

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ПРИМЕНЯЕМЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕДР ЗЕМЛИ ЭНДЕРБИ В РАЙОНЕ БЕЛОРУССКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Я. Г. Грибик, П. В. Шаблыко, Н. В. Козловский, М. А. Шеметило

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Представлены анализ и результаты геолого-геофизических исследований Земли Эндерби на Вечернегорской площади в районе белорусской антарктической станции. Кратко охарактеризованы методика и средства, применяемые при геологических исследованиях.

Построены карты распределения геомагнитных полей на обнаженных участках, обусловленные тектоно-физическими особенностями, геомагнитным мониторингом за суточными вариациями, а также исследования стабильной площадки под проектирование немагнитного павильона. Установлены аномалии на карте активного гамма-поля и по пяти радионуклидам, очевидно, связанные с вещественным составом коренных пород, которые подтверждаются гамма-спектрометрической съемкой. По гравитационным исследованиям установлены изменения силы тяжести с корректировкой на высоту и промежуточный слой другой плотности пород, осложняющий полевые гравиметрические исследования.

По карте остаточной намагниченности, построенной по каппаметрической съемке, установлена приуроченность параметра намагниченности к вещественному составу горных пород. Применение шлиховой съемки на участках сноса обломочного материала усложняется ледниковыми образованиями.

Минеральный состав горных пород по данным шлихового опробования, анализа шлифов и лабораторных анализов свидетельствует о значительной перспективной минеральной составляющей горных пород. По апробируемым методам получены результативные данные, позволяющие использовать их для последующего изучения недр. Продолжение работ планируется в следующем комплексе: геомагнитная съемка, регистрация вариаций геомагнитных полей, съемки на беспилотных летательных аппаратах, радиометрическая и гамма-спектрометрическая съемка, лабораторные исследования горных пород.

Ключевые слова: восточная Антарктида; геофизика; магниторазведка; гравиоразведка; радиометрия; каппаметрия; шлиховая съемка; беспилотные летательные аппараты.

Для цитирования: Грибик Я. Г., Шаблыко П. В., Козловский Н. В., Шеметило М. А. Анализ и результативность применяемых геолого-геофизических методов исследования недр Земли Эндерби в районе белорусской антарктической станции // Природопользование. – 2025. – № 2. – С. 114–130.

ANALYSIS AND EFFECTIVENESS OF APPLIED GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL METHODS FOR SUBSOIL INVESTIGATIONS OF THE ENDERBY LAND IN THE AREA OF THE BELARUSIAN ANTARCTIC STATION

Ya. G. Gribik, P. V. Shablyko, N. V. Kozlovsky, M. A. Shemetilo

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. Analysis and results of geological and geophysical studies in the Enderby Land, Vechernegorskaya area of Belorussian Antarctic station, are presented. Methodology and means are described briefly, used in geological research.

The maps of the distribution of geomagnetic fields of exposed areas based on tectonophysical characteristics, geomagnetic monitoring of daily variations and research of a stable site for the projecting of a non-magnetic pavilion were built. The anomalies of active gamma field and of five radionuclides, which are connected to composition of bedrocks that is proven by spectrometric survey, were determined. The gravity studies established changes in gravity field with correction to altitude and to an intermediate layer of other rock density, which makes it harder to gravity researches by foot.

According to the map of residual magnetism, which is constructed on kappametric survey, the confinement of magnetization with the mineral composition of the rocks was established. Realization of schlich sampling is complicated due to glacial formations.

Mineral composition of rocks, according to the results of schlich sampling, analysis of thin section and laboratory analysis, demonstrates significant prospective mineral element of rocks. Data obtained by tested methods that can be used for further subsoil exploration. The continuation of works is planned like this: geomagnetic survey, recording of variations of geomagnetic fields, unmanned aerial vehicles survey, radiometric and gamma spectrometric survey and laboratory researches of rocks.

Keywords: East Antarctica; geophysics; magnetic survey; gravity survey; radiometry; kappametry; heavy mineral survey; unmanned aerial vehicles.

For citation. Gribik Ya. G., Shablyko P. V., Kozlovsky N. V., Shemetilo M. A. Analysis and effectiveness of applied geological and geophysical methods for subsoil investigations of the Enderby Land in the area of the Belarusian Antarctic station. *Nature Management*, 2025, no. 2, pp. 114–130.

Введение. Геологические и геофизические работы в Восточной Антарктиде (Земля Эндерби) на Вечернегорской площади систематически проводятся Центром полярных исследований Национальной академии наук Беларуси и представляют собой важнейшую часть комплекса научных исследований. С 2009 г. белорусскими исследователями был произведен ряд геолого-геофизических работ с целью уточнения геологического и тектонического строения, а также изучения морфологии геофизических полей. В данной статье кратко рассматриваются анализ и результаты выполнения полевых геолого-геофизических исследований в районе расположения белорусской антарктической станции (БАС) в летние антарктические сезоны.

Одним из наиболее эффективных методов изучения геологического строения региона является анализ геологической природы геофизических полей, прежде всего магнитного. Так, например, аномальное магнитное поле в открытых областях, каковой является прибрежная часть Вечернегорской площади, обусловлено глубинными магнитными неоднородностями горных пород в районе разломно-интрузивной тектоники: над различными геологическими телами магнитные аномалии фиксируются различной интенсивности и формы.

В рамках изучения временных вариаций геофизических полей в пределах Вечернегорской структуры был выделен участок, пригодный для сооружения немагнитного павильона (немагнитная тумба – как временное решение), предназначенного для проведения стационарных сезонных и в перспективе круглогодичных геомагнитных наблюдений. Данные, а именно значение модуля T , полученные за период сезонных наблюдений 2021–2025 гг., позволяют выяснить геофизическую и геологическую природу короткопериодных вариаций геомагнитного поля с учетом международных стандартов и требований, предъявляемых к подобным объектам.

Основным поисковым и разведочным методом радиометрических и спектрометрических исследований является пешеходная съемка. Ее выполняют с помощью полевых радиометров и спектрометров (СРП-68, СП-88, МКС-АТ6101ДР). Актуальность данному методу придают относительно невысокие временные и материальные затраты при хорошей геологической информативности метода работ. Данные радиометрических и спектрометрических исследований позволяют уточнить геологическое строение территории и более четко определить границы тектонических структур.

Описаны также такие виды работ, как опытное шлиховое опробование и калпаметрическая съемка.

В ходе работ в антарктических условиях отработывались методы и способы выполнения геолого-геофизических исследований в районах, в пределах которых выход древних коренных пород перекрыт молодыми образованиями или снежно-ледовым покровом. В таких условиях первоочередную роль играют геофизические методы с регистрацией соответствующего геофизического поля.

Связующим элементом для интерпретации геофизических данных с учетом геологических данных являются лабораторные исследования горных пород, выполненные в анализируемый период.

Основная цель работы – провести комплексное изучение особенностей геологического строения недр Земли Эндерби в районе расположения БАС.

Для решения данной задачи применяется комплекс геолого-геофизических методов, обеспечивающий определение структурно-вещественных характеристик и минерогенических особенностей горных пород на основе геофизических, геохимических и петрофизических параметров.

Краткая характеристика объекта исследования. Восточная Антарктида и территория Земли Эндерби представляют собой древнюю докембрийскую платформу, сложенную в основном метаморфическими породами гранулитовой фации архейского эндербит-чарнокитового комплекса с ярко выраженным блоковым строением.

Выход коренных пород прослеживается в узкой прибрежной зоне шириной от 1 до 5 км, перекрываемых вверх снежно-ледниковым массивом.

Средства и методы исследований. Основу исследования составляют результаты комплекса геолого-геофизических методов недр земли Эндерби в районе БАС. Применяемая методика включает стационарные, маршрутные и площадные измерения различных геофизических полей, структурные замеры различных выходов горных пород, указывающие на тектонические деформации, шлиховую съемку с анализом минералогической составляющей, а также съемку с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с дальнейшей дешифровкой и анализом с позиции современных тектонических процессов.

В ходе последних белорусских антарктических экспедиций (БАЭ) для работы было использованы следующие оборудование:

1) пешеходный оверхаузерный магнитометр ММПОС-1. Предназначен для измерения модуля геомагнитного поля и может использоваться как для проведения пешеходных съемок, так и в качестве стационарной вариационной станции. Диапазон измерения магнитного поля: 20 000–100 000 нТл. Среднеквадратичная погрешность измерения: <0,01 нТл;

2) прибор сцинтилляционный геологоразведочный СРП-68-01. Предназначен для измерения гамма-излучения на поверхности пород и в горных выработках. Измерения гамма-излучения производятся в мкР/ч;

3) мобильный гамма-спектрометр МКС-АТ6101ДР. Предназначен для измерения общей мощности дозы гамма-излучения, а также идентификации по основным изотопам (радионуклидам), таким как радий (Ra-226), торий (Th-232), цезий (Cs-137, Cs-134) и калий (K-40). Измерения производятся в мк³в/ч;

4) GPS-навигатор GARMIN GPSmap78;

5) гравиметр ГНУ-КС № 405. Использовался с целью получения информации об общей картине гравитационного поля, проведены измерения приращения силы тяжести;

6) гекоптер А20-Х – БПЛА. Позволил выполнить фотовидеофиксацию территории с воздуха, построить 3D модели и ортофотоплан местности и инфраструктуры для решения ряда научно-практических задач, в том числе для уточнения данных площадной геологической, спектрометрической и геомагнитной съемок.

Результаты и их обсуждение. Проведение геомагнитометрических исследований. В период полевых сезонов БАЭ был проведен ряд геофизических и геологических работ на территории участка горы Вечерняя, расположенного в Восточной Антарктиде – Земля Эндерби с координатами 67°38'7"–67°41'0"S и 46°02'7"–46°14'0"E. Первые работы по изучению геологического строения и геофизических полей были выполнены в полевой сезон 2008–2009 гг. научным сотрудником Института природопользования НАН Беларуси О. В. Мясниковым. В ходе экспедиции были отобраны образцы горных пород по серии маршрутов. Данные образцы были проанализированы в лабораториях РУП «Белгеология» с петрографических, петрохимических и петрофизических позиций. Этим же исследователем были выполнены первоначальные работы по измерению магнитного и гравитационного полей [1].

Для уточнения характеристик геофизических полей, а также с целью детализации вещественного состава горных пород, слагающих территорию, в последующие годы были проведены дополнительные геолого-геофизические исследования.

В 2014–2015 и 2017–2018 гг. младший научный сотрудник П. В. Шаблыко выполнил маршрутную и площадную магнитную съемку территории с помощью магнитометров Lem1-018, результатом которых стало построение первой карты аномального магнитного поля [2].

В ходе последующих экспедиций был использован магнитометр ММПОС-1, представляющий собой высокоточный прибор, основанный на эффекте Оверхаузера. Магнитометр предназначен для измерения модуля геомагнитного поля и может использоваться как для проведения детальных магнитных пешеходных съемок, так и в качестве стационарной вариационной станции. Блок управления магнитометром позволяет подключать GPS-приемник для осуществления координатной привязки измерений на местности. Маршрутные наблюдения проводились с шагом 10–25 м, учитывая сложности рельефа.

Исследования геомагнитных вариаций. Для исключения суточных вариаций во время проведения маршрутных исследований всегда синхронно устанавливали стационарный пункт наблюдения, который располагали на предполагаемом участке заложения немагнитного павильона вблизи станции «Гора Вечерняя».

В общей сложности наблюдения на Вечернегорской площади были проведены более чем на 7700 пунктах измерений.

После обработки данных был построен ряд карт наблюденного геомагнитного поля T , включая общую обзорную карту и карты детализации на отдельных участках (рис. 1). По результатам геомагнитных исследований Вечернегорской площади установлено, что наибольшее значение поля T приурочено к выходу архейских пород, представленных биотит-роговообманково-двупироксеновыми плагиогнейсами по диоритовой породе, мелко и среднезернистыми, приуроченными к береговым участкам [3].

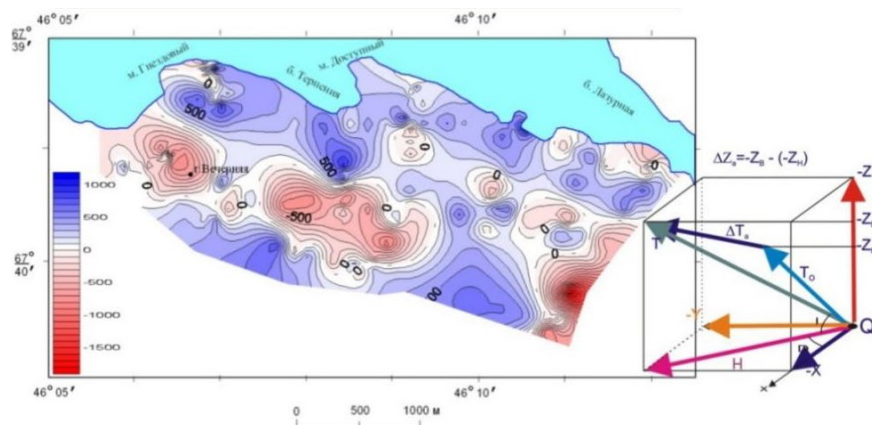


Рис .1. Карта аномального магнитного поля Вечернегорской площади, выполненная с помощью магнитометра ММПОС-1

Fig. 1. Map of the anomalous magnetic field of the Vechnegorskaya area acquired using the MMPOS-1 magnetometer

Результативным является использование геомагнитных исследований и в других геологических регионах, в частности, при изучении участка в районе базирования болгарской антарктической станции «Св. Климент Охридский», расположенной на острове Ливингстон (оператор – научный сотрудник П. В. Шаблыко, 2020 г.). Наблюдаемое геомагнитное поле характеризуется изменчивыми условиями по простиранию и амплитуде. К повышенным значениям магнитного поля приурочены интрузивные тела (дайки). Тектонические разломы характеризуются невысокими значениями геомагнитного поля [4] (рис. 2).

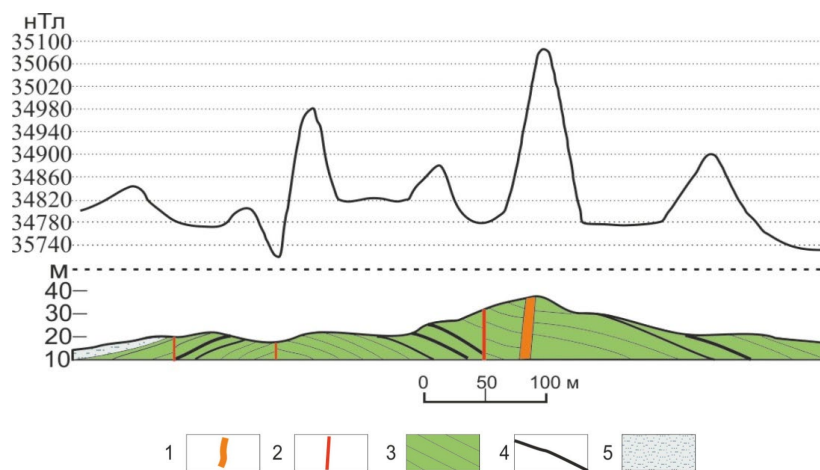


Рис. 2. Геолого-геофизический разрез на острове Ливингстон с графиком магнитных аномалий по профилю запад – восток:

- 1 – дайки, установленные по геологическим данным;
- 2 – разломы, установленные по геологическим данным; 3 – песчаники;
- 4 – черные аргиллиты, 5 – отложения морских террас. 2020 г.

Fig. 2. Geological-geophysical section of Livingston Island with a west – east profile of magnetic anomalies:

- 1 – dikes identified from geological data; 2 – faults identified from geological data;
- 3 – sandstones; 4 – black argillites; 5 – marine terrace deposits. 2020

Геомагнитные исследования также возможны при изучении шельфовых участков моря. С помощью пешеходного магнитометра ММПОС-1 была выполнена пробная геомагнитная съемка на морском льду в бухте Лазурная (залив Алашеева, море Космонавтов). Наблюдаемое магнитное поле на этом участке варьируется от 44 000 нТл со стороны берега и значительно возрастает с увеличением глубины до 44 460 нТл (рис. 3). Исследование проводили на небольшом участке, порядка 50 м, в прибрежной зоне с максимальной глубиной до 100 м; толщина льда составляла порядка 1,5–2,0 м.

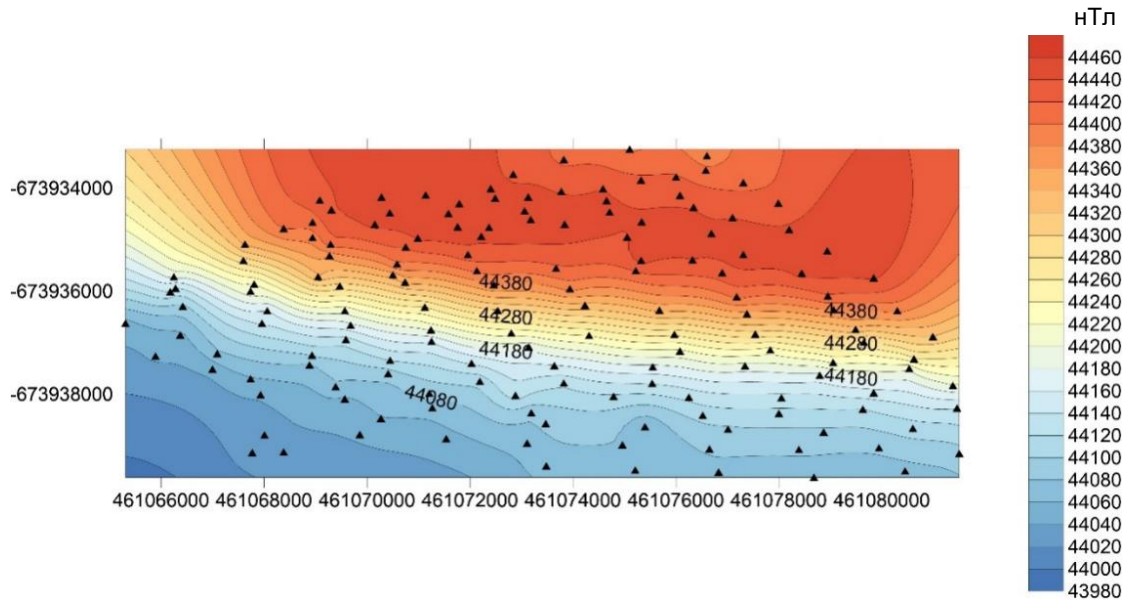


Рис. 3. Детализированный участок геомагнитного поля на морском льду моря Космонавтов, 2023 г.

Fig. 3. Detailed section of the geomagnetic field on the sea ice of the Cosmonaut Sea, 2023

Для выбора места под размещение геомагнитной станции (заложенной немагнитной тумбы), в дальнейшем – площадки для строительства немагнитного павильона, была выполнена геомагнитная съемка на участке площадью примерно 1500 м² × 1000 м², по результатам которой была выделена площадка с низкими градиентами поля, расположенная к юго-западу от места базирования БАЭ, имеющего координаты 67°33'34,2" S 046°09'01,9" E (рис. 4).

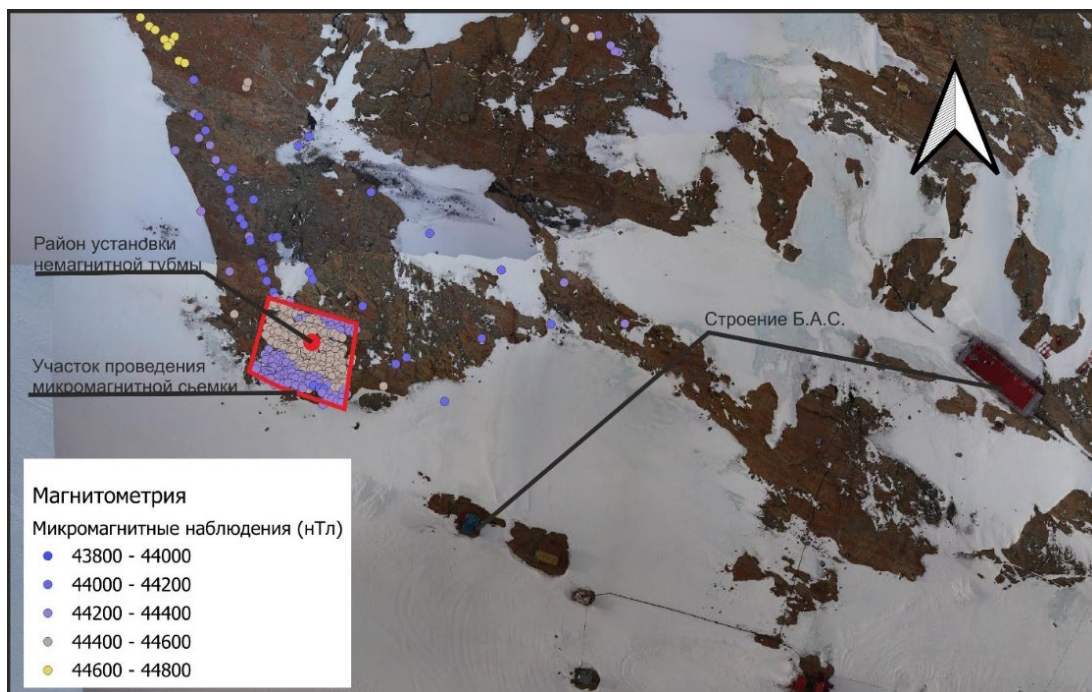


Рис. 4. Результат микромагнитной съемки территории в районе установки немагнитной тумбы, 2024 г.

Fig. 4. Micromagnetic survey results from the area of the non-magnetic pillar installation, 2024

Участок для немагнитного павильона представляет собой относительно ровную площадку на скальном массиве, хорошо продуваемую ветром и мало подверженную занесению снегом. Она находится на достаточном удалении от возможных маршрутов моторизированной техники и отстоит от

сооружений, линий электропередач и отдельных предметов, потенциально способных воздействовать на вариации геомагнитного поля.

В районе установленной немагнитной тумбы были произведены топографические работы, в задачу которых вошла разбивка квадратной поисковой микросети размером 20 м × 20 м с шагом точек 1 м × 1 м, закрепленных немагнитными колышками, каждый из которых имел координатную привязку с помощью GPS.

Затем по квадратной поисковой микросети были выполнены краткосрочные вариационные измерения для изучения короткопериодных вариаций магнитного поля (20 профилей с шагом 1 м).

Для введения поправок за вариации геомагнитного поля во времени устанавливалась локальная магнитовариационная станция в центре полигона (на месте немагнитной тумбы). Учет вариаций магнитного поля достигался путем замыкания измерений в начале и конце каждого профиля на центральную точку полигона.

Анализ представленной картосхемы показывает, что средние фоновые значения модуля вектора геомагнитного поля в районе планируемого размещения немагнитного павильона (немагнитной тумбы) находятся в диапазоне 44 400–44 600 нТл. Данные значения соответствуют региональному геомагнитному фону и свидетельствуют об отсутствии значительных аномалий, что характеризует тектоническую обстановку участка как стабильную.

Зафиксированные пространственные вариации магнитного поля амплитудой приблизительно 10 нТл на площади 400 м² являются незначительными. Наиболее вероятным источником данных микровариаций может служить поверхностное загрязнение мелкими (2–4 см в поперечнике) обломками пород, содержащими магнетит, привнесенными в результате действия временных водотоков и эоловых процессов.

В период полевых сезонов на немагнитной тумбе проводились непрерывные (исключая технические отключения) суточные вариационные измерения с периодичностью в 10 с.

Причиной суточных геомагнитных вариаций принято считать внешние источники тока, связанные с процессами магнитосферно-ионосферного взаимодействия. Под влиянием комбинации различных эффектов величина и фаза регулярной суточной вариации претерпевают изменение от суток к суткам и различаются в зависимости от места наблюдений.

Под вариациями во времени геофизических полей тектонофизического происхождения понимают изменения во времени значений наблюдаемых полей, обусловленных реакцией аномальных возмущающих тел на воздействие глубинных тектонофизических процессов, выражаемое в виде изменений во времени напряженно-деформированного состояния возмущающих поля тел и их перемещения в геологической среде, а также влияние космических явлений, прежде всего возмущающего воздействия солнечной деятельности [3].

Следует отметить, что в целях методического контроля за корректностью измерений в ходе полевых работ проводилась корреляция полученных данных с ближайшей к белорусской австралийской антарктической станцией «Моусон» (Восточная Антарктида), которая является участником мировой системы Интермагнет (Intermagnet – международная сеть магнитных обсерваторий реального времени) (рис. 5).

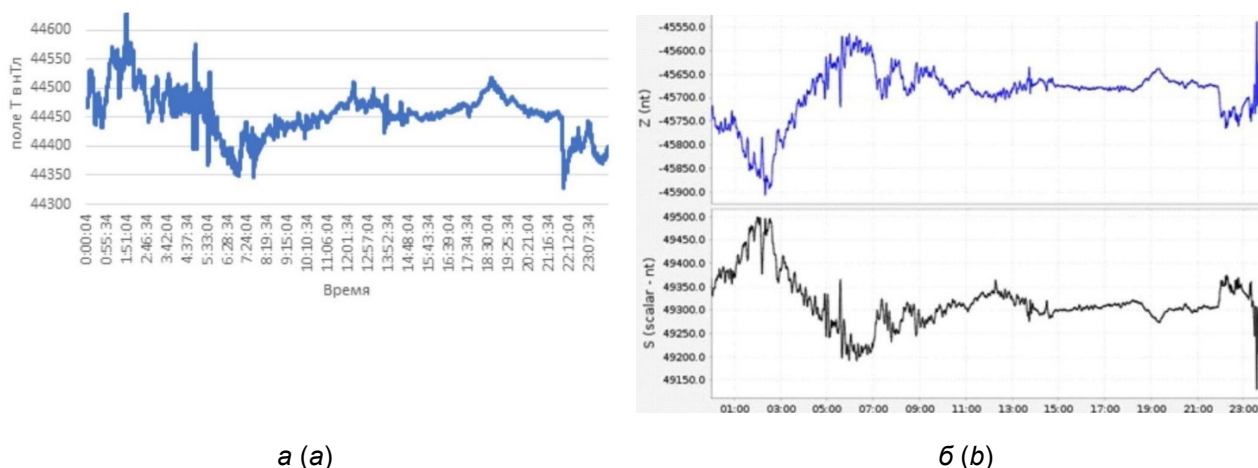


Рис. 5. Вариационный график поля T станции «Гора Вечерняя» (а) в сравнении с данными по станции «Моусон» (б), 26 ноября 2023 г.

Fig. 5. T -field variation graph at Mount Vechernyaya station (a) compared to data from the Mawson station (b), November 26, 2023

Из рис. 5 видно, что установлена четкая временная корреляция синхронного изменения магнитного поля на двух станциях. Анализ полученных данных указывает на существенное изменение магнитного поля по всем дням измерений в промежутках с 00:00 до 10:00 по всемирному координированному времени (UTC). Наибольшие вариации магнитного поля в течение дня в некоторых случаях имеют прямую связь с магнитными бурями.

Это явление требует дальнейшего изучения вместе с анализом данных за предыдущие экспедиции. На данный момент времени можно сделать предположение о связи данного явления с интенсивным проникновением в электромагнитное поле ионосферы Земли в южных высоких широтах солнечного ветра и космических лучей, что выражается в значительных суточных вариациях компоненты магнитного поля T .

Изучение временных вариаций геофизических полей позволяет изучать природные процессы, обнаруживать в земной коре современные активные глубинные разломы, оценивать их влияние на состояние здоровья человека и функционирование электротехнических средств.

Гравитационные исследования. С целью получения информации об общей картине гравитационного поля по четырем профилям с шагом 50 м в 2008–2009 гг. научным сотрудником О. В. Мясниковым были выполнены измерения приращений силы тяжести с гравиметром ГНУ-КС № 405.

Перед производством работ на профилях в стационарных условиях (в павильоне на станции «Молодежная») было проведено исследование дрейфа нуля, в результате которого установлено, что дрейф нуля этого гравиметра в климатических условиях Антарктиды устойчив во времени и составляет в среднем 0,005 мГал/мин. Горизонтальные координаты пунктов были определены с помощью системы GPS, а высоты пунктов наблюдений сняты с карты масштаба 1 : 25 000, на которой сплошные горизонталы проведены через 10 м. Всего выполнено четыре профиля с общим объемом 73 точки наблюдения (рис. 6).

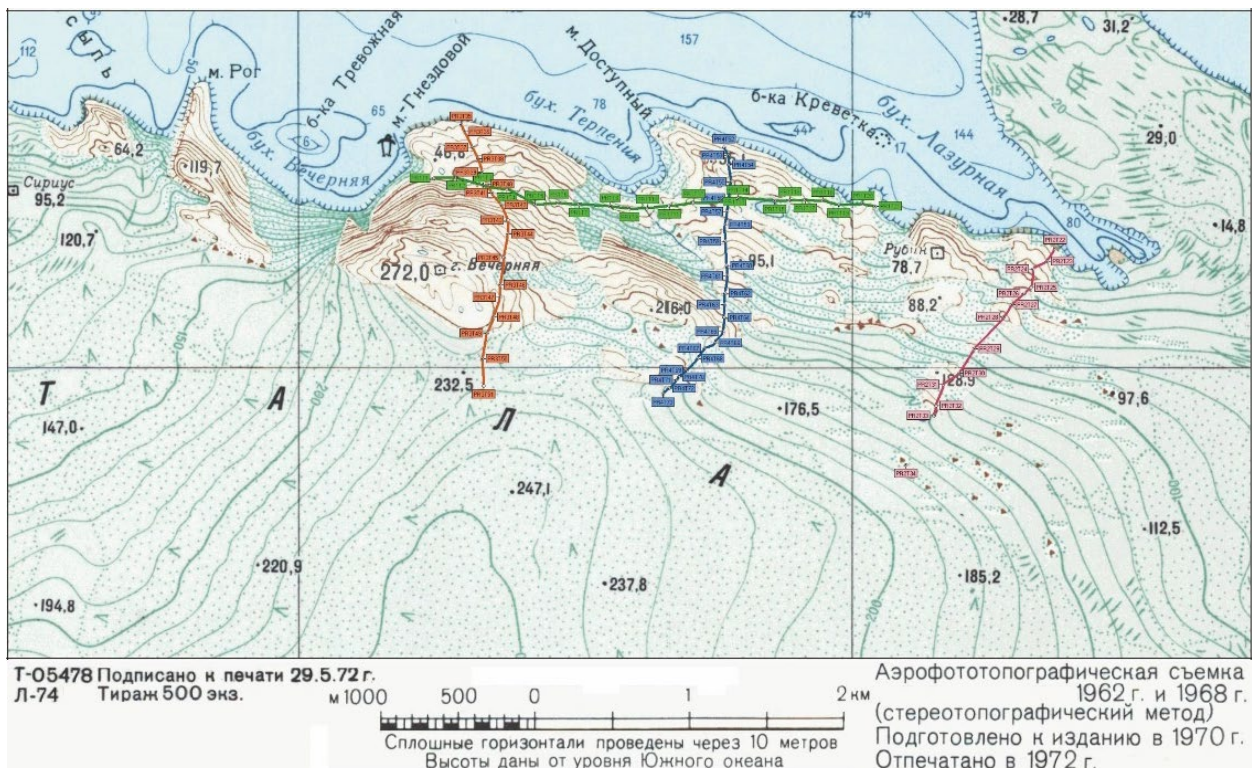


Рис. 6. Картограмма гравиметрических маршрутов Вечернегорской площади (составитель – О. В. Мясников)

Fig. 6. Gravimetric survey routes map of the Vechnegorskaya area (compiled by O. V. Myasnikov)

Для вычисления аномалий Буге в данные наблюдений были введены относительно начального пункта каждого профиля поправка за высоту ($0,3086H$) и поправка на промежуточный слой с плотностью $2,65 \text{ г/см}^3$ ($0,0419H$) в сумме $+0,1976H$, а также исключено влияние нормального поля силы тяжести, градиент которого на интервале широт $67^{\circ}39' - 67^{\circ}40'$ равен $3646,1 \text{ мГал}$ на одну градусную минуту, или $1,06 \text{ мГал/с}$.

Графики аномальной силы тяжести в редукции Буге на Вечернегорской площади сопоставляются с маршрутной геомагнитной съемкой и позволяют делать первичные выводы о тектоническом строении территории, а также создать модель прогноза тектонодинамической деформации горных пород [1].

Геологическая съемка с помощью БПЛА. В 2022–2024 гг. в ходе 15-го и 16-го полевых сезонов на Вечернегорской площади в Антарктиде был использован БПЛА *гексокоптер A20-X*, позволивший выполнить фотовидеофиксации территории с воздуха с последующим построением 3D модели, и ортофотоплана местности и инфраструктуры для решения ряда научно-практических задач, в том числе для уточнения данных площадной геологической и геомагнитной съемок.

Съемка для создания подробного ортофотоплана местности в среднем производилась с высоты 150 м от поверхности моря. Каждый полет длился от 30 до 45 мин. За один вылет гексокоптер облетал территорию в 1 км² и делал более 100 снимков. Обработка полученных данных происходила в программе Metashape Agisoft.

В рамках работ съемочные работы были произведены для территории всей Вечернегорской площади (рис. 7).

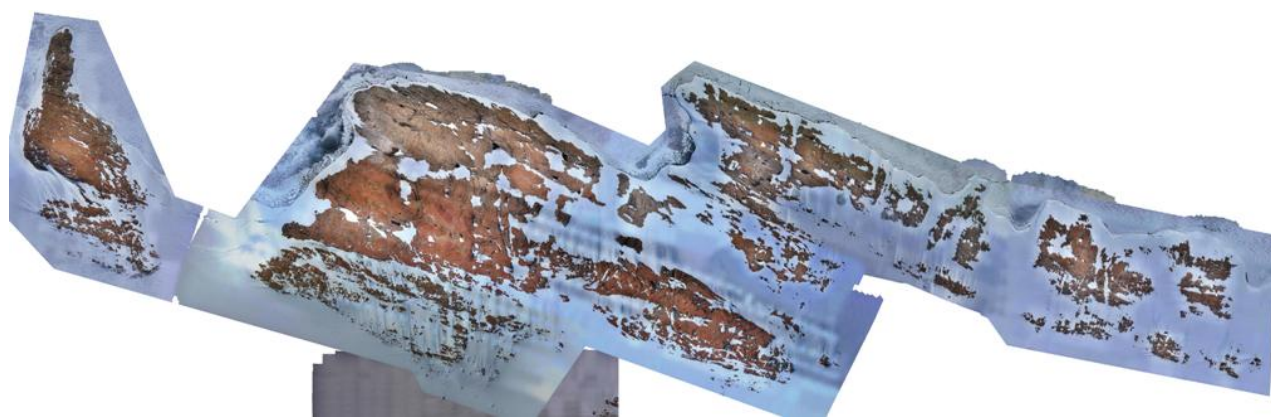


Рис. 7. Ортофотоплан Вечернегорской площади, построенный в программе QGIS

Fig. 7. Orthophoto map of the Vechernegorskaya area generated using QGIS software

По окончании маршрутных наблюдений исполнителями работ были проведены площадные аэрогеологические работы, направленные на изучение всей территории Вечернегорской площади и прилегающих территорий для получения детализированных данных о геологическом строении поверхности.

Комплексная интерпретация геологических и геофизических данных вместе с дешифрированием данных аэрофотосъемок позволяет существенно уточнить геологическое строение территории, понять пространственное положение геологических структур, а также стать основой для более углубленного изучения интрузивных тел и разломов. На примере исследуемого участка «гора Рубин» было проведено дешифрирование аэрофотоматериалов, что позволило построить детальную геологическую картосхему района исследования (рис. 8).

Использование БПЛА также существенно расширило возможности исследований, обеспечив доступ к ранее недоступным для изучения участкам. Ярким примером стало детальное обследование островов Мак-Махон, расположенных примерно в 1 км от береговой линии к западу от основной исследуемой территории (рис. 9). Предыдущие исследования в этом районе были крайне ограничены и проводились более двух десятилетий назад.

Проведенная с помощью БПЛА высокодетальная съемка позволила выявить и точно картировать многочисленные дайки, трещиноватости и другие тектонические элементы. Полученные данные дают возможность проанализировать пространственное распределение разрывных нарушений и определить их роль в современной структуре региона. Данная съемка дает новые перспективы для понимания геодинамической эволюции территории и устанавливает принципиально новый уровень детальности геологических исследований в антарктических условиях.

Особую ценность представляет возможность документирования и измерения элементов залегания тектонических структур в труднодоступных прибрежных обнажениях, что значительно повышает достоверность геодинамических реконструкций.

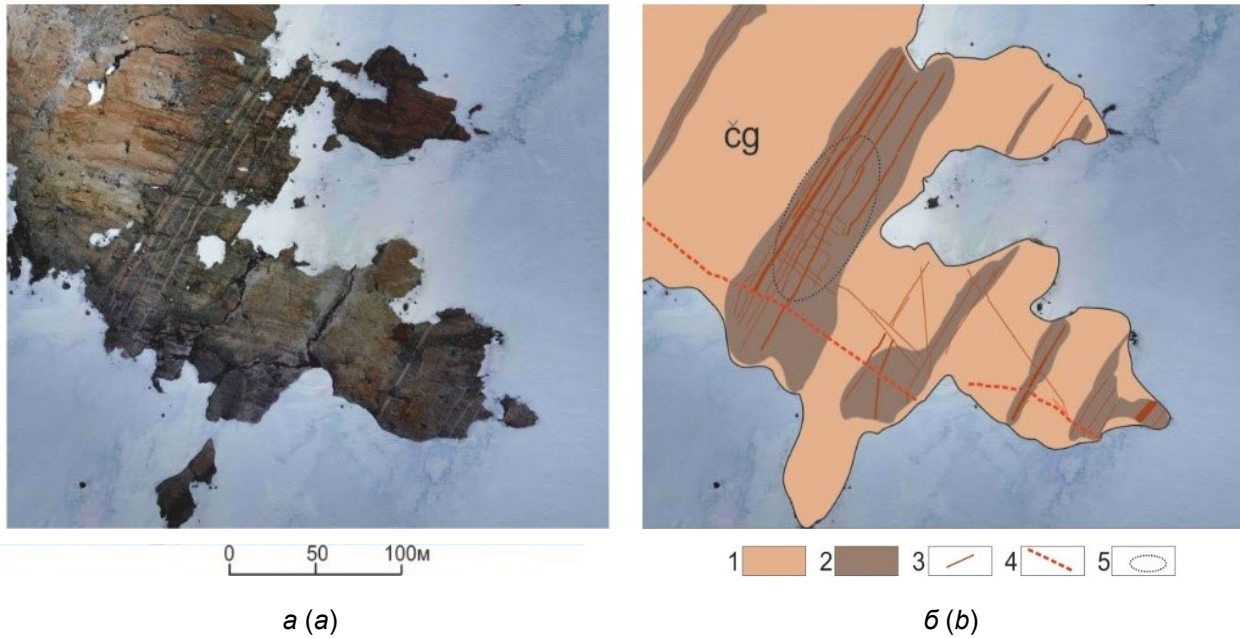


Рис. 8. Ортофотоплан участка «Гора Рубин» (а) и петрографическая характеристика (б) горных пород (интерпретатор – С. Л. Сушкевич): 1 – Cg – чарнокиты (эндербо-чарнокиты) среднего протерозоя; 2 – зоны приконтактового изменения вмещающих пород; 3 – дайковые, дайково-жильные тела; 4 – разломы; 5 – зоны дробления

Fig. 8. Orthophoto map of the Mount Rubín site (a) and petrographic characteristics (b) of the rocks (interpreter – S. L. Sushkevich): 1 – Cg – charnockites (Enderby-land charnockites) of the Middle Proterozoic; 2 – zones of contact metamorphism in the host rocks; 3 – dike and vein-dike bodies; 4 – faults; 5 – fracture zones

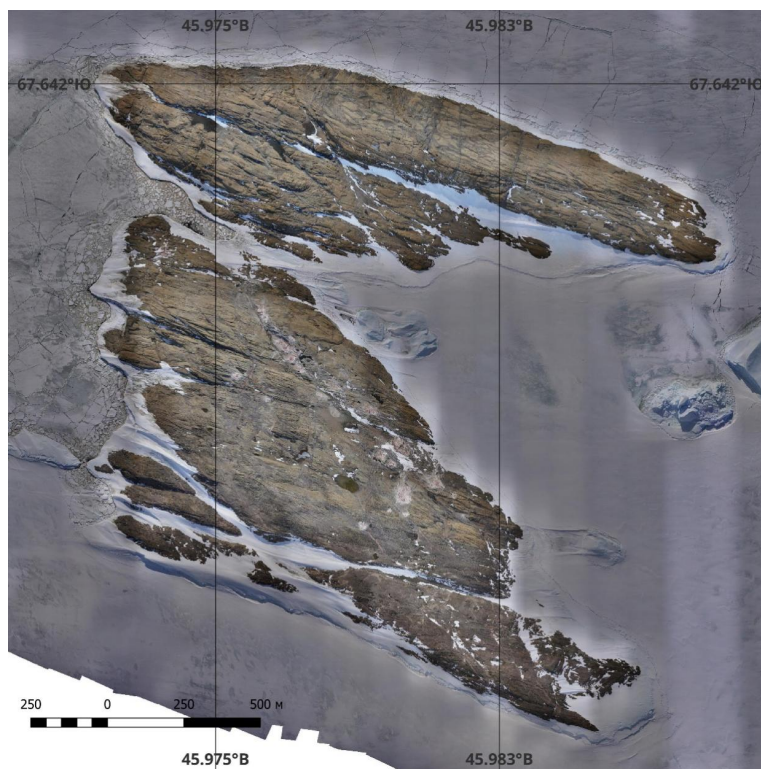


Рис. 9. Ортофотоплан островов Мак-Махон

Fig. 9. Orthophoto map of the McMahon Islands

Радиометрические и спектрометрические исследования. Маршрутные радиометрические исследования выполнены на территории Вечернегорской площади вкрест простираения блоков кристаллических пород с использованием радиометра СРП-68-01. Полученные данные демонстрируют, что средние значения естественного гамма-фона пород изучаемой территории варьируются в диапазоне от 5 до 14 мкР/ч [5].

На всех точках наблюдения выполнялась GPS-привязка с занесением координат в полевой журнал, сопровождаемая фотофиксацией и кратким геологическим описанием локаций. При выявлении аномальных показателей гамма-поля проводилось детальное обследование соответствующих участков.

На участках с наиболее значительными аномалиями радиоактивного поля выполнена спектрометрическая съемка мобильным гамма-спектрометром МКС-АТ6101ДР. Профилирование осуществлялось вкрест простираения жильных образований и разломных зон с шагом от 5 до 50 м, с адаптацией методики картирования к линейным размерам объектов и условиям пешей доступности. В ходе измерений исключалось влияние естественных радионуклидов, аккумулированных в снежном покрове. Время измерений на каждой точке составляло от 10 до 20 мин, при этом устанавливалась стандартная плотность подстилающих скальных пород 2800 кг/м³.

В процессе работы прибора регистрируется гамма-спектр, где по горизонтальной оси откладываются значения энергий, а по вертикальной оси – количество зарегистрированных импульсов. Полученные спектры позволяют идентифицировать радионуклидный состав пород и количественно оценить концентрации природных радиоактивных элементов.

В пределах природно-территориального комплекса «Гора Вечерняя» выявлены аномалии по радионуклидам К-40 и Ra-226 в районе с. Рубин со значениями 977 и 313 Бк/кг соответственно. Аномальное значение по Th-232 обнаружено в районе мыса «Без названия» – 801 Бк/кг.

После обработки полевых данных радиометрии построена предварительная картосхема интенсивности замеренного гамма-поля Вечернегорской площади (рис. 10).

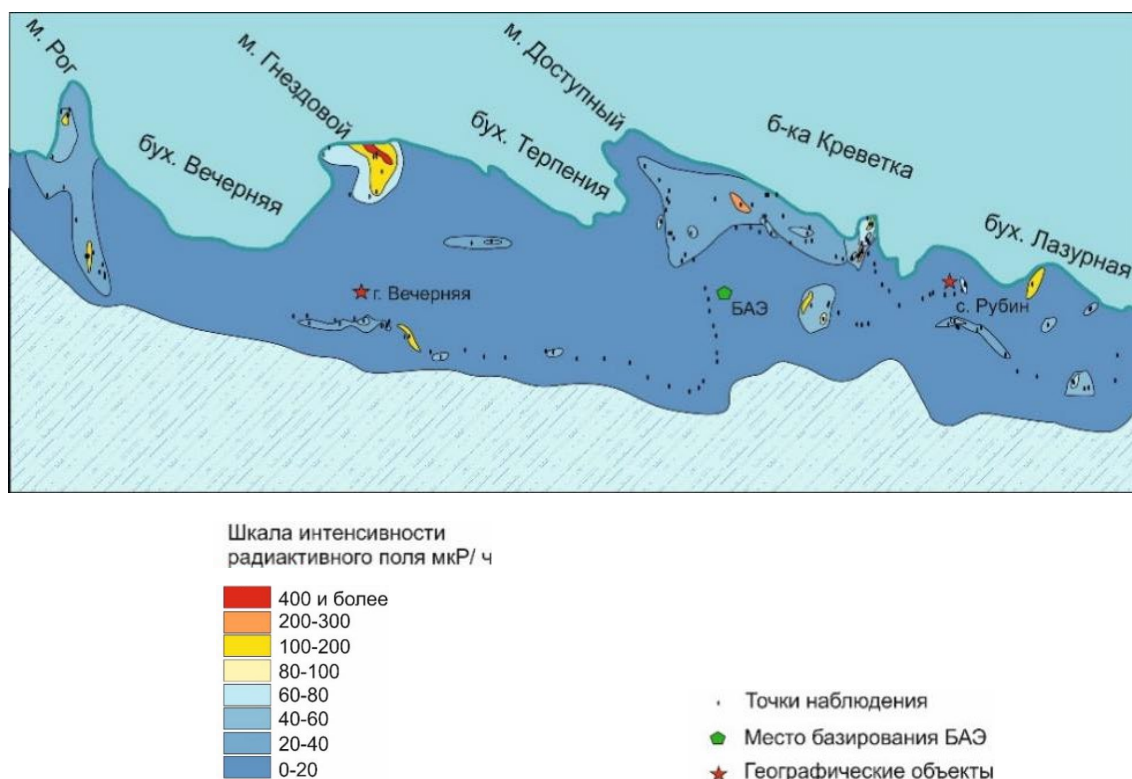


Рис. 10. Радиометрическая карта по данным сезона 2021–2022 гг.

Fig. 10. Radiometric map based on data from the 2021–2022 field season

Повышенные значения радиоактивного поля демонстрируют прямую корреляцию с выходами архейских пород. Интенсивность радиоактивного поля в отдельных случаях достигает 200–300 мкР/ч и выше, составляя в среднем 60–100 мкР/ч. Высокие показатели гамма-фона в гранитоидных дайках могут быть обусловлены повышенной радиоактивностью минералов, содержащих калий, уран и торий, что требует проведения дополнительных лабораторных петрогеохимических исследований.

Полученные данные радиометрических и спектрометрических исследований позволяют уточнить геологическое строение территории и оценить ее минерагенический потенциал. Выявленная связь аномальных зон радиоактивного и магнитного полей с тектоническими структурами способствует более точному определению границ тектонических элементов. Проведение спектрометрической съемки в рамках рекогносцировочных маршрутных исследований позволяет установить генетическую связь геофизических гамма-аномалий с вещественным составом пород.

Опытное шлиховое опробование. Шлиховой метод геологических и геохимических исследований играет существенную роль при поисках как россыпей, так и некоторых типов коренных месторождений. Считается, что шлиховое опробование является одним из ведущих методов при поисках месторождений редких металлов, титана, хрома, никеля, платины, цветных металлов (Sn, W, Hg), золота, лития, бериллия и алмазов [6]. Этот вид опробования при незначительных затратах и достаточном оборудовании позволяет определить минеральный состав горных пород района.

Шлих составляют зерна минералов плотностью свыше 3000 кг/м^3 , устойчивых к физическому и химическому выветриванию. Получение шлиха лежит в основе шлихового метода – одного из древнейших минералогических методов поиска коренных и россыпных месторождений алмазов, золота, платины, олова, вольфрама, ртути, титана, ювелирного сырья, абразивных минералов (корунда, гранатов), флюорита, барита и др.

План работ предусматривал шлиховое опробование двух перспективных участков с целью уточнения контуров распространения литохимических ореолов железо-титановой минерализации Вечернегорской структуры.

Учитывая материалы ранее проведенных исследований (Мясников, Каратаев и др.) [7] о перспективах Вечернегорской структуры в отношении полезных ископаемых и физико-географических условий территории, были выделены участки для работ (рис. 11).

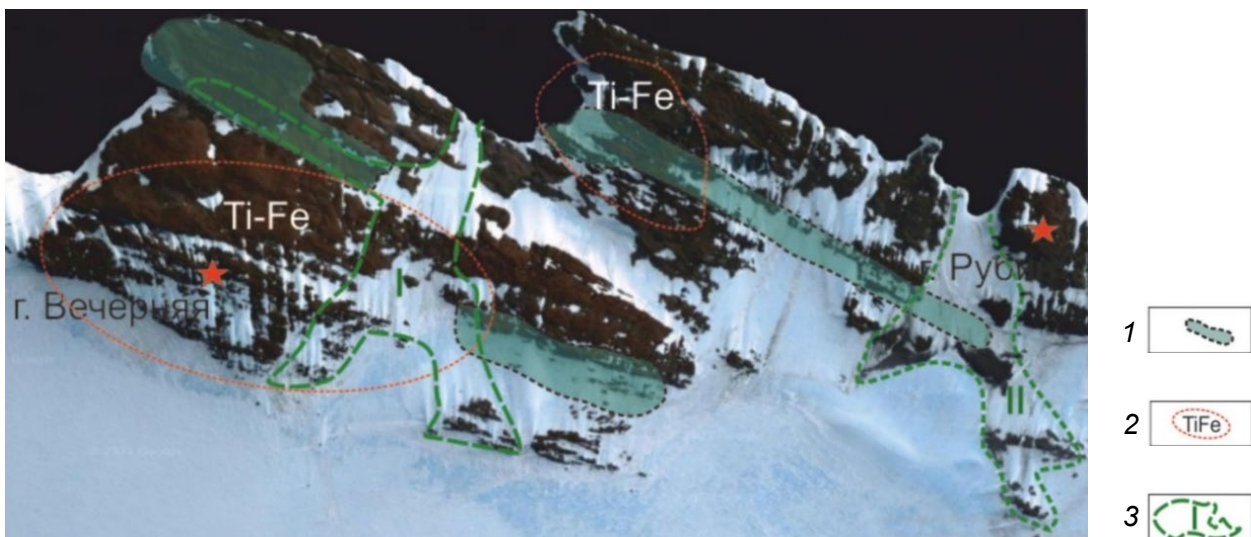


Рис. 11. Картосхема участков для шлихового опробования:
1 – перспективные участки на полезные ископаемые; 2 – литохимические ореолы
железо-титановой минерализации по геофизическим данным; 3 – участки шлиховой съемки

Fig. 11. Schematic map of sampling sites for heavy mineral concentrate surveys:
1 – prospective areas for mineral resources; 2 – lithochemical halos
of iron-titanium mineralization based on geophysical data; 3 – heavy mineral survey sites

Результаты минералогических исследований шлихов обработки аналитических данных являются основой для составления различных типов шлиховых карт и специализированных графических материалов. Главное назначение этих карт – дать наглядное представление о пространственном размещении в разновозрастных рыхлых отложениях различных генетических типов полезных компонентов и их типоморфных спутников, оконтурить и установить их возможные связи с коренными образованиями, т. е. уточнить геологическое строение территории и выявить перспективы на обнаружение коренных или россыпных месторождений полезных ископаемых.

Опробование выполнялось на прибрежных участках с учетом геоморфологических условий. Пробы отбирались из рыхлых отложений, после чего проводилась их промывка для получения серого шлиха (с сохранением легких минералов-индикаторов).

Проведение площадной каппаметрической съемки. Сущность метода каппаметрии заключается в измерении магнитной восприимчивости проб (χ), что позволяет оценить содержание ферромагнитных минералов в горных породах. Этот параметр используется при поиске месторождений, изучении геологического строения, оконтуривании рудных тел и анализе ореолов рассеивания.

Магнитная восприимчивость (χ) – безразмерная величина, связывающая намагниченность вещества (M) с напряженностью магнитного поля (H). По магнитным свойствам породы делятся на *диамагнитные* ($\chi \approx 10^{-5} \dots 10^{-6}$; например: кварц, золото), *парамагнитные* (большинство осадочных и магматических пород) и *ферромагнитные* (χ до нескольких единиц СИ; например: магнетит, ильменит).

Полевые работы на Вечернегорской площади включали отбор проб из коренных пород в зонах с аномальными геофизическими полями. Измерения проводились в лаборатории с использованием астатического *магнитометра МА-21* и метода гидростатического взвешивания для определения плотности. Дополнительно вычислялся *фактор Кёнигсбергера (Q)*, отражающий соотношение остаточной и индуцированной намагниченности.

Лабораторные исследования выявили значительную *анизотропию магнитных свойств* пород, что исключило построение классических изолиний. Вместо этого был применен *блочный метод*, разделяющий территорию на зоны с близкими петрофизическими характеристиками. Выделены следующие основные блоки: 1) архейские плагиогнейсы – высокая плотность, слабая намагниченность; 2) эндербито-чарнокиты – средняя плотность, повышенная намагниченность; 3) чарнокиты – минимальная плотность, высокая энергия и намагниченность; 4) рапакивиподобные чарнокиты – пониженные плотность и энергия.

По результатам установлены аномальные значения (χ до $72\,500 \cdot 10^{-6}$ СГС), которые соответствуют зонам титано-железистой минерализации. *Отсутствие прямой корреляции* между магнитной восприимчивостью и полем T объясняется влиянием длительных геомагнитных процессов.

Графические материалы – карты остаточной намагниченности (рис. 12) и магнитной восприимчивости (рис. 13) – подтверждают неоднородность петрофизических свойств, что важно для прогнозирования рудных зон. Метод блочного анализа признан наиболее репрезентативным для сложно построенных территорий.

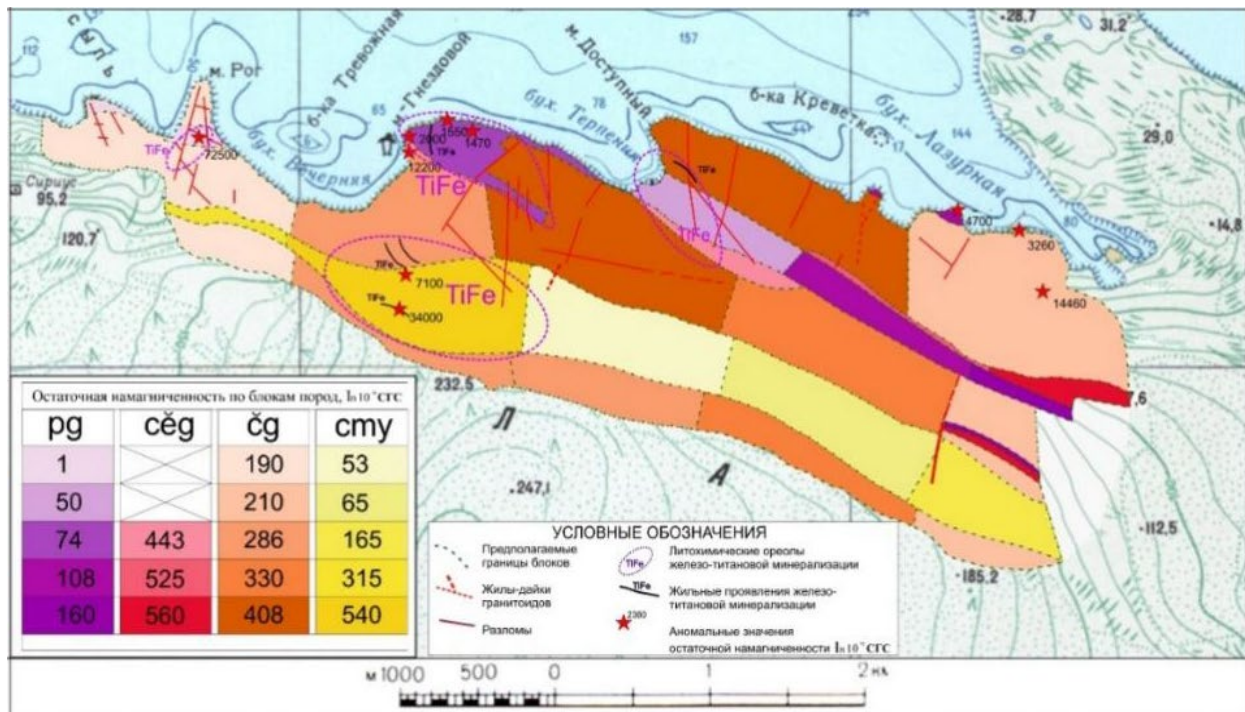


Рис. 12. Карта остаточной намагниченности ($I_n \cdot 10^{-6}$ СГС) горных пород Вечернегорской площади (составитель – С. Л. Сушкевич): Pg – архейские плагиогнейсы; Cег – эндербиты гибридные чарнокитизированные палеопротерозоя; Cг – чарнокиты (эндербо-чарнокиты) мезопротерозоя; Cmy – чарнокиты гнейсовато рапакивиподобные неопротерозоя

Fig. 12. Map of residual magnetization ($I_n \cdot 10^{-6}$ CGS) of rocks in the Vechernegorskaya area (compiled by S. L. Sushkevich): Pg – archaic plagiogneisses; Ceg – Paleoproterozoic hybrid charnockitized enderbites; Cg – Mesoproterozoic charnockites (Enderby-land charnockites); Cmy – Neoproterozoic gneissic rapakivi-like charnockites

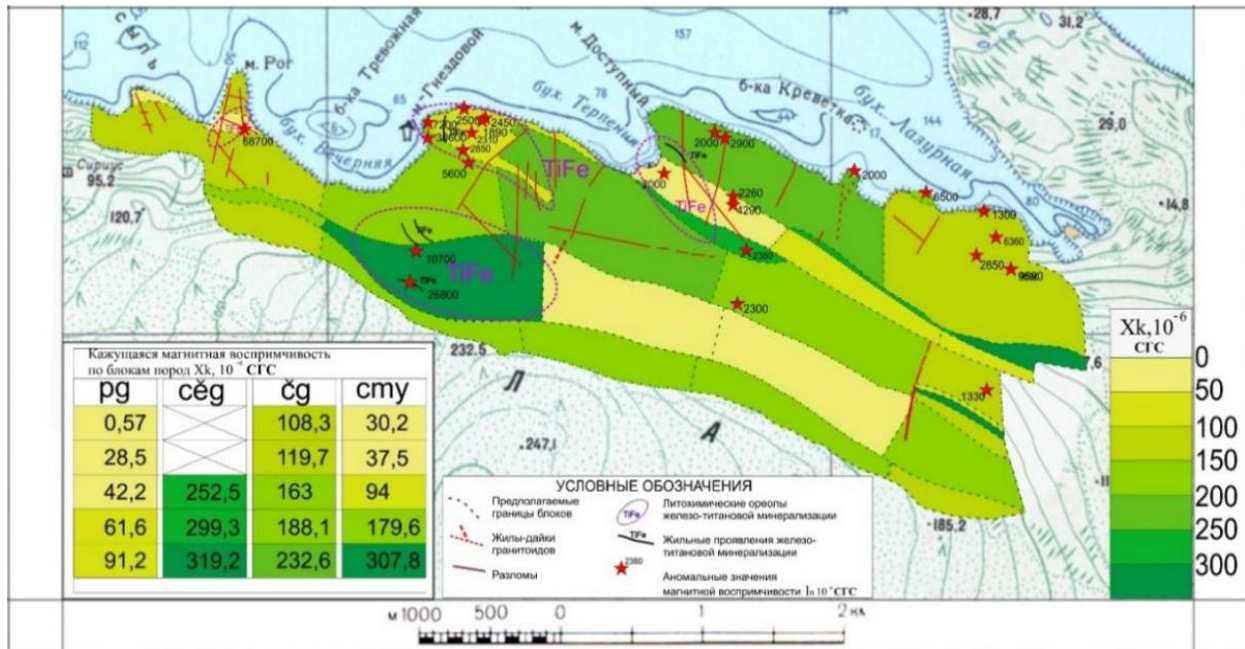


Рис. 13. Карта магнитной восприимчивости ($\chi_k \cdot 10^{-6}$ СГС) горных пород Вечернегорской площади (составитель – С. Л. Сушкевич): Pg – архейские плагиогнейсы; Ceg – эндербиты гибридные чарнокитизированные палеопротерозоя; Cg – чарнокиты (эндербо-чарнокиты) мезопротерозоя; Cmy – чарнокиты гнейсовато рапакивиподобные неопротерозоя

Fig. 13. Magnetic susceptibility map ($\chi_k \cdot 10^{-6}$ CGS) of rocks in the Vechernegorskaya area (compiled by S. L. Sushkevich): Pg – Archean plagiogneisses; Ceg – Paleoproterozoic hybrid charnockitized enderbites; Cg – Mesoproterozoic charnockites (Enderby-land charnockites); Cmy – Neoproterozoic gneissic rapakivi-like charnockites

Лабораторные исследования работ этапа анализируемого периода включают:

- лабораторный анализ шлиховых образцов пород;
- микроскопическое описание и определение минерального состава пород по шлифам;
- минералого-петрографическую характеристику образцов горных пород.

Приведем кратко результаты лабораторных исследований.

Лабораторный анализ шлиховых образцов.

Этапы промывки:

- пробуртка – удаление глинистых частиц и крупных обломков;
- промывка в лотке – разделение минералов по плотности;
- доводка – получение концентрата тяжелых минералов.

Минералогические исследования проводились под микроскопом *Zeiss Primo Star* с определением качественного и количественного состава шлихов. Основные методы: качественный анализ – идентификация минералов; количественный анализ – оценка содержания полезных компонентов.

В шлихах обнаружены магнетит, ильменит (Fe-Ti минералы); галенит, халькопирит (сульфиды); гранат, эпидот, пирротин (минералы-спутники) (рис. 14).

Результаты и картографирование. Особенности участков.

Участок I: преобладают чарнокитизированные эндербиты и плагиогнейсы; содержание магнитной фракции – 9–24 %.

Участок II: более глинистые отложения; магнитная фракция – 13–33 %.

Шлиховые карты. В результате проведенных исследований были составлены карты с отображением точек отбора проб, процентного содержания магнитной фракции и направлений сноса обломочного материала. Подобного рода карты позволяют выделить зоны с аномальным содержанием рудных минералов и установить связь с коренными источниками.

Микроскопическое описание и определение минерального состава пород по шлифам.

Проведены макро- и микроскопические исследования шлифов и дана полная минералого-петрографическая характеристика серии исследуемых образцов в филиале «Институт геологии» государственного предприятия «НПЦ по геологии» кандидатом геолого-минералогических наук М. П. Гуринович, а также научным сотрудником О. А. Пискуном. Ниже приводится выборочное описание определения минерального состава пород (рис. 15).

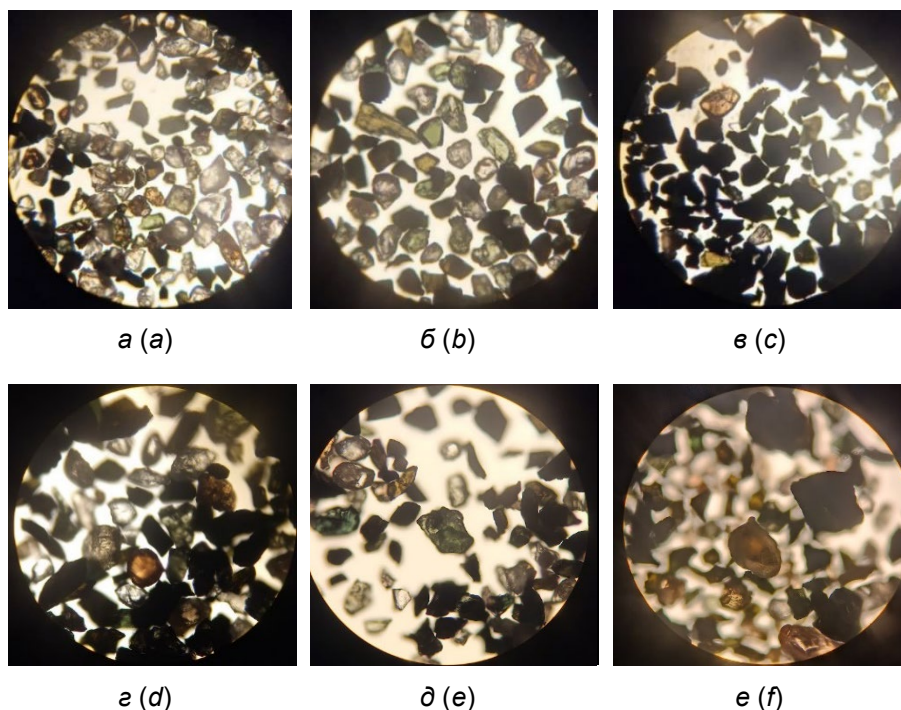


Рис. 14. Минералы шлиховых проб в бинокляре, ×10:
a – галенит, халькопирит, магнетит; б – эпидот, гранат, кварц; в – магнетит, ильменит, гранат;
г – гранат, эпидот, ильменит; д – эпидот, гранат, пирротин; е – гранат, пирротин, ильменит

Fig. 14. Heavy mineral concentrate samples under a binocular microscope, ×10 magnification:
a – galena, chalcopyrite, magnetite; b – epidote, garnet, quartz; c – magnetite, ilmenite, garnet;
d – garnet, epidote, ilmenite; e – epidote, garnet, pyrrhotite; f – garnet, pyrrhotite, ilmenite

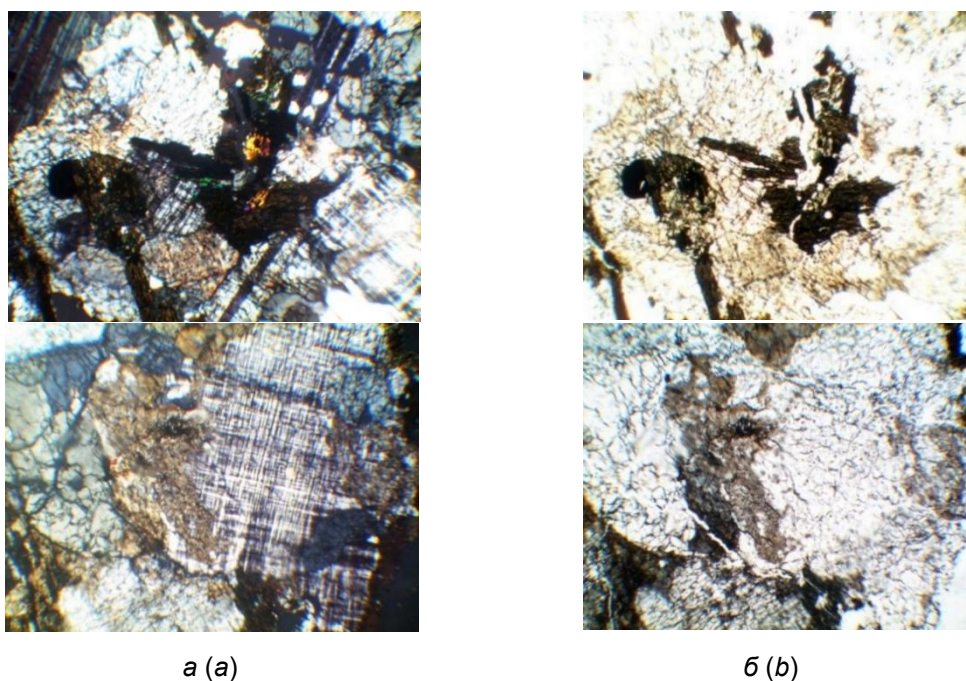


Рис. 15. Образец № 14 – гранитогнейс (мигматит): а – с анализатором; б – без анализатора.
Размер видимого поля шлифа – 3,0 мм × 2,5 мм

Fig. 15. Sample No. 14 – Granite-gneiss (migmatite): a – with analyzer; b – without analyzer.
Thin section field of view – 3.0 mm × 2.5 mm

Образец № 14.

Макроскопическое описание. Мелко- и среднезернистая порода розовато-серого цвета, которая представляет собой чередование светло- и темноокрашенных прослоев, придающих породе полосчатую текстуру. На спиле отмечается наличие порфиробластовых выделений бледно-розового калиевого полевого шпата, округлой и линзовидной формы.

Микроскопическое описание. Название породы (уточненное): гранитогнейс (мигматит). Текстура породы: полосчатая. Структура: порфиробластовая.

Минеральный состав: калиевый полевой шпат – 35–45 %; плагиоклаз – 30–35; биотит – 10–15; кварц – 15–20; рудный минерал – <1; эпидот – 1; сфен – <1; циркон – <1 %; вторичные минералы – серицит-пелитовый материал.

Калиевый полевой шпат представлен **микроклин**ом. Это образования неправильной таблитчатой формы с четким решетчатым строением, размер которых не превышает 2,0–2,5 мм (в шлифах). Микроклин сильно трещиноват и замещен вторичными минералами.

Плагиоклаз – **олигоклаз-андезин**. Формирует таблитчатые, чаще неправильные таблитчатые зерна. Размер отдельных индивидов варьирует от 0,3–0,5 до 2,0–2,5 мм. Часть зерен сильно затронуты вторичными изменениями и замещены пелитом, серицитом и эпидотом. Полисинтетические двойники наблюдаются лишь в зернах, менее затронутых изменениями.

Биотит представлен мелкими чешуйками, размер которых варьирует от 0,1–0,2 до 0,5–0,6 мм. Плеохроирует от буровато-коричневого по Nr до темно-бурого, почти черного цвета по Ng. По породе распределен неравномерно, образуя ассоциации с рудными и акцессорными минералами.

Кварц формирует трещиноватые бесформенные зерна размером от мельчайших включений до 1,5–2,0 мм. Встречен как одиночными зернами в интерстициях полевых шпатов, либо включений в них, так и довольно крупными скоплениями.

Рудный минерал представлен **магнетитом**. Формирует зерна неправильной формы размером до 0,2–0,3 мм в ассоциации с биотитом.

Эпидот представлен зернами бледно-зеленого цвета, формирующими небольшие скопления из мелких 0,1–0,2 мм комковатых зерен. Реже встречаются индивиды до 1,0 мм. Чаще наблюдается в ассоциации с биотитом, но также развивается по плагиоклазу.

Сфен встречен в виде буровато-коричневых зерен неправильной, комковатой формы размером до 0,5 мм. Выделения наблюдаются в ассоциации с биотитом и эпидотом.

Циркон присутствует в виде единичных округлых зерен, включенных в биотит размером до 0,1 мм.

По минералого-петрографической характеристике образцов устанавливается сравнительная характеристика макро- и микроописания горных пород по соответствию породного компонента. По серии образцов установлен высокий уровень первичной характеристики, составляющий до 80 % лабораторного исследования.

На всех изученных участках породы представлены преимущественно гранитогнейсами, гнигматитами и монзонитами. Характеризуются в большинстве своем однородным составом, за исключением единичных образцов [8].

Петрографическое определение пород вкупе с полученными петрофизическими характеристиками является базой для построения комплекта материалов по минерагенической составляющей горных пород.

Выводы. На протяжении полевых этапов антарктических экспедиций опробован комплекс геолого-геофизических исследований, направленный на геологическое исследование недр Вечернегорской площади. Методика работ и применяемая приборная база апробировались последовательно, затем по результатам эффективности методов принималось решение о совершенствовании применяемого метода по методике полевых работ, интерпретации результатов и результативности в выполнении основной задачи. Таким образом, можно кратко проанализировать полученные результаты и отметить результативность апробированных геолого-геофизических методов.

1. **Геомагнитная съемка** подтвердила свою результативную роль в картировании геологических структур разнотипного состава. Высокоточная детальная съемка позволяет оконтуривать геомагнитные аномалии, приуроченные к тектоническим разломам, интрузивным дайковым комплексам, на обнаженных участках суши Вечернегорской площади, районов горных массивов при экспедиционных походах Земли Эндерби, в условиях Западной Антарктики на острове Ливингстон (оазис Болгарский пляж), прибрежной части моря Космонавтов по морскому льду. В перспективе представляется целесообразным изучение геомагнитных характеристик прибрежных подледных новых участков Вечернегорской площади.

2. **Вариации геомагнитного поля** характеризуют мониторинг геомагнитного поля в условиях стационарного пункта для последующего учета вариаций геомагнитного поля с глобальными процессами, учитываемых при интерпретации маршрутной геомагнитной съемки и динамики геомагнитного поля. В дальнейшем исследования следует продолжить на базе планируемого к сооружению немагнитного павильона.

3. *Гравиметрические исследования* выполнены в ограниченном объеме на Вечернегорской площади, и в отдельных фрагментах разреза установлена взаимосвязь регистрируемого параметра с плитностной неоднородностью фундамента. Полученные данные в определенной степени согласуются с данными по магниторазведке. В перспективе использование гравиметрических исследований представляется реальным при корректировке средств и методов полевых исследований.

4. *Съемка на базе БПЛА* представляется прогрессивным методом с учетом комплексирования с наземными геофизическими методами, особенно для труднодоступных районов в антарктических условиях. Метод позволяет создать детальные ортофотопланы территории и модели поверхности выхода коренных пород, на которых представляются элементы картирования разломной тектоники. Планируется в перспективе расширение использования БПЛА с комплексированием с аппаратурой по регистрации других геофизико-геохимических параметров.

5. *Радиометрические и спектрометрические исследования.* Радиометрические исследования по гаммаактивности представляют карту распределения горных пород по общей гаммаактивности, что определяет выявление их аномальных участков для последующей детализации с идентификацией источников гамма-излучения по K-40, Ra-226, Th-232. Такая привязка по элементному составу определяет конкретные типы горных пород и их минеральную составляющую, а также тектонофизическую эволюцию.

6. *Шлиховое опробование.* Выполнены опытные исследования в пределах Вечернегорской площади, что является весьма неординарным исследованием для полярных условий. Шлиховое опробование традиционно применяется при изучении аллювиальных формаций палео- и современных речных бассейнов. Для полярного региона эти исследования могут представлять интерес как локализованный участок с ограниченным водотоком сезонного характера и закрытыми в его верховой части ледниковыми образованиями.

7. По результатам лабораторного анализа в шлихах установлены элементы магнитной фракции горных пород, что является косвенным признаком соответствующей минерагении вышезалегающих горных пород.

8. *Каппаметрические исследования* позволяют выполнять определение магнитной восприимчивости непосредственно горных пород по профильному исполнению для вещественной интерпретации геофизических аномалий. Выявление зон и участков с петрофизическими магнит-восприимчивыми элементами состава определяют реальную возможность оконтуривания рудных зон.

9. *Лабораторные исследования* образцов горных пород содержат состав, составляющие компоненты пород, их минеральный состав, петрофизические особенности для использования при интерпретации геофизических исследований и определения минерагенических особенностей.

10. Продолжение лабораторных исследований последующих этапов включает определение минерагенического компонента горной породы как элемента полезного ископаемого, связанного с эволюцией формирования слоев земной коры.

Список использованных источников

1. Мясников, О. В. Геология и петрография участка гора Вечерняя (холмы Тала) / О. В. Мясников // Научные результаты российских геолого-геофизических исследований в Антарктике. – СПб., 2011. – Вып. 3. – С. 37–59.
2. Шаблыко, П. В. Геофизические исследования в районе Горы Вечерняя, Восточная Антарктида, Земля Эндерби / П. В. Шаблыко, А. К. Хибиев, С. Л. Сушкевич // Природная среда Антарктики: экологические проблемы и охрана : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Учебный центр «Форум», Беларусь, 17–19 сент. 2018 г. – Минск, 2018. – С. 350–353.
3. Каратаев, Г. И. Аномальное магнитное поле в зоне Белорусской антарктической станции / Г. И. Каратаев, С. В. Голобоков, П. В. Шаблыко, А. К. Хибиев // Літасфера. – 2018. – № 2 (49). – С. 137–144.
4. Каратаев, Г. И. Методика построения физико-геологического разреза по комплексу геофизических полей / Г. И. Каратаев, С. В. Голобоков // Літасфера. – 2003. – № 2 (19). – С. 74–84.
5. Новиков, Г. Ф. Радиометрическая разведка : учебник для вузов / Г. Ф. Новиков. – Л. : Недра, 1989. – 418 с.
6. Бакулина, Л. П. Шлиховое опробование и анализ шлиховых проб / Л. П. Бакулина. – Ухта : УГТУ, 2014. – 126 с.
7. Тектоническое районирование фундамента Земли Эндерби (Восточная Антарктида) / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев, И. В. Данкевич, О. В. Мясников // Современное состояние наук о Земле : материалы Междунар. конф., посвящ. памяти В. Е. Хаина. – М. : Изд-во МГУ, 2011. – С. 824–829.
8. Гарецкий, Р. Г. Глубинное строение и тектоника Земли Эндерби (Восточная Антарктида) / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев // Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций : материалы 1-й Междунар. науч.-практ. конф., к. п. Нарочь, Беларусь, 26–29 мая 2014 г. – Минск : Экоперспектива, 2014. – С. 41–46.

References

1. Myasnikov O. V. *Geologiya i petrografiya uchastka gora Vechernyaya (holmy Tala)* [Geology and Petrography of the Mount Vechernyaya Area (Tala Hills)]. *Nauchnye rezultaty rossijskih geologo-geofizicheskikh issledovanij v Antarktike* [Scientific results of Russian geological and geophysical research in Antarctica], Sankt-Peterburg, 2011, iss. 3, pp. 37–59. (in Russian)
2. Shablyko P. V., Hibiev A. K., Sushkevich S. L. *Geofizicheskie issledovaniya v rajone Gory Vechernyaya, Vostochnaya Antarktida, Zemlya Enderbi* [Geophysical research in the Mount Vechernyaya Area, East Antarctica, Enderby Land]. *Prirodnaya sreda Antarktiki: ekologicheskie problemy i ohrana: Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Uchebnyj centr "Forum", Belarus', 17–19 sentyabrya 2018* [Antarctic environment: Environmental problems and conservation: Proceedings of the III International scientific and practical conference. Training Center "Forum", Belarus, September 17–19, 2018]. Minsk, 2018, pp.350–353. (in Russian)
3. Karataev G. I., Golobokov S. V., Shablyko P. V., Hibiev A. K. *Anomal'noe magnitnoe pole v zone Belorusskoj antarkticheskoy stancii* [Anomalous magnetic field in the zone of the Belarusian Antarctic station]. *Litasfera = Lithosphere*, 2018, no. 2 (49), pp. 137–144. (in Russian)
4. Karataev G. I., Golobokov S. V. *Metodika postroeniya fiziko-geologicheskogo razreza po kompleksu geofizicheskikh polej* [Methodology for constructing a physical-geological section based on a complex of geophysical fields]. *Litasfera = Lithosphere*, 2003, no. 2 (19), pp. 74–84. (in Russian)
5. Novikov G. F. *Radiometricheskaya razvedka: uchebnyk dlya vuzov* [Radiometric exploration: A textbook for universities]. Leningrad, Nedra Publ., 1989, 418 p. (in Russian)
6. Bakulina L. P. *Shlihovoe oprobovanie i analiz shlihovykh prob* [Heavy mineral sampling and analysis of heavy mineral concentrates]. Uhta, UGTU Publ., 2014, 126 p. (in Russian)
7. Gareckij R. G., Karataev G. I., Dankevich I. V., Myasnikov O. V. *Tektonicheskoe rajonirovanie fundamenta Zemli Enderbi (Vostochnaya Antarktida)* [Tectonic zoning of the Enderby Land basement (East Antarctica)]. *Sovremennoe sostoyanie nauk o Zemle. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii, posvyashchennoj pamyati V. E. Haina* [Current state of the Earth sciences. Proceedings of the International conference, dedicated to the memory of V. E. Khain]. Moscow, MGU Publ., 2011, pp. 824–829. (in Russian)
8. Gareckij R. G., Karataev G. I. *Glubinnoe stroenie i tektonika Zemli Enderbi (Vostochnaya Antarktida)* [Deep Structure and Tectonics of Enderby Land (East Antarctica)]. *Monitoring sostoyaniya prirodnoj sredy Antarktiki i obespechenie deyatelnosti nacional'nykh ekspeditsij. Materialy 1-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, k. p. Naroch'. Belarus', 26–29 maya 2014 g.* [Monitoring the state of the Antarctic natural environment and supporting national expedition activities. Proceedings of the 1st International scientific and practical conference, Naroch, Belarus, May 26–29, 2014]. Minsk, Ekoperspektiva Publ., 2014, pp. 41–46. (in Russian)

Информация об авторах

Грибик Ярослав Гаврилович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий лабораторией геотектоники и геофизики Института природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: yaroslavgribik@tut.by

Шablyко Павел Викентьевич – научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: ecktobellum@gmail.com

Козловский Николай Витальевич – младший научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: nkozlovsky2203@gmail.com

Шеметило Михаил Александрович – младший научный сотрудник Института природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: michaelstunone@gmail.com

Information about the authors

Yaroslav G. Gribik – PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor, and Head of the Laboratory of Geotectonics and Geophysics at the Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: yaroslavgribik@tut.by

Pavel V. Shablyko – Researcher at the Institute of Environmental Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: ecktobellum@gmail.com

Nikolai V Kozlovsky – Junior researcher at the Institute of Environmental Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 10, 220076, Minsk, Belarus). E-mail: nkozlovsky2203@gmail.com

Mikhail A. Shemetilo – Junior researcher at the Institute of Environmental Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 10, 220076, Minsk, Belarus). E-mail: michaelstunone@gmail.com