная Двина на профиле «Себеж-Ржев» и в районе п. Бологово на профиле «Пушгоры-Андреаполь». Аномалия связана с увеличением мощности проводящих осадков в Валдайском грабене. По результатам работ в районе Слободского тектонического узла в 2022 году были представлены следующие доклады: На международной конференции «Электроразведка-2022» г. Москва • Магнитотеллурические зондирования на профиле Остров - Осташков в зоне сочленения Фенноскандии и Волго-Уралии. Авторы: Ионичева А.П., Варенцов И.М., Иванов П.В., Куликов В.А., Королькова А.В., Лозовский И.Н., Родина Т.А., Шагарова Н.М., Яковлев А.Г. На международной конференции «Ломоносовские чтения-2022» г. Москва • Результаты работ методом МТЗ в районе Слободского геодинамического узла. Авторы: Куликов В.А., Ионичева А.П., Слинчук Г.Е., Яковлев А.Г. А также статья в Сборнике: • Геоэлектрические модели строения южной части Ильменской коровой аномалии электропроводности / В. А. Куликов, И. М. Варенцов, П. В. Иванов и др. // Сборник Труды V Международной геолого-геофизической конференции ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес. — Т. 1. — ООО ПолиПРЕСС Москва, 2022. — С. 71–74. 3.1.3. Изучение погребенных речных долин методами электроразведки В 2022 году продолжались комплексные электроразведочные работы методами аудиомагнитотеллурических зондирований (АМТЗ), ЗСБ и вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) по поиску и изучению разновозрастных погребенных долин по региональным профилям через р. Угра (Калужская область). По результатам многолетних комплексных электроразведочных работ, выполненных на правом берегу р. Угра по трем субширотным профилям, были уточнены контуры погребенной речной долины. Расхождение между границами долины, построенными на основе качественного анализа методов ВЭЗ, ЗСБ и АМТЗ, не превышает 500–700 м. Поэтапная количественная интерпретация элек-

троразведочных данных позволила получить модель удельного электрического сопротивления до глубины 200 м, удовлетворяющую данным трех разных методов электроразведки. Анализ глубинной модели удельного электрического сопротивления (УЭС) подтверждает сделанные нами ранее выводы о многоярусном строении погребенных долин р. Угра. По всем методам фиксируется погружение высокоомных аномалиеобразующих отложений в восточном направлении, от современного русла реки. Данный факт может свидетельствовать о системе наследования разновозрастных палеодолин от бобриковского горизонта нижнего карбона до плейстоцена и голоцена со смещением на запад от более древних к более молодым. По результатам работ были сделаны следующие доклады: На международной конференции «Электроразведка-2022» г. Москва • Результаты комплексных геофизических работ по изучению погребённых речных долин в калужской области Авторы: Денисова А.А., Куликов В.А., Алексанова Е.А., Ионичева А.П., Слинчук Г.Е., Шустов Н.Л. Опубликована статья в сборнике: • Результаты комплексных геофизических работ по изучению погребенных речных долин в Калужской области / В. А. Куликов, Е. Д. Алексанова, А. А. Денисова и др. // Сборник Труды V Международной геолого-геофизической конференции ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес. — Т. 1. — ООО ПолиПРЕСС Москва, 2022. — С. 164–168. Подготовлена и сдана в печать (журнал «Геофизика») статья: • Результаты комплексных электроразведочных зондирований на левобережье р. Угра Авторы: Куликов В.А., Алексанова Е.Д., Денисова А.А., Ионичева А.П., Слинчук Г.Е., Шустов Н.Л., Яковлев А.Г. 3.1.4. Изучение Мейерской зоны надвигов в Северном Приладожье Осенью 2022г под руководством проф. Куликова В.А. были начаты геофизические работы по изучению глубинного строения Мейерской зоны надвигов. В сентябре 2022г на территории Северного Приладожья были выполнены измерения методом АМТЗ в объеме 75 ф.н. В дальнейшем планируется провести углубленную обработку данных, качественный анализ и различные варианты интерпретации. Геологическая интерпретация геофизических результатов будет проводиться совместно с сотрудниками лаборатории «Тектоники и геодинамики № 103» ИФЗ РАН, руководитель д.г.-м.н., чл.-корр. РАН Морозов Ю.А. 3.2. Совершенствование методики обработки и анализ эффективности методов подавления влияния приповерхностных неоднородностей в МТ-данных (рук. проф. Пушкарев П.Ю.). Повышение эффективности глубинных электромагнитных исследований Земли, обеспечивающих получение новой информации о строении земной коры и верхней мантии, является одной из важнейших задач геофизики. С этой целью в 2022 г. выполнялась обработка записей длиннопериодных вариаций электрического и магнитного полей в геомагнитной обсерватории на Александровской базе геологического факультета МГУ. Были систематизированы записи, полученные с 2011 года с помощью магнитотеллурической станции LEMI-417M и магнитовариационной станции LEMI-025. Для обработки использовались программы научной группы А.В. Кувшинова из ETH Zurich (Швейцария). Результаты оценки тензора импеданса и матрицы типпера за 2011 – 2014 годы сопоставлены с аналогичными результатами, полученными ранее Т.А. Родиной по программе Ив.М. Варенцова (ЦГЭМИ ИФЗ РАН). Отмечается хорошее совпадение результатов на периодах до 3 часов. Полученные в результате обработки магнитовариационных данных С-отклики в настоящее время анализируются, сопоставляются результаты, полученные

двумя разными станциями и в различные интервалы времени. Ведётся оценка эффективности методов подавления влияния приповерхностных неоднородностей в магнитотеллурических данных. Выполнен обзор методов декомпозиции тензора импеданса и нормализации кривых зондирования. Составлен ряд геоэлектрических моделей (1D, 2D и 3D с однородным и неоднородным верхним слоем) для опробования этих методов на синтетических данных. Разработанные методика выполнения глубинных магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований по обсерваторским данным и методика подавления приповерхностных искажений в полевых МТ-данных могут быть применены к результатам, полученным в других регионах, для изучения их глубинного строения и решения поисково-разведочных задач. 3.3. Рудное направление (рук. проф. Куликов В.А.) Под руководством профессора Куликова В.А. продолжаются работы по теме: «Развитие и совершенствование электроразведочного комплекса для поиска и разведки рудных месторождений». Рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с рудной электроразведкой. Много внимания в проведенных исследованиях уделено методу вызванной поляризации, так как он остается важнейшим и наиболее динамично развивающимся направлением рудной геофизики. Исследованы возможности наземных электроразведочных методов ЭТ, ЗСБ и МТЗ при поиске крупных погребенных золоторудных месторождений на основе 3Д моделирования. Осуществлено комплексирование АМТЗ и гравиразведки при проведении поисковых работ на флангах медно-цинкового месторождения.

Основные результаты работы были отражены в двух докладах на международной конференции «Электроразведка-2022»: • Комплексирование АМТЗ и гравиразведки при проведении поисковых работ на флангах медно-цинкового месторождения. Автор: Куликов В.А. • Физико-геологическая модель карбонатитового месторождения в Северной Карелии по результатам комплексных геофизических работ. Автор: Куликов В.А. в четырех научных публикациях: • Куликов В.А., Королькова А.В., Корбутяк С.П. Возможности наземных электроразведочных методов ЭТ, ЗСБ и МТЗ при поиске крупных погребенных золоторудных месторождений на основе 3Д моделирования // Сборник Труды V Международной геолого-геофизической конференции ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес. — Т. 1. — ООО ПолиПРЕСС Москва, 2022. — С. 111. • Куликов В.А., Королькова А.В., Поликарпова В.А. Сравнение различных установок электротомографии, используемых при рудных изысканиях, на основе 2d-3d моделирования реальных месторождений // Сборник Труды V Международной геолого-геофизической конференции ГеоЕвразия-2022. Геологоразведочные технологии: наука и бизнес. — Т. 1. — ООО ПолиПРЕСС Москва, 2022. — С. 130–134. • Оптимизация выбора установок электротомографии на основе 2d- и 3d-моделирования / В.А. Куликов, С.П. Корбутяк, А.В. Королькова, В.А. Поликарпова // Геофизика. — 2022. — № 2. — С. 86–94. • Куликов В.А., Корбутяк С.П., Королькова А.В. Возможности наземных методов электроразведки при поиске погребенных золоторудных месторождений на основе 3d-моделирования // Геофизика. — 2022. — № 2. — С. 70–77. 3.4. Разработка методик геофизической съёмки с помощью БПЛА (н.с. Шустов Н.Л.). Совместно с с.н.с. М.Н. Марченко и асс. А.Ю. Паленовым научный сотрудник лаборатории Шустов Н.Л. участвовал в разработке прототипа аппаратуры метода длинного кабеля в варианте съемки с БПЛА. Получены первые ре-

зультаты съемки на Александровском полигоне, которые были доложены на конференции «Электроразведка 2022». Проведена серия исследований возможности поисков песчано-гравийных смесей (ПГС) методом радиометрии с борта БПЛА. Выполнены опытные испытания возможностей применения георадара и дипольного индукционного профилирования с БПЛА в комплексе с радиометрией для оконтуривания ПГС. 3.5. Разработка аппаратуры и программного обеспечения (рук. доц. Яковлев А.Г.). При участии сотрудников лаборатории на базе геофизической компании «Северо-Запад» завершена разработка и начато производство аппаратурно-программного электроразведочного измерительного комплекса «NORD», предназначенного для выполнения работ методами МТЗ и ЧЗ. Комплекс служит для регистрации электромагнитного поля при выполнении различных геофизических исследований. NORD имеет пять каналов: 2 электрических и 3 магнитных. Регистрация сигнала на каждом канале ведётся 32-битным АЦП с частотой дискретизации 2400 Гц, и 24-битным АЦП с частотой дискретизации 78.125 или 312.5 кГц в аудиодиапазоне. Оперативная обработка данных NORD может осуществляться в режиме реального времени с помощью управляющей программы на Android без прерывания записи. Окончательная обработка полученных регистратором NORD данных осуществляется после окончания записи на любом компьютере под управлением Windows. Для обработки используется программа EPI-KIT, которая входит в комплект поставки. 3.6. Сбор и обработка ретроспективных материалов на опорных геолого-геофизических профилях на территории Дальневосточного федерального округа в 2022-2024 гг. (рук. н.с. Голубцова Н.С.) Совместно с ООО «Северо-Запад» в рамках хоздоговора выполнялась работа по сбору и анализу архивных электроразведочных материалов в полосе Северного фрагмента опорного геолого-геофизического профиля 4-СБ. Цель проводимых исследований: обеспечить прирост изученности территории России глубинными геоэлектрическими данными по опорным геолого-геофизическим профилям Государственной сети (профиль 4-СБ) в пределах Дальневосточного федерального округа, включая Республику Саха (Якутия). Данные, полученные в результате анализа архивных электроразведочных материалов, необходимы для интерпретации материалов МТЗ, которые уже получены или будут получены в результате работ 2022-2024 гг. на данном участке.

ГЛАВА 4.

4. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ МАЛОГЛУБИННОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ Лабораторию малоглубинной электроразведки составляют 9 штатных сотрудников кафедры (Заведующий лабораторией. – проф., д.т.н. Модин И.Н. Сотрудники: проф., д.ф.-м.н. Шевнин В.А., доц., к.ф.-м.н. Большаков Д.К., доц., к.ф.-м.н. Бобачев А.А., с.н.с., к.ф.-м.н. Марченко М.Н., инженеры: Иванова С.В., Скобелев А.Д., Волков С.И., Акуленко С.А.). В лаборатории малоглубинной электроразведки в 2022 году проводились научные исследования по разработка новых геофизических технологий и их применению для решения задач археологической геофизики, экологической геофизики, для решения инженерных задач, для поиска различных полезных ископаемых. Большое внимание уделялось разработке аппаратуры и совершенствованию методики проведения геофизических работ на земле, в воздухе и на акваториях. 4.1. Проведение полевых испытаний новой речной электроразведочной станции «Хариус», при выполнении непрерывных акваторных зондирований на р. Угра (Калужская обл.). Летом 2022 г. на

реке Угра успешно прошли полевые испытания новой речной электроразведочной станции «Хариус». В результате выполнены электроразведочные наблюдения, проведена обработка и интерпретация данных непрерывных акваторных зондирований, получены данные по естественному полю, современный профиль речного дна и георадиолокационные данные на участке Малое Устье – Косая Гора. 4.2. Исследования в области археологической геофизики: изучение древних курганных могильников в районе г. Суздаль комплексом геофизических методов. За период с 2017 г. по настоящее время в результате сотрудничества с Институтом Археологии РАН в районе г. Суздаль установлено положение около 300 курганов на трех древнерусских курганных могильниках X-XI в.в – Шекшово-6, Гнездилово-9 и Сельцо. В результате геофизических работ, которые выполняются по сетке 1х1 м, получается куб данных на площади от 2 до 5 га. Далее производится послойное сканирование и на наиболее информативных глубинах строятся карты удельного электрического сопротивления. В зависимости от статуса захороненного лица диаметр курганов меняется от 4 до 30 м. Самые маленькие захоронения выполнены для обычных воинов и не очень богатых людей. Могилы размером 12-16 м - для богатых воинов и богатых мужчин. Найденный курган диаметром около 30 м имеет княжеский статус. 4.3. Результаты комплексных геофизических исследований на территории Тверской и Новгородской областей с целью изучения верхней части разреза. В 2021 г. на территории Тверской и Новгородской областей выполнены комплексные геофизические исследования с целью изучения верхней части разреза до глубины 70 м. На пространствах, где перед началом Валдайского оледенения залегали глины обнаружены огромные чередования гляциодислокаций в виде волнообразных поднятий высотой до 35 м и размером между периодическими поднятиями по 200-300м На построенном региональном профиле длиной 1700 м отчетливо прослеживается череда гляциодислокаций валдайского возраста в виде поднятий с относительной высотой до 35 м. 4.4. Геофизические исследования в Долине Гейзеров. В 2020 г. были выполнены геофизические исследования в Долине Гейзеров. На нескольких наиболее доступных и безопасных сайтах были проведены мониторинговые исследования механизма работы гейзеров. По результатам мониторинга выявлен механизм работы гейзера Большой. Каждый цикл измерения выполнялся за 10 минут. Цикл гейзера Большой составил около 1 часа. Единственно возможная технология выполнения таких мониторинговых исследований – это электротомография, которая позволяет в автоматическом режиме, не снимая и не передвигая оборудование получить картину изменений, которые наблюдаются в недрах гейзерной системы. 4.5. Работы по созданию прототипа аэроэлектроразведочной аппаратуры для работы с борта беспилотного воздушного судна методом длинного кабеля. В течении 2022 г. межлабораторной группой в составе с.н.с. М.Н. Марченко, асс. А.Ю. Паленова, н.с. Н.Л. Шустова, проф. И.Н. Модина проводились работы по созданию прототипа аэроэлектроразведочной аппаратуры для работы с борта беспилотного воздушного судна методом длинного кабеля. Разработан рабочий прототип бортового приемного оборудования. Создано соответствующее программное обеспечение. В течение года три раза осуществлялись опытно-методические полевые работы на научно-учебном полигоне «Александровка». Актуальность исследования определяется потребностью производственных организаций в инструменте для быстрого выполнения зна-

чительных объемов электроразведочных наблюдений для решения широкого круга детальных разведочных, технических и изыскательских задач на глубинах до 20÷30 м. В частности, такие системы могут быть эффективными для поиска месторождений песчано-гравийных смесей, необходимых при строительстве объектов инфраструктуры, осваиваемых месторождений полезных ископаемых. Работы в сентябре 2022 г. дали положительный результат при разделении песчаных и суглинистых грунтов в верхней части разреза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты научно-исследовательской работы сотрудников кафедры геофизических методов исследования земной коры в 2022 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 следующим основным направлениям: 1). Изучение глубинного строения отдельных территорий земного шара, в том числе тектоносферы юго-восточной части Атлантического океана и структур Индийского океана, земной коры Баренцева моря, острова Сахалин и др. с целью выяснения их строения и истории тектонического развития по комплексу геолого-геофизических данных с опорой на данные потенциальных полей; 2). Разработка и модернизация алгоритмов обработки и интерпретации потенциальных полей. Исследование применимости гравиразведки и магниторазведки в различных физико-геологических ситуациях на различных этапах комплексных геолого-поисковых работ. Совершенствование технологии плотностного и магнитного моделирования. Разработка новых подходов и алгоритмов интерпретации гравиметрических и магнитометрических данных; 3). Отдельно стоит выделить научные исследования студентов под руководством сотрудников лаборатории. Студентами разрабатывались такие темы, как создание алгоритмов обработки и интерпретации геофизических данных на основе нейронных сетей и машинного обучения; применение высокоточной гравиразведки при различных условиях наблюдения; анализ гравитационных полей Земли, Луны и Марса. В лаборатории магниторазведки решались следующие задачи: 1). Изучение влияния магнитных возмущений на траекторию наклонных скважин. 2). Разработка практических рекомендаций по комплексированию результатов площадных магнитных съемок и полевых палеомагнитных наблюдений при изучении магматических пород Крыма; 3). Разработка методики проведения работ, обработки и интерпретации данных высокоточных магнитометрических съемок в варианте градиентометрии для морских исследований при изучении строения шельфовых морей, транзитных и прибрежных зон Арктики и Мирового океана; 4). Изучение возможностей использования БПЛА для решения различных геолого-геофизических задач; 5). Оценка глубинного и скоростного строения геологической среды по результатам сейсмоэкологического мониторинга. В лаборатории электромагнитных зондирований проводились следующие научные исследования: 1). Исследования глубинного строения земной коры и верхней мантии различных регионов с помощью магнитотеллурических (МТ) и магнитовариационных (МВ) зондирований (МТЗ и МВЗ); 2). Совершенствование методики обработки МТ- и МВ-данных и анализ эффективности методов подавления влияния приповерхностных неоднородностей; 3). Рудная геофизика (комплекс ВП, электротомография, магниторазведка); 4). Разработка методик геофизической съёмки с помощью БПЛА; 5). Разработка аппаратуры и программного обеспечения; 6). Сбор и обработка ретроспективных материалов на опорных геолого-геофизических профилях. В лаборатории малоглубинной электроразведки выполнены исследования по следующим основным направлениям: 1). Разработка новых геофизических

технологий и их применение для решения задач археологической геофизики, экологической геофизики, для решения инженерных задач, для поиска различных полезных ископаемых; 2). Разработка аппаратуры для малоглубинной электроразведки; 3). Совершенствование методики проведения электроразведочных работ на суше, в воздухе и на акваториях с целью изучения особенностей строения верхней части разреза (ВЧР). 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 2022 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, 3 главы в коллективных монографиях, 38 научных статей в журналах (в изданиях из списков WoS или Scopus – 22, в журналах из списка RSCI WoS – 20). Опубликованы 35 статей в сборниках и 17 тезисов докладов, сделано 76 докладов на конференциях различного уровня. Защищены две кандидатские диссертации. Выполнены научно-исследовательские работы по 4 хоздоговорам. Объем дополнительного финансирования по договорам составил 1 985 т.р.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Объем финансирования темы в 2022 году
Таблица А.1

Источник финансирования	Объем (руб.)	
	Получено	Освоено собственными силами
Денежные средства в виде субсидии на выполнение фундаментальных научных исследований в соответствии с госзаданием МГУ, часть 2 (р. 01 10)	8 075 000,0	8 075 000,0