

Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ  
ЧТЕНИЯ***

***СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ***

***Подсекция  
геофизики***

Руководитель – зав. кафедрой, профессор Булычев А.А.

СБОРНИК  
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва  
2026

## Содержание:

1. Результаты геофизических исследований комплекса Кирьявалахти в районе п. Рускеала  
В.А. Куликов, А.П. Ионичева, Н.М. Шагарова, А.Г. Яковлев . . . . . 2
2. Динамическая коррекция магнитотеллурических данных  
С.П. Барышников, П.Ю. Пушкарев . . . . . 8
3. Возможности обнаружения объектов геологического риска для инженерных работ на шельфе по материалам комплексной интерпретации гидромагнитной съемки и набортной гравиметрии  
П.Д. Медведев, Л.А. Золотая . . . . . 11
4. Учет влияния масконов при построении плотностной модели Луны  
К.М. Кузнецов, И.В. Лыгин, М.В. Янголенко, В.С. Мигалева . . . . . 16
5. К вопросу многомерной связи радиометрии с битумоидами в карбонатах (матричная нефть) с учетом их стадийности формирования горной породы  
Б.А. Никулин, Н.А. Скибицкая, М.Н. Большаков, А.А. Никитин, И.О. Бурханова . 19
6. Высокоточный гравиметрический полигон  
А.А. Фадеев, И.В. Лыгин, А.А. Булычев . . . . . 22

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОМПЛЕКСА КИРЬЯВОЛАХТИ В РАЙОНЕ п. РУСКЕАЛА

В.А. Куликов<sup>1,2</sup>, А.П. Ионичева<sup>3</sup>, Н.М. Шагарова<sup>1</sup>, А.Г. Яковлев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> *ООО "Северо-Запад", г. Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Центр геоэлектромагнитных исследований ИФЗ РАН, г. Троицк, Москва, Россия*

В период с 30.01.2026г по 05.02.2026г сотрудниками и студентами кафедры геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова были проведены геофизические исследования по профилю «Рускеала-1», расположенному в районе одноименного горного парка. Основная цель работ – выяснение электрических и магнитных свойств палеопротерозойских отложений, выходящих к поверхности в районе проведения измерений.

Регистрация компонент МТ поля осуществлялась с помощью электроразведочных станций *NORD*, разработанных в компании ООО «Северо-Запад», с использованием индукционных датчиков *IMS-015* производства ООО «Вега». Измерения проводились в двух режимах – магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) и аудиомантителлурическое зондирование (АМТЗ).

Для обработки временных рядов МТ поля и получения спектров отдельных компонент использовалась программа *EPI-KIT*, разработанная в компании ООО «Северо-Запад» (автор - Елишкин Д.В) [1]. Интерпретация осуществлялась с использованием пакета программ *ZOND*.

### **Краткая геологическая характеристика района проведения работ**

Район исследований расположен в юго-восточной части Свекофеннской подвижной области (Республика Карелия) и характеризуется сложным геологическим строением. В его пределах развиты сложнодислоцированные и высокометаморфизованные супракрустальные образования архея – нижнего протерозоя. В рамках площади работ выделяются два надгоризонта нижнепротерозойского возраста: людиковийский и ка-левийский.

Людиковийский надгоризонт представлен породами сортавальской серии. В ее составе выделяются две свиты: питкьярантская и кирьяволахтинская. Подстилающая питкьярантская свита сложена преимущественно metabазальтами.

Кирьяволахтинская свита залегает на питкьярантской и перекрывается терригенными отложениями калевийского надгоризонта. Характерной особенностью является присутствие в разрезе субщелочных вулканитов среднего состава (трахиандезитов) и высокомагнезиальных вулканитов (коматиитовых базальтов и коматиитов). В северном обрамлении Кирьяволахтинской структуры свита имеет максимальную мощность и расчленяется на три подсвиты. На площади работ выделяется две подсвиты: средняя и верхняя.

Средняя подсвита сложена метаморфизованными вулканитами основного и ультраосновного состава: базальты, коматииты, коматиитовые базальты, их туфы и туффиты. В коматиитах фиксируются реликты оливина. Мощность отложений составляет от 450 до 1100 м.

Верхняя подсвита сложена преимущественно терригенными породами: сланцы по пирротин- и графитсодержащим алевролитам, биотит-кварцевые сланцы с линзами мраморов, а также прослой амфиболитов (метабазальтов). Мощность не превышает 700 м.

Калевийский надгоризонт представлен породами Ладожской серии - Конттиосарской и Пялкъярвинская свит. Сложены кварцитами, кварцитопесчаниками и метаморфизованными песчаниками, высокоглиноземистыми терригенными осадками (алевролиты, алевропесчаники), метаморфизованными до сланцев [2].



Рис. 1. Фрагмент геологической карты с положением профиля геофизических работ.

### Методика магнитной съемки

Для измерения магнитного поля была использована аппаратура «ММПОС-2» в одноканальном режиме. Учет вариаций осуществлялся с помощью магнитовариационной станции (МВС). В

качестве МВС использовался магнитометр «ММРОС-2». Интервал измерений на МВС составлял 10 с. Привязка точек происходила с помощью GPS-навигатора Garmin GPSMAP 78s. Точность магнитной съемки составила  $\pm 6.35$  нТл. Аномальное магнитное поле вычислялось по формуле:

$$\Delta T_a = T_{\text{набл}} - T_{\text{норм}} + (T_{\text{вар}} - 53183)$$

где  $T_{\text{набл}}$  – наблюдаемое значение магнитного поля из рядовой съемки,  $T_{\text{норм}}$  – значение нормального магнитного поля,  $T_{\text{вар}}$  – значение магнитного поля с МВС, 53183 – значение среднего уровня суточных вариаций (нТл).

### **Работы методом МТЗ (АМТЗ).**

Регистрация компонент МТ поля осуществлялась с помощью электроразведочных станций NORD, разработанных в компании ООО «Северо-Запад», с использованием индукционных датчиков IMS-015 производства ООО «Вега». По результатам обработки были получены сплайн-кривые магнитотеллурических параметров – кажущегося сопротивления ( $\rho_k$ ), фазы импеданса ( $\varphi$ ), компонент матрицы Визе ( $W$ ).

Все амплитудные кривые ( $\rho_k$ ) представлены на рис. 2. Мы имеем два типа кривых – высокочастотные кривые АМТЗ (диапазон частот 1 – 10000 Гц), полученные по результатам дневных записей длительностью 1.5 – 4 часа и среднечастотные кривые МТЗ (диапазон частот 0.01 – 10000 Гц), полученные по результатам ночных записей длительностью до 20 часов.

Полевые измерения проводились по магнитным азимутам, при этом компонента ХУ – меридиональная, компонента УХ – широтная. Магнитное склонение в районе работ положительное (восточное) – примерно  $13^\circ$ . Экспресс-анализ данных показал, что главные направления МТ параметров существенно отличаются от азимутов, по которым проводилась регистрация поля. Исходя из имеющейся геологической карты (рис. 1), можно предположить, что основное тектоническое направление составляет около  $320^\circ\text{СЗ}$ . Учитывая положительное (восточное) магнитное склонение относительно полученных данных это будет угол около  $50^\circ$  против часовой стрелки. На этот угол был осуществлён поворот в процессе обработки данных.

Подавляющее большинство кривых  $\rho_k$  заканчиваются правой нисходящей ветвью, которая опускается до уровня 1 Ом·м, а на отдельных точках и даже до 0.1 Ом·м. Это говорит о том, что в основании разреза залегают проводящие породы (рис. 2).

Высокочастотная часть кривых  $\rho_k$  имеет тип «Н» или «НК». По уровню параметра  $\rho_k$  кривые характеризуются значительным разбросом – 6 декад. Максимальные значения кажущегося сопротивления достигают  $10^5$  Ом·м, минимальные –  $10^{-1}$  Ом·м.

Разброс кривых по оси ординат, который отражает гальванические искажения от приповерхностных неоднородностей, более ярко выражен на компоненте УХ (СВ). Это

подтверждает наши предположения о том, что данное направление отвечает поперечной поляризации.

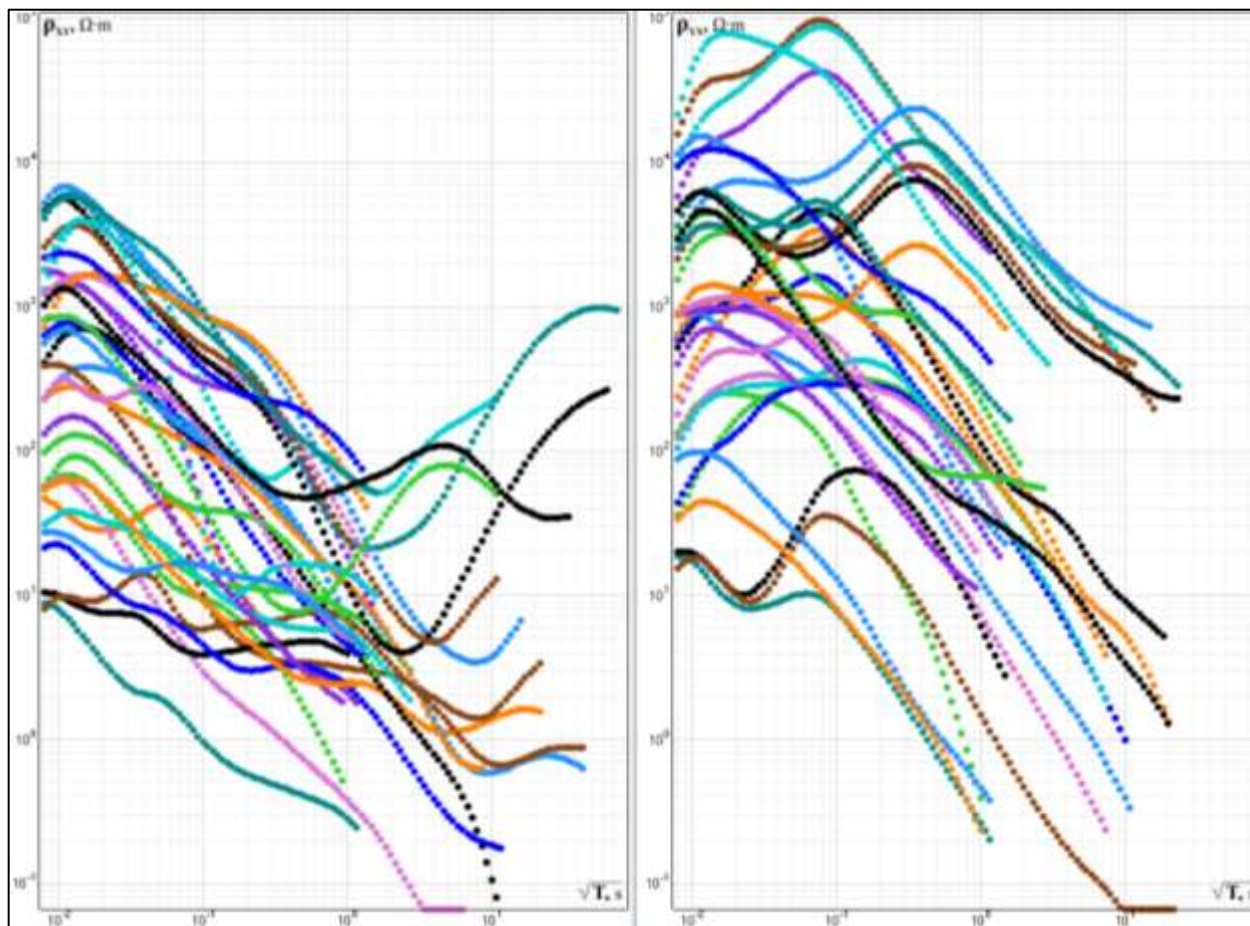


Рис. 2. Кривые кажущегося сопротивления после поворота. Справа – компонента XY (310° СЗ) слева – YX (50° СВ).

Параметры неоднородности по фазовому тензору представлены на рис. 14. Вверху представлен разрез параметра  $\Delta\varphi$ . В северной части профиля, на точках 19,20 и 22-25 можно искать решение в классе одномерных моделей. Ярко выраженная трехмерность характерна для одного участка, между токами 5-11. Остальная часть профиля может интерпретироваться в рамках 2D инверсии.

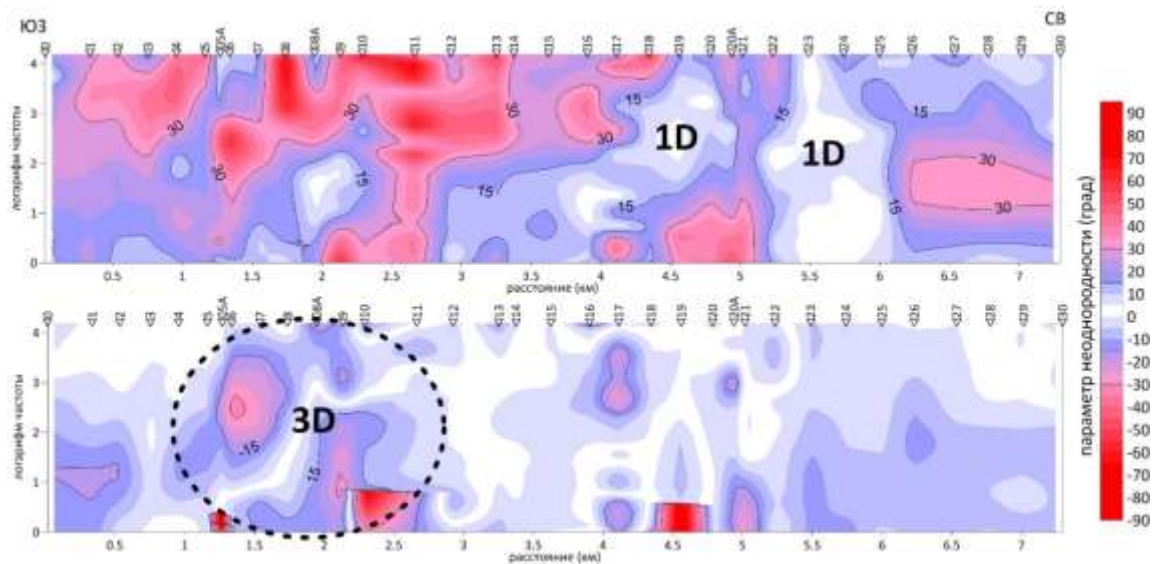


Рис. 3. Параметры неоднородности фазового тензора. Вверху –  $\Delta\varphi$ , внизу –  $\beta$ .

2D инверсия проводилась в программе ZONDMT2D. Параметры сетки:

Первая ячейка по вертикали – 10м, количество ячеек по вертикали – 50, максимальная глубина модели – 2.1км; размер ячейки по горизонтали – 100м.

Инверсия проводилась как с автоматически нормализованными амплитудными кривыми, так и с исходными. Результаты одного из вариантов инверсии представлен на рис. 4. Над разрезом УЭС приведен график аномального магнитного поля и границы геологических комплексов, снятые с карты (рис 1).

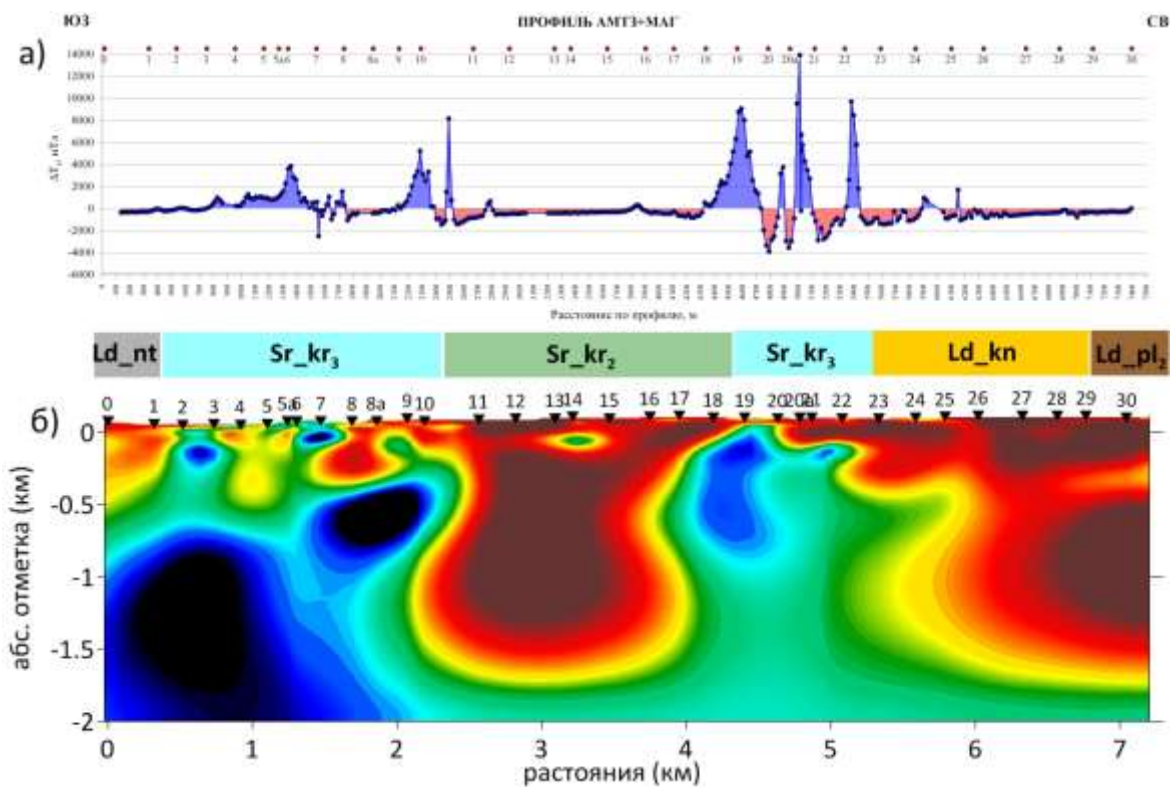


Рис. 4. График аномального магнитного поля (а), модель УЭС по результатам 2D инверсии (б).

## Выводы

По результатам 2D инверсии магнитотеллурических данных были построены модели УЭС до глубины 2км по профилю «Рускеала-1». Отложения верхней подсвиты Кирьяволахтинской свиты характеризуются низкими удельными сопротивлениями – 0.1-10 Ом·м. Проводящие слои характеризуются ЮЗ падением и обрамляют центральное высокоомное тело, отвечающее породам средней подсвит Кирьяволахтинской свиты

Сопоставление модели УЭС с графиком аномального магнитного поля показывает высокую положительную корреляцию между выходом к поверхности графитизированных сланцев и положительными аномалиями  $dT_a$  (рис. 4). Это подтверждает информацию о присутствии в отложениях верхней подсвиты высоких концентраций пирротина.

## Литература

1. Епишкин Д.В. Развитие методов обработки данных синхронных магнитотеллурических зондирований // Дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2018. 132 с.
2. Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерагения) / И. А. Алексеев, А. В. Амантов, М. Г. Амантова и др. — КарНЦ РАН Петрозаводск, 2020. — 435 с.

# ДИНАМИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

С.П. Барышников<sup>1,2</sup>, П.Ю. Пушкарев<sup>1</sup>

1 – Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

2 – ЦГЭМИ Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН

Метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ) относится к электромагнитным методам геофизики и даёт информацию об электропроводности земных недр. В зависимости от используемого диапазона частот он может применяться при глубинных исследованиях земной коры и верхней мантии, при поиске и разведке полезных ископаемых и геотермальных ресурсов, а также при решении различных малоглубинных задач.

Существенной проблемой метода МТЗ является влияние приповерхностных неоднородностей, которые сказываются в широком диапазоне частот и искажают информацию об изучаемых структурах. Локальные приповерхностные неоднородности приводят к статическим смещениям амплитудных кривых МТЗ (без изменения их формы) и не затрагивают фазовые кривые. Подавление этих искажений сводится к коррекции статических смещений амплитудных кривых, методика такой коррекции достаточно хорошо разработана.

Сложнее обстоит дело с более крупными приповерхностными неоднородностями, влияние которых зависит от частоты (искажается форма амплитудных кривых) и сказывается на фазовых кривых. Для их подавления Э.Б. Файнбергом была предложена идея динамической коррекции кривых МТЗ [1]. Им был введён частотно-зависимый коэффициент коррекции, определяемый как отношение результатов решения прямой задачи для моделей с неоднородным и однородным верхним структурным комплексом над фоновым глубинным слоистым разрезом. Таким образом, для этого необходимо знать геоэлектрическое строение верхнего комплекса и фоновый глубинный разрез.

В работе М.Н. Бердичевского [2] идея динамической коррекции была обобщена для тензора импеданса  $[Z]$ , приповерхностные искажения которого описывались матрицей электрических искажений. Дальнейшее развитие динамическая коррекция получила в работе В.А. Кузнецова [3], где была рассмотрена также матрица магнитных искажений. Стало возможным применять динамическую коррекцию не только для тензора импеданса  $[Z]$ , но и для матрицы Визе-Паркинсона  $[W]$ , магнитного тензора  $[M]$  и теллурического тензора  $[T]$ .

Для оценки возможностей динамической коррекции данных МТЗ мы рассмотрели синтетические данные для трёхмерной модели тектоносферы из работы [4]. Эта модель содержит три структурных этажа: верхний – осадочный чехол с впадиной и поднятием; средний –

консолидированную кору с двумя проводящими вытянутыми призмами; нижний – верхнюю мантию с проводящим астеносферным поднятием. Было интересно, насколько динамическая коррекция позволит снять эффект неоднородностей осадочного чехла и в чистом виде увидеть аномалии от коровых и мантийной неоднородностей. Синтетические данные МТЗ были получены с помощью программы MT3DFwd [5] для площадной системы наблюдений из 19 x 15 (всего 285) точек МТЗ, с шагом 20 км по обеим координатам.

Результаты динамической коррекции для случая известных параметров были рассмотрены в статье [6]. Пользуясь тем, что мы знаем строение осадочного чехла и фоновый слоистый разрез, удалось точно смоделировать их влияние и соответственно скорректировать данные МТЗ, подавив в них влияние неоднородностей осадочного чехла.

Однако, в реальных условиях мы чаще всего не обладаем достоверной и детальной априорной информацией о строении осадочного чехла и о фоновом слоистом разрезе. Мы можем извлечь эту информацию непосредственно из данных МТЗ. В докладе представлены результаты такого эксперимента с использованием того же набора синтетических данных МТЗ.

Воспользовавшись классическим приёмом оценки суммарной продольной проводимости ( $S$ ) верхней части разреза по восходящим асимптотам кривых кажущегося сопротивления, мы построили карту  $S$  осадочного чехла. А вычислив среднюю кривую кажущегося сопротивления по всей площади и выполнив её одномерную интерпретацию, мы оценили фоновый слоистый разрез.

Далее была выполнена динамическая коррекция, которая показала на больших периодах (порядка 1000 с) почти такую же эффективность, как в случае истинных параметров осадочного чехла и фонового разреза. Однако на коротких периодах (порядка 10 с) результаты оказались существенно хуже. Определённую погрешность при этом вносят неточности определения карты  $S$  осадочного чехла и параметров фонового разреза по данным МТЗ. Но основная погрешность возникает, на наш взгляд, из-за довольно грубой аппроксимации трёхслойного осадочного чехла одним слоем постоянной мощности с латерально изменяющейся проводимостью  $S$ .

На следующем этапе мы планируем более точно восстановить осадочный чехол с помощью одномерной инверсии высокочастотных кривых МТЗ для расширения области эффективного применения динамической коррекции в сторону коротких периодов.

Мы применили динамическую коррекцию к тензору импеданса [ $Z$ ], но также планируем оценить её эффективность при подавлении влияния неоднородностей осадочного чехла на матрицу Визе-Паркинсона [ $W$ ], магнитный тензор [ $M$ ] и теллурический тензор [ $T$ ].

Результаты динамической коррекции позволяют получить неискажённые образы глубинных аномалий, что важно на этапе качественного анализа данных. Но насколько полезной она может

оказаться при инверсии (решении обратной задачи)? Этот вопрос требует дальнейших исследований.

Также будет интересно опробовать динамическую коррекцию на наблюдаемых данных МТЗ. К настоящему времени получены подходящие для этого представительные наборы площадных данных, как в масштабе небольших участков, перспективных на полезные ископаемые, так и в региональном и даже континентальном масштабе.

### Литература

1. Файнберг Э.Б., Герен Р., Андрие П., Полторацкая О.Л. Динамическая коррекция амплитудных кривых магнитотеллурического зондирования, искаженных влиянием приповерхностных неоднородностей // Физика Земли. 1995. № 7. С. 29-34.
2. Бердичевский М.Н. О динамической коррекции магнитотеллурического зондирования // Физика Земли. 1996. № 10. С. 22-24.
3. Кузнецов В.А. Опыты по динамической коррекции магнитотеллурических и магнитовариационных данных // Физика Земли. 2010. № 2. С. 79-86.
4. Попов Д.Д., Пушкарев П.Ю. Чувствительность магнитотеллурических зондирований к типичным аномалиям электропроводности в тектоносфере // Вестник Московского университета, Серия 4 Геология. 2023. № 6. С. 134-143.
5. Mackie R.L., Madden T.R., Wannamaker P.E. Three-dimensional magnetotelluric modeling using difference equations - theory and comparison to integral equation solutions // Geophysics. 1993. 58. P. 215-226.
6. Барышников С.П., Пушкарев П.Ю. Опробование методов динамической коррекции кривых магнитотеллурического зондирования на модельных данных // Физика Земли. 2026. № 2. С. 3-16.

# ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАБОТ НА ШЕЛЬФЕ ПО МАТЕРИАЛАМ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГИДРОМАГНИТНОЙ СЪЕМКИ И НАБОРТНОЙ ГРАВИМЕТРИИ

П.Д. Медведев<sup>1,2</sup>, Л.А. Золотая<sup>1</sup>

1 – Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова;

2 – АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция»

**Аннотация.** В представленных материалах приведены результаты инженерно-геологических изысканий на шельфе южной части Карского моря. Исследования выполнены на двух инженерных площадках комплексом геофизических методов: гидромагнитная съёмка, набортная гравиметрия и сейсморазведка высокого разрешения. Цель проведенных исследований состоит в разработке критериев выделения в потенциальных полях разных генераций палеоструктур и других объектов, которые при инженерных работах относятся к рискообразующим факторам. В результате работы установлена пространственная связь гравитационных и магнитных аномалий с палеоструктурами. Показана высокая эффективность использованных геофизических методов для решения задач детального картирования геологических структур до глубин 500 м.

**Ключевые слова:** гидромагнитная съемка, набортная гравиметрия, сейсморазведка высокого разрешения, комплексная интерпретация геофизических данных, палеоврезы, палеодепрессии, 2D моделирование, инженерно-геологические изыскания.

**Введение.** Высокая ресурсная перспективность шельфа Карского моря сопряжена со сложным геологическим строением территории. Наличие палеоврезов, зон тектонических нарушений и участков газонасыщенности создают прямую угрозу для строительства и эксплуатации буровых платформ. В связи с этим, важно точное выявление координат рискоопасных геологических объектов на стадии, предшествующий бурению, что достигается применением комплекса высокоточных геофизических методов.

Накопленный опыт геофизических исследований показывает, что сейсморазведка высокого разрешения (СВР), оставаясь основным методом исследования геологического разреза до глубин 500 м, не всегда позволяет однозначно оценить вещественный состав заполнения палеоструктур, определить менее плотные ослабленные зоны. Гравиразведка и магниторазведка могли бы выступить в роли независимых источников информации, однако, на текущий момент четких критериев выделения палеоврезов и других рискообразующих объектов по данным этих методов пока не разработано.

В связи с этим, в настоящем докладе, авторы обсуждают первые шаги в направлении комплексного картирования палеоструктур по данным гидромагнитной съемки и набортной гравиметрии. Основное внимание уделено апробации подхода к выделению рискообразующих геологических объектов по данным площадных съемок потенциальных полей на примере двух инженерных площадок на шельфе Карского моря (Рис. 1).

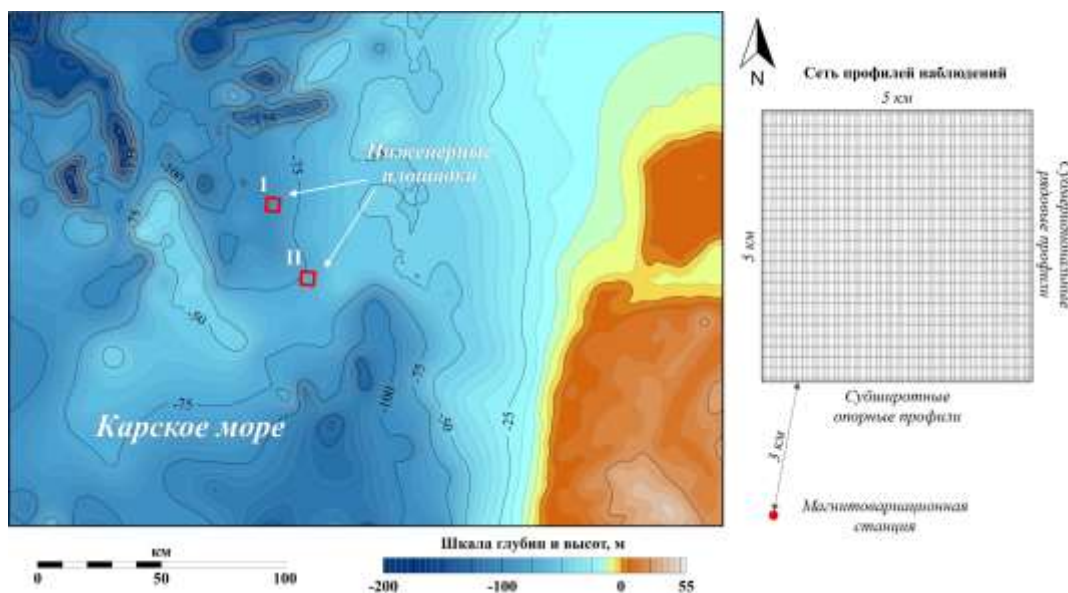


Рис. 1 Схема расположения инженерных площадок I и II на шельфе Карского моря (красный квадрат) и параметры сети наблюдений

**Методика работ.** Программа геофизических исследований АО «МАГЭ» в южной части шельфа Карского моря в течение полевого сезона 2022 года включала проведение комплексных геофизических исследований в масштабе 1:10000: а) дифференциальная гидромагнитной съемки; б) набортные гравиметрические измерения; в) сейсмоакустическое профилирование; а также г) промерные работы - многолучевое эхолотирование и гидролокация бокового обзора. Применение комплекса методов было направлено на получение независимой и взаимодополняющей информации о строении верхней части геологического разреза и локализации рискоопасных объектов – до глубин 500 метров. Площадь каждой инженерной площадки составила 25 км<sup>2</sup> с суммарной протяженностью профилей 385 пог. км (Рис. 1).

**Геологическое строение верхней части разреза и классификация палеоструктур.** Южная часть шельфа Карского моря расположена в пределах Южно-Карской синеклизы — крупнейшего мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, сложенного преимущественно терригенными отложениями. Верхняя часть разреза до глубин 500 м представлена плиоцен-четвертичными отложениями, несогласно перекрывающими палеоген-меловые породы.

Мощность плиоцен-четвертичного чехла крайне изменчива и достигает максимальных значений (более 300 м) в погребенных палеоврезах.

В ряде работ [1, 2, 3] было показано, что на основе сейсмостратиграфического анализа данных СВР можно проводить разделение палеоструктур на различные генерации, отличающиеся по возрасту и составу заполняющих их отложений. На рис. 2 приведен типичный сейсмоакустический разрез на площадке I, на котором ярко проявлены следующие генерации палеоструктур:

*Первая генерация* характеризуется наибольшей глубиной врезания и мощностью заполняющих отложений до 450 м. Протяженность этих структур изменяется от 10 до 140 км, ширина – от 0,5 до 8 км.

*Вторая генерация* имеет меньшую глубину врезания и мощность заполнения (до 100–150 м). Протяженность этих структур – менее 50 км, ширина – от 0,4 до 1.6 км.

*Третья генерация* является наиболее молодой. Мощность заполняющих отложений не превышает 50 м. Протяженность структур варьирует от первых километров до десятков километров при ширине от сотен метров до первых километров [3] (Рис. 2).

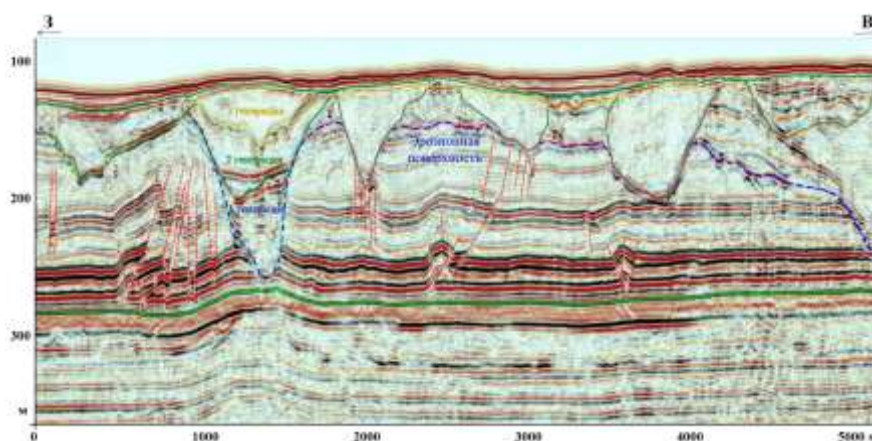


Рис. 2 Типичный сейсмоакустический разрез на площадке I

**Качественная интерпретация потенциальных полей.** Установленные различия в строении палеоврезов разных генераций были отмечены в характере аномального гравитационного поля (АГП) и аномального магнитного поля (АМП).

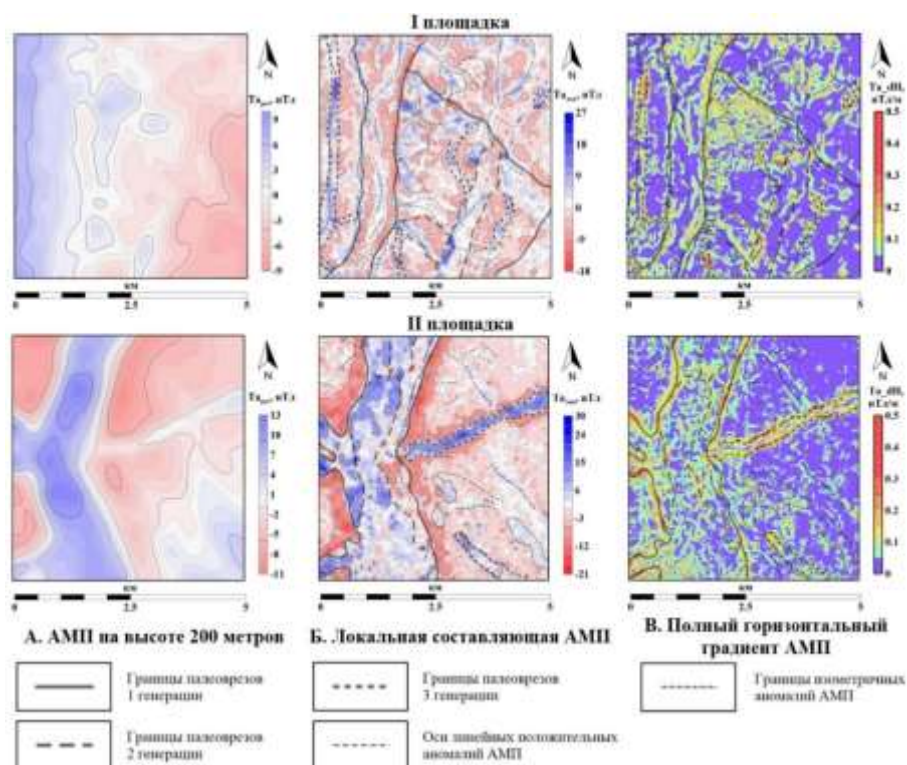


Рис. 3 Цифровые модели региональных составляющих магнитного поля – А, локальных составляющих – Б и полного горизонтального градиента – В

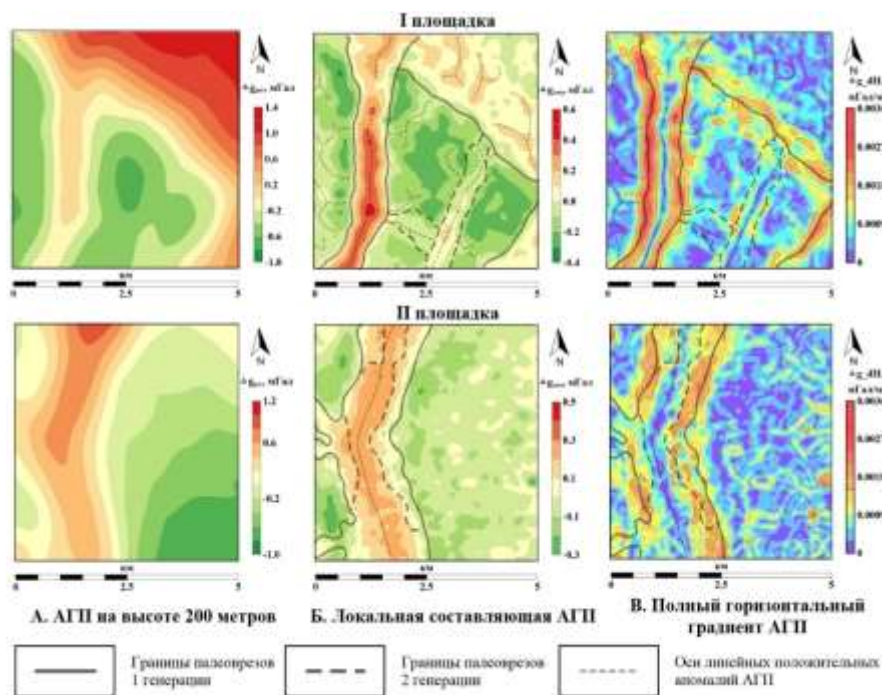


Рис. 4 Цифровые модели региональных составляющих гравитационного поля – А, локальных составляющих – Б и полного горизонтального градиента – В

Наиболее крупные *палеоврезы первой генерации* уверенно идентифицируются: по интенсивным вытянутым положительным аномалиям в гравитационном поле ( $\Delta g \sim 1$  мГал) шириной более 700 м; по зонам повышенных горизонтальных градиентов в аномальном

магнитном ( $>0.2$  нТл/м) и гравитационном ( $>0.0015$  мГал/м) полях, фиксирующим границы врезов (рис. 3 и рис. 4).

*Палеоврезы второй генерации* выделяются менее интенсивными линейными положительными аномалиями силы тяжести (до 0.3 мГал) и шириной  $\sim 500$  м. В аномальном магнитном поле границы структур также трассируются по повышенным значениям горизонтального градиента магнитного поля ( $\sim 0.2$  нТл/м) (Рис. 3 и 4).

*Палеоврезы третьей генерации* выделяются положительными линейными аномалиями магнитного поля ( $>5$  нТл), но при этом не имеют проявленности в гравитационном поле. Это, вероятно, обусловлено незначительной мощностью объектов. Яркий пример палеовреза третьей генерации представлен на площадке II, где выделяется вытянутая в ЮВ-СЗ направлении интенсивная локальная аномалия АМП с амплитудой более 15 нТл при относительно небольшой ширине (около 150 м) (Рис. 3 и 4).

**Заключение.** В рамках выполненной научно -исследовательской работы апробирован подход к комплексному анализу потенциальных полей совместно с данными СВР на двух инженерных площадках южной части шельфа Карского моря. Сформулированы предварительные критерии выделения палеоврезов различных генераций по аномальным магнитному и гравитационному полям. Показана взаимодополняемость геофизических методов: гравиметрия наиболее эффективна для выделения глубоких палеоврезов первой и второй генераций, тогда как магнитометрия позволяет выявлять маломощные структуры третьей генерации, которые слабо проявляются в поле силы тяжести. Предложенные в работе подходы и предварительные критерии по локализации палеоструктур по материалам комплексной интерпретации материалов гидромагнитной съемки и набортной гравиметрии могут служить методической основой для дальнейшего совершенствования методики комплексной интерпретации геофизических данных при решении задач обнаружения объектов геологического риска для инженерных работ в шельфовых зонах акваторий

#### Литература

1. Замотина З.С., Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Терёхина Я.Е., Коллюбакин А.А. Анализ систем палеодолин в юго-западной части Карского моря по сейсмическим данным // Геофизика. 2024. №2. С. 16-23.
2. Замотина З.С., Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Терёхина Я.Е., Коллюбакин А.А. Гончарова А.М. Палеодолины и палеодепрессии Восточно-Приновоземельского района Карского моря // Вестник Московского университета. 2023. №2. С. 117-127.
3. Назаров Н.Н., Копытов С.В., Чернов А.В. Пойменные генерации как объекты геоморфологической дифференциации долин широкопойменных рек // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25, вып. 3. С. 108–111.

# УЧЕТ ВЛИЯНИЯ МАСКОНОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПЛОТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ЛУНЫ

К.М. Кузнецов <sup>1</sup>, И.В. Лыгин <sup>1</sup>, М.В. Янголенко <sup>1</sup>, В.С. Мигалева <sup>1</sup>

*1 – Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова*

## Введение

Аномальное гравитационное поле Луны осложнено положительными изометричными аномалиями, амплитуда которых достигает 650 мГал, а диаметр – более 500 км. Впервые они были отмечены по особенностям траектории движения искусственных спутников Луны Мюллером и Шергеном в работе 1968 года [1]. Названы такие аномалии были «масконами» (от англ. mass concentration). Их источники представляют собой слабо изученную особенность внутреннего строения Луны. При этом они являются значимой помехой при анализе глубинного строения Луны на основе интерпретации аномалий силы тяжести.

На рисунке 1 приведены аномалии силы тяжести в редукции Буге модели GRGM1200A с плотностью промежуточного слоя  $2.55 \text{ г/см}^3$ , отвечающей средней плотности лунной коры [2]. Модель GRGM1200A получена по данным спутниковой миссии GRAIL и представляет собой разложение гравитационного потенциала на сферические гармоники до 1200-го порядка. Пространственное разрешение модели в экваториальной области составляет около  $10 \times 10 \text{ км}$ . Вычисление аномалий поля силы тяжести в редукции Буге выполнено с привлечением данных лазерной альтиметрии миссии Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) [2] о морфологии лунной поверхности.

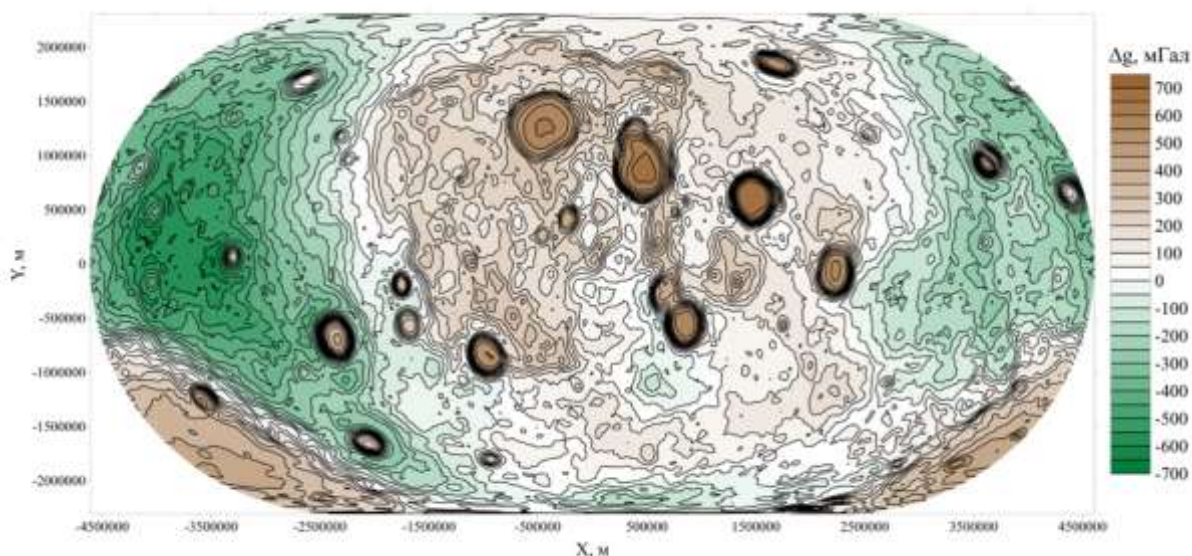


Рис. 1. Проявленность масконов Луны в аномалиях силы тяжести в редукции Буге с плотностью  $2.55 \text{ г/см}^3$  модели GRGM1200A в проекции Эккерта IV [2]. (Сечение изолиний 50 мГал).

## Учет влияния масконов

Для изучения внутреннего строения Луны выполнено редуцирование аномального поля силы тяжести за эффекты масконов. В работе [3] приведены результаты выделения масконов с использованием сверточной нейронной сети. С опорой на эти результаты смоделированы 40 масконов Луны, создающих наиболее крупные и амплитудные аномалии. Процесс моделирования включал три основных этапа.

1. Проецирование поля из сферической системы координат в прямоугольную. Для каждого маскона создана индивидуальная локальная система координат на основе стереографической проекции с началом в экстремуме аномалии.

2. Подбор параметров (геометрические параметры и плотность) источника по аномальному гравитационному полю. В качестве модели аппроксимации рассмотрена модель усеченного перевернутого конуса.

3. При необходимости изменение наклона «стенок» аномалообразующего тела с целью описания высокого градиента поля масконов.

На рисунке 2 приведен пример моделирования маскона Восточный и редуцирования поля.

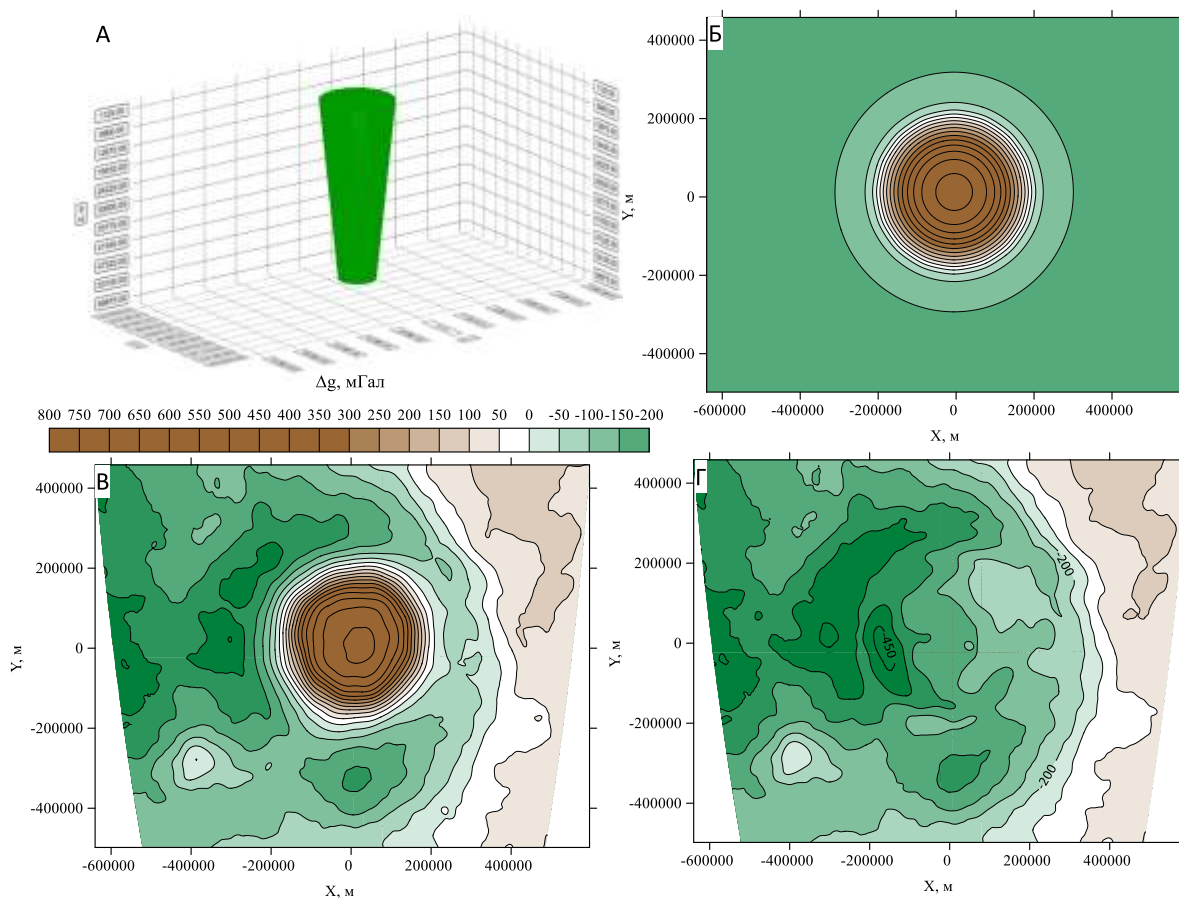


Рис. 2. Модель усеченного конуса, описывающая маскон Восточный (А), её эффект (Б), аномалии силы тяжести в редукции Буге над масконом Восточный (В) и аномальное поле, редуцированное за эффект маскона (Г) (Сечение изолиний 50 мГал).

Моделирование масконов Луны показало, что для описания столь больших значений аномалий необходимы блоки повышенной плотности, мощностью близкой к мощности всей лунной коры – порядка 50 км, а плотность блоков должна соответствовать породам основного состава.

Для дальнейшего редуцирования все эффекты смоделированных масконов спроецированы обратно в географическую систему координат и объединены в единую матрицу (грид), которая в дальнейшем вычтена из аномалий силы тяжести в редукции Буге (Рис. 3).

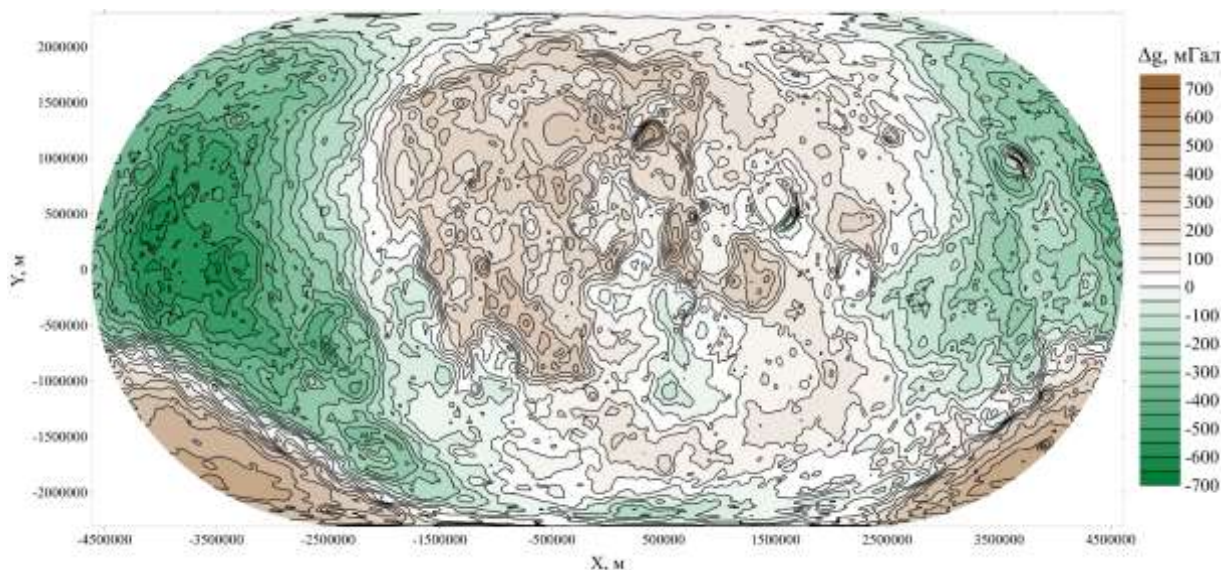


Рис. 3. Аномалии поля силы тяжести Луны в редукции Буге редуцированное за эффекты масконов в проекции Эккерта IV

#### Литература:

1. Muller P.M., Sjogren W.L. Mascons: Lunar Mass Concentrations // Science, vol. 161, 1968. P. 680-684. DOI: 10.1126/science.161.3842.680.
2. Goossens S., Lemoine F.G., Sabaka T.J., et al. A Global Degree and Order 1200 Model of the Lunar Gravity Field using GRAIL Mission Data. 47th Lunar and Planetary Science Conference, #1484, 2016.
3. Шклярук А.Д., Кузнецов К.М., Янголенко М.В., Беляков Н.В., Лыгин И.В. Выделение масконов Луны в гравитационном поле на основе свёрточных нейронных сетей // Геофизика. 2025. № 3. С. 97–105. DOI: 10.34926/geo.2025.22.14.013.

# К ВОПРОСУ МНОГОМЕРНОЙ СВЯЗИ РАДИОМЕТРИИ С БИТУМОИДАМИ В КАРБОНАТАХ (МАТРИЧНАЯ НЕФТЬ) С УЧЕТОМ ИХ СТАДИЙНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

Б.А. Никулин<sup>1</sup>, Н.А. Скибицкая<sup>2</sup>, М.Н. Большаков<sup>2</sup>, А.А. Никитин<sup>1</sup>, И.О. Бурханова<sup>2</sup>

1 – МГУ им М.В Ломоносова

2 – ИПНГ РАН

Объяснение природы радиоактивности (Урана U, Тория (Th), Калия K) пород связывается с минералогией песчано-глинистой матрицы, сорбцией ионов урана на глинистом и органическом материале, а также его осаждение из пластовых вод на геохимическом барьере, например, в зонах водонефтяного контакта (ВНК) разрушенных нефтяных месторождений.

**Уточнение связи высокомолекулярных соединений (ВМС) с данными геофизических исследований скважин (ГИС) и петрофизики.** В некоторых исследованиях приводятся сложные причины, связанные, в частности, с составом битумов. Указывается, что для одних разновидностей связь положительна, а для других – отрицательна. Отличительной чертой этих разновидностей является соотношение химических элементов (С, Н, О, N) в битуме, унаследованное от первичной сапропелевой или гумусовой органики, а также от вариаций химических свойства минералов урана [1, 2].

В *настоящей работе* представлены результаты изучения взаимосвязей ВМС с пористостью (Кп), минералогической плотностью (G мин.), U, Th, K между собой и с компонентным составом (асфальтены, масла, смолы) битумоидных соединений) по продуктивному интервалу скважины с применением кластерного анализа [1].

Карбонаты, рассматриваемых месторождений, представляют собой примеры сложнопостроенных коллекторов, состоящих из известняков и доломитов, ангидритов, заглинизированных в различной степени, или их разностей с включениями битумоидов.

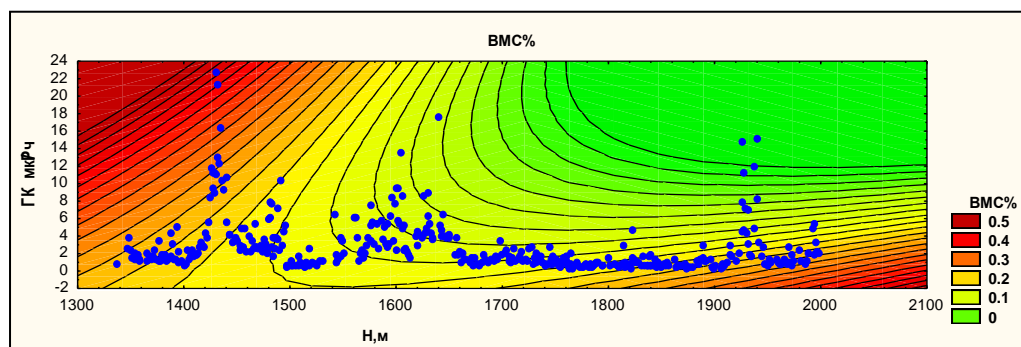


Рис.1 Распределение ВМС и Гамма (мкР/ ч) по глубине скважины

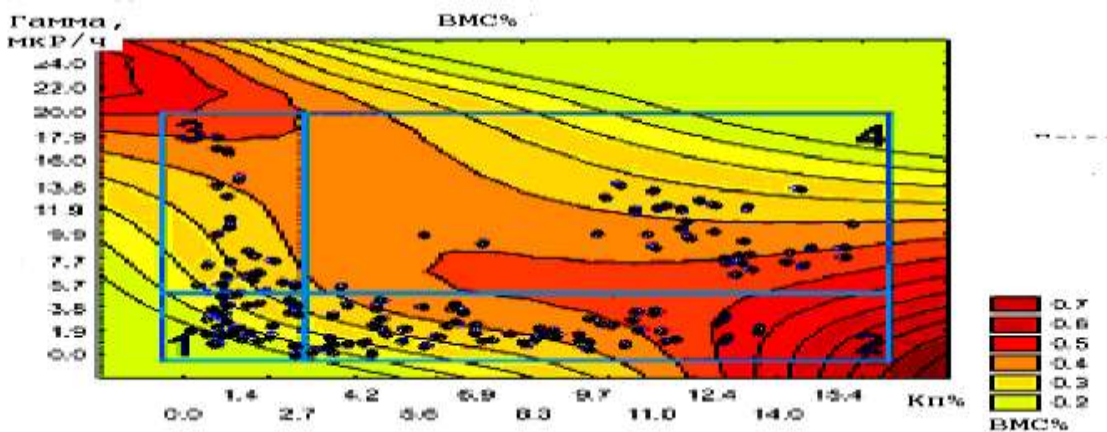


Рис.2. 3-х мерное распределение ВМС, ГК и Кп.

Объяснение природы радиоактивности (ГК, U, Th, K) пород и уточнение их связи с компонентным составом (асфальтены, масла, смолы) битумоидных соединений (ВМС) производится на примерах диапазонов по глубине скважины с аномальными значениями ВМС и ГК – 1350м.-1500м. и 1550м.- 1650м. На рис.1 видно, что связь показаний гаммаметрии (ГК) с ВМС меняется с положительной на отрицательную. На рис 2. представлено 3-х мерное распределение ВМС, ГК и пористости пород (Кп) по всему разрезу глубины скважины. В зонах 1,3 связь ВМС- Кп положительна (плотная нефтематеринская порода с ОВ), а в зонах 2,4 связь отрицательна (порода с высокой вторичной пористостью и радиоактивностью). Для выяснения причин таких зависимостей применялся метод кластерного анализа, позволяющего, через объединение в группы измеряемых параметров, анализировать процессы их взаимоотношений [1].

На рис.3 представлена дендрограмма по диапазону 1350м.-1500м. Входными параметрами являются: ВМС с компонентами (масло, легкие, тяжелые смолы, асфальтен), U, Th, K, Гмин, Кп. Указанный глубинный диапазон, предположительно, принадлежит нефтематеринской зоне со слабой степенью преобразованности органического вещества (ОВ) [3]. Такие породы и ВМС часто генетически связывают с радиоактивностью (U,Th,K) и в первую очередь с четырехвалентным ураном, который может входить в минеральную фазу органического вещества.

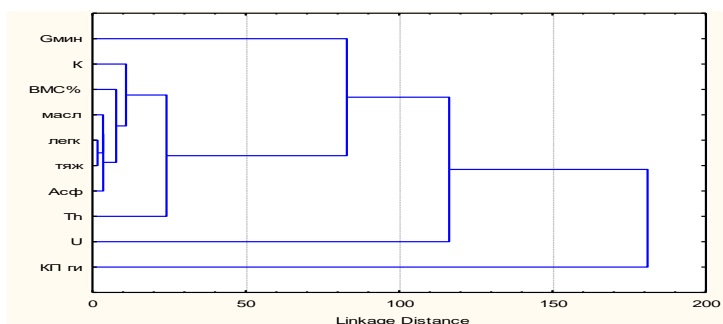


Рис3. Дендрограмма по диапазону 1350м.-1500м.

Из рисунка видно, что в объединенную группу с органикой в большей степени входят калий и торий, а уран входит в удаленную, слабосвязанную между собой, группу U – **Гмин, Кп**, что может указывать на начало распада твердого полимера ВМС с образованием подвижных компонентов (асфальтены, масла, смолы), включая уран, который окисляется и переходит из четырехвалентной в шестивалентную подвижную форму. Увеличение подвижности урана объясняет его *уменьшение связи с ВМС* и увеличение сопряженности с Гмин и Кп горных пород, слагающих данный диапазон по глубине скважины.

#### **Заключение:**

Результаты изучения связи битумоидов (ВМС) с данными ГИС карбонатных отложений Оренбургского месторождения выявило следующее:

- связи битумоидов (ВМС) с данными ГИС карбонатных отложений носят сложный многостадийный характер и зависит прежде всего от зрелости ОВ;

- уверенной связи ВМС с ураном выявить не удалось. Коэффициент корреляции ( $r$ ) по всему стволу скважины имеет значения не более 0.3- 0.4. а в некоторых случаях и отрицательные значения. Исключением являются чистые непроницаемые известняки с содержанием урана и ОВ ниже среднего значения, а также слабой преобразованности керогена;

- высокие значения урана и ВМС не связаны между собой и расположены в доломитизированных известняках, мергелях с включениями гипса, что связано с их приуроченностью к определенной фациальной зоне и наложенными самостоятельными преобразованиями ОВ и урана.

- корреляция ВМС с торием Th и калием К, несмотря на низкие значения, носят более стабильный характер и сохраняет связи с первичным ОВ.

- полученные результаты позволяют по данным каротажа (ГМ-С), и петрофизики формулировать только предварительные критерии выделения нефтематеринских интервалов карбонатных пород и их статистических оценок.

#### **Литература:**

- 1 Боровиков В.П. Статистика 6 для Windows, Москва 1998.
2. Бурханова И.О., Скибицкая Н.А Никулин Б.А. Большаков М.Н., Марутян О.О., Кузьмин В.А. Влияние экстракции образцов керна нефтегазоматеринских карбонатных отложений на результаты петрофизических исследований // Материалы Всероссийской научной конференции «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности», посвящённой 35-летию создания ИПНГ РАН. Москва, 17-21 октября 2022 г.
3. Пеньков В.Ф. Уран и углеводороды. Москва, 1989.
4. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. изд. Московского университета, Москва, 2000.
5. Литохимические исследования при поисках месторождений нефти и газа. «Недра», Москва, 1987.

# ВЫСОКОТОЧНЫЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН

А.А. Фадеев<sup>1</sup>, И.В. Лыгин<sup>1</sup>, А.А. Булычев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

## *Введение*

В последние 15-20 лет большая часть высокоточных гравиметрических работ выполняется современными относительными гравиметрами CG-5/CG-6 Autogtav. Для высокоточных работ важно знать технические параметры относительных гравиметров с высокой точностью. Для этой цели перед началом гравиметрических работ необходимо проводить предполетную регламентную подготовку относительных гравиметров на гравиметрическом полигоне, на котором должны быть известны актуальные приращения ускорения силы тяжести (УСТ). Для достижения высокой точности используют специальные методические приемы, описанные авторами в своих статьях [1, 2].

## *Технические параметры относительных гравиметров*

В результате полигонных испытаний определяют следующие технические параметры относительных гравиметров CG-5/CG-6 Autogtav:

1. Цена деления (калибровочный или масштабный коэффициент);
2. Среднеквадратическая погрешность (СКП) цены деления;
3. СКП единичного измерения гравиметра;
4. Актуальные аппаратные коэффициенты [3, 4]:
  - 4.1. Коэффициент GCAL1 (основная калибровочная постоянная датчика);
  - 4.2. Коэффициент GCAL2 (квадратичная нелинейность датчика);
  - 4.3. Чувствительность датчика угла наклона по оси X (TiltXS) и Y (TiltYS);
  - 4.4. Смещение датчика угла наклона по оси X (TiltX.Offs) и Y (TiltY.Offs);
  - 4.5. Температурный коэффициент прибора Temco (определяется производителем);
  - 4.6. Смещение нуля-пункта (drift);
5. Время становления отчета;
6. Характер изменения нуля-пункта;
7. Характеристика однородности суточной записи;
8. Определение СКП единичного измерения гравиметра в зависимости от режима съемки: пешего перемещения, измерения вертикального градиента УСТ.

На основе этих исследований проводится отбор рабочей группы гравиметров для выполнения требуемых высокоточных измерений. Такие исследования следует повторять не реже чем один раз в год [5]. Если в течение года выполняется большой объем измерений, исследование гравиметров следует проводить не реже одного раза в полгода.

## *Сравнение абсолютных гравиметров*

Для проведения эталонирования относительных гравиметров необходимо знать приращение УСТ между пунктами гравиметрического полигона. Для этого необходимо измерить УСТ абсолютным баллистическим гравиметром (АБГ).

Метрологическая сертификация баллистических гравиметров проводится при сравнении с государственным эталоном единицы ускорения силы тяжести. На практике, поверка представляет собой одновременные измерения испытуемым баллистическим гравиметром и эталонным в одной лаборатории на одних и тех же пунктах с последующим сравнением.

АБГ, участвующий в международном сличении, считается носителем национального эталона УСТ. Относительно него проводится калибровка других АБГ на территории РФ. А те, в свою очередь, передают абсолютный уровень УСТ на пункты гравиметрического полигона, на которых проводится эталонирование относительных гравиметров.

Международное сличение АБГ проводится с 1981 года с периодичностью один раз в 4 года. Впервые технология была предложена и инициирована советским ученым-геофизиком, член-корреспондентом РАН Буланже Ю.Д., признанным авторитетом за рубежом и внесшим неоценимый вклад в развитие гравиметрии [6].

Среднеквадратическая погрешность (СКП) измерения УСТ современными АБГ выполняется на уровне первых мкГал. В качестве точки записи для АБГ принята середина баллистической камеры, в которой пробное тело совершает свободное падение.

#### *Вертикальный и горизонтальный градиент ускорения силы тяжести*

Для передачи измеренного УСТ на высоту точки записи относительного гравиметра измеряют приращение УСТ между двумя высотными уровнями. Первый уровень соответствует точки записи АБГ, второй – точки записи относительного гравиметра. Как альтернатива, проводят измерение вертикального градиента, выполняя измерения на разных высотных уровнях. Строится аналитическая зависимость вертикального градиента и путем интерполяции пересчитывают УСТ на необходимую высоту.

Также проводят измерение приращений УСТ между центральной маркой и марками пункта, на которые устанавливают относительные гравиметры. Над центральной маркой проводится измерение УСТ с помощью АБГ. Таким образом, УСТ передается на каждую марку пункта гравиметрического полигона.

СКП определение вертикального и горизонтальных приращений УСТ, как правило, не превышает  $\pm 1-2$  мкГал. При проведении эталонирования относительных гравиметров на пунктах гравиметрического полигона важно точно, не хуже  $\pm 1-2$  мм, устанавливать гравиметры в места, где определены УСТ.

#### *Гидрогеологический фактор изменения ускорения силы тяжести*

Основным фактором сезонного изменения УСТ является изменение плотности горных пород из-за изменения их влагонасыщенности вблизи пунктов наблюдений [7]. Сезонные изменения силы тяжести носят циклический характер и обусловлены периодической сменой гидрогеологической обстановки в районе работ. По этой причине перед проведением эталонирования относительных гравиметров необходимо проводить измерение абсолютного значения УСТ на пунктах гравиметрического полигона.

#### *Изменение диапазона гравиметров CG-5/CG-6 Autogtav*

Работоспособность относительных гравиметров CG-5/CG-6 Autogtav зависит от положения датчика гравиметра. Известно, что диапазон измерения УСТ гравиметров CG-5/CG-6 Autogtav составляет около 8000 мГал, то есть он может проводить измерения в любой точке Земли, не требуя перестройки диапазона. Середина диапазона устанавливается производителем Scinrex Ltd. в Торонто на широте 43,7°.

Большая часть сертифицированных гравиметрических полигонов на территории РФ находится в северных широтах (55°–70°), где сила тяжести больше по сравнению с местом, где производитель задает середину диапазона гравиметров CG-5/CG-6 Autogta. То есть датчик нового гравиметра CG-5/CG-6 Autogtav на большей части территории РФ расположен в верхней половине своего диапазона. Поскольку датчик гравиметра постоянно находится в поле силы тяжести, то его кварцевые пружины и нити со временем растягиваются. Это приводит к смещению диапазона гравиметров к верхней границе. Со временем пробная масса гравиметра опускается на ограничитель, и прибор становится непригодным для измерения приращения УСТ.

#### *Баксанский гравиметрический полигон*

В настоящее время провести ремонт или техническое обслуживание гравиметров CG-5/CG-6 Autogtav, закупленных российскими компаниями, невозможно. В связи с чем необходимо использовать ресурсы завезенных гравиметров в полной мере. Поэтому для сертификации относительных гравиметров, у которых пробная масса находится на ограничителе на северных гравиметрических полигонах, необходимо организовать гравиметрический полигон в южных широтах РФ. Лучше всего для этого подходит Баксанский гравиметрический полигон, расположенный на широте 43°. Приращение УСТ между крайними пунктами Баксанского полигона составляет ~570 мГал. Это дает возможность проводить исследование линейности масштабного коэффициента на большем его диапазоне. Необходимо провести осмотр имеющихся постаментов Баксанского гравиметрического полигона, в случае необходимости восстановить их или создать новые постаменты, а также провести аттестацию полигона.

#### *Гравиметрический полигон в Московском регионе*

В Московском регионе нет аттестованного гравиметрического полигона. Пункты ранее существовавшего гравиметрического полигона вдоль Московской кольцевой автодороги

(МКАД) разрушены. Задача создания гравиметрического полигона в центральном регионе страны остается всегда актуальной, в том числе в связи с наличием в Москве большого количества высокоточных АБГ и организаций, занимающихся гравиметрическими работами.

Пункты гравиметрического полигона по возможности должны быть открыты для общего доступа и для возможности измерения координат репера, расположенного в центре пункта. Также на пунктах гравиметрического полигона необходимо организовать сезонный мониторинг изменения УСТ и обеспечить слежения за гидрогеологическим режимом. Выполнение перечисленных мероприятий позволит сделать численные оценки изменения УСТ во времени и связать их с гидрогеологическим и другими факторами.

#### **Литература:**

1. Фадеев А.А., Юшкин В.Д., Соколова Т.Б., Лыгин И.В., Булычев А.А., Кузнецов К.М. Методические подходы и технологии по обеспечению высокоточных измерений с автоматизированными гравиметрами // Геофизика. 2025. № 4. С. 40–47.
2. Фадеев А.А., Юшкин В.Д., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Булычев А.А., Кузнецов К.М. Практические рекомендации по обеспечению высокоточных гравиметрических наблюдений с автоматизированными относительными гравиметрами // Геофизика. 2025. № 6. С. 98–106.
3. Руководство по эксплуатации гравиметров Scintrex CG-5 Autograv, Scintrex Limited, 2012.
4. Руководство по эксплуатации гравиметров Scintrex CG-6 Autograv, Scintrex Limited, 2017.
5. Инструкция по гравиразведке. М.: Недра, 1980. С. 80.
6. Щеглов С.Н., Боярский Э.А., Афанасьева Л.В. Юрий Дмитриевич Буланже (1911–1997) // История наук о Земле. 2008. Т. 1. №4. С. 5–28.
7. Фадеев А.А., Юшкин В.Д. Изменения масштабных коэффициентов гравиметров CG-5 Autograv на калибровочных полигонах // Сборник научных трудов 52-ой сессии международного семинара им. Д.Г. Успенского – В.Н. Страхова "Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей". Воронеж. 2026. С. 241–244.