

УДК 551.14, 550.93, 552.163 (99)

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ И ВОЗРАСТЕ ПОДЛЕДНИКОВОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ИЗ ЗОНЫ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ (ЗЕМЛЯ ПРИНЦЕССЫ ЕЛИЗАВЕТЫ, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)

И. А. Абдрахманов^{1*}, Г. Л. Лейченков^{1,2}, С. Г. Скублов³,
П. Г. Талалай^{4,5}, Л. И. Салимгараева³, Н. Жан⁴

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И. С. Грамберга (ФГБУ «ВНИИОкеангеология») (наб. р. Мойки, 120, Санкт-Петербург, Россия, 190121), *ilnur_01_95@mail.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет (пер. Декабристов, 16, Санкт-Петербург, Россия, 199155)

³ Институт геологии и геохронологии докембрия РАН (наб. Макарова, 2, Санкт-Петербург, Россия, 199034)

⁴ Институт полярной науки и техники, Факультет строительной инженерии, Цзилиньский университет (Чанчунь, провинция Цзилинь, Китай, 130021)

⁵ Факультет инженерии и технологий, Китайский университет наук о Земле (Пекин, Китай, 100190)

В ходе 69-й Российской антарктической экспедиции (2023–2024 гг.) в северо-западной части Земли Принцессы Елизаветы выполнен совместный российско-китайский проект подледникового бурения. Бурение было направлено на расшифровку геологической природы высокоамплитудной линейной магнитной аномалии, которая проходит параллельно побережью на протяжении более 500 км от Земли Принцессы Елизаветы до Земли Мак-Робертсона, пересекая рифтовую зону ледника Ламберта. Природа этой аномалии оставалась неизвестной, в работе приводятся первые данные о возрасте и составе коренного ложа, поднятого из-под ледника толщиной 541 м. В работе также показано, что мафические гранулиты, образованные по габброидам, являются источником этой аномалии. Протолит гранулитов сформировался в островодужной обстановке на рубеже 920 млн лет назад. Порода претерпела два этапа метаморфизма в период 890–800 млн лет. Оценка параметров метаморфизма свидетельствует о стабилизации региона после коллизии Протоиндии с Протоантарктидой и окончательной сборки суперконтинента Родиния.

Ключевые слова: Восточная Антарктида; магнитная аномалия; бурение льда; коренное ложе; Родиния

Для цитирования: Абдрахманов И. А., Лейченков Г. Л., Скублов С. Г., Талалай П. Г., Салимгараева Л. И., Жан Н. Первые данные о составе и возрасте подледниковой горной породы из зоны магнитной аномалии (Земля Принцессы Елизаветы, Восточная Антарктида) // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 5. С. 44–48. doi: 10.17076/geo2186

Финансирование. Бурение выполнялось в рамках Федерального проекта «Геология. Возрождение легенды» и государственного задания Агентства «Роснедра». Исследование геохимии минералов выполнено в рамках темы НИР ИГГД РАН (№ FMUW-2022-0005).

I. A. Abdrakhmanov^{1*}, G. L. Leitchenkov^{1,2}, S. G. Skublov³, P. G. Talalay^{4,5}, L. I. Salimgaraeva³, N. Zhang⁴. FIRST DATA ON THE COMPOSITION AND AGE OF SUBGLACIAL ROCK FROM A MAGNETIC ANOMALY ZONE (PRINCESS ELIZABETH LAND, EAST ANTARCTICA)

¹ *All-Russian Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources (VNIIOkeanologia) (120 Moika River Emb., 190121 St. Petersburg, Russia), *ilnur_01_95@mail.ru*

² *Saint Petersburg State University (16 Dekabristov Lane, 199155 St. Petersburg, Russia)*

³ *Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences (2 Makarova Emb., 199034 St. Petersburg, Russia)*

⁴ *Institute of Polar Science and Engineering, College of Construction Engineering, Jilin University (130021 Changchun, Jilin Province, China)*

⁵ *School of Engineering and Technology, China University of Geosciences (100190 Beijing, China)*

During the 69th field season of the Russian Antarctic Expedition in 2023–2024, a joint Russian-Chinese subglacial drilling project was carried out in the northwestern part of the Princess Elisabeth Land. The drilling was meant to decipher the geological nature of a high-amplitude linear magnetic anomaly that runs parallel to the coast for more than 500 km from Princess Elisabeth Land to Mac. Robertson Land, crossing the rift zone of the Lambert Glacier. The nature of this anomaly has remained unknown, while this paper provides the first facts on the age and composition of the bedrock raised from beneath the 541-meter-thick glacier. The findings show that mafic granulites formed on gabbroids are the source of this anomaly. The protolith of the granulites was formed in an island-arc environment at the turn of 920 million years ago. The rock underwent two stages of metamorphism in the 890–800 Ma period. Estimates of metamorphism parameters indicate stabilization of the region after the collision of Proto-India with Proto-Antarctica and the final assembly of the Rodinia supercontinent.

Keywords: East Antarctica; magnetic anomaly; ice drilling; bedrock; Rodinia

For citation: Abdrakhmanov I. A., Leitchenkov G. L., Skublov S. G., Talalay P. G., Salimgaraeva L. I., Zhang N. First data on the composition and age of subglacial rock from a magnetic anomaly zone (Princess Elisabeth Land, East Antarctica). *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 5. P. 44–48. doi: 10.17076/geo2186

Funding. Drilling was done within the federal project “Geology. The legend revived” and state assignment to the Federal Agency for Mineral Resources (Rosnedra). Mineral geochemistry was studied within a state-ordered research theme of IPGG RAS (# FMUW-2022-0005).

Более 99 % площади Антарктиды покрыто ледяным щитом, толщина которого может достигать почти 5 км. Несмотря на семидесятилетнюю историю регулярного изучения Антарктиды, целевое опробование коренного ложа путем бурения практически не проводилось и ограничивалось только опытными работами вблизи станций [Вторая..., 1960; Witze, 2019]. В работе приводятся результаты совместного российско-китайского проекта бурения, вы-

полненного в северо-западной части Земли Принцессы Елизаветы в ходе 69-й Российской антарктической экспедиции (2023–2024 гг.).

Место бурения было выбрано на основе детальных магнитных и радиолокационных исследований, выполненных с межпрофильным расстоянием 1 км и с учетом логистических возможностей Российской антарктической экспедиции. Скважина располагалась в центре высокоамплитудной магнитной аномалии

[Geological..., 2018], которая протягивается с востока на запад более чем на 500 км, в точке с координатами 69,585591 ю. ш. 76,385165 в. д., на вершине локальной возвышенности коренного ложа [Лейченков и др., 2024]

Высота поверхности ледяного покрова в месте бурения составляет 680 м над уровнем моря. Температурные измерения свидетельствуют о том, что основание льда в месте бурения находится в мерзлом состоянии [Talalay et al., 2025]. Бурение проводилось с помощью электромеханического снаряда для льда и подстилающих пород (IBED), разработанного в Цилинском университете [Leitchenkov et al., 2024]. В результате проведения ледового бурения получено 17 см керна базального льда с мелкими обломками коренной породы и 48 см керна породы коренного ложа из-под ледника толщиной 541 м.

Согласно результатам петрографических исследований, керн коренного ложа представляет собой меланократовый ортопироксен-амфибол-биотитовый кристаллический сланец (мафический гранулит). Порода характеризуется нематогранобластовой мелко-среднезернистой структурой и сланцеватой текстурой. Ее количественный минеральный состав (об. %): Орх 20–25, Амр 15–25, Вт 5–10, Пг 35–45, Орп 5–7, Qz 3–4, Ap < 1, Carb < 1. Рудные минералы представлены пирротинном, пиритом, халькопиритом, магнетитом и ильменитом. По химическому составу порода характеризуется содержанием (мас. %): SiO₂ – 49,36; Al₂O₃ – 15,18; TiO₂ – 0,86; Fe₂O₃ – 2,11; FeO – 10,98; MnO – 0,24; MgO – 7,06; CaO – 7,62; Na₂O – 2,99; K₂O – 1,38; P₂O₅ – 0,20; ППП – 1,62; сумма – 99,58.

На диаграмме Муана и Ля Роша (Fe+Ti+Al vs Ca+Mg) для определения протолита метаморфических пород точка состава попадает в поле первичных основных пород, а на классификационной TAS-диаграмме – в поле монцогаббро. Ортопироксен представлен энстатитом с низким содержанием алюминия, $X_{En} = Mg/(Fe + Mg)$ находится в пределах 0,5–0,57, Al₂O₃ – в пределах 0,75–1,12 мас. %. Амфибол представлен ферро-чермакитом с содержанием TiO₂ 1,6–2,3 мас. %. Биотит представляет собой флогопит (Mg# = Mg/(Mg + Fe)) в пределах 0,61–0,65) с высоким содержанием TiO₂ 4,8–6,3 мас. %. Плагноклаз имеет составы андезин-лабрадора с $X_{An} = 0,41–0,53$, наблюдаются также локальные участки битовнита с $X_{An} = 0,75–0,81$ в контакте с карбонатным минералом (предположительно сидеритом) и кварцем, что указывает на позднее преобразование породы.

Для спектра распределения REE характерен «отрицательный» пологий наклон с отношением $La_N/Yb_N = 5,7$, сильнее проявленный в области LREE. Наличие заметной отрицательной Eu-аномалии ($Eu/Eu^* = 0,22$) объясняется фракционированием плагноклаза при образовании породы. На дискриминационных диаграммах Пирса (Th/Yb vs Nb/Yb) и Верма (IAB-CRB-OIB-MORB) фигуративные точки состава породы попадают в поле островодужных базальтов.

Всего было выполнено 12 геохронологических определений по 8 зернам циркона методом SHRIMP-II в институте им. Карпинского (Санкт-Петербург). Возраст кристаллизации магматического протолита для мафического гранулита составил около 920 млн лет. С использованием методов классической термобарометрии и метода изохимических диаграмм реконструированы два метаморфических события: ранний метаморфизм с возрастом ~ 890 млн лет и пиковыми параметрами 740–790 °С и 4,2–4,5 кбар; поздний метаморфизм с возрастом ~ 800 млн лет и параметрами около 650 °С и 3 кбар.

Таким образом, результаты выполненных исследований показывают, что высокоамплитудная магнитная аномалия в северо-западной части Земли Принцессы Елизаветы генерируется мафическими гранулитами, протолит которых формировался в островодужной обстановке породами габбрового состава на рубеже около 920 млн лет. В результате последующей эволюции породы претерпели два этапа метаморфизма: первый, гранулитовый, на рубеже около 890 млн лет (740–790 °С и 4,2–4,5 кбар); второй, с возрастом около 800 млн лет, протекал при параметрах амфиболитовой фации (около 650–670 °С и 3 кбар). Скорость остывания пород между метаморфическими событиями составила около 1 °С/млн лет, что свидетельствует о стабилизации региона после коллизии Протоиндии с Протоантарктидой и окончательной сборки суперконтинента Родиния.

Авторы благодарят Российскую и Китайскую антарктические экспедиции, а также руководство станций «Прогресс» и «Зонган» за логистическое обеспечение бурения. Авторы признательны АО «ПМГРЭ» за выполнение аэрогеофизической съемки, О. Л. Галанкиной (ИГГД РАН), С. Г. Симакину, Е. В. Потапову (ЯФ ФТИАН им. К. А. Валиева РАН) и коллективу Центра изотопных исследований Института Карпинского за значительную помощь при исследовании состава минералов.

Литература

Вторая континентальная экспедиция 1956–1958 гг. Общее описание / Под ред. А. Ф. Трешникова. Л.: Морской транспорт, 1960. 207 с.

Лейченко Г. Л., Талалай П. Г., Жан Н., Абдрахманов И. А., Воробьев М. А., Гон Д., Ли Ю., Ли Я., Сун Ю., Лаврентьев И. И., Екайкин А. А., Халимов Д. Р., Ли Б., Липенков В. Я. Бурение льда на Земле Принцессы Елизаветы (Восточная Антарктида) для изучения геологии коренного ложа и позднечетвертичного климата // Лед и снег. 2024. Т. 64, № 2. С. 293–298. doi: 10.31857/S2076673424020125

Geological map of MacRobertson Land, Princess Elizabeth Land, and Prydz Bay (East Antarctica) in scale 1:1 000 000 (Map Sheet and Explanatory Notes) / Eds. E. V. Mikhailsky, G. L. Leitchenkov. St. Petersburg: VNIIOkeangeologia, 2018.

Leitchenkov G. L., Talalay P. G., Zhang N., Abdrakhmanov I. A., Gong D., Liu Y., Li Y., Sun Y., Vorobyev M., Li B. First targeted geological sampling beneath the East Antarctic ice sheet: Joint Russian-Chinese drilling project // Exploration & Protection of Mineral Resources. Sp. iss. 2024. P. 75–78.

Talalay P. G., Leitchenkov G., Lipenkov V., Sun Y., Zhang N., Gong D., Liu Y., Li Y., Sun Y., Abdrakhmanov I., Vorobyev M., Khalimov D., Fan X., Salamatina A., Ekaykin A., Li B. Rare ice-base temperature measurements in Antarctica reveal a cold base in contrast with predictions // Commun. Earth Environ. 2025. Vol. 6. P. 189–195. doi: 10.1038/s43247-025-02127-1

Witze A. Chinese crew extract first rock from beneath East Antarctic ice in 60 years // Nature. 2019. Vol. 567, no. 7747. P. 13–15. doi: 10.1038/d41586-019-00659-z

References

Mikhailsky E. V., Leitchenkov G. L. (eds.). Geological map of MacRobertson Land, Princess Elizabeth Land, and Prydz Bay (East Antarctica) in scale 1:1 000 000 (Map Sheet and Explanatory Notes). St. Petersburg: VNIIOkeangeologia; 2018.

Leitchenkov G. L., Talalay P. G., Zhang N., Abdrakhmanov I. A., Gong D., Liu Y., Li Y., Sun Y., Vorobyev M., Li B. First targeted geological sampling beneath the East Antarctic ice sheet: Joint Russian-Chinese drilling project. *Exploration & Protection of Mineral Resources Journal*. 2024;Sp. iss.:75–78.

Leitchenkov G. L., Talalay P. G., Zhang N., Abdrakhmanov I. A., Vorobyov M. A., Gong D., Liu Y., Li Y., Sun Y., Lavrentiev I. I., Ekaykin A. A., Khalimov D. R., Li B., Lipenkov V. Y. Ice drilling on Princess Elizabeth Land (East Antarctica) aimed to study bedrock and Late Quaternary paleoclimate. *Led i sneg = Ice and Snow*. 2024;64(2):293–298. (In Russ.). doi: 10.31857/S2076673424020125

Talalay P. G., Leitchenkov G., Lipenkov V., Sun Y., Zhang N., Gong D., Liu Y., Li Y., Sun Y., Abdrakhmanov I., Vorobyev M., Khalimov D., Fan X., Salamatina A., Ekaykin A., Li B. Rare ice-base temperature measurements in Antarctica reveal a cold base in contrast with predictions. *Commun. Earth Environ*. 2025;6:189–195. doi: 10.1038/s43247-025-02127-1

Treshnikov A. F. (eds.). The second continental expedition in 1956–1958. General description. Leningrad: Morskoi transport; 1960. 207 p. (In Russ.)

Witze A. Chinese crew extract first rock from beneath East Antarctic ice in 60 years. *Nature*. 2019;567(7747): 13–15. doi: 10.1038/d41586-019-00659-z

Поступила в редакцию / received: 05.08.2025; принята к публикации / accepted: 18.08.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Абдрахманов Ильнур Альбертович

канд. геол.-мин. наук, ведущий инженер отдела геологии и минеральных ресурсов Антарктики

e-mail: ilnur_01_95@mail.ru

Лейченко Герман Леонидович

д-р геол.-минер. наук, зам. ген. директора, начальник отдела геологии и минеральных ресурсов Антарктики, ВНИИОкеангеология; профессор кафедры геофизики СПбГУ

e-mail: german_l@mail.ru

Скублов Сергей Геннадьевич

д-р геол.-мин. наук, главный научный сотрудник

e-mail: skublov@yandex.ru

Талалай Павел Григорьевич

д-р техн. наук, директор Института полярной науки и техники, Цзилиньский университет; профессор Китайского университета наук о Земле

e-mail: ptalalay@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Abdrakhmanov, Ilnur

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Engineer

Leitchenkov, German

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Deputy Director, Head of Department at VNIIOkeanologia; Professor at St. Petersburg State University

Skublov, Sergey

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Chief Researcher

Talalay, Pavel

Dr. Sci. (Tech.), Director of the Institute for Polar Science and Engineering in Jilin University; Professor of the CUGB

Салимгараева Ляйсан Ильшатовна
канд. геол.-мин. наук, научный сотрудник
e-mail: fluoritecaf2@mail.ru

Жан Нан
профессор
e-mail: znan@jlu.edu.cn

Salimgaraeva, Lyaisan
Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Researcher

Zhang, Nan
Professor