

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЗОННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОАЗИСЕ ХОЛМЫ ТАЛА

В рамках сезонных работ 71-й РАЭ специалисты Института Карпинского выполнили геолого-геофизические исследования неподалеку от полевой базы (п/б) Молодежная в районе оазиса Холмы Тала в Восточной Антарктиде. Комплекс проведенных работ включал в себя магниторазведочную пешеходную съемку масштаба 1:25 000 — 1:10 000 на площади 77 км², рекогносцировочные радиометрические маршруты, геологические маршруты, отбор геологических проб и каппаметрию. Выполненные работы позволяют изучить глубинное строение кристаллического фундамента в районе участка «Молодежный», а также уточнить вещественный состав, площади развития, возраст, условия метаморфизма, последовательность деформаций, тектоническую позицию и минерагеническую специализацию метаморфических комплексов.

Решение этой задачи с помощью бурения — крайне дорогой и трудозатратный процесс, особенно в труднодоступных районах и в суровых условиях Антарктиды. Кроме того, полученные данные будут отражать геологическое строение массива лишь точно, по разрезу конкретных скважин, сеть которых практически всегда оказывается слишком редкой.

В связи с этим на первый план выходят дистанционные методы исследований — площадная геофизика, в частности магниторазведка. Чтобы проследить пространственное положение горных пород под ледяным куполом, необходимо опираться на их петрофизические характеристики. Применение магнитометрического метода требует понимания физической природы изучаемых объектов. Кристаллический фундамент в районе оазиса Холмы Тала сложен породами Рейнерского метаморфического комплекса (Mikhalsky E. V. Refined geological history of the polyphase plutonometamorphic complex in the Thala Hills area (Enderby Land, East Antarctica) from zircon SHRIMP dating and implications for Neoproterozoic amalgamation of Gondwanaland // Geological Society, London, Special Publications. 2017. Vol. 457, SP457-2. P. 7–36). Намагниченность выходящих на дневную поверхность горных пород Рейнерского комплекса определяется содержанием аксессуарных ферромагнитных минералов (преимущественно магнетита, титаномагнетита и пирротина). Вклад породообразующих парамагнитных минералов (биотита, пироксенов) в общую магнитную восприимчивость для данных пород ничтожно мал по сравнению с ферромагнетиками. По магнитным свойствам можно выделить разности горных пород и проследить их положение за пределами видимых скальных обнажений.

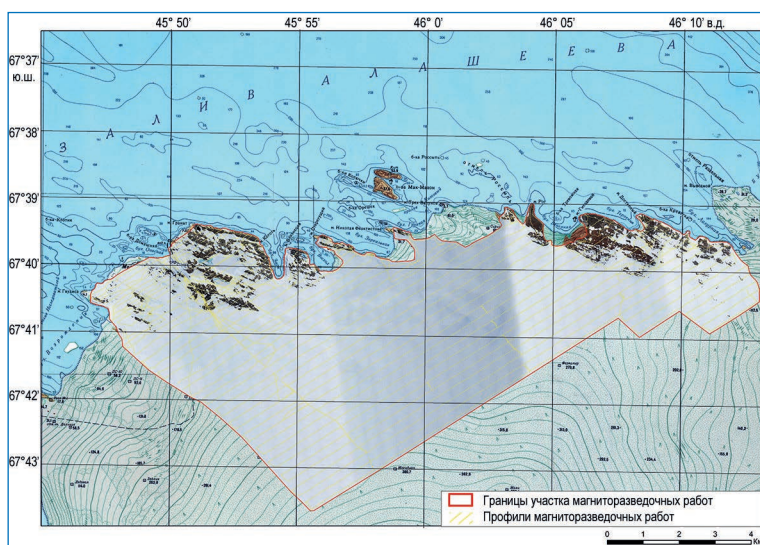
Для изучения глубинного строения и вещественного состава кристаллического фундамента в районе участка «Молодежный» специалистами Института Карпинского в ходе 71-й РАЭ был выполнен следующий комплекс исследований:

- крупномасштабная наземная магниторазведка;
- рекогносцировочные радиометрические маршруты;
- пешие геологические маршруты;
- измерения магнитной восприимчивости (каппаметрия) образцов коренных пород.

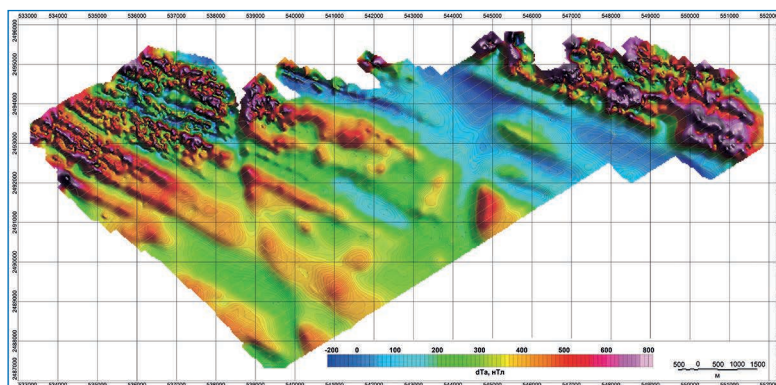
Далее приведена более подробная методика реализации каждого из перечисленных этапов полевых исследований.

Магниторазведочные площадные работы масштаба 1:25 000

Съемка проводилась серийными высокоточными цифровыми оверхаузеровскими магнитометрами MaxiMag (Геодевайс, производство Россия)



Карта фактического материала магниторазведочных работ ФГБУ «Институт Карпинского» (71-я РАЭ). Картографическая основа дополнена ортофотопланом района работ



Предварительная карта аномального магнитного поля



Процесс магнитометрических наблюдений: а — навигационное сопровождение пешеходной магнитометрической съемки; б — переход оператора-магнитометриста между профилями в условиях горной местности

в соответствии с техническим руководством к приборам и «Инструкцией по магниторазведке» (1981).

Рядовая магнитная съемка выполнялась по профилям, разбитым через 250 м (что соответствует съемке масштаба 1:25 000) на площади 77 км², пешим ходом с использованием снегоходного транспорта для подъезда к участку работ. В районе п/б Молодежная была выполнена детализация до масштаба 1:10 000 (шаг между профилями 125 м). Благоприятные метеоусловия, увеличенная продолжительность сезонных работ и логистическая поддержка начальника полевой базы Д.Г. Серова позволили значительно расширить площадь исследований и выполнить 459 погонных километров съемки за 29 полевых выходов. Методика измерений — пешая непрерывная, дискретность измерений 3 секунды. Для оценки погрешности наблюдений выполнены контрольные измерения по той же методике наблюдений, что и рядовые рейсы.



Образец из пегматитовой жилы с повышенным радиационным фоном (300 мкР/ч)

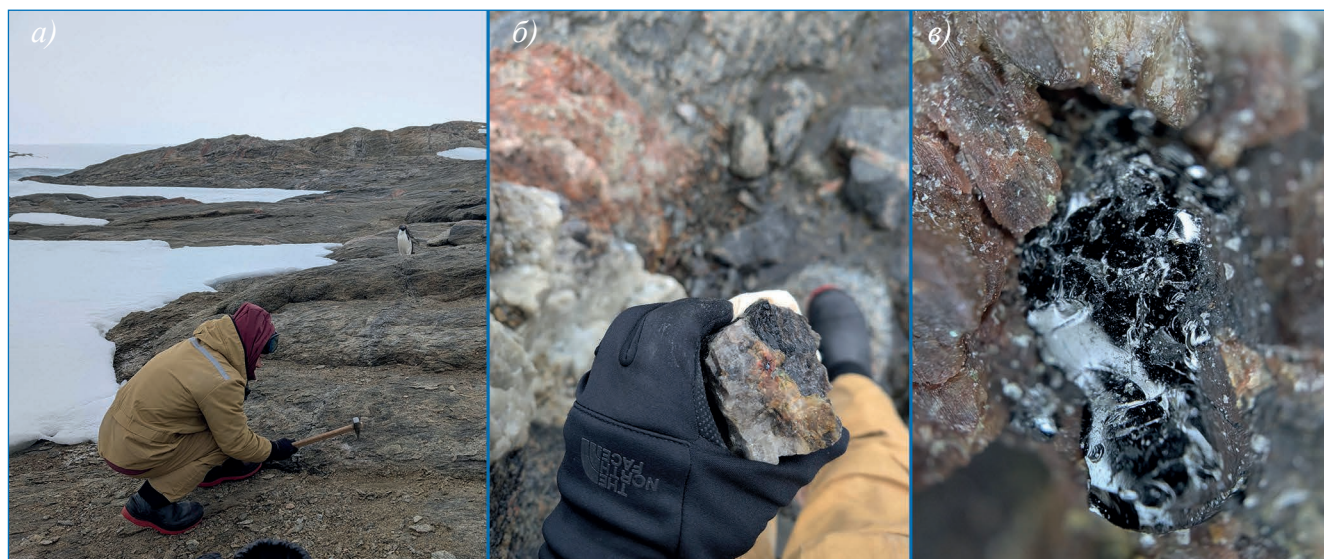
Рекогносцировочные радиометрические маршруты

Рекогносцировочные радиометрические измерения выполнялись портативным дозиметром RadiaCode-101 в непрерывном режиме. Данный прибор использовался для экспресс-поиска и пространственной локализации пород, обладающих повышенной естественной радиоактивностью, на местности и дальнейшего их геологического отбора.

Дозиметр фиксировался на поясном ремне навигатора магнитной съемки. Наблюдения мощности ambientной эквивалентной дозы производились совместно с магнитометрическими наблюдениями в режиме непрерывного профилирования с пространственным разрешением 3 м. В местах повышенных значений радиационного фона выполнялись повторные измерения, по результатам которых производился отбор наиболее радиоактивных геологических образцов для дальнейшего лабораторного изучения. Ввиду большой экранирующей способности ледникового покрова, полностью поглощающего гамма-излучение подстилающих геологических толщ, измерения, выполненные при движении по телу ледника, признавались непредставительными для оценки и дальнейшего анализа.

Пешие геологические маршруты

С целью оптимизации сезонных работ геологические исследования проводились совместно с магниторазведочными маршрутами. В местах выхода горных пород на дневную поверхность непрерывная магнитометрическая съемка ставилась на паузу и производились геологические работы, включающие в себя полевое описание обнажения и отбор геологических образцов для последующих лабораторных исследований. Геологическому опробованию подвергались все выявленные литологические разновидности коренных пород, а также рыхлые отложения, локализованные преимущественно в зонах понижения рельефа. Точки отбора детализировались с учетом получаемых геофизических данных:



Геологический пробоотбор: а — геолог выполняет отбор гнейсов Рейнерского комплекса; б — радиоактивный минерал в кварцевой жиле с плеохроичными «двориками»; в — радиоактивный минерал в кварцевой жиле с плеохроичными «двориками» под увеличением

особое внимание уделялось породам, пространственно приуроченным к зонам экстремумов аномального магнитного поля (пегматитовые жилы, магнетитсодержащие гнейсы), а также участкам с повышенной естественной радиоактивностью (пегматитовые жилы, некоторые разновидности гнейсов).

По итогам полевых работ получена геологическая коллекция, состоящая из 133 образцов коренных пород и 10 образцов рыхлых отложений, предположительно содержащих органические остатки.

Каппаметрия

В качестве экспресс-метода, позволяющего связать наблюдаемые в поле магнитные аномалии с конкретными геологическими телами, для коллекции отобранных коренных образцов была проведена каппаметрия — измерение магнитной восприимчивости.

Измерения проводились с использованием портативного каппаметра ПИМВ (Геодевайс, Россия) вдали от техногенных помех. Время одного измерения составляло

1 секунду. Замеры выполнялись сериями (не менее 3 измерений на образец) в разных направлениях (перпендикулярно и параллельно слоистости), преимущественно на ровных участках поверхности образца с обязательной калибровкой в воздухе до и после измерения.

По итогам измерений для каждого образца было получено минимальное, среднее и максимальное зарегистрированное значение магнитной восприимчивости. Результаты измерений были внесены в сводную таблицу геологического описания образцов. Полученные количественные данные позволят связать параметры выявленных при пешеходной съемке магнитных аномалий с петрофизическими свойствами конкретных литологических разностей, что в дальнейшем обеспечит необходимую фактологическую основу для построения достоверной геолого-геофизической модели оазиса.

Таким образом, для изучения глубинного строения и вещественного состава кристаллического фундамента в районе участка «Молодежный» в сезоне 71-й РАЭ были успешно реализованы комплексные геолого-геофизические исследования. По итогам инструментальных измерений построена предварительная карта аномального магнитного поля исследуемой площади. Таковы итоги комплексных геолого-геофизических исследований, выполненных в ходе изучения глубинного строения и вещественного состава кристаллического фундамента в районе участка «Молодежный» в сезоне 71-й РАЭ.

В дальнейшем планируются:

- пространственная увязка различных типов пород с магнитными аномалиями;
- построение трансформант аномального магнитного поля;
- трассирование выделенных аномальных зон под ледяным куполом;
- выделение линейных структур, вероятно связанных с разломной тектоникой, а также зон нарушения корреляции осей аномалий;
- сопоставление выделенных структур с локальными формами рельефа.

Эти шаги позволят изучить глубинное строение и вещественный состав кристаллического фундамента в районе участка работ, создать единую тектоническую



Процесс измерения магнитной восприимчивости

схему участка между двумя антарктическими станциями: п/б Молодежная и «Гора Вечерняя», а также уточнить последовательности деформаций метаморфических комплексов.

Данная задача может быть решена только при совместной интерпретации геологических и геофизических данных, именно поэтому крайне важно было выполнить совместный комплекс геолого-геофизических исследований.

Однако научный потенциал собранного геологического материала выходит за рамки локального структурного картирования. Породы оазиса, представленные преимущественно гнейсами Рейнерского комплекса протерозойского возраста, прорванными интрузиями раннепалеозойских гранитов и пегматитов, структурно принадлежат к Вегенер-Моусонскому подвижному поясу (Каменев Е. Н., Шулятин О.Г., Михайлов В.М. и др. Состав, структура и условия образования архейского нейпирского метаморфического комплекса Земли Эндерби (Восточная Антарктида) // Региональная геология и металлогения. 2017. № 71. С. 53–66). Эта колоссальная структура окаймляет архейский Нейпирский блок и прослеживается в Восточной Антарктиде более чем на 4000 километров. Известно, что протолиты рейнерских гнейсов сформировались около 2 млрд лет назад за счет переработки более древних осадочных и вулканогенных толщ Нейпирского комплекса. За свою долгую геологическую историю породы Рейнерского комплекса пережили серию глобальных тектоно-термальных событий, охвативших площади более 100 000 км²: от первичной кристаллизации магм до гранулитового метаморфизма (около 1000–900 млн лет назад) и мощного тектоно-термального события в раннем палеозое (550–500 млн лет

назад). Высокоточное изотопное датирование отобранных в ходе сезона интрузивных образований поможет установить точное время финальных деформаций этого подвижного пояса, синхронных с окончательной сборкой суперконтинента Гондвана.

Особый научный интерес представляют обнаруженные в структуре гнейсовых толщ зажатые тектонические пластины (будины) пироксенитов. Установление их абсолютного возраста, термодинамических параметров образования и геохимический анализ дадут возможность ответить на вопрос об их происхождении (являются ли они мантийными реликтами или фрагментами древней океанической коры). Это в свою очередь позволит провести прямые межрегиональные корреляции тектонических событий Земли Эндерби с другими ключевыми геологическими узлами Восточной Антарктиды, такими как кратонный блок оазиса Вестфолль и полиметаморфические комплексы Холмов Ларсеманн (район станции Прогресс), где также масштабно проявлены следы пан-африканской тектонической активизации.

Выявление подобных корреляционных связей носит ключевой характер для расшифровки последовательности древних тектоно-магматических эпох и расширяет наши представления об истории образования и развития Земли.

Геолого-геофизические исследования выполнены ФГБУ «Институт Карпинского» в рамках Договора с ФГБУ «ААНИИ» №71 Р/16/2025/11 согласно программе работ, утвержденной Росгидрометом.

*Н.О. Медведев, Д.С. Фатеев
(ФГБУ «Институт Карпинского»)
Фото авторов*

АБСОЛЮТНЫЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА НЭС «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС»: ПЕРВЫЙ ОПЫТ, ТРУДНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Гравиметрия — это раздел науки (на стыке геофизики и геодезии), который занимается измерением силы тяжести и изучением гравитационного поля Земли.

Гравитационное поле Земли (ГПЗ) является фундаментальной физической характеристикой планеты, определяющей ее фигуру (геоид), динамику литосферы и процессы в мантии. Точные знания о распределении ускорения свободного падения критически важны для построения глобальных геодезических референц-систем, высокоточного позиционирования в высоких широтах, а также для глубинного геологического картирования и поиска полезных ископаемых.

Главной характеристикой ГПЗ является ускорение свободного падения, оно обозначается буквой *g*. Среднее значение ускорения свободного падения на поверхности Земли составляет: $g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$. Единицами измерения ускорения в геофизике являются Гал (назван в честь Г. Галилея) ($1 \text{ Гал} = 0,01 \text{ м/с}^2$) и производные величины — мГал, мкГал.

Геоид (модель формы Земли) — это реальная физическая форма Земли. Это не поверхность суши, а поверхность уровня океана в спокойном состоянии, мысленно продолженная под материи (рис. 1).

Перечислим *главные задачи гравиметрии*:

— геодезические: построение точной модели формы Земли (геоида) для решения фундаментальных задач и позиционирования;

— геологические: картирование границ блоков земной коры разного типа, поиск и разведка месторождений полезных ископаемых;

— оперативные, связанные с обороной и навигацией, — для точной работы ракетных систем и позиционирования подводных лодок.

Особую актуальность этим исследованиям придает стремительно меняющаяся геополитическая обстановка в Арктике. Регион, еще недавно воспринимавшийся как «зона мира» и международного сотрудничества, сегодня превращается в арену острой конкуренции между ведущими мировыми державами. Как отметил министр иностранных дел России С.В. Лавров, страны НАТО «ведут дело к милитаризации региона, созданию там очагов международной напряженности», фактически стремясь превратить Арктику в «новый фронт противостояния» для сдерживания развития России и ее союзников (<https://tass.ru/politika/28059057?ysclid=mth3jfojyn193163895>). На этом фоне точное знание гравитационного поля Земли