

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  
2023

## Содержание:

1. Трехмерная инверсия данных МТЗ в районе Слободского геодинамического узла В.А. Куликов, П.В. Иванов, А.П. Ионичева, А.В. Королькова, А.Г. Яковлев . . .	2
2. Опыт прецизионных гравиметрических исследований А.А. Фадеев, И.В. Лыгин, Т.Б. Соколова, К.М. Кузнецов . . . . .	5
3. Подходы получения и анализа данных потенциальных полей И.В. Лыгин . . . . .	9
4. Опробование аппаратуры АЭРОН (метод длинного кабеля в аэромобильном варианте с БВС) для решения инженерно-геологических задач И.Н. Модин, М.Н. Марченко, А.Ю. Паленов, Н.Л. Шустов . . . . .	12
5. Комплекс экспрессных геофизических методов при решении задач ГИРС в карбонатном разрезе Б.А. Никулин, Н.А Скибицкая, А.А. Никитин . . . . .	14

## ТРЕХМЕРНАЯ ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ МТЗ В РАЙОНЕ СЛОБОДСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО УЗЛА

В.А. Куликов<sup>1</sup>, П.В. Иванов<sup>2</sup>, А.П. Ионичева<sup>2</sup>, А.В. Королькова<sup>1</sup>, А.Г. Яковлев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова; <sup>2</sup> – ЦГЭМИ ИФЗ РАН

Глубинные магнитотеллурические исследования в районе Слободского геодинамического узла проводятся с 2020г. объединенным отрядом Геологического факультета МГУ и Лаборатории МТ-исследований ЦГЭМИ ИФЗ РАН при технической поддержке ООО «Северо-Запад». За прошедший период измерения были выполнены по трем субширотным профилям: «Себеж - Великие Луки - Ржев» (SVR) - 40 ф.н., «Пушгоры - Андреаполь» (РА) - 40 ф.н., «Остров - Осташков» (ОО) – 34 ф.н. (рис. 1). Общий объем измерений – 114 ф.н.

Данные работы являются логическим продолжением проектов по изучению Кировоградско-Барятинской аномалии (группа KIROVOGRAD) и Оршанской впадины (группа SMOLENSK).

Основная цель исследований – изучение корово-мантийных аномалий электропроводности, приуроченных к докембрийским шовным зонам центральной части Восточно-Европейской платформы, обнаруживающих признаки современной активизации, а также региональных трендов в распределении суммарной продольной проводимости осадочных бассейнов.

Согласно современным представлениям, фундамент Восточно-Европейской платформы (ВЕП) состоит из трех главных сегментов – Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралии, которые разделены крупными сутурными зонами и орогенными поясами, сформировавшимися в конце палеопротерозоя. В качестве единого центра сближения Фенноскандинавского, Волго-Уральского и Сарматского сегментов докембрийской коры некоторые исследователи выделяют Слободской геодинамический узел [1;2].

В структуре фундамента рассматриваемая узловая зона с трёх сторон обрамляется конвергентными системами складчато-надвиговых структур и сутурных зон, сформировавшимися в конце палеопротерозоя в процессе коллизии и надвигания тектонических пластин к центру области тройного сочленения крупных геоструктур ВЕП.

На основании анализа МТ-данных - компонент тензора импеданса, матрицы векторов Визе, горизонтального магнитного тензора, фазового тензора, были выделены основные направления, отражающие простирающие проводящих структур как осадочного чехла, так и верхней-средней коры.

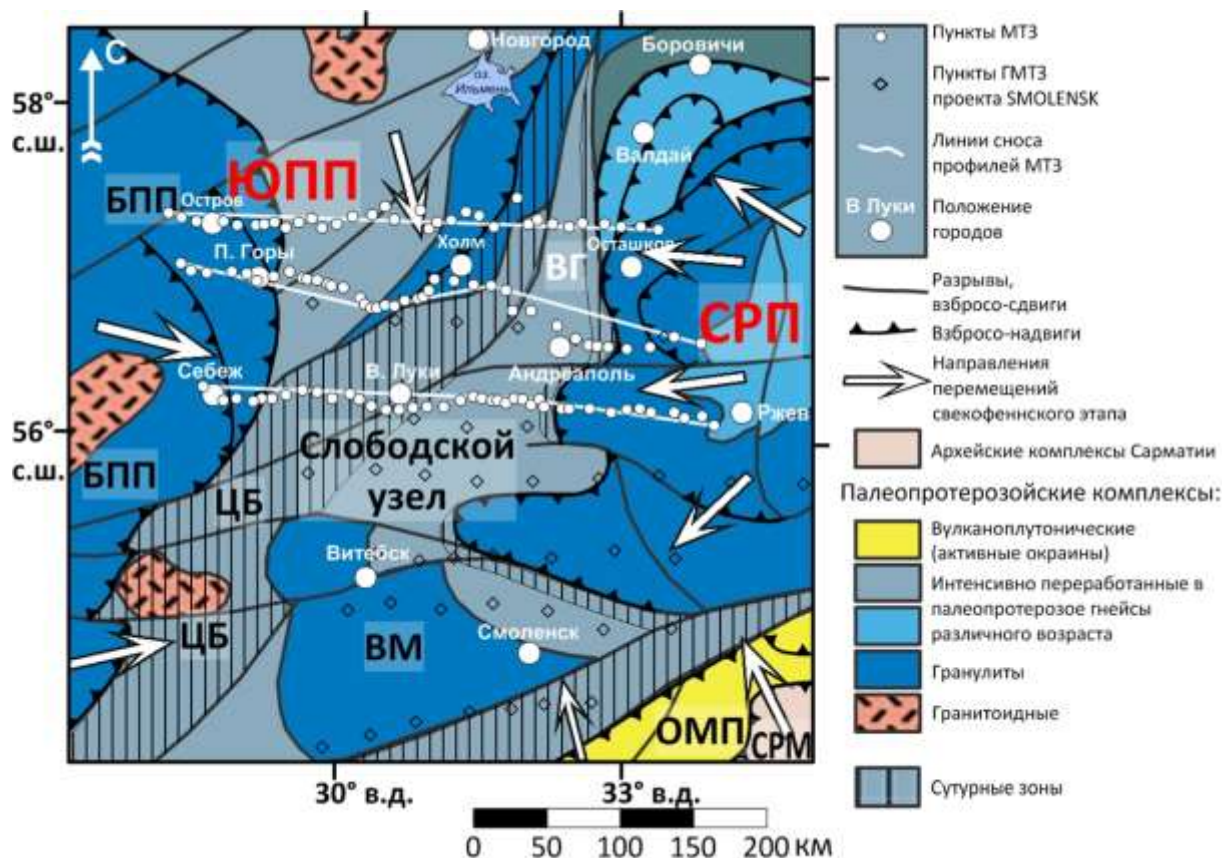


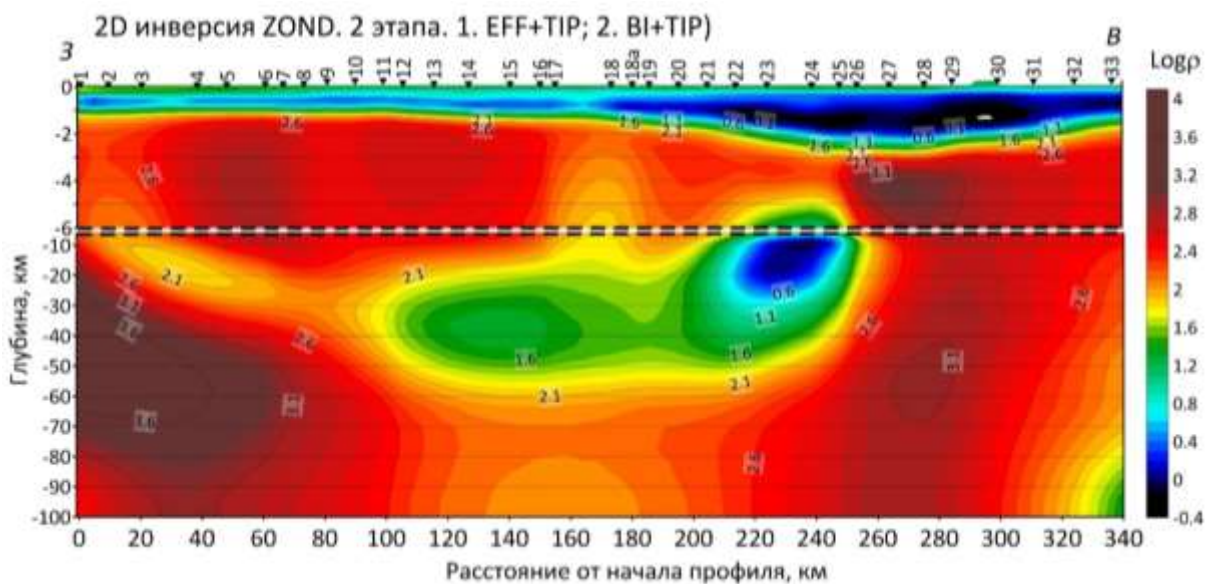
Рис. 1. Структурная схема фундамента района Слободского узла [3] и положение точек МТЗ; ЮПП – Южно-Прибалтийский пояс (БПП – Белорусско-Прибалтийский пояс), СРП – Среднерусский пояс, ЦБ – Центрально-Белорусская шовная зона, ВГ – Валдайский грабен; стрелками показаны направления перемещений свекофеннского коллизионного этапа 1.9-1.8 млрд. лет [4].

По итогам интерпретации была получена двухъярусная геоэлектрическая модель с проводящим осадочным чехлом ( $УЭС = 1-3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ), мощность которого принимает максимальные значения в центре Валдайского грабена, и высокоомным основанием – породами кристаллического фундамента.

Глубинный проводник, выявленный на профилях РА и ОО (рис. 2), слабо проявляется в первичных данных, и представляет собой на результатах 2D инверсии сочетание двух зон пониженного сопротивления – верхнекоровой субвертикальной зоны шириной 30-40 км и полого залегающего проводника, локализованный в средней коре, на глубинах 15-30 км.

Есть основания полагать, что выделенная зона является южным продолжением Ильменской аномалии электропроводности и отвечает региональной Центрально-Белорусской сутурной зоне, разделяющей крупные сегменты коры ВЕП.

а)



б)

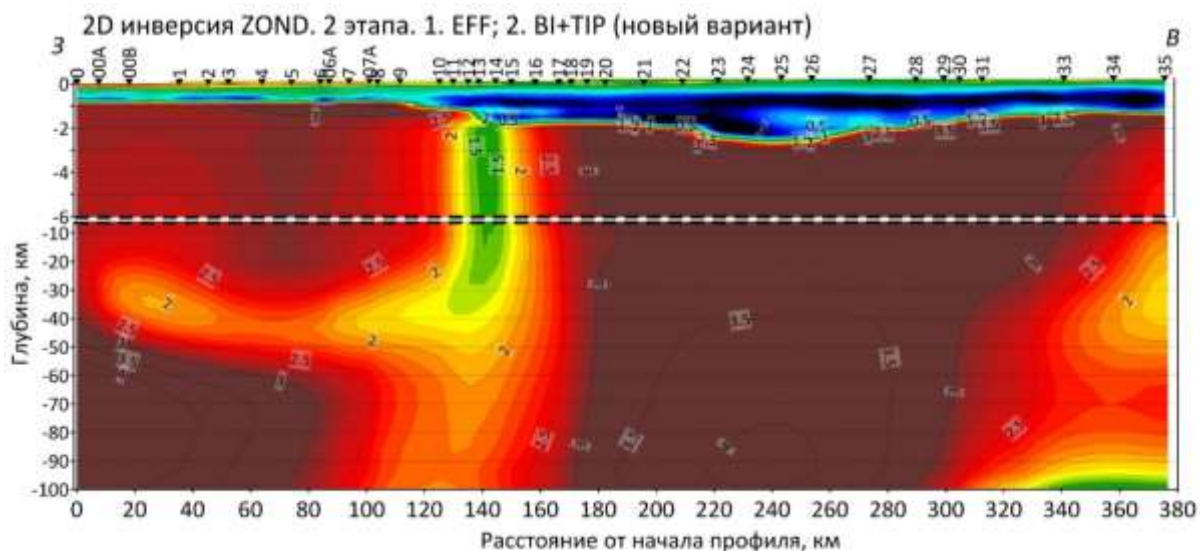


Рис. 2. Результаты двумерной инверсии по профилям ОО (а) и РА (б) в виде глубинных моделей УЭС.

#### Литература:

1. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И. Слободский тектоно-геодинамический омутообразный узел в центре Восточно-Европейской платформы // Литосфера. 2019. № 2 (51). С. 165-178.
2. Гарецкий Р.Г., Леонов М.Г. «Структуры омота» – новая категория зон взаимодействия литосферных плитопотоков // Доклады Академии наук. 2018. Т. 478(5). С. 546–550.
3. Колодяжный С.Ю. Долгоживущие структурные ансамбли Восточно-Европейской платформы. Статья 1. Тектоника фундамента // Изв. ВУЗОВ, сер. Геология и разведка. 2018. №2. С. 5-13.
4. Минц М.В. и др. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и Татсейс // М.: Геокарт; ГЕОС. 2010. Т. 1. 408 с.; Т. 2. 400 с.

## ОПЫТ ПРЕЦИЗИОННЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.А. Фадеев<sup>1</sup>, И.В. Лыгин<sup>1</sup>, Т.Б. Соколова<sup>1</sup>, К.М. Кузнецов<sup>1</sup>

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

В последние 15-20 лет гравиметрические измерения вышли на принципиально иной уровень точности. Это связано, в первую очередь, с аппаратными достижениями компании Scintrex Ltd, Канада. Однако, для успешного проведения прецизионных гравиметрических работ необходимо соблюдать ряд требований как стандартных, регламентированных инструкцией по гравиразведке [1], так и дополнительных на всех стадиях съемки: от предполевой регламентной подготовки гравиметрического оборудования и специальных методических приемов при производстве измерений до соблюдения особой методики проведения работ и обработки данных.

На основании собственного опыта методических и производственных работ (Таблица 1) в разных климатических и технологических (например, измерения в условиях городских микросейсм, на нестабильном основании и т.д.) условиях авторы убедились, что только соблюдение основных и дополнительных методик позволяет полностью реализовать возможности аппаратуры и обеспечить максимальную, фактически сопоставимую с аппаратурной, точность определения силы тяжести.

Таблица 1 Высокоточные гравиметрические работы

Год	Объект	Условия наблюдений	Точность, мкГал
2010-2011	Мониторинг геодинамических процессов вблизи главного здания МГУ [2]	Городские агломерации	±2
2012	Создание опытного гравиметрического полигона в г. Москва [3]	Измерения в высотках	±2
2013	Археологические объекты [4]	Измерения зимой	±3
2013	Исследование карстово-суффозионных процессов [5]	Измерения зимой	±5
2014	Картирование палеоруслы около главного здания МГУ [5]	Городские агломерации	±3
2015	Подготовка площадок гражданского и промышленного строительства [5]	Измерения на грунте, высокий уровень промышленных микросейсм	±2
2011-2023	Изучение строения верхней части осадочного чехла, осложненного моренными отложениями (Калужская область)	Измерения на грунте	±4
2020	Исследование метасоматических зон разуплотнения при поиске залежей урановых руд	Измерения на грунте	±5
2021	Наледная гравиметрическая съемка на реке Угра Калужской области	Измерения на льду	±3
2022	Поиск подземных инженерных сооружений и коммуникаций на территории прилегающей к главному зданию МГУ [6]	Городские агломерации, высокий уровень микросейсм	±3
2018-2023	Геодинамические процессы в районе расположения атомных станций. Гравиметрический мониторинг	Измерения на бетонных постаментях	±1

Чувствительная система этих гравиметров изготавливается из плавленного кварца ручным способом. Точность и стабильность работы гравиметра зависит от качества изготовления чувствительной системы и от её настроек, которые задаются при производстве. По этой причине технические параметры гравиметров индивидуальны - приборы отличаются друг от друга.

Весьма важно и то, что со временем они изменяются. Это связано, главным образом, с условиями эксплуатации гравиметра и старением чувствительной системы. Изменения параметров во времени происходит относительно быстрее, чем у аппаратуры предыдущего поколения. Не маловажную роль в стабильности показаний гравиметра играет электроника. Снятие показаний гравиметра проводится емкостным способом. Стабильность работы электронной системы зависит от многих факторов: изменение силы тока, напряжения в разных узлах электроники, изменение температуры, износ материала и др. [7].

1. По этим причинам перед началом работ необходимо проводить исследование гравиметров. В таблицу 2 включены стандартные и дополнительные требования, выработанные в процессе накопления опыта прецизионных гравиметрических съемок.

Таблица 2. Стандартные и дополнительные требования при подготовке гравиметров к полевым работам

Стандартные требования	Дополнительные требования
<p>1.1 Корректировка долговременного смещения нуль-пункта (drift), корректировка смещений датчиков угла наклона (XY offset), настройка чувствительности датчиков угла наклона (XY sens) [8];</p> <p>1.2 Определение цены деления гравиметра по пунктам с известным абсолютным значением ускорения свободного падения, включая оценку точности определения цены деления и ее линейности;</p> <p>1.3 Исследование на систематическое расхождения между гравиметрами;</p> <p>1.4 Определение точности единичного измерения гравиметра (выполняется одновременно с п. 1.2).</p>	<p>1.5 Анализ сигнала гравиметра при стационарной записи (не менее 24 ч) с целью оценки амплитуды разброса сигнала, наличия отдельных «вылетов», корреляции с приливами и др. (выполняется одновременно с п. 1.1 при корректировке долговременного смещения нуль-пункта);</p> <p>1.6 Определение времени становления отчета гравиметра (выполняется одновременно с п. 1.2);</p> <p>1.7 Определение оптимального времени измерения на пункте (выполняется одновременно с п. 1.2);</p> <p>1.8 Анализ наклона гравиметра на изменение показаний. В случае выявления нескомпенсированной зависимости строится карта и вводится поправка за наклон;</p> <p>1.9 Исследование влияния температуры на показания гравиметра;</p> <p>1.10 Если в проекте работ проводятся измерения абсолютных значений ускорения свободного падения, то цены деления, используемых для съемки относительных гравиметров, следует вычислять по пунктам, где проводились измерения баллистическим гравиметром.</p>

На основе этих исследований проводится отбор рабочей группы гравиметров для последующего выполнения прецизионных измерений. Эти исследования следует повторять не реже чем один раз в год. Если в течение года выполняется большой объем измерений, исследование гравиметров следует проводить не реже одного раза в полгода.

2. Особенности методики выполнения полевых прецизионных гравиметрических съемок обобщены в Таблице 3.

Таблица 3. Стандартные и дополнительные требования при выполнении полевых гравиметрических работ

Стандартные требования	Дополнительные требования
<p>2.1 Измерения следует проводить не менее чем двумя гравиметрами. Лучше если их основные характеристики, определенные при исследовании, будут схожи;</p> <p>2.3 Продолжительность единичного измерения (отсчета) определяется результатами регламентных работ и условиями на пункте измерения. Как правило, составляет 60 секунд;</p> <p>2.4 Количество отсчетов на одном пункте зависит от условий наблюдения, рекомендуется устанавливать 10 отсчетов (может изменяться в пределах 5-60);</p> <p>2.5 Продолжительность звена не более 3-4 часов;</p> <p>2.7 Необходимо учитывать высоту датчика гравиметров относительно репера/метки на поверхности пункта, уровня земли. Рекомендуется редуцировать значение силы тяжести на марку/метку, где проводились измерения высоты и координат пункта. Для этого необходимо вводить поправку за вертикальный градиент.</p>	<p>2.2 Ежедневные регламентные работы:</p> <p>2.1 Корректировка параметра drift;</p> <p>2.2 Проверка стабильности отсчетов гравиметра по схеме повторных измерений в первом пункте на начальной точке рейса;</p> <p>2.6 Устанавливать гравиметры следует симметрично относительно центра марки на одной широте. Зафиксированная ножка гравиметра должна располагаться строго в определенном месте (обычно около 10 см от марки), которое монтируются на измерительном пункте с погрешностью по высоте <math>\pm 1</math> мм. Тем самым обеспечивается одновысотность гравиметрических датчиков на пункте измерений, что позволяет минимизировать редуцирование измерений к центру марки на каждом пункте.</p>

3. Особенности обработки гравиметрических данных обобщены в Таблице 4.

Таблица 4. Стандартные и дополнительные требования при обработке данных полевых гравиметрических работ

Стандартные требования	Дополнительные требования
<p>3.1 Учет поправки за прилив по программе «Атлантида 3.1_2014» [9];</p> <p>3.2 Определение среднего значения отсчета на пункте наблюдения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- среднеарифметическое;</li> <li>- средневесовое, используется в случае шумности пункта (в качестве веса может служить параметр SD, <math>\sigma</math>, REJ);</li> </ul> <p>3.3 Ввод поправки за сползание нуля-пункта гравиметра:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- линейная функция между двумя ближайшими значениями на опорном пункте;</li> <li>- среднемедианная между всеми измерениями на опорных пунктах в течение дня;</li> </ul> <p>3.4 Учет мощности снежного покрова, толщины льда, промерзания верхнего слоя пород;</p> <p>3.5 Поправка за изменение атмосферного давления.</p>	<p>3.6 Рекомендуется учет сползания гравиметра в рейсе по трем и более измерениям на опорной сети.</p> <p>3.7 Учет влажности горных пород при выборе плотности промежуточного слоя;</p> <p>3.8 Поправка за микрорельеф в ближней зоне.</p>

В перспективе для совершенствования методики предполагается:

- разработать методику градиентной (повысотной) съемки, обеспечивающей снижение влияния изменений плотности приповерхностного слоя;

- вводить поправки за наклон гравиметра на основании результатов оценки достаточности поправки, предусмотренной конструкцией прибора. Выбор методики дополнительного учета этой поправки.



Следуя данным рекомендациям (п. 1-3) можно добиться высокой точности определения силы тяжести. Сотрудниками лаборатории гравиразведки Геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова в рамках научных и студенческих работ был выполнен ряд высокоточных гравиметрических работ (Таблица 1). Точность определения аномалии силы тяжести в редукции Буге в зависимости от поставленных задач и использованной методики наблюдений составила от  $\pm 1$  до  $\pm 5$  мкГал.

#### Литература:

1. Инструкция по гравиразведке. М.: Недра, 1980. 80 с.
2. Лыгин И.В., Фадеев А.А., Соколова Т.Б., Мелихов В.Р. Инженерно-геологические особенности основания Главного здания МГУ, выявленные высокоточными гравиметрическими наблюдениями // 10th EAGE Scientific and Practical Conference and Exhibition on Engineering Geophysics 2014. 2014, Геленджик. С. 1–4. DOI: 10.3997/2214-4609.20140343.
3. Фадеев А.А., Лыгин И.В., Мелихов В.Р., Копаев А.В. Эталонный полигон по определению цены деления автоматизированных гравиметров в Москве // Геофизика. 2012. № 1. С. 70–73.
4. Фадеев А.А., Соловьева М.А. Возможности высокоточной гравиметрии при поиске малоамплитудных аномалий // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2013» / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, К.К. Андреев, М.В. Чистякова. [Электронный ресурс] - М.: МАКС Пресс, 2013. - 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). ISBN 978-5-317-04429-9.
5. Соколова Т.Б., Лыгин И.В., Кузнецов К.М., Модин И.Н., Фадеев А.А., Сухин В.В., Кокоев О.В. Опыт использования высокоточной гравиразведки для картирования зон разуплотнения при решении инженерно-геологических задач // Инженерная, угольная и рудная геофизика-2015. Современное состояние и перспективы развития — Комплексование геофизических методов. ЕАГО Сочи, 2015. С. 86-91.
6. Фадеев А.А., Трубка С.С., Боровская Е.П. Гравиразведка при поиске подземных сооружений в условиях городских агломераций // 48-я сессия международного научного семинара им. Д.Г. Успенского - В.Н. Страхова. 2022. С. 248-251.
7. Прасов М.Т., Степанов Ю.С. Эксплуатационная надежность электронных средств. Учебное пособие. Орел, // ООО «Издательский дом «Спектр»», 2011, 237 с.
8. Руководство по эксплуатации гравиметров Scintrex CG-5 Autograv, Scintrex Limited, 2012.
9. Спиридонов Е.А., Мясников А.В. Программа ATLANTIDA3.1\_2017: расчет приливных деформаций // Сейсмические приборы. 2019. Т. 55, № 2. С. 5-26.

## ПОДХОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ

И.В. Лыгин<sup>1</sup>

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

Благодаря значительному прогрессу качества гравиметрических измерений за последние 20–30 лет стало возможным ставить и решать ранее недоступные гравиразведке геологические задачи, анализируя «тонкие» эффекты пространственной и пространственно-временной неоднородности гравитационного поля. Для выполнения такого анализа потребовалось оценивать качество гравиметрической информации, получаемой разными способами наблюдения, совершенствование и разработка новых алгоритмов и методик сбора, обработки и интерпретации. Среди систематизированных и рассматриваемых в докладе результатов проделанной работы следующие:

- заключение о принципиальной возможности использования гравиметрических наблюдений в зданиях различной высоты для создания гравиметрических эталонировочных полигонов [1];

- заключение о пригодности альтиметрических спутниковых данных (рельеф дна акваторий и гравитационное поле над ними) для геолого-геофизических изысканий среднего масштаба на открытых частях акваторий (вне континентального склона). Детальные нефтегазопроисковые гравиметрические исследования масштаба 1: 200 000 и крупнее могут выполняться только традиционными средствами набортной и донной гравиметрии [2];

- методика обработки и результаты анализа данных спутниковой миссии Грейс для выделения неотектонических изменений в геодинамически активных регионах на примере Каспийско-Аравийско-Африканского региона и северо-восточного сектора Тихоокеанского региона [4];

- алгоритмы решения прямых и обратных задач гравиметрии на плоскости (поле притяжения многогранника и многоугольной пластины с линейной плотностью [6], прямая двумерная задача гравиразведки от многоугольника с параболической плотностью [7], метод решения обратной задачи гравиразведки с переменной скоростью градиентного спуска [8]) и сфере (алгоритм расчета прямой задачи от сферического слоя с переменной плотностью на основе быстрой дискретной свертки [9], определение параметров точечного источника по гравитационному полю, заданному на сфере [10]);

- систематизация методик геоплотностного и геомагнитного интерактивного моделирования в зависимости от объема и состава привлекаемой априорной геолого-геофизической информации на основе формирования особых условий неформального подбора с

использованием весовой корректирующей функции, определяющей области приоритетного подбора или области фиксированных (известных) значений [11];

- методики геоплотностного и геомагнитного интерактивного моделирования в разных физико-геологических ситуациях [12]. Хотя подходы к моделированию единые, но внутреннее содержание методик зависит от геологической ситуации (плотностной дифференциации горных пород, взаимоотношения скоростных и плотностных характеристик разреза, истории геологического развития территории и т.д.) и от объема и качества исходных данных (гравиразведки, сейсморазведки, и др.), то есть адаптируется к геолого-геофизической ситуации;

- гипотеза реакции Земли на воздействие кратковременных внешних (космических) гравитационных сил [13]. При воздействии внешнего космического гравитационного поля возможно резкое торможение (уменьшение скорости вращения) планеты и возникновение катастрофических инерционных движений. На примерах в Азово-Черноморском [14], Тихоокеанско-Камчатском [15], Восточно-Сибирском регионах, рассмотрены модели формирования современного тектонического облика в результате такого воздействия.

#### Литература:

1. Лыгин И.В., Фадеев А.А., Мелихов В.Р., Копаев А.В. Эталонный полигон по определению цены деления автоматизированных гравиметров в Москве // Геофизика. 2012 № 1, с. 70-73.
2. Мелихов В.Р., Лыгин И.В., Булычев А.А., Лыгин В.А. Сравнительный анализ данных набортной гравиметрии и спутниковой альтиметрии // Разведка и охрана недр. 2004. № 5, с. 72-76.
3. Лыгин И.В., Пышнюк У.С. Связь вариаций гравитационного поля с геодинамическими особенностями в Аравийско-Каспийском регионе // Геофизика. 2021. № 6. С. 47-60.
4. Лыгин И.В., Ткаченко Н.С., Зотов Л.В. Анализ временных вариаций гравитационного поля над северо-восточным сектором Тихоокеанского региона по данным спутниковой миссии ГРЕЙС // Геофизика. 2019. № 2. С. 73–82.
5. Лыгин И.В., Ткаченко Н.С. Оценка плотностных неоднородностей геодинамически активных обстановок по временным вариациям гравитационного поля в северо-восточном секторе Тихого океана // Геофизика. 2020. № 1. С. 77–83.
6. Булычев А.А., Лыгин И.В., Кузнецов К.М. Поле притяжения многогранника и многоугольной пластины с линейной плотностью // Физика Земли. — 2018. — № 4. — С. 58–67.
7. Чепиго Л.С., Лыгин И.В., Булычев А.А. Прямая двумерная задача гравиразведки от многоугольника с параболической плотностью // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2019. — № 4. — С. 89–93.

8. Чепиго Л.С., Лыгин И.В., Булычев А.А. Решение обратной задачи гравirazведки с переменной скоростью градиентного спуска // Геофизические исследования. — 2022. — Т. 23, № 1. — С. 5–19.
9. Кузнецов К.М., Лыгин И.В., Булычев А.А. Алгоритм численного решения прямой задачи гравиметрии от сферического слоя переменной плотности // Геофизика. — 2017. — № 1. — С. 22–27.
10. Чепиго Л.С., Ткаченко Н.С., Лыгин И.В. Определение параметров точечного источника по гравитационному полю, заданному на сфере // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2019. — № 2. — С. 83–87.
11. 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, С. 55-68.
12. Широкова Т.П., Лыгин И.В., Соколова Т.Б. Особенности сейсмогравитационного моделирования в разных физико-геологических ситуациях // Вестник Московского Университета. Серия Геология, 2022, № 1. С. 42-53.
13. Мелихов В.Р., Лыгин И.В. Тектонические катастрофы и их место в эволюционном развитии Земли // Геофизика. 2008. № 2, с. 11-19.
14. Мелихов В.Р., Лыгин И.В. Геодинамическое состояние литосферы Восточного Черноморья в кайнозойское время // Разведка и охрана недр. 2004. № 4, с. 53-62.
15. Мелихов В.Р., Лыгин И.В. Геодинамические режимы в кайнозое и тектоническое строение Камчатского полуострова // Разведка и охрана недр. 2011. № 2, с. 40-48.
16. Мелихов В.Р., Лыгин И.В., Пийп В.Б. Строение земной коры в зоне сочленения Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты по комплексу геофизических данных // Геофизика. 2011. № 2, с. 70-79.

ОПРОБОВАНИЕ АППАРАТУРЫ «АЭРОН»  
(МЕТОД ДЛИННОГО КАБЕЛЯ В АЭРОМОБИЛЬНОМ ВАРИАНТЕ С БВС)  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

И.Н. Модин<sup>1</sup>, М.Н. Марченко<sup>1</sup>, А.Ю. Паленов<sup>1</sup>, Н.Л. Шустов<sup>1</sup>

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

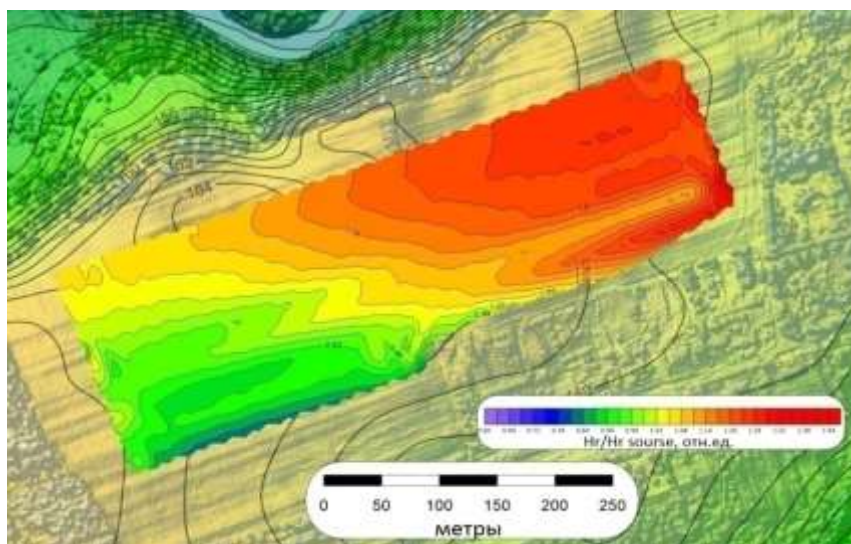
Применение малых беспилотных воздушных судов (БВС) значительно расширяет возможности выполнения геофизических наблюдений в аэромобильных вариантах. Появляется возможность выполнить съемку на небольших территориях с минимальной высотой полета и высокой (для авиации) детальностью. Стоимость таких работ уменьшается с каждым годом по мере развития и распространения БВС.

В настоящее время многими коллективами выполняются исследования по адаптации различных геофизических методов под использование малых БВС. Лидером здесь безусловно, является магниторазведка. В России и за рубежом идут работы над развитием аэромобильных модификаций радиометрических, спектрометрических, электроразведочных, георадарных и других методов.

Коллективом кафедры геофизических методов геологического факультета МГУ им Ломоносова с 2019 года ведется научно-исследовательская и опытно-конструкторская разработка аппаратуры «АЭРОН» - аэромобильной версии метода длинного кабеля. Аппаратура «АЭРОН» предназначена для решения малоглубинных инженерно-геофизических, археологических, технических задач. Одним из возможных областей использования аппаратуры является поиск месторождений песчано-гравийных смесей (ПГС).

Испытания и опробование аппаратуры «АЭРОН» выполнялось на учебно-научной базе Александровка в Калужской области. Основным тестовым объектом являлась приповерхностная линза песка мощностью до 7 метров, окруженная суглинками. Территория опытных работ имеет площадь приблизительно 30 га. Для получения опорных данных, на участке выполнялись наблюдения наземными геофизическими методами (электротомография, дипольно-индукционное профилирование (ДИП) и др.).

По результатам аэромобильных электроразведочных наблюдений с аппаратурой «АЭРОН» получены обнадеживающие результаты – по некоторым характеристикам измеренного переменного магнитного поля удается разделить зоны распространения песка и суглинков (рис.1). В частности, карта отношения амплитуды модуля горизонтальной компоненты измеренного поля к модулю горизонтальной компоненты поля кабеля имеет прямую корреляцию с картой кажущегося сопротивления по методу ДИП.



*Рис.1 Карта изолиний параметра отношения амплитуды модуля горизонтальной компоненты измеренного поля к модулю горизонтальной компоненты поля кабеля на частоте 2500 Гц.*

В ходе полевых работ выявлены недостатки существующего опытного образца аппаратуры. В настоящее время идут работы над модификацией аппаратной и программной частей комплекса. В частности, увеличивается рабочий частотный диапазон (до 50 КГц), создается алгоритм учета крена и тангажа измерительной платформы.

# КОМПЛЕКС ЭКСПРЕССНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГИС В КАРБОНАТНОМ РАЗРЕЗЕ

Б.А. Никулин<sup>1</sup>, Н.А Скибицкая<sup>2</sup>, А.А. Никитин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, <sup>2</sup> – ИПНГ РАН

В последнее десятилетие сотрудники геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова проводят активную работу по разработке и внедрению малоглубинной геофизики при решении различных геологических задач. На Александровской базе факультета в Калужской области создан учебно-исследовательский полигон для студенческих практик по полному комплексу наземных геофизических методов разведки. Для геологической привязки и петрофизического обоснования этих методов пробурена опорная скважина глубиной 300 м и оборудовано кернохранилище. На этапе бурения сотрудники геологического факультета МГУ проводили разносторонние исследования кернов, а затем был составлен геологический отчет по этой скважине.

В докладе, приводятся результаты разработки и внедрения в практику работ на учебной скважине МГУ **цифрового каротажного комплекса** (рис. 1), обсуждаются вопросы комплексной интерпретации данных применительно к задачам гидрогеологии и оценки ОВ в породе.



Рис 1

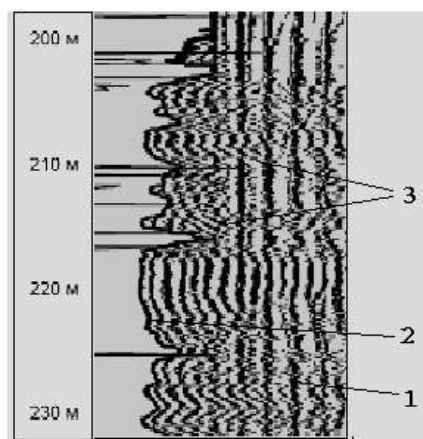


Рис 2

Рис. 1. Цифровой каротажный комплекс.

Рис. 2. Фрагмент диаграммы Ак.

В комплексе, помимо обязательных видов каротажа (ГК, КС, ПС, КМ, термометрия), используются новые разработки, например, прибор видеокаротажа (рис. 1-4) и высокочастотный индукционный зонд (ВИК) (рис. 1-3), который применяется в обсаженных пластиком скважинах, пробуренных на пресной воде или в высокоомных карбонатных разрезах. По назначению прибор

ВИК аналогичен индукционному диэлектрическому каротажу (ИК) и, кроме рабочей частоты, отличается более простой конструкцией. Излучатель и приемник прибора ВИК представляют собой металлические цилиндры либо провода, покрытые слоем диэлектрика, разнесенные на расстояние 0,5 м.

Радиоактивные нейтронные методы на полигоне МГУ не применяются по экологическим причинам.

**Определение значений  $K_p$  методом КС** производилось в карбонатной необсаженной части скважины по стандартной методике Арчи – Дахнова:

$$R_p = a / K_{pm}, \text{ где } a=1, m=2;$$

В этом выражении  $R_p$  – относительное сопротивление или параметр пористости,  $R_p = r_{вн} / r_v$ , где  $r_{вн}$  – измеренное сопротивление (показания ВИК или потенциал-зонда) в скважине,  $r_v$  – сопротивление пластовой воды (равно 2 ом.м – среднее значение для данного разреза).

Обычно оценка точности (корректировка) полученных значений  $K_p$  проводится посредством сопоставления с лабораторными измерениями пористости на образцах керна. Значения пористости, полученные таким зондом, отражают в основном поровый компонент пласта и почти не отражают его трещиноватость и  $K_{пр}$  [1].

Оценка профиля притока в разрезе скважины базируется на выявлении зон трещиноватости. В результате комплексной интерпретации каротажных диаграмм и акустических показателей (Ак,ФКД), кавернометрии (КМ) и телевизионных кадров выявлены зоны трещиноватости (рис. 1-6). На рис. 2 представлен фрагмент диаграммы Ак, где: 1 – участок фазо-корреляционной диаграммы(ФКД), 2 - кривая  $\Delta T$ , 3 – зоны трещиноватости.

**Объяснение природы радиоактивности пород и уточнение ее связи с битуминозностью.** При решении задач подсчета запасов углеводородного сырья оценка содержания битумов в пластах со сложными коллекторскими свойствами имеют свои особенности, связанные с неоднозначными процессами их накопления, преобразования и компонентным составом.

В настоящее время в литературе обсуждаются несколько подходов, объясняющих формирование битумов в породах, при этом, отмечается как унаследованная седиментационная, так и перемещенная битуминозность. В настоящей работе представлены результаты изучения взаимосвязей *высокомолекулярных соединений* (ВМС) с пористостью, литологией и спектральной /U(Ra), Th, K / радиоактивностью пород.

Как показано в работе [2], прямое поточечное сопоставление ВМС% с U(Ra)Бк/кг демонстрирует отсутствие значимой корреляционной связи для значений урана выше ВМС более 0,7%.



Оценка литологического состава пород производится по данным минералогической плотности  $G_{мин}$  ( $г/см^3$ ) измеренных на кернах или по данным ГИС в результате комплексной интерпретации. Доломитам, известнякам соответственно присвоим значения -  $2,85г/см^3$ ;  $2,72 г/см^3$ . Смешанные разности: известняки, песчано - глинистые разности, гипсы - меньше  $2,7 г/см^3$ .

Рассмотрим зависимость  $G_{мин}$ . от  $Kп\%$ ,  $ВМС\%$  (рис. 3).

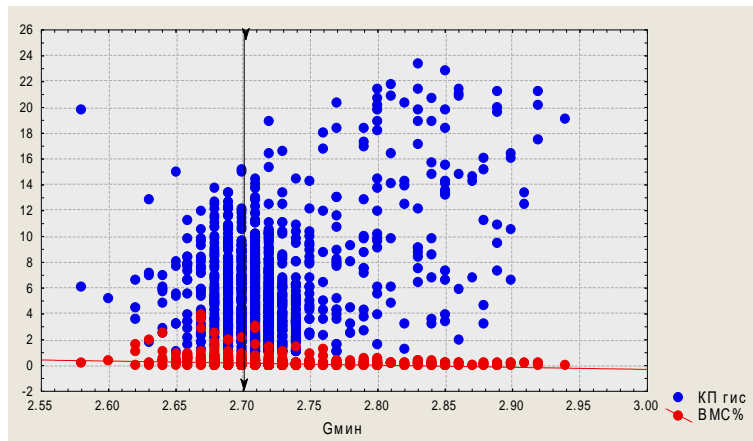


Рис. 3. Зависимость  $G_{мин}$  -  $Kп\%$

Наибольшие значения  $Kп\%$  (до  $24\%$ ) отмечаются в доломитах и доломитизированных известняках /  $G_{мин}$  более  $2,75г/см^3$ ./ В диапазоне  $G_{мин}$ . ниже  $2,72г/см^3$  пористость пород не выше ( $10-14\%$ ). Распределение  $G_{мин}$ .- $ВМС\%$ . показывает, что основная масса точек по разрезу можно разделить условно на три зоны:

- а)  $ВМС\%$  меньше  $0,3\%$ . Эти концентрации распределены во всех типах пород;
- б)  $ВМС\%$  ( $0,3-0,8\%$ ),  $G_{мин}$ .-( $2,65-2,8$ );
- в)  $ВМС\%$  более  $0,8\%$ ,  $G_{мин}$  ( $2,72-2,62$ ) $г/см^3$ . Количество точек с высокими значениями  $ВМС$  значительно меньше чем в первой и второй зонах и может быть следствием их передислокации на этапе эпигенеза.

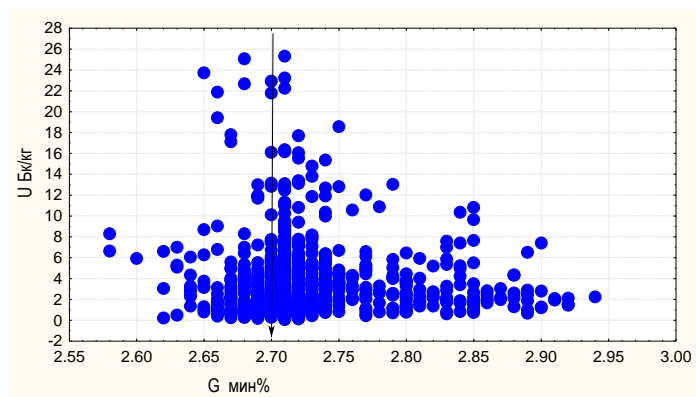


Рис. 4. Зависимость  $G_{мин}$  - уран

Наибольшие значения урана (рис. 5) регистрируются в известняках, мергелях, загипсованных породах. В доломитах концентрация не превышает 12 Бк/кг. Диапазон минимальных концентраций урана до (6-7) Бк/кг соответствует уровню Н.О [3].

Распределения значений калия и тория для песчано-глинистых разностей для всех типов пород по калию составляет (0,55-0,6) %, а для тория-(2-2,5)Бк/кг. Повышенные значения калия до 1,4% и тория до 8 Бк/кг регистрируются в основном в доломитизированных известняках.

Рассмотрение распределений Gмин с ВМС% и ураном, показывает их внешнее сходство: высокие значения урана и ВМС% расположены в слабо доломитизированных известняках, мергелях, песчано-глинистых разностях с включениями гипсов, что связано с их приуроченностью к определенной морской фациальной зоне. Таким образом, можно сделать вывод, что фациальное районирование является поисковым признаком ВМС.

#### **Заключение.**

- Разделение разреза скважины по литолого–фациальному признаку позволяет более уверенно ориентироваться в чередовании пород и их свойств [4].
- Главными геофизическими параметрами, фиксирующими смену фаций, являются – Gмин., U/Ra/, Th, K, Кп.
- Уверенной связи ВМС с ураном выявить не удалось. Зависимость содержания урана от ВМС отмечается лишь в диапазоне низких значений (близких к кларковым), при этом высокие уровни урана наблюдаются в чистых или глинистых известняках, как правило, низкопористых, непроницаемых.

#### **Литература:**

1. Ботвиновская О.А., Никулин Б.А. и др. Обоснование геофизического комплекса для выделения литогенетических типов пород на примере нижнедевонских карбонатных отложений Тимано-Печорской провинции // «Нефтяное хозяйство». №8. 2008г. С. 13-18.
2. Скибицкая Н.А., Никулин Б.А., Бурханова И.О. и др. Изучение состава высокомолекулярных компонентов в карбонатном разрезе по комплексу петрофизических, геофизических и геохимических данных // Каротажник, № 205. Тверь. 2011. С. 73-83.
3. .Пеньков В.Ф. Уран и углеводороды. Москва, Недра, 1989, 143с.
4. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин: Справочник. Под ред. М.М. Добрынина М., Недра, 1988.