Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.83:552.016

DOI: 10.19110/2221-1381-2019-2-14-21

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАРУНКЕУСКОГО ЭКЛОГИТ-ГНЕЙСОВОГО КОМПЛЕКСА ПОЛЯРНОГО УРАЛА ПО ГРАВИМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

Т. А. Пономарева, А. М. Пыстин

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

taponomareva@inbox.ru, pystin@geo.komisc.ru

Проанализированы физические свойства полиметаморфических образований марункеуского эклогит-гнейсового комплекса Полярного Урала. Выявлены закономерности распределения плотности и магнитной восприимчивости пород. Дана оценка степени влияния на физические свойства метаморфических пород их первичного минералогического состава и последующих минеральных преобразований при полиметаморфизме. Выполнена качественная интерпретация материалов магнитной и гравитационной съемок. Показано, что широкий спектр магнитных свойств пород марункеуского комплекса не обнаруживает отражения в магнитном поле, что связано с нивелирующей ролью полиметаморфизма. Установлено, что более стабильной петрофизической характеристикой, меньше зависящей от метаморфических преобразований пород, является их плотность. Она в основном определяется составом протолитов. Поэтому гравиметрические данные являются определяющими для установления структуры и особенностей глубинного строения марункеуского комплекса. На основе интерпретации гравиметрических материалов показано, что толщи, обогащенные высокоплотными породами (метаперидотиты, эклогиты и апоэклогитовые амфиболиты), погружаются на север и относятся к нижней части разреза марункеуского комплекса.

Подтверждено представление о субширотном структурном плане марункеуского комплекса. Это является дополнительным аргументом в пользу отнесения рассматриваемого объекта к раннедокембрийским образованиям и его трактовки как тектонически перемещенного фрагмента нижнедокембрийского кристаллического основания, вовлеченного в структуру уралид.

Ключевые слова: Полярный Урал, марункеуский эклогит-гнейсовый комплекс, глубинное строение, петрофизическая характеристика, удельная магнитная восприимчивость, плотностные неоднородности.

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF MARUNKEU ECLOGITE-GNEISS COMPLEX IN THE POLAR URALS INFERRED FROM GRAVI-MAGNETIC DATA

T. A. Ponomareva, A. M. Pystin

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The physical properties of the polymetamorphic formations of the Marunkeu eclogite-gneiss complex in the Polar Urals were analyzed. The patterns of density distribution and magnetic susceptibility of rocks were revealed. We assessed how primary mineralogical composition of metamorphic rocks and subsequent mineral transformations during polymetamorphism influenced the physical properties of rocks. A qualitative interpretation of materials of magnetic and gravitational surveys was performed. We showed that a wide range of magnetic properties of rocks of the Marunkeu complex were not reflected in a magnetic field, which was associated with the leveling role of polymetamorphism. It was established that a more stable petrophysical characteristic, less dependent on metamorphic transformations of rocks, was their density. It was mainly determined by the composition of the protoliths. Therefore, gravimetric data were crucial for establishing the geology and characteristics of the deep structure of the Marunkeu complex. Based on the interpretation of gravimetric materials, we showed that the formations enriched with high-density rocks (metaperidotites, eclogites and apoeclitic amphibolites) sank to the north and belong to the lower formation of the Marunkeu complex. It supported an idea of the sublatitudinal structural plan of the Marunkeu complex. This was an additional argument in favor of referring the object under consideration as to early Precambrian formations and interpreting it as a tectonically displaced fragment of the Lower Precambrian crystalline base involved in the structure of rocks of Uralian orogeny.

Keywords: Polar Urals, Marunkeu eclogite-gneiss complex, deep structure, petrophysical characteristic, specific magnetic susceptibility, density inhomogeneities.

Введение

Марункеуский эклогит-гнейсовый комплекс расположен в крайней северной (полярной) части Уральской складчатой области в пределах Харбейско-Марункеуского блок-антиклинория (рис. 1). Он расположен к западу от Сыумкеуского гипербазитового массива, входящего в состав палеозойской офиолитовой ассоциации. На юге комплекс по Лонгот-Юганскому разлому глубокого заложения граничит с нижнепротерозойскими образованиями харбейского

полиметаморфического комплекса, на западе и северо-западе — с вулканогенно-осадочными отложениями верхнего докембрия. На востоке между марункеуским комплексом и Сыумкеуским массивом выделяется узкая (в несколько сотен метров) полоска относительно слабометаморфизованных пород, которая условно сопоставляется с верхнедокембрийскими вулканогенно-осадочными отложениями западного и северо-западного обрамления марункеуского комплекса.

Рис. 1. Геологическая карта Собского поперечного поднятия (Полярный Урал) (по [4] с дополнениями):

1 — архейско-нижнепротерозойские комплексы; 2 — верхнедокембрийские комплексы; 3 — вулканогенно-осадочные комплексы (E_3-P_1) Лемвинской структурно-фациальной зоны; 4 — терригенно-карбонатные комплексы (E_3-C) Елецкой структурно-фациальной зоны; 5 — осадочно-вулканогенные комплексы (O_3-S_1) Шучинской структурно-фациальной зоны; 6 — плитный комплекс (Mz); 7 — райизско-войкарский дунит-габбуритовый комплекс (O_1-2 ?); 8 — кершорский габброидный комплекс (O_3-S_1); 9 — хоймпэйский габбро-плагиогранитный комплекс (S_2); 10 — собский диорит-плагиогранитный комплекс (S_2-D_1); 11 — конгорский габбро-диоритовый комплекс (D_3-C_1); 12 — геологические границы: а — надвиговая граница Лемвинской и Елецкой структурно-фациальных зон, б — границы комплексов, свит; 13 — Главный Уральский глубинный разлом (надвиг); 14 — граница между двумя блоками марункеуского комплекса: юго-восточным «эклогитовым» и северо-западным «амфиболитовым» по [5]; 15 — другие разломы: а — надвиги и взбросы, б — крутопадающие разломы.

Прямоугольником выделен район Слюдяной горки. Цифрами в кружках обозначены полиметаморфические комплексы: 1 — марункеуский эклогит-гнейсовый, 2 — харбейский гнейсомигматитовый, 3 — малыкский гранулит-метабазитовый

Fig. 1. Geological map of Sob' transverse uplift (Polar Urals) (according to [4] with changes):

1 — Archean-Lower Proterozoic complexes; 2 — Upper Precambrian complexes; 3 — volcanic-sedimentary complexes (E_3-P_1) Lemva structural-facies zone; 4 — terrigenous-carbonate complexes (E_3-C) Elets structure-facies zone; 5 — sedimentary-volcanogenic complexes (O_3-S_1) Schuch'ya structural-facies zone; 6 — plate complex (Mz); 7 — Rayiz-Voykar dunite-harzburgite complex (O_1-2 ?); 8 — Kershgor gabbroid complex (O_3-S_1); 9 — Khoympey gabbro-plagiogranite complex (S_2); 10 — Sob' diorite-plagiogranite complex (S_2-D_1); 11 — Kongor gabbro-diorite complex (D_3-C_1); 12 — geological boundaries: a — thrust border between Lemva and Elets structural-facies zones, b — borders between complexes, suites; 13 — the Main Uralian deep fault (thrust); 14 — boundary between two blocks of the Marunkeu complex: southeastern «eclogite» and northwestern «amphibolite» according to [5]; 15 — other faults: a — thrusts and reverse faults, b — steeply dipping faults.

Rectangle highlights the area of Slyudyanyaya Gorka. Numbers in circles are polymetamorphic complexes: 1 — Marunkeu eclogite-gneiss, 2 — Harbei gneiss-migmatitic, 3 — Malyk granulite-metabasitic

В схеме последнего Уральского межведомственного стратиграфического совещания [14] комплекс пород, который мы выделяем под названием «марункеуский», обозначен в ранге свиты в составе нижнепротерозойского харбейского метаморфического комплекса. В соответствии с упомянутой схемой марункеуская свита занимает нижнее положение в разрезе комплекса и наращивается (снизу вверх): лаптаюганской (амфиболиты и гнейсы), ханмейхойской (амфиболиты, гнейсы, мраморы, кварциты) и париквасьшорской (гнейсы, кристаллические сланцы и кварциты) свитами. Однако работами Э. Н. Сычевой и др. [15], В. И. Ленных [6], А. М. Пыстина [10] и других исследователей было показано, что породы разрозненных в пространстве метаморфических толщ, в составе которых существенную роль играют метабазиты лаптаюганской и ханмейхойской свит в Харбейском блоке, с одной стороны, и марункеуской свиты в Марункеуском блоке — с другой, сформировались в разных геодинамических обстановках, палеоконтинентальных и палеоокеанических соответственно. Поэтому харбейский и марункеуский комплексы должны принадлежать разным тектоническим структурам. Подтверждением этой точки зрения являются данные Н. С. Уляшевой [3, 17], которая на основе анализа петрогеохимических особенностей метабазитов ханмейхойской свиты пришла к выводу, что их протолитами послужили базальты, сформировавшиеся в платформенных и окраинно-морских условиях, а в целом харбейский комплекс представляет собой фрагмент краевой части древней континентальной области. Петрохимическое подтверждение получил также тезис о палеоокеанической (островодужной) природе протолитов метаморфических пород марункеуского комплекса [18].

При проведении геологической съемки масштаба 1:200000 [4] в состав марункеуского комплекса (свиты, согласно авторам съемки) были включены только те толщи метаморфитов, в которых установлены находки эклогитов. Они занимают восточную и южную части Марункеуского блока (рис. 1). Залегающие в его северо-западной части амфиболиты, плагиогнейсы, гнейсы и мигматиты по ним были отнесены к ханмейхойской свите. По нашему мнению, это неверно. Отсутствие эклогитов в северо-западной части Марункеуского блока связано с более интенсивным проявлением здесь процессов диафореза (почти полным преобразованием эклогитов в амфиболиты), на что ранее указывал В. И. Ленных [6], выделяя в составе комплекса два блока: юго-восточный «эклогитовый» и северо-западный «амфиболитовый». Поэтому в нашем понимании марункеуский комплекс — это вся полоса полиметаморфических образований Марункеуского блока, прослеживающаяся к северо-северо-востоку от бассейна р. Логот-Юган до р. Бол. Шучья на расстоянии около 60 км при ширине 10–17 км.

Особенности геологического строения

В строении марункеуского комплекса участвуют эклогиты, симплектит-эклогиты и апоэклогитовые амфиболиты в ассоциации с метаультрабазитами, а также плагиогнейсы и гнейсы, слюдястые кристаллические сланцы, плагиомигматиты и К-На-мигматиты.

Наиболее хорошо комплекс обнажен в южной части хребта Марун-Кеу по руч. Марун-Шор, Няро-Шор, Нягар-Нео-Шор, а также на возвышенности Слюдяная горка. Схема геологического строения марункеуского комплекса в районе Слюдяной горки приведена на рис. 2. На рисунке видно, что эклогиты и апоэклогитовые амфиболиты залегают в виде пластообразных и линзовидных интрузий, ориентированных согласно с простиранием вмещающих их плагиогнейсов. Небольшие высоты на относительно пологой Слюдяной горке сложены метаперидотитами (выс. Перидотитовая и выс. Рыжая) и апогаббровыми массивными эклогитами (выс. Коническая и небольшие высоты за северной границей схемы на рис. 2). Судя по тому, что апогаббровые эклогиты слагают конусообразные, изометричные в плане высоты, они, скорее всего, представлены небольшими интрузиями. Габбро имеют гипидиоморфно-зернистую, келифитовую структуру. В апогаббровых эклогитах отмечаются реликты магматических структур, а также реликты исходных габброидов.

Преобладающие среди эклогитов полосчатые (гнейсовидные или сланцеватые) разности слагают пониженные участки Слюдяной горки, ее склоны и долины протекающих под горкой ручьев. Наряду с омфацитом и гранатом они содержат в своем составе кианит, роговую обманку, цоизит, слюды. Эти породы часто амфиболитизированы и обнаруживают взаимопереходы с амфиболитами.

Судя по химическому составу, протолитами полосчатых эклогитов и амфиболитов послужили умеренно- и высокоглиноземистые натриевые и калиево-натриевые базальты, андезитобазальты и андезиты нормальной щелочности. Плагиогнейсы и гнейсы образовались за счет средних и кислых магматических пород: известково-щелочных калиево-натриевых гранитов, гранодиоритов и диоритов нормального ряда. Химический состав пород, их геохимические особенности и соотношение в разрезах позволяет предполагать, что они сформировались на месте островодужных образований. Метаморфизованные плутонические породы мафит-ультрамафитового состава, представленные апогаббровыми эклогитами и метаперидотитами, представляют собой самостоятельный метаинтрузивный комплекс. Геохимические данные указывают на формирование этих пород в надсубдукционной обстановке, возможно с contaminaciónей континентального вещества, на что указывают повышенные содержания Ba, Sr и Rb [18].

Изучение метаморфизма показало, что эклогиты являются продуктами наиболее ранних эндогенных процессов преобразования пород марункеуского комплекса [9]. На высокобарические метаморфические парагенезисы накладываются более низкобарные и низкотемпературные минеральные ассоциации, и в целом смена парагенезисов в метабазитах (во времени) выглядит следующим образом: омфацит + гранат (метаморфизм эклогитовой фации) → омфацит + гранат + плагиоклаз + фенгит (высокобарическая метаморфическая дифференциация в связи с процессами плагиогранитизации и кислотного выщелачивания) → роговая обманка + гранат + плагиоклаз (диафторез амфиболитовой фации) → актинолит + хлорит + альбит (диафторез зеленосланцевой фации).

Рис. 2. Геологическое строение района Слюдяной горки. Южная часть марункеуского комплекса (по [12]):

1 — метультрабазиты; 2 — габбро, эклогитизированные габбро; 3 — эклогиты; 4 — амфиболитизированные эклогиты, апоэклогитовые амфиболиты; 5 — гранат-слюдяные гнейсы и кристаллические сланцы; 6 — кварцевые и кварц-полевошпатовые жилы; 7 — гранитизированные породы; 8 — интенсивно кианитизированные породы; 9 — разрывные нарушения: а — крутопадающие разломы, б — надвиги; 10 — элементы залегания контактов пород, полосчатости и сланцеватости; 11 — оси: а — антиклиналей, б — синклиналей

Fig. 2. Geological structure of the Slyudyanaya Gorka area. The southern part of the Marunkeu complex (according to [12])

1 — metaultramafic rocks; 2 — gabbro, eclogitized gabbro; 3 — eclogites; 4 — amphibolitised eclogites, apoeclotitic amphibolites; 5 — garnet-mica gneisses and crystalline schists; 6 — quartz and quartz-feldspar veins; 7 — granitized rocks; 8 — intense kyanitized rocks; 9 — faults: a — steeply dipping faults, b — thrusts; 10 — orientation of rocks, slaty and schistose; 11 — axes: a — anticline, b — syncline

При проведении структурных исследований установлено [12], что эклогиты участвуют в самых ранних этапах складчатости и подвержены всем последующим деформациям. Ранние складки представлены умеренно и сильно сжатыми формами. Шарниры этих складок полого погружаются на юго-восток, преимущественно по азимуту 120°. Складки второй генерации характеризуются асимметричным строением и крутопадающими шарнирами. Осевые поверхности этих складок простираются по азимуту 320—340°. Третий этап складчатости проявляется в ундуляции шарниров складок более ранних генераций и образовании сланцеватости и полосчатости северо-восточной ориентировки. То есть только поздние структурные элементы в породах этой части марункеуского

комплекса конкордантны с уральскими структурами, а более ранние резко дискордантны с ними и в целом хорошо соотносятся с северо-западным структурным планом доуралид в северной части Уральской складчатой области.

Поскольку структуры ранних генераций (северо-западной ориентировки) хорошо сохранились только на ограниченной территории хр. Марун-Кеу, примыкающей к Слюдяной горке, а их реконструкция на остальной площади распространения метаморфических образований при геолого-съемочных работах не проводилась, вопрос о корреляции и стратиграфической последовательности отдельных разрезов марункеуского комплекса остается открытым. Условно к низам разреза относятся существенно метабазитовые толщи с эклогитами и метаультрабазитами, которые распространены в юго-восточной части комплекса. А к верхней части разреза принадлежат толщи переслаивающихся амфиболитов и плагиогнейсов, которыми сложены западные и северо-западные части комплекса.

Степень геохронологического обоснования времени проявления эклогитового метаморфизма (судя по приведенным выше данным — наиболее раннего метаморфического события в марункеуском комплексе) остается невысокой. Среди имеющихся датировок преобладают значения в интервале 352—366 млн лет [19, 20], которые, скорее всего, указывают на время одного из поздних этапов метаморфического преобразования эклогитов [2], связанного, например, с их эксгумацией [12]. Максимальные значения возраста пород, определенные путем K-Ar- и Pb-Pb-датирования минералов из эклогитов, составляют 1.70; 1.56; 1.54 млрд лет [16]. Сопоставимые цифры (1.68 ± 0.07 , 1.61 ± 0.07 , 1.54 ± 0.15 , 1.54 ± 0.14 млрд лет) получены на основе Rb-Sr- и Sm-Nd-изохронных систем по породе в целом и по метаморфогенным породообразующим минералам из эклогитов [2]. Кроме того, для циркона из этих же пород получен конкордантный U-Pb-возраст, равный 1.86 млрд лет [1]. Эти данные дают основание считать, что высокобарический метаморфизм в породах марункеуского комплекса проявился в раннедокембрийское время, более чем 1.86 млрд лет назад. Приведенная датировка является верхним ограничением времени формирования протолитов полиметаморфических образований марункеуского комплекса. Вопрос о нижней возрастной границе образования протолитов пока остается открытым. Можно лишь предположительно ограничить его ранним протерозоем и таким образом признать наиболее обоснованной точку зрения о принадлежности рассматриваемого комплекса к нижнепротерозойским образованиям [14].

Методика исследований

Для установления особенностей глубинного строения марункеуского комплекса использован системный подход, который состоял из ряда последовательных, ранее отработанных приемов. На первом этапе выполнялись петрофизические исследования, в результате которых были получены данные о физических параметрах пород и выявлены корреляционные связи между физическими свойствами. Это позволи-

ло оценить степень влияния на физические свойства метаморфических пород, которыми сложен марункеуский комплекс, их первичного минералогического состава и последующих минеральных преобразований при полиметаморфизме.

Для анализа магнитного поля использовался метод аналогии при широком использовании петрофизических и геологических данных. Наше внимание прежде всего было направлено на изучение влияния магнитных свойств пород, на интенсивность магнитного поля геологических объектов, расположенных в верхнем слое земной коры (первые километры).

С помощью качественной интерпретации гравитационного поля решались следующие задачи:

— построение карт локальных аномалий, полученных в результате трансформации гравитационного поля, отражающих распределение аномалеобразующих источников на различной глубине в земной коре. В основу расчета трансформированных карт положен метод геологической редукции [7], т. е. послойного исключения аномальных составляющих из наблюдаемого гравитационного поля масштаба 1:1000000 [13].

— установление связи локальных аномалий гравитационного поля с особенностями строения марункеуского комплекса. При этом учитывались интенсивность аномалий, форма, размеры, линейная направленность и глубинное размещение их в земной коре.

Результаты и обсуждение

При анализе физических параметров пород марункеуского комплекса основное внимание уделялось плотности (σ) и удельной магнитной восприимчивости (χ). При этом наряду с вновь полученными данными использовалась выборка из многочисленных геолого-геофизических рукописных отчетов и опубликованных материалов, приведенных в нашей более ранней публикации [8].

По петрофизическим характеристикам марункеуский комплекс относится к сильно дифференцированному типу разреза [8], что хорошо коррелируется с его геологическим строением. Нижняя часть марункеуского комплекса характеризуется преимущественным распространением в ее составе эклогитов и в значительно меньшей степени амфиболитов, плагиогнейсов и мигматитов. Характерной особенностью этой части разреза является присутствие метаультрабазитов. Верхняя часть разреза представлена переслаивающимися пачками амфиболитов и плагиогнейсов, иногда с преобладанием плагиогнейсов. Эклогитовые парагенезисы в метабазитах встречаются только в реликтах, метаультрабазиты отсутствуют. Породы часто мигматизированы.

Плотностные характеристики пород комплекса следующие: метапериidotиты имеют $\sigma_{\text{ср.}} = 3.18 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, габбро — $\sigma_{\text{ср.}} = 3.07 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, эклогиты — $\sigma_{\text{ср.}} = 3.14 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, амфиболиты — $\sigma_{\text{ср.}} = 3.03 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, плагиогнейсы — $\sigma_{\text{ср.}} = 2.68 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, мигматизированные породы и мигматиты — $\sigma_{\text{ср.}} = 2.85 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.

¹ Средние плотности по метапериidotитам и габбро приводятся по материалам Комигеолфонда (отчет отв. исполнителя Е. Ю. Уколовой, 1991 г.)

Таким образом, средняя плотность пород марункеуского комплекса, учитывая, что в его составе преобладают метабазиты (эклогиты, симплектит-эклогиты и амфиболиты), превышает $3.00 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$. В то же время этот показатель резко понижается до $(2.85—2.68) \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ в тех участках, где породы подвержены процессам мигматизации или в разрезе преобладают плагиогнейсы. Дефицит плотности измененных пород составляет $0.15 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Удельная магнитная восприимчивость пород в данном комплексе варьирует в широких пределах (см. таблицу). Наиболее магнитными являются метаперидотиты, значения $\chi_{\text{уд}}$ которых варьируют в интервале от 1513 до $290 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Наиболее высокое значение удельной магнитной восприимчивости обнаруживает серпентинизированный образец метаперидотита, содержащий вкрапления новообразованного магнетита. Удельная магнитная восприимчивость основных пород изменяется от 340 до $13.43 \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. При этом интервал значений $\chi_{\text{уд}}$ неизмененных или слабоизмененных первичных магматических пород — габброидов ($(340—95) \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) перекрывается с интервалом значений $\chi_{\text{уд}}$ метаперидотитов, что является дополнительным подтверждением принадлежности этих образований к одной плутонической серии [18]. Метаморфические породы основного состава, пред-

ставленные эклогитами и амфиболитами, характеризуются относительно небольшими вариациями $\chi_{\text{уд}}$: $(28—13) \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. При этом массивные апогаббровые эклогиты отличаются от исходных габбро низкой удельной магнитной восприимчивостью ($(17—14) \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$). Несколько выше этот показатель имеют полосчатые эклогиты ($(22—17) \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$). Значения удельной магнитной восприимчивости амфиболитов ($(28—13) \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) перекрывают вариационные интервалы $\chi_{\text{уд}}$ массивных и полосчатых эклогитов. Это может быть связано с тем, что в выборке присутствуют амфиболиты, образовавшиеся как по массивным (апогаббровым), так и по полосчатым (апобазальтовым) эклогитам. Для пород кислого состава, плагиогнейсов и мигматитов характерны наиболее низкие значения $\chi_{\text{уд}}$, укладываемые в интервал $(15—6) \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Из приведенных данных, с учетом результатов ранее выполненных исследований [8] видно, что наиболее отчетливо породы марункеуского комплекса севера дифференцированы по плотности. Их плотностные свойства, очевидно, определяются в первую очередь составом протолитов. Среди пород, составляющих рассматриваемый комплекс, повышенную плотность относительно протолитов могут иметь только эклогиты, богатые гранатом — пороодообразующим ми-

Магнитные свойства пород марункеуского комплекса Magnetic features of rocks of Marunkeyusky complex

№ n/n	Номер образца Sample No.	Название пород Rocks	Удельная магнитная восприимчивость (χ) $\text{м}^3/\text{кг}$ Specific magnetic susceptibility m^3/kg
<i>Породы ультраосновного состава / Ultrabasic rocks</i>			
1	409-02	Метаперидотит / Metaperidotite	290.00×10^{-8}
2	409-01	Метаперидотит / Metaperidotite	726.00×10^{-8}
3	406-01	Метаперидотит / Metaperidotite	1513.00×10^{-8}
<i>Породы основного состава / Basic rocks</i>			
4	404-01	Габбро / Gabbro	188.32×10^{-8}
5	505-01	Габбро / Gabbro	95.45×10^{-8}
6	505-10	Габбро / Gabbro	339.66×10^{-8}
7	404-03	Массивный эклогит / Massive eclogite	13.99×10^{-8}
8	404-02	Массивный эклогит / Massive eclogite	16.42×10^{-8}
9	404-04	Массивный эклогит / Massive eclogite	17.49×10^{-8}
10	110-10	Полосчатый эклогит / Massive eclogite	21.33×10^{-8}
11	110-23	Полосчатый эклогит / Massive eclogite	17.60×10^{-8}
12	419-01	Полосчатый эклогит Massive eclogite	22.00×10^{-8}
13	414-01	Полосчатый эклогит Massive eclogite	20.40×10^{-8}
14	409-03	Амфиболит / Amphibolite	28.49×10^{-8}
15	414-02	Амфиболит / Amphibolite	13.43×10^{-8}
16	414-02	Амфиболит / Amphibolite	22.56×10^{-8}
17	414-06	Амфиболит / Amphibolite	20.00×10^{-8}
<i>Породы кислого состава / Acid rocks</i>			
18	408-01	Биотитовый плагиогнейс / Biotite plagiogneiss	8.73×10^{-8}
19	408-01	Биотит-мусковитовый плагиогнейс / Biotite-muscovite plagiogneiss	7.56×10^{-8}
20	408-02	Биотитовый плагиогнейс / Biotite plagiogneiss	10.89×10^{-8}
21	408-03	Гранат-мусковитовый гнейс / Garnet-muscovite gneiss	4.57×10^{-8}
22	408-04	Биотит-мусковитовый гнейс / Biotite-muscovite gneiss	9.10×10^{-8}
23	414-07	Мусковитовый гнейс / Muscovite gneiss	14.97×10^{-8}
24	418-01	Мигматит / Migmatite	6.56×10^{-8}

Примечание. Образцы пород из коллекции лаборатории региональной геологии ИГ Коми НЦ УрО РАН.
Note. Rock samples from the collection of the laboratory of regional geology, IG Komi SC UB RAS.

нералом, имеющим аномально высокую плотность. Наложенные локальные процессы (гранитизация, диафторез и др.) могут привести к некоторому снижению плотности пород.

Магнитная восприимчивость полиметаморфических образований является менее стабильной их характеристикой. Магнитные свойства пород при полиметаморфизме могут сильно изменяться. Так, при эклогитизации габбро удельная магнитная восприимчивость снижается на порядок. Гранитизация, как правило, также приводит к снижению магнитной восприимчивости. Процессы низкотемпературного диафтореза чаще всего сопровождаются повышением магнитной восприимчивости, особенно это характерно для ультраосновных пород. Напротив, при средне- и высокотемпературном диафторезе магнитная восприимчивость метаморфитов может практически не изменяться, что мы видим при сравнении $\chi_{уд}$ эклогитов и апоэклогитовых амфиболитов. Влияние метаморфических процессов, особенно низкотемпературных, на магнитные свойства пород находит отражение в физических полях. В целом слабомагнитные метаморфические породы (эклогиты, амфиболиты, плагитогнейсы, мигматиты) создают над марункеуским комплексом отрицательное магнитное поле. Магнитная аномалия, вытянутая в плане в северо-северо-восточном направлении, имеет интенсивность до минус 400 нТл [4, 5]. Основной вклад в северо-северо-восточную ориентировку магнитных аномалий вносят

зоны низкотемпературных диафторитов, образование которых связано с процессами формирования уралитов. На восточной границе этой аномалии слабомагнитные породы марункеуского комплекса резко контрастируют с сильномагнитными породами гипербазитового массива Сыум-Кей, создавая магнитные аномалии интенсивностью свыше 2000 нТл [4, 5].

На карте аномалий гравитационного поля (рис. 3, а) марункеуский комплекс расположен на западной периферии так называемого Уральского супермаксимума интенсивностью свыше 100 мГал, наличие которого обусловлено в основном базит-гипербазитовыми массивами уральской офиолитовой ассоциации, обнажающимися в зоне Главного Уральского разлома. Марункеуский комплекс расположен в области пониженного (относительно супермаксимума) гравитационного поля, характеризующегося наличием локальных аномалий. Фрагмент рисунка приведен на врезке, демонстрирующей наличие локального максимума широтной ориентировки. Конфигурация этого максимума подтверждает геологические данные о субширотном структурном плане марункеуского комплекса, а его пространственное положение — об ошибочности отнесения метаморфических толщ западной части Марункеуского блока к ханмейхойской свите. Центральная часть этого максимума интенсивностью 70 мГал, несомненно, связана с высокоплотными породами, которые на данной широте доминируют в разрезе рассматриваемого ком-

Рис. 3. Отображение марункеуского эклогит-гнейсового комплекса в гравитационном поле:

а — карта аномального гравитационного поля (отдельно выделен фрагмент положительной аномалии над марункеуским комплексом) [13]; б — карта локальных аномалий средней коры. 1—2 — аномалии: 1 — положительные; 2 — отрицательные; 3 — границы марункеуского комплекса; 4 — линия «пережима» изоаномал

Fig. 3. Representation of Marunkeu eclogite-gneiss complex in the gravitational field:

A — map of the anomalous gravitational field (fragment of positive anomaly over the Marunkeu complex is shown separately) [13]; б — map of local anomalies of the middle crust. 1—2 — anomalies: 1 — positive; 2 — negative; 3 — the boundaries of the Marunkeu complex; 4 — position of «pinch» of contour lines

плекса. На поверхности вещественный ансамбль наиболее высокоплотных пород (метапериidotиты, эклогиты и апоэклогитовые амфиболиты) обнажен в южной части Марункеуского блока, примыкающего к Слюдяной горке. Из этого можно сделать предположение, что толщи, обогащенные высокоплотными породами, погружаются на север и относятся к низам разреза марункеуского комплекса. Этот тезис находит подтверждение при построении карты, отражающей распределение аномалеобразующих источников на уровне средней коры (рис. 3, б): высокоинтенсивные аномалии в контурах марункеуского комплекса тяготеют к ее южной половине и отсутствуют в северной части, где в разрезе существенная роль принадлежит кислым породам — плагиогнейсам, гнейсам — и продуктам их мигматизации.

Выводы

Широкий спектр магнитных свойств пород марункеуского комплекса не обнаруживает отражения в магнитном поле, что связано с нивелирующей ролью полиметаморфизма. Метаморфизм пород в целом привел к снижению их удельной магнитной восприимчивости, поэтому над марункеуским комплексом наблюдается отрицательное аномальное магнитное поле. Северо-северо-восточная ориентировка магнитных аномалий определяется наличием относительно высокомагнитных пород в зонах низкотемпературных диафторитов, образование которых связано с процессами формирования уралитов.

Более стабильной петрофизической характеристикой, меньше зависящей от метаморфических преобразований пород, является их плотность. Она в основном определяется составом протолитов. Среди пород, составляющих рассматриваемый комплекс, повышенную плотность относительно протолитов могут иметь только эклогиты. К некоторому снижению плотности пород могут привести наложенные локальные процессы, такие как гранитизация и диафторез.

Гравиметрические данные являются определяющими для установления структуры и особенностей глубинного строения. На основе интерпретации гравиметрических материалов показано, что толщи марункеуского комплекса, обогащенные высокоплотными породами (метапериidotиты, эклогиты и апоэклогитовые амфиболиты), погружаются на север и относятся к низам разреза марункеуского комплекса. Подтверждено представление о субширотном структурном плане марункеуского комплекса, что является дополнительным аргументом в пользу отнесения этого объекта к раннедокембрийским образованиям [12] и его трактовки как тектонически перемещенного фрагмента нижнедокембрийского кристаллического основания, вовлеченного в структуру уралитов.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 15-18-5-17.

Литература

1. Андреев В. Л., Родионов Н. В., Ронкин Ю. Л. U-Pb и Sm-Nd-датирование эклогитов Марункеуского блока Полярного Урала: новые данные // Метаморфизм, космические, экспериментальные и общие проблемы петрологии: Материалы Международного (X Всероссийского) петрографического совещания. Том 4. Апатиты: Изд-во Кол. НЦ РАН, 2005. С. 17—19.
2. Андреев В. Л., Ронкин Ю. Л., Серов П. А. и др. Новые данные о докембрийском возрасте эклогитов Марун-Кеу (Полярный Урал) // Докл. РАН. 2007. Т. 413. № 4. С. 503—506.
3. Глубинное строение Тимано-Североуральского региона / Отв. редактор А. М. Пыстин. Сыктывкар: Геопринт, 2011. 261 с.
4. Душин В. А., Сердюкова О. П., Малюгин А. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Листы Q—42-I, II. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 340 с.
5. Карта аномально магнитного поля (ΔT)_a России и прилегающих акваторий. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004 г.
6. Ленных В. И. Доуралиды зоны сочленения Восточно-Европейской платформы и Урала // Метаморфизм и тектоника западных зон Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. С. 21—42.
7. Маловичко А. К., Татунина О. Л. использование высших производных при обработке и интерпретации результатов геофизических наблюдений. М.: Недра, 1981. 186 с.
8. Пономарева Т. А., Пыстин А. М. Петрофизическая характеристика пород полиметаморфических комплексов севера Урала // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 2. С. 68—74.
9. Пономарева Т. А. Петрофизическая зональность в структурно-вещественных комплексах севера Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2017. № 1. С. 8—15.
10. Пыстин А. М. Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. СПб.: Наука, 1994. 208 с.
11. Пыстина Ю. И., Пыстин А. М. Цирконовая летопись Уральского докембрия // Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 168 с.
12. Пыстин А. М., Пыстина Ю. И., Потапов И. Л., Панфилов А. В. Раннедокембрийская история метаморфизма пород гранулитовых и эклогитовых комплексов палеоконтинентальной зоны Урала. Сыктывкар: Геопринт, 2012. 46 с.
13. Сводная гравиметрическая карта Северного, Приполярного и Полярного Урала в редукции Буге с $\sigma = 2.67$ г/см³ масштаба 1:200000 (второе поколение). Свердловск: УГУ, 1974.
14. Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: Уралгеолком, 1993.
15. Сычева Э. Н., Макаров А. Б., Душин В. А. Формационный анализ глубокометаморфизованных горных пород на примере Харьейской серии Полярного Урала // Метаморфические комплексы Урала. Свердловск, 1982. С. 15—17.
16. Удовкина Н. Г. Эклогиты СССР. М.: Наука, 1985. 286 с.
17. Уляшева Н. С. Метабазиты харьейского комплекса (Полярный Урал). Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2012. 99 с.
18. Уляшева Н. С., Пыстин А. М., Панфилов А. В., Потапов И. Л. Две серии первично-магматических пород в марункеуском эклогит-гнейсовом комплексе (Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 11. С. 3—12.
19. Шацкий В. С., Симонов В. А., Ягоуц Э. и др. Новые данные о возрасте эклогитов Полярного Урала // Докл. РАН. 2000. Т. 371. № 4. С. 519—523.
20. Glodny J., Austreim H., Molina J. F. et al. Protolith ages of eclogites, Marun-Keu Complex, Polar Urals, Russia: implications

tions for the pre- and early Uralian evolution of the northeastern European continental margin // Geological Society of London Memoir. 2004. P. 87–105.

References

1. Andreichev V. L., Rodionov N. V., Ronkin Yu. L. *U-Pb and Sm-Nd datirovanie eklogitov Marunkeuskogo bloka Polyarnogo Urala: novye dannye* (U-Pb and Sm-Nd dating of eclogites of the Marunke block of the Polar Urals: new data). Metamorphism, cosmic, experimental and general problems of petrology. Materials of the International (X All-Russian) petrographic meeting, V. 4, Apatity. Kolsky SC RAS, 2005, pp. 17–19.
2. Andreichev V. L., Ronkin Yu. L., Serov P. A. et al. *Novye dannye o dokembriyskom vozraste eklogitov Marunkeu (Polyarny Ural)* (New data on the Precambrian age of the eclogites of Marunkeu (Polar Urals). Doklady Earth Sciences, 2007, V. 413, No. 4, pp. 503–506.
3. *Glubinnoe stroenie Timano-Severoural'skogo regiona* (The deep structure of the Timan-North-Uralian region. A. M. Pystin (Ed.). Syktyvkar: Geoprint, 2011, 261 p.
4. Dushin V. A., Serdyukova O. P., Malyugin A. A. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoj Federacii masshtaba 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Ural'skaya. Listy Q-42-I, II. Ob'yasnitel'naya zapiska*. (State geological map of Russian Federation, scale 1:200000. Second edition. Series Polar Ural. Sheets Q-42-I, II. Explanatory note.) St. Petersburg: VSEGEI, 2007, 340p.
5. *Karta anomal'nogo magnitnogo polya rossii i prilegayushikh akvatory* (Map of anomalous magnetic field of Russia and adjacent territories). St. Petersburg: VSEGEI, 2004.
6. Lennyh V. I. *Douralidy zony sochleneniya Vostochno-Evropejskoj platform i Urala* (Rocks of Pre-Uralian orogeny of the zone of articulation of the Eastern European platform and Urals). Metamorfizm i tektonika zapadnyh zon Urala. Sverdlovsk. USC AS USSR, 1984, pp. 21–42.
7. Malovichko A. K., Tarunina O. L. *Ispolzovanie vysshih proizvodnyh pri obrabotke i interpretacii rezul'tatov geofizicheskikh nabljudeniy* (The use of the higher derivatives in processing and interpreting the results of geophysical observations). Moscow: Nedra, 1981, pp. 186.
8. Ponomareva T. A., Pystin A. M. *Petrofizicheskaya harakteristika porod polimetamorficheskikh kompleksov severa Urala* (Petrophysical characteristics of rocks of the polymetamorphic complexes in the north of the Urals). Proceedings of the Komi Science Centre UB RAS, 2014, No 2 (18), pp. 68–74.
9. Ponomareva T. A. *Petrofizicheskaya zonal'nost' v strukturno-veshchestvennykh kompleksah severa Urala* (Petrophysical zonation in structural-material complexes in the North of the Urals). Vestnik IG Komi SCUB RAS, 2017, V. 1, pp. 8–15.
10. Pystin A. M. *Polimetamorficheskie komplekсы zapadnogo sklona Urala* (Polymetamorphic complexes in the western slope of the Urals). St. Petersburg: Nauka, 1994, pp. 208.
11. Pystina Yu. I., Pystin A. M. *Tsirkonovaya leto-pis' Ural'skogo dokembriya* (Zircon record of the Uralian Precambrian). Ekaterinburg, UB RAS, 2002, 168 p.
12. Pystin A. M., Pystina Yu. I., Potapov I. L., Panfilov A. V. *Rannedokembrijskaya istoriya metamorfizma porod granulitovyh i ehklogitovyh kompleksov paleokontinental'noj zony Urala* (Early Precambrian history of metamorphism of rocks of granulite and eclogite complexes of paleocontinent zone of the Urals) Syktyvkar: Geoprint, 2012, 46 p.
13. *Svodnaya gravimetricheskaya karta v redukcii Buge s $\sigma = 2.67 \text{ g/sm}^3$ masshtaba 1:200000 (vtoroe pokolenie)* (Consolidated gravimetric map in Bougue reduction with $\sigma = 2.67 \text{ g/cm}^3$ of scale 1:200000 (second generation)). Sverdlovsk: USU, 1974.
14. *Stratigraficheski eshemy Urala (dokembrij, paleozoij). Objasnitel'naya zapiska* (Stratigraphic charts of the Urals (Precambrian, Paleozoic). Explanatory note. Materials and decisions of the 4th Urals interdepartmental stratigraphic meeting. Ekaterinburg, 1993, 152 p.
15. Sycheva Eh. N., Makarov A. B., Dushin V. A. *Formacionnyj analiz gluboko metamorfizovannyh gornyh porod na primere Harbejskoj serii Polyarnogo Urala* (Formation analysis of deeply metamorphized rocks on the example of the Harborean series of the Polar Urals. Metamorphic complexes of the Urals). Sverdlovsk, 1982, pp. 15–17.
16. Udovkina N. G. *Eklogity SSSR* (Eclogites of the USSR). Moscow: Nauka, 1985, 286 p.
17. Ulyasheva N. S. *Metabazity harbejskogo kompleksa (Polyarnyj Ural)* (Meta-mafic rocks of Harbei complex (Polar Urals)). Syktyvkar. Komi SC UB RAS, 2012, 99 p.
18. Ulyasheva N. S., Pystin A. M., Panfilov A. V., Potapov I. L. *Dve serii pervichno-magmaticeskikh porod v marunkeuskom ehklogit-gnejsovom komplekse (Polyarnyj Ural)* (Two series of primary igneous rocks in Marunkeu eclogite-gneiss complex (Polar Urals)). Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2015, V. 11, pp. 3–12.
19. Shatskiy V. S., Simonov V. A., Yagouts E. et al. *Novye dannye o vozraste ehklogitov Polyarnogo Urala* (New data on the age of eclogites of the Polar Urals). Doklady Earth Sciences, 2000, V. 3 (71), Issue 4, pp. 519–523.
20. Glodny J., Austreim H., Molina J. F. et al. Protolith ages of eclogites, Marun-Keu Complex, Polar Urals, Russia: implications for the pre- and early Uralian evolution of the northeastern European continental margin. Geological Society of London Memoir, 2004, pp. 87–105.