

Парагнейсы няртинского метаморфического комплекса и маньхобеинской свиты (Приполярный Урал): метаморфизм, минеральные и структурные особенности

К. С. Попвасев, И. Л. Потапов

Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина
Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук,
г. Сыктывкар

kspopvasev@geo.komisc.ru
ilpotapov@geo.komisc.ru

Аннотация

Приведены минеральные и структурные особенности парагнейсов няртинского комплекса и маньхобеинской свиты. Рассчитаны PT-параметры минеральных равновесий второго и третьего этапов метаморфизма с использованием компьютерных программ методами классической и мультиравновесной термобарометрии. В совокупности с микроструктурными особенностями подтверждено проявление в рассматриваемых породах трех самостоятельных тектоно-метаморфических этапов: первый устанавливается по распространению тесно сжатых и изоклинальных складок в парагенезисе со сланцеватостью первой генерации и реликтовым минералам, отсутствующим в вышележащих (верхнерифейских) отложениях. Второй этап – прогрессивный метаморфизм уровня эпидот-амфиболитовой фации (пик метаморфизма $T=606-527$ °C, $P=8.8-7.9$ кбар), сопровождающийся распространением асимметричных подобных складок в парагенезисе с кливажем-сланцеватостью. Третий этап (диафторез) проявлен в парагнейсах развитием вторичных изменений. Температурный диапазон кристаллизации хлоритов соответствует уровню фации зеленых сланцев ($T=285-232$ °C).

Ключевые слова:

Приполярный Урал, метаморфизм, парагнейсы, PT-условия, складки

Введение

Докембрийский разрез, включающий няртинский метаморфический комплекс, маньхобеинскую, шокурьюнскую, пуйвинскую, хобеинскую, мороинскую, саблегорскую свиты, обнажается в северной части Ляпинского антиклинория (Хобеизская антиклиналь) на Приполярном Урале и считается стратотипическим для Тимано-Североуральского региона (рис. 1). Систематические исследова-

Paragneisses of the Nyartinskiy metamorphic complex and the Mankhobeinskaya suite (Subpolar Urals): metamorphism, mineral and structural properties

K. S. Popvasev, I. L. Potapov

Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin,
Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar

kspopvasev@geo.komisc.ru
ilpotapov@geo.komisc.ru

Abstract

The paper discusses mineral and structural properties of paragneisses of the Nyartinskiy complex and the Mankhobeinskaya suite. The PT-parameters of mineral equilibria of the second and third metamorphism stages have been estimated using the computer programs by the classical and multi-equilibrium mineral thermobarometry methods. By the microstructural parameters, the study rocks undergo three independent tectonic-metamorphic stages. The first stage is acknowledged by the presence of strongly compact and isoclinal folds in the paragenesis with first-generation foliation and by relict minerals that are absent in the overlying (Upper Rhiphaean) sediments. The second stage corresponds to the progressive metamorphism with principles of the epidote-amphibolite facies (metamorphism peak $T=606-527$ °C, $P=8.8-7.9$ kbar) and is accompanied by the development of asymmetric similar folds in the paragenesis with cleavage foliation. The third metamorphism stage (diaphoresis) in paragneisses means the development of secondary changes. The calculated crystallization temperatures of chlorites correspond to the facies of green shales ($T=285-232$ °C).

Keywords:

Subpolar Urals, metamorphism, paragneisses, PT-conditions, folds

ния вещественного состава пород Приполярного Урала, включая литолого-геохимические, петрологические, минералогические, минерагенические и возрастные аспекты, были начаты в 30-е годы. прошлого столетия. За это время неоднократно уточнялись состав, распространение и возраст стратифицированных и магматических образований, решались вопросы, связанные с метаморфизмом

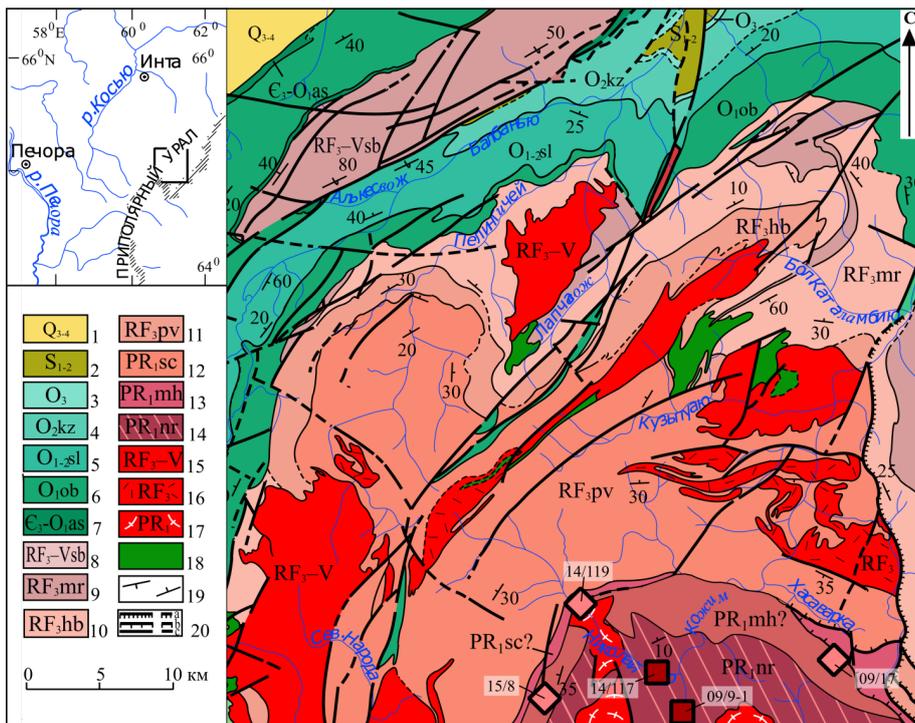


Рисунок 1. Геологическая карта и стратиграфическая схема докембрийских образований северной части Приполярного Урала [1].

Условные обозначения: 1 – верхнечетвертичные-современные отложения (Q_{3-4}), 2 – силурийские отложения (S_{1-2}), 3 – верхнеордовиковские отложения (O_3), 4 – кожимская свита (O_2), 5 – саледская свита (O_1), 6 – обеизская свита (O_1), 7 – алькесвожская толща (E_3-O_1), 8 – саблегорская свита (RF_3-V), 9 – мороинская свита (RF_3), 10 – хобеинская свита (RF_3), 11 – пуйвинская свита (RF_3), 12 – шокуринская свита (PR_1), 13 – маньхобеинская свита (PR_1), 14 – няртинский комплекс (PR_1), 15–17 – гранитоидные комплексы: 15 – сальнеро-маньхамбовский (RF_3-V), 16 – кожимский (RF_3), 17 – николайшорский (PR_1), 18 – хаталамбинский габбро-долеритовый комплекс (RF_3-V), 19 – элементы залегания плоскостных структур (слоистости, полосчатости, сланцеватости), 20 – тектонические границы: а – шарьяжи и надвиги, б – вбросы и сбросы, с – крутопадающие дизъюнктивы.

Figure 1. Geological map and stratigraphic scheme of the Precambrian formations of the northern part of the Subpolar Urals [1].

Keys: 1 – Upper-Quaternary-modern sediments (Q_{3-4}), 2 – Silurian sediments (S_{1-2}), 3 – Upper Ordovician sediments (O_3), 4 – Kozhim suite (O_2), 5 – Saledy suite (O_1), 6 – Obeiz suite (O_1), 7 – Alkesvozh Formation (E_3-O_1), 8 – Sablegorsk formation (RF_3-V), 9 – Mroinskaya suite (RF_3), 10 – Khobeinskaya suite (RF_3), 11 – Puiinskaya suite (RF_3), 12 – Shchokuryinskaya suite (PR_1), 13 – Mankhobeinskaya suite (PR_1), 14 – Nyartinskiy complex (PR_1), 15–17 – granitoid complexes: 15 – Salnero-Mankhambovskiy (RF_3-V), 16 – Kozhim (RF_3), 17 – Nikolaishorskii (PR_1), 18 – Khatalambinskiy gabbro-dolerite complex (RF_3-V), 19 – attitude of planar structures (foliation, banding, cleavage), 20 – tectonic boundaries: a – shariages and thrust faults, b – hade faults, c – steeply dipping disjunctives.

и тектоникой района. На сегодняшний день некоторые вопросы, в том числе касающиеся метаморфизма и возраста отдельных стратифицированных подразделений, остаются спорными. Особо дискуссионным является вопрос о выделении/невыведении метаморфических образований маньхобеинской свиты и масштабах ее распространения в верховья р. Кожим. В последнее десятилетие появляется все больше данных, что породная ассоциация, известная как маньхобеинская свита, не имеет самостоятельного стратиграфического значения и выделена в ранге свиты ошибочно на месте зон развития ретроградного метаморфизма по породам няртинского комплекса [2–5].

Существующие представления о метаморфизме пород позволяют выделить две точки зрения. Согласно одной из них [6, 7] уровень метаморфизма в ядре Ляпинского антиклинория соответствовал амфиболитовой (гранулитовой?) фации (первый этап). Метаморфические преобразования второго этапа привели к прогрессив-

ному изменению верхнедокембрийских толщ и диафорезу более древних образований. Стретьим этапом связаны зеленосланцевое изменение палеозойских отложений и локально проявленный диафорез подстилающих толщ. По другой точке зрения в рассматриваемом районе выделяется зональный метаморфический комплекс, получивший название Верхнекожимский. Уровень метаморфизма не превышает эпидот-амфиболитовой фации и снижается к периферии Ляпинского антиклинория до уровня зеленосланцевой фации, с наложением более позднего зеленосланцевого диафореза [8].

Цель работы – сравнение минеральных и структурных особенностей, метаморфизма парагенезисов, которые являются наиболее распространенными породами в няртинском комплексе и встречаются в виде реликтов среди низкотемпературных метаморфических пород (преимущественно слюдяных сланцев) в маньхобеинской свите, и на основе этих исследований получение дополнительных данных для решения вопроса о правомерности выделения маньхобеинской свиты в качестве самостоятельного стратиграфического подразделения.

Материалы и методы

Пробы для исследования отобраны в ходе полевых работ из естественных обнажений на ручьях Николай-шор, Кожым-Вож, Хасаварка и верховьях р. Кожим.

Минеральный состав и структурно-текстурные особенности пород изучали в шлифах на поляризационном микроскопе Биоптик-400. Содержание породообразующих окислов определено традиционным 14-компонентным весовым химическим методом в лаборатории химии минерального сырья. Химические составы и фотографии минералов получены с помощью сканирующих электронных микроскопов JSM-6400 с энергетическим спектрометром Link и Tescan Vega 3 LMH с энергодисперсионной приставкой Instruments X-Max 50 mm2 Oxford instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, размеры пучка – 180 нм, области возбуждения – до 5 мкм, с использованием программного обеспечения Aztec. Все аналитические исследова-

дования проведены в ЦКП «Геонаука» Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН. Для вычисления давления и температуры минеральных равновесий применялась программа RTQuick, написанная Д. В. Доливо-Добровольским. Проверка пиковых РТ-условий метаморфизма выполнена методом мультиравновесной термобарометрии в программе TWQ [9] с использованием базы данных [10, 11].

Замеры структурных (плоскостных и линейных) элементов произведены авторами при полевых исследованиях. Обработка замеров проведена с использованием программы Stereonet 11.

Петрографическая характеристика парагнейсов и химический состав главных минералов

Известно, что субстратом для двуслюдяных гнейсов и сланцев няртинского комплекса являлись полимиктовые алевролиты, граувакковые и аркозовые песчаники. В свою очередь исходным материалом для алевролитов и песчаников послужили как магматические породы основного и кислого составов, так и рециклированные осадочные отложения [12, 13]. Породы изменены метасоматическими процессами: окварцеванием, эпидотизацией, мусковитизацией, плагио- и калиевой фельдшпатизацией [12].

Для установления протолита рассматриваемых в работе образцов двуслюдяных гнейсов няртинского комплекса применена диаграмма А. А. Предовского [14] в координатах А-F (рис. 2). На эту же диаграмму вынесены составы гранатсодержащих двуслюдяных гнейсов маньхобеинской свиты, которые устанавливаются в виде реликтовых прослоев среди слюдяных альбит-кварцевых сланцев на ручьях Хасаварка (обр. 14/17), Кожим-Вож (обр. 15/8) и Николай-Шор (обр. 14/119). Результаты анализов данных пород приведены в табл. 1.

Анализ диаграммы позволяет установить, что три фигуративные точки составов гнейсов попадают в поля псаммитов (зернистых осадочных пород субграувакк), две точки составов – в поле пелитов (глин).

Макроскопически образцы гранатсодержащих двуслюдяных гнейсов представлены мелко- и среднезернистыми зеленовато-серыми, светло-серыми породами с отчетливой параллельно-сланцеватой текстурой. Часто в породах наблюдается метаморфическая полосчатость, выраженная наличием кварц-полевошпатовых прослоев и линз.

На микроуровне в породах устанавливаются гетеробластовая, порфиробластовая, лепидогранобластовая структуры и полосчато-сланцеватая текстура. Основная ткань пород имеет гранобластовую структуру и представлена кварцем и плагиоклазом на 40–60 %. Иногда плагиоклаз образует крупные порфиновые вкрапленники, сложенные нацело альбитом.

В составе гранатсодержащих двуслюдяных гнейсов (рис. 3) выделяются следующие минералы: кварц (30–50 %), плагиоклаз (20–40), биотит (10–20), мусковит (10–30),

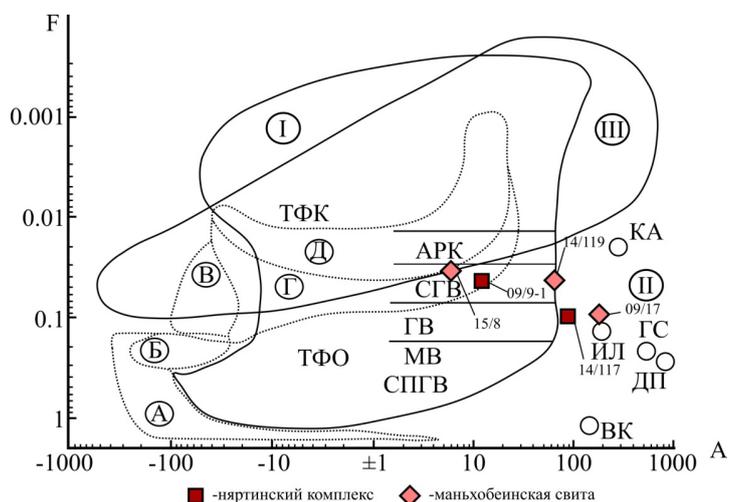


Рисунок 2. Диаграмма в координатах А-F А. А. Предовского [14]. Условные обозначения (здесь и рис. 4): поля осадочных и вулканогенно-осадочных пород (границы – сплошные линии): I – обломочных осадочных и смешанных (АРК – аркозы, СГВ – субграувакки, ГВ – граувакки, МВ – мелановакки, ТФК – туфы с кислым и средним материалом, ТФО – туфы с основным и ультраосновным материалом, СПГВ – смешанные продукты глубокого выветривания основных и ультраосновных пород), II – пелитов (КА – каолинит, ИЛ – гидрослюда, ГС – гиббсит, ДП – диаспор, ВК – вермикулит), III – хемогенных силицитов. Поля изверженных пород (границы – точечный пунктир): А – ультраосновных, Б – основных, В – щелочных, Г – средних и умеренно кислых, Д – кислых.

Figure 2. Diagram in A-F coordinates of A. A. Predovskiy [14]. Keys (here and in Figure 4): fields of sedimentary and volcanic-sedimentary rocks (boundaries – solid lines): I – clastic sedimentary and mixed rocks (АРК – arkoses, СГВ – subgrauvacies, ГВ – grauvacies, МВ – melanovacies, ТФК – tufts with acidic and medium material, ТФО – tufts with basic and ultrabasic material, СПГВ – mixed products of deep weathering of basic and ultrabasic rocks), II – pelites (КА – kaolinite, ИЛ – hydromica, ГС – gibbsite, ДП – diaspora, ВК – vermiculite), III – chemogenic silicites. Fields of eruptive rocks (boundaries – dotted line): А – ultrabasic, Б – basic, В – alkaline, Г – medium and moderately acidic, Д – acidic.

Таблица 1
Результаты химических анализов парагнейсов
няртинского комплекса и маньхобеинской свиты, мас. %

Table 1
Results of chemical analyses of paragneisses
of the Nyartinskii complex and the Mankhobeinskaya suite

| № пробы/ компонент | Няртинский комплекс | | Маньхобеинская свита | | |
|--------------------------------|---------------------|---------|----------------------|--------|-------|
| | 09/9-1 | 117 | 09/17 | 14/119 | 15/8 |
| SiO ₂ | 69.29 | 56.91 | 58.36 | 64.2 | 58.12 |
| TiO ₂ | 0.52 | 0.94 | 1.00 | 0.96 | 1.16 |
| Al ₂ O ₃ | 13.90 | 20.55 | 20.60 | 15.93 | 17.93 |
| FeO | 2.82 | 5.99 | 5.75 | 5.49 | 3.79 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.55 | 1.22 | 1.91 | 1.65 | 3.39 |
| MnO | 0.09 | 0.18 | 0.15 | 0.08 | 0.21 |
| MgO | 1.01 | 2.45 | 2.33 | 2.23 | 2.35 |
| CaO | 2.48 | 1.97 | 1.19 | 1.18 | 4.98 |
| Na ₂ O | 3.46 | 1.69 | 0.55 | 2.33 | 3.95 |
| K ₂ O | 3.15 | 5.00 | 5.13 | 3.68 | 1.68 |
| P ₂ O ₅ | 0.13 | 0.17 | 0.09 | 0.11 | 0.43 |
| п.п.п. | 1.59 | 2.93 | 2.93 | 2.08 | 99.46 |
| H ₂ O | 0.28 | не опр. | 0.26 | 0.18 | 0.17 |
| CO ₂ | 0.13 | 0.10 | 0.07 | 0.10 | 0.10 |
| FeO ^{от} | 4.37 | 7.21 | 7.66 | 7.14 | 7.18 |
| Сумма | 100.4 | 100 | 100 | 100 | 99.46 |
| A | 6.00 | 88.00 | 119.00 | 61.00 | 8.00 |
| F | 0.04 | 0.10 | 0.10 | 0.08 | 0.08 |

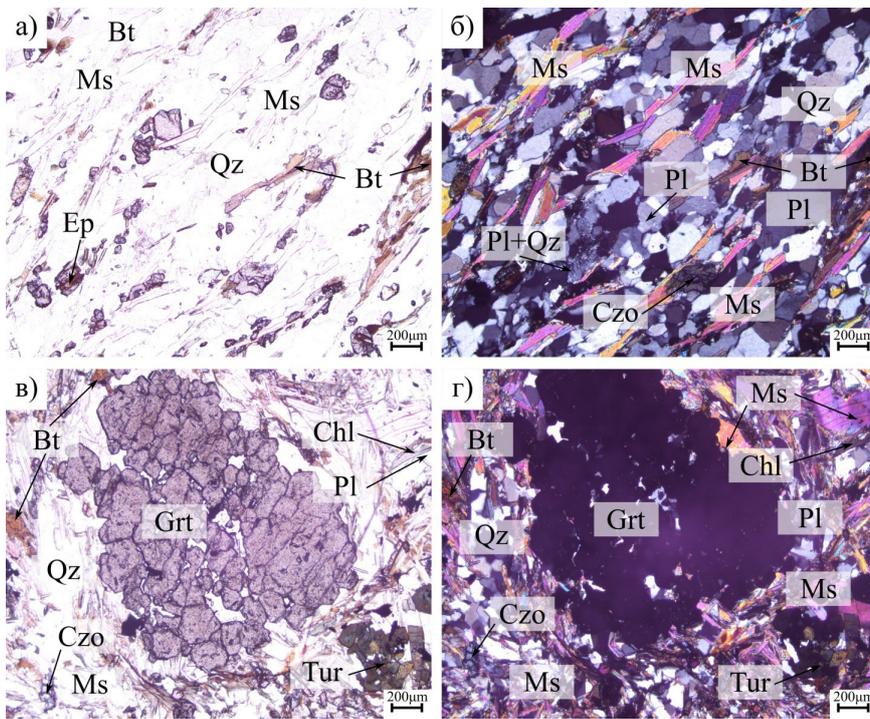


Рисунок 3. Микрофотографии шлифов парагнейсов няртинского комплекса (обр. 14/117 – а, б) и маньхобейнской свиты (обр. 09/17 – в, г). Обозначения минералов: Bt – биотит, Czo – клиноцоизит, Grt – гранат, Ms – мусковит, Pl – плагиоклаз, Tur – турмалин, Qz – кварц.
 Figure 3. Microphotographs of paragneiss slides from the Nyartinskiy complex (sample 14/117 – а, б) and the Mankhobeinskaya suite (sample 09/17 – в, г). Mineral symbols: Bt – biotite, Czo – clinzoisite, Grt – garnet, Ms – muscovite, Pl – plagioclase, Tur – tourmaline, Qz – quartz.

гранат (до 5 %). Кроме вышеперечисленных минералов в некоторых образцах могут присутствовать эпидот (клиноцоизит), хлорит, кальцит и калиевый полевой шпат. Среди аксессуарных минералов встречаются монацит, циркон, алланит, титанит и турмалин. Рудные минералы представлены ильменитом, пиритом, халькопиритом и пирротинном.

Биотиты, установленные в матрице пород и расположенные на контакте с гранатом или заполняющие его трещины, по форме выделения и химическому составу различаются незначительно. В последних наблюдаются пониженные содержания TiO_2 (табл. 2). Биотиты преимущественно железистые $X^{Fe}=0.50-0.70$ умеренноглиноземистые ($Al^{VI}=0.28-0.52$). Железистость на контакте с гранатами ниже, чем в матрице, что, вероятно, определяется обменными Fe-Mg реакциями между минералами. В целом составы минералов отвечают ряду аннит-флогопит (рис. 4, а) и тяготеют к анниту. В составе маньхобейнской свиты биотиты более магниезальные ($Mg=1.03-1.18$), менее железистые (табл. 2).

Мусковит отмечается как в основной ткани, так и в сростках с биотитом. Химические составы представлены в табл. 3. В целом содержания Si в минерале колеблются от 3.04 до 3.35 ф.е., ($Mg+Fe^{tot}$) – 0.21–0.45 ф.е. при среднем значении 0.39, что, согласно классификации мусковитов, фенгитов и разновидностей селадонита Г. Тичендорфа с соавторами [15], соответствует промежуточному составу между мусковитом и фенгитом (рис. 4, б).

Плагиоклазы. В изученных породах плагиоклазы распространены как в виде порфировых вкрапленников, так и в матрице породы, и представлены преимущественно

альбитом и олигоклазом (рис. 4, в). Химические составы плагиоклазов приведены в табл. 4. В некоторых образцах зафиксированы зерна с увеличением An-компонента в краевых частях.

Хлорит развивается по биотиту, реже – гранату. В целом минеральный состав хлоритов однотипен и представлен преимущественно рипидолитом, реже – пикнохлоритом (рис. 4, г). Железистость колеблется в пределах от 39 до 78 %.

Гранат. На микроуровне гранаты устанавливаются как в виде гроздевидных агрегатов, сложенных субизометричными порфиробластами, так и в виде отдельных корродированных зерен. Часто по краям и трещинам развивается биотит, реже – хлорит. В пространстве между зернами развиваются мусковит и хлорит.

Порфиробласты граната имеют размеры от 0,1 до 2–3 мм.

Присутствуют гранаты гроссуляр-альмандиновые. В химическом плане они имеют неоднородное

строение за счет увеличения Alm при скомпенсированном уменьшении Sps минала от центра к краю (состав центральных частей – $Alm_{59-62} Sps_{5-12} Prp_{3-4} Grs_{26}$, краевых – $Alm_{69-71} Sps_{1-2} Prp_{5-6} Grs_{23-24}$). Кроме того, наблюдаются незначительное понижение Grs минала и небольшое повышение Prp. Пример с данным типом зональности представлен на рис. 5, б и в табл. 5 (обр. 14/117). Гранаты с подобным типом отмечены в амфиболитах рассматриваемых подразделений [5, 7] и породах более молодых пуйвинской и хобейнской свит [7, 8]. Включения в центральных частях и каймах представлены кварцем, ильменитом и цирконом.

Установлены гранаты с обратным типом химической зональности (рис. 5, в). Их центральные части представлены пироп-альмандином, а краевые соответствуют гроссуляр-альмандину. Содержание Prp минала в центральных частях составляет 11 %. В краевых частях происходит уменьшение Prp при увеличении Grs. Значения Alm и Sps миналов остаются фиксированными (табл. 5, обр. 14/119).

Присутствуют гранаты со сложным типом химической зональности. В контрастных BSE-изображениях отчетливо выделяются кайма и пятнистое строение. Характер распределения зональности представлен на рис. 5, а, г и в табл. 5 (обр. 09/9-1, 09/17). На изображениях краевые части и темные области имеют более низкие содержания пиральспитовых миналов и более высокие значения Grs, по сравнению с более светлыми областями. В образце 09/17 в светлых областях значения Prp минала соответствуют содержанию Prp в ядрах вышеописанных регрессивно-зональных гранатов. В образце 09/9-1 в гранатах устанавливаются зоны, обогащенные Grs (50–51 %).

Таблица 2

Химические составы биотитов из парагнейсов няртинского комплекса и маньхобеинской свиты по данным микрозондового анализа, мас. %

Table 2

Chemical compositions of biotites from paragneisses of the Nyartinskiy complex and the Mankhobeinskaya suite according to the microprobe analysis results

| № образца | Няртинский комплекс | | | | | | | | Маньхобеинская свита | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 09/9-1 | | | 14/117 | | | | | 09/17 | | 14/119 | | | | | | |
| Компонент/ точка | 1_8 | 4_15 | 2_2 | 1_3 | 1_17 | 2_6 | 3_9 | 4a_6 | 4_10 | 2_8 | 1_4 | 1_6 | 1_9 | 1_15 | 2_1 | 3_3 | 3_6 |
| SiO ₂ | 35.29 | 34.58 | 35.19 | 36.17 | 34.85 | 30.76 | 36.2 | 35.05 | 36.93 | 38.4 | 35.59 | 36.79 | 37.03 | 35.67 | 36.67 | 36.66 | 36.84 |
| TiO ₂ | 2.33 | 2.36 | 2.28 | 2.13 | 1.67 | 1.15 | 1.53 | 1.46 | 1.74 | 1.42 | 1.34 | 1.36 | 1.63 | 0.31 | 0.96 | 1.34 | 0.55 |
| Al ₂ O ₃ | 18.12 | 16.53 | 17.44 | 16.79 | 17.25 | 17.75 | 16.95 | 18.67 | 17.62 | 18.31 | 18.89 | 19.42 | 18.25 | 19.92 | 19.81 | 19.15 | 19.3 |
| FeO ^{tot} | 25.79 | 25.62 | 24.96 | 22.29 | 23.31 | 29.9 | 22.66 | 24.5 | 19.61 | 19.41 | 21.49 | 19.9 | 19.97 | 20.44 | 19.39 | 20.05 | 20.19 |
| MnO | 0.39 | 0.36 | 0.41 | 0.3 | 0.32 | 0.69 | 0.23 | 0.27 | 0.17 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MgO | 5.22 | 5.05 | 4.89 | 7.71 | 7.16 | 5.66 | 7.82 | 7.01 | 10.22 | 10.76 | 9.07 | 9.71 | 9.72 | 9.44 | 9.74 | 9.58 | 9.88 |
| CaO | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Na ₂ O | - | - | - | 0.15 | - | - | - | - | - | 0.16 | - | - | - | - | - | - | - |
| K ₂ O | 8.38 | 9.05 | 9.34 | 9.65 | 9.83 | 6.37 | 9.28 | 9.76 | 9.63 | 9.59 | 9.15 | 9.38 | 9.36 | 9.38 | 9.37 | 9.53 | 9.40 |
| Сумма | 95.51 | 93.55 | 94.51 | 95.19 | 94.41 | 92.28 | 94.67 | 96.73 | 95.91 | 98.05 | 95.54 | 96.56 | 95.95 | 95.16 | 95.93 | 96.3 | 96.16 |
| Расчет формульных коэффициентов биотитов на 22 положительных заряда катионов | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 2.75 | 2.78 | 2.78 | 2.8 | 2.75 | 2.55 | 2.82 | 2.7 | 2.79 | 2.82 | 2.72 | 2.75 | 2.79 | 2.72 | 2.75 | 2.76 | 2.77 |
| Ti | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.12 | 0.10 | 0.07 | 0.09 | 0.08 | 0.1 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.02 | 0.05 | 0.08 | 0.03 |
| Al | 1.66 | 1.56 | 1.63 | 1.53 | 1.6 | 1.73 | 1.55 | 1.7 | 1.57 | 1.58 | 1.7 | 1.71 | 1.62 | 1.79 | 1.75 | 1.7 | 1.71 |
| Al ^{IV} | 1.25 | 1.22 | 1.22 | 1.20 | 1.25 | 1.45 | 1.18 | 1.30 | 1.21 | 1.18 | 1.28 | 1.25 | 1.21 | 1.28 | 1.25 | 1.24 | 1.23 |
| Al ^{VI} | 0.41 | 0.34 | 0.41 | 0.34 | 0.35 | 0.28 | 0.37 | 0.40 | 0.36 | 0.40 | 0.42 | 0.46 | 0.41 | 0.51 | 0.51 | 0.45 | 0.48 |
| Fe ²⁺ | 1.68 | 1.72 | 1.65 | 1.44 | 1.54 | 2.07 | 1.47 | 1.58 | 1.24 | 1.19 | 1.37 | 1.24 | 1.26 | 1.3 | 1.22 | 1.26 | 1.27 |
| Mg | 0.61 | 0.6 | 0.58 | 0.89 | 0.84 | 0.70 | 0.91 | 0.81 | 1.15 | 1.18 | 1.03 | 1.08 | 1.09 | 1.07 | 1.09 | 1.07 | 1.11 |
| Mn | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ca | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Na | - | - | - | 0.02 | - | - | - | - | - | 0.02 | - | - | - | - | - | - | - |
| K | 0.83 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.99 | 0.67 | 0.92 | 0.96 | 0.93 | 0.90 | 0.89 | 0.90 | 0.90 | 0.91 | 0.90 | 0.91 | 0.90 |

Таблица 3

Химические составы мусковитов из парагнейсов няртинского комплекса и маньхобеинской свиты по данным микрозондового анализа, мас. %

Table 3

Chemical compositions of muscovites from paragneisses of the Nyartinskiy complex and the Mankhobeinskaya suite according to the microprobe analysis results

| № образца | Няртинский комплекс | | | | | | | | Маньхобеинская свита | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | 09/9-1 | | | 14/117 | | | | | 09/17 | | | | 14/119 | | | |
| Компонент/ точка | 1_7 | 5_3 | 1_6 | 1_13 | 2a_3 | 2a_5 | 3_8 | 4_1 | 2_3 | 4_8 | 2_5 | 2_7 | 1_8 | 2_2 | 2_7 | 3_7 |
| SiO ₂ | 48.28 | 48.45 | 48.12 | 48.44 | 48.86 | 46.03 | 49.46 | 47.4 | 44.65 | 47.04 | 49.06 | 48.76 | 48.39 | 47.6 | 48.9 | 50.15 |
| TiO ₂ | 0.50 | 0.42 | 0.64 | 0.52 | 0.60 | 0.43 | 0.52 | 0.55 | 0.49 | 0.38 | 0.44 | 0.45 | 0.51 | 0.52 | 0.43 | 0.57 |
| Al ₂ O ₃ | 26.92 | 27.47 | 26.21 | 26.74 | 27.24 | 31.31 | 27.14 | 28.74 | 34.5 | 29.75 | 29.35 | 29.55 | 30.7 | 33.25 | 29.77 | 30.02 |
| FeO ^{tot} | 4.79 | 4.5 | 4.57 | 4.22 | 4.44 | 4.02 | 4.17 | 4.13 | 2.29 | 2.97 | 3.23 | 3.45 | 2.26 | 2.03 | 2.55 | 2.3 |
| MnO | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MgO | 2.23 | 2.12 | 2.67 | 2.54 | 2.46 | 1.3 | 2.72 | 2.08 | 0.77 | 2.19 | 2.73 | 2.5 | 2.45 | 1.53 | 2.57 | 2.54 |
| CaO | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Na ₂ O | - | - | - | 0.25 | 0.2 | 0.32 | 0.27 | 0.31 | 0.78 | 0.33 | 0.41 | 0.49 | 0.78 | 0.76 | 0.46 | 0.49 |
| K ₂ O | 10.88 | 11.05 | 10.53 | 10.8 | 10.71 | 10.81 | 10.87 | 10.67 | 10.27 | 10.47 | 10.55 | 10.62 | 10 | 10.23 | 10.3 | 10.43 |
| Сумма | 93.61 | 94.01 | 92.74 | 93.51 | 94.51 | 94.23 | 95.15 | 93.88 | 93.75 | 93.45 | 95.76 | 95.83 | 95.09 | 95.92 | 94.99 | 96.5 |
| Расчет формульных коэффициентов мусковитов на 22 положительных заряда катионов | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 3.34 | 3.33 | 3.35 | 3.34 | 3.33 | 3.15 | 3.35 | 3.26 | 3.04 | 3.23 | 3.28 | 3.26 | 3.24 | 3.15 | 3.28 | 3.3 |
| Ti | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 |
| Al | 2.19 | 2.22 | 2.15 | 2.18 | 2.19 | 2.53 | 2.17 | 2.33 | 2.77 | 2.41 | 2.31 | 2.33 | 2.42 | 2.6 | 2.35 | 2.33 |
| Al ^{IV} | 0.66 | 0.67 | 0.65 | 0.66 | 0.67 | 0.85 | 0.65 | 0.74 | 0.96 | 0.77 | 0.72 | 0.74 | 0.76 | 0.85 | 0.72 | 0.70 |
| Al ^{VI} | 1.53 | 1.55 | 1.50 | 1.52 | 1.53 | 1.68 | 1.52 | 1.58 | 1.81 | 1.65 | 1.59 | 1.60 | 1.66 | 1.75 | 1.63 | 1.63 |
| Fe ²⁺ | 0.28 | 0.26 | 0.27 | 0.24 | 0.25 | 0.23 | 0.24 | 0.24 | 0.13 | 0.17 | 0.18 | 0.19 | 0.13 | 0.11 | 0.14 | 0.13 |
| Mg | 0.23 | 0.22 | 0.28 | 0.26 | 0.25 | 0.13 | 0.27 | 0.21 | 0.08 | 0.22 | 0.27 | 0.25 | 0.24 | 0.15 | 0.26 | 0.25 |
| Mn | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ca | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Na | - | - | - | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.1 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.1 | 0.1 | 0.06 | 0.06 |
| K | 0.96 | 0.97 | 0.93 | 0.95 | 0.93 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.89 | 0.92 | 0.9 | 0.91 | 0.85 | 0.86 | 0.88 | 0.88 |

Химические составы плагиоклазов из парагнейсов няртинского комплекса и маньхобеинской свиты по данным микрозондового анализа, мас. %

Table 4

Chemical compositions of plagioclases from paragneisses of the Nyartinskiy complex and the Mankhobeinskaya suite according to the microprobe analysis results

| № образца | Няртинский комплекс | | | | | | | | Маньхобеинская свита | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|----------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | 09/9-1 | | | | 14/117 | | | | 14/119 | | | | | | | | |
| Компонент/ точка | 1_9 | 1_10 | 5_1 | 5_2 | 2a_1 c | 2a_2 r | 3_11 | 4_2 | 1_10 c | 1_10 r | 1_11_1 | 1_12 | 1_12_1 | 2_4 | 2_8 | 3_9 | 3_10 |
| SiO ₂ | 64.18 | 67.9 | 63.86 | 68.14 | 68.89 | 63.11 | 68.61 | 69.04 | 67.63 | 66.78 | 64.24 | 68.47 | 63.46 | 66.04 | 63.5 | 62.11 | 69.15 |
| Al ₂ O ₃ | 18.75 | 19.92 | 18.85 | 20.11 | 19.4 | 23.61 | 19.57 | 19.93 | 19.91 | 21.41 | 22.96 | 19.94 | 23.74 | 22.16 | 23.31 | 24.24 | 20 |
| CaO | - | 0.29 | - | 0.35 | - | 4.63 | 0.11 | - | 0.39 | 3.74 | 3.62 | 0.32 | 4.54 | 2.63 | 3.98 | 5.64 | 0.21 |
| Na ₂ O | 0.61 | 11.12 | 0.77 | 11.24 | 10.7 | 8.76 | 11.17 | 11.19 | 10.94 | 8.59 | 9.1 | 11.07 | 8.63 | 10 | 9.09 | 8.05 | 11.15 |
| K ₂ O | 15.58 | 0.12 | 15.43 | 0.12 | - | - | - | - | - | - | 0.14 | - | - | - | - | 0.14 | - |
| BaO | 0.76 | - | 0.72 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Сумма | 99.88 | 99.35 | 99.64 | 99.96 | 98.99 | 100.11 | 99.46 | 100.16 | 98.86 | 100.51 | 100.07 | 99.8 | 100.37 | 100.82 | 99.88 | 100.18 | 100.52 |
| Расчет формульных коэффициентов плагиоклазов на восемь атомов кислорода | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 2.83 | 3.00 | 2.82 | 3.01 | 3.04 | 2.79 | 3.03 | 3.05 | 2.99 | 2.95 | 2.84 | 3.02 | 2.80 | 2.92 | 2.80 | 2.74 | 3.05 |
| Al | 0.98 | 1.04 | 0.98 | 1.05 | 1.01 | 1.23 | 1.02 | 1.04 | 1.04 | 1.11 | 1.19 | 1.04 | 1.24 | 1.15 | 1.21 | 1.26 | 1.04 |
| Ca | - | 0.01 | - | 0.02 | - | 0.22 | 0.01 | - | 0.02 | 0.18 | 0.17 | 0.02 | 0.21 | 0.12 | 0.19 | 0.27 | 0.01 |
| Na | 0.05 | 0.95 | 0.07 | 0.96 | 0.92 | 0.75 | 0.96 | 0.96 | 0.94 | 0.74 | 0.78 | 0.95 | 0.74 | 0.86 | 0.78 | 0.69 | 0.95 |
| K | 0.88 | 0.01 | 0.87 | 0.01 | - | - | - | - | - | 0 | 0.01 | - | - | - | - | 0.01 | - |
| Ba | 0.01 | - | 0.01 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Alb | 6 | 98 | 7 | 98 | 100 | 77 | 99 | 100 | 98 | 81 | 81 | 98 | 77 | 87 | 81 | 71 | 99 |
| An | - | 1 | - | 2 | - | 23 | 1 | - | 2 | 19 | 18 | 2 | 23 | 13 | 19 | 28 | 1 |
| Ort | 94 | 1 | 93 | 1 | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 1 | - |

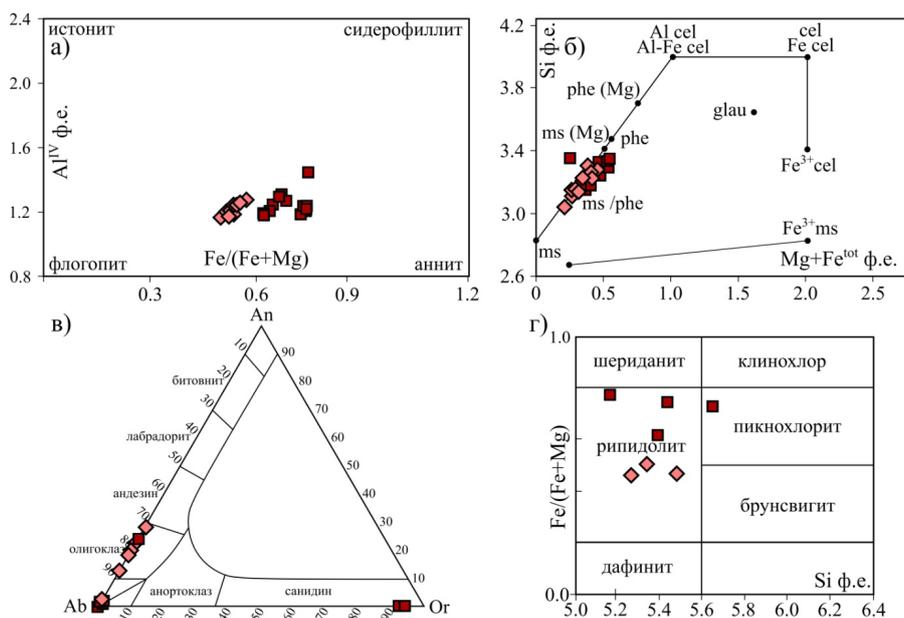


Рисунок 4. Химические составы минералов: а) $(Fe/(Fe+Mg)-Al^{IV})$ ф.е. для биотитов; б) $Mg+Fe$ ф.е.- Si ф.е. для мусковитов (по [15]); в) плагиоклазов; г) $Si-(Fe/(Fe+Mg))$ ф.е. для хлоритов [16].

Figure 4. Chemical compositions of minerals: а) $(Fe/(Fe+Mg)-Al^{IV})$ f.u. for biotites; б) $Mg+Fe$ f.u.- Si f.u. for muscovites (according to [15]); в) plagioclases; г) $Si-(Fe/(Fe+Mg))$ f.u. for chlorites [16].

Повышенные содержания CaO могут быть связаны с относительно высоким давлением, при котором неустойчивы Ca -плагиоклазы.

Включения представлены кварцем, апатитом, цирконом, рудными минералами. Закономерности в распределении включений в зонах разного химического состава не установлены.

Части обогащены относительно краевых частей магнием ($MgO=2.42-2.49$ мас. %). Возможно, центральные части таких гранатов являются реликтовыми – продуктами более раннего этапа метаморфизма [7]. К первичным метаморфическим минералам в гнейсах няртинского комплекса и маньхобеинской свиты также можно отнести гранулитоморфный циркон (округлые мультифасеточные кристаллы), характерный для высокотемпературных и вы-

Минералы группы эпидота представлены преимущественно клинозоизитом ($X_{czo}=0.79-0.84$).

Метаморфизм

Учитывая взаимоотношения между минералами и их химический состав, можно выделить несколько парагенезисов, предположительно отвечающих разным этапам метаморфического преобразования пород.

Первичные парагенезисы раннего метаморфизма в амфиболитах и гнейсах в значительной степени уничтожены более поздними процессами. В амфиболитах установлены реликты диопсида, высокотитанистой роговой обманки [6] и высокотитанистого биотита [7]. Согласно данным [7], в гнейсах отмечаются гранаты, в которых центральные

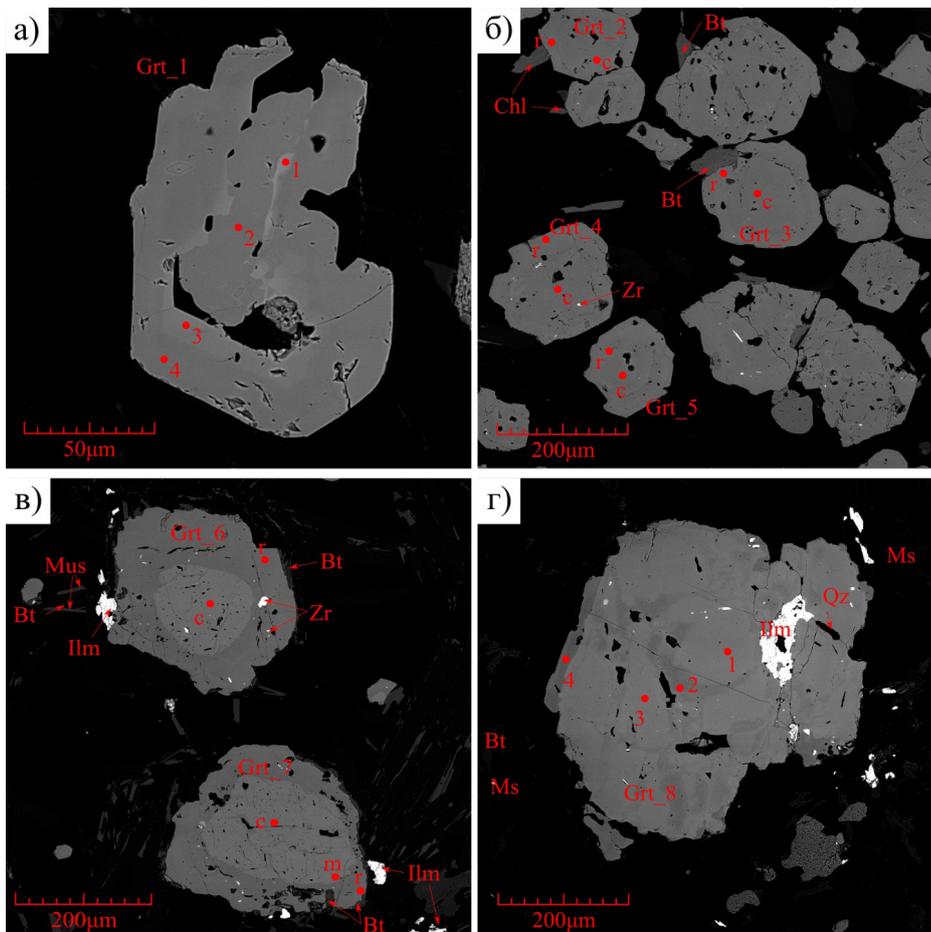


Рисунок 5. BSE-изображения гранатов из парагнейсов няртинского комплекса (а, б) и маньхобеинской свиты (в, г). Номера зерен гранатов и точек соответствуют значениям, приведенным в табл. 5. Обозначения минералов: Bt – биотит, Chl – хлорит, Grt – гранат, Ilm – ильменит, Ms – мусковит, Pl – плагиоклаз, Tur – турмалин, Qz – кварц, Zr – циркон.
 Figure 5. BSE images of garnets from paragneisses of the Nyartinskiy complex (a, б) and the Mankhobeinskaya suite (в, г). Numbers of garnet grains and points correspond to the values given in Table 5. Mineral symbols: Bt – biotite, Chl – chlorite, Grt – garnet, Ilm – ilmenite, Ms – muscovite, Pl – plagioclase, Tur – tourmaline, Qz – quartz, Zr – zircon.

сокобарических метаморфитов [17]. Плохая сохранность минералов раннего этапа метаморфизма не представляет возможным использование минеральной термобарометрии ввиду отсутствия в реликтовых минералах равновесных с ними минеральных включений, пригодных для измерения PT-условий метаморфизма.

Наличие гранатов со сложной зональностью можно объяснить двумя гипотезами: первая подразумевает образование гранатов с прямой и сложной зональностью в рамках одного тектоно-метаморфического события при процессах нагревания-опускания до их поднятия-остывания с образованием гранатов на разных уровнях. Согласно второй гипотезы, образование данного типа зональности связано с процессами диафореза. Учитывая, что в краевых частях гранатов происходит понижение пиральспитовых миналов, указанная зональность не может быть проявлена в рамках одного тектоно-метаморфического этапа, так как в случае образования данных гранатов на регрессивном процессе метаморфизма должно наблюдаться повышение Sps при относительно индифферентном поведении Grs [18]. Следовательно, образование данного типа

зональности может быть связано с процессами диафореза или метасоматоза.

В изученных нами образцах к ранним минералам с определенной долей вероятности можно отнести пироп-альмандиновые ядра регрессивно-зональных гранатов и гранаты со сложной зональностью.

Гроссуляр-альмандиновые гранаты связаны с отдельным этапом метаморфизма и присутствуют как в гранатосодержащих породах няртинского комплекса и маньхобеинской свиты, так и в породах пуйвинской и нижней части хобеинской свит [7, 8]. Парагенезис данного этапа в парагнейсах $Grt+Bt+Ms+Pl+Qz\pm Ep$.

Поздние преобразования в парагнейсах связаны с частичной или полной перестройкой пород, развитием будинажа и процессов бластомилонитизации. В породах наблюдается хлорит, развивающийся по биотиту и гранату. Минеральные ассоциации неравновесны, так как во всех описанных образцах устанавливаются реликты вышеописанных парагенезисов.

На основе состава породообразующих минералов методом классической термобарометрии определены пиковые температуры и давления формирования парагнейсов. Учитывая минеральный состав, а именно наличие Grt, Bt, Ms, Pl, Qz, использовались взаимосогласованные Grt-Bt геотермометр [19–21] и Grt-Bt-Ms-Pl(Qz) [22], Grt-Bt-Pl-Qz [23] геобарометры. Диапазоны составов минералов, используемых для геотермобарометрии, не выходят за пределы калибровки термометров и барометров.

Рассчитанные оценки PT-условий метаморфизма пород по минеральным геотермобарометрам представлены в табл. 6.

Для образца няртинского комплекса свиты с использованием составов центральных частей прогрессивно-зональных гранатов и минералов, находящихся на контакте с ним, рассчитаны температуры и давления, соответствующие $T=504-484\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P=7.3-6.7\text{ кбар}$. Данные показатели характеризуют условия образования гранатов. Пиковые условия метаморфизма, рассчитанные с использованием состава краевой части граната и минералов основной ткани, составляют $T=554-527\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=8.9-8.5\text{ кбар}$.

В образцах маньхобеинской свиты парагенезисы краевых частей граната с минералами матрикса характеризуются значением температуры $T=555\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлением $P=7.9\text{ кбар}$. Центральные части прогрессивно-зональных гранатов – температурой и давлением их образования $T=468\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=5.3\text{ кбар}$.

Дополнительно для оценки достоверности полученных результатов были определены пиковая температура и давление методом мультиравновесной термобарометрии с использованием программ TWQ и TWQ_View, написанных Д. В. Доливо-Добровольским. Три независимых реакции, описывающие Grt-Bt термометр (реакция $\text{Alm}+\text{Phl}=\text{Ann}+\text{Prp}$) и Gr-Bt-Ms-Pl геобарометр ($\text{Alm}+\text{Grs}+\text{Ms}=\text{Ann}+3\text{An}$; $\text{Grs}+\text{Ms}+\text{Prp}=3\text{An}+\text{Phl}$), указывают на неплохую сходимость с данными классической термобарометрии (рис. 6). Полученные значения для образ-

ца няртинского комплекса (14/117) соответствуют $T=606\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P=8.4\text{ кбар}$, для образца маньхобеинской свиты (14/119) – $T=581\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=8.8\text{ кбар}$.

Таким образом, исходя из вышеуказанных данных, полученные термометрические показатели PT-условий характеризуют прогрессивный тренд метаморфизма и, согласно фациальной схеме [24], соответствуют уровню эпидот-амфиболитовой фации относительно повышенных давлений.

Структурные особенности парагнейсов

Няртинский комплекс сложен интенсивно дислоцированными породами, в которых относительно поздние процессы деформации и метаморфической перекристаллизации в значительной степени уничтожали информацию о первичных структурах. Распознать их удастся только в отдельных обнажениях.

Первичная сланцеватость погружается в основном на северо-запад под углами от 5 до 50° . В породах няртинского комплекса, как правило, встречаются развитые по гнейсам и амфиболитам изоклинальные или сжатые, лежащие, подобные, изредка ныряющие складки первой генерации. Их осевые поверхности погружаются на запад, северо-запад под небольшими углами. На сферических диаграммах (рис. 7, а, в) полюса плоскостных элементов контактов, полосчатости, сланцеватости и крыльев складок образуют рисунок по малому кругу, что может говорить об изменении их ориентировок при поздних деформациях. Шарниры складок на диаграммах (рис. 7, б, г) частично рассеиваются по дуге большого круга, близкого к ориентировкам проекций поверхностей поздних складок. Вторая генерация представлена асимметричными подобными складками с крутопадающими шарнирами и часто деформирует крылья и осевые поверхности складок первой генерации. Третья генерация представлена открытыми складками, которые образовались по крыльям складок первой генерации, их осевые поверхности падают

на восток под крутыми углами, шарниры полого погружаются на юг и север.

Ранние структуры в породах маньхобеинской свиты встречаются реже, чем в няртинском комплексе, а в верхних частях свиты, особенно в кристаллических сланцах, практически не обнаруживаются. Такая редкая встречаемость связана, скорее всего, с широко развитыми здесь поздними процессами диафореза, рассланцевания и бластомилонитизации в частях свиты, приближенных к контактам с вышележащими свитами. Первичная сланцеватость по простиранию имеет северо-восточные ориентировки, реже – восточные и юго-вос-

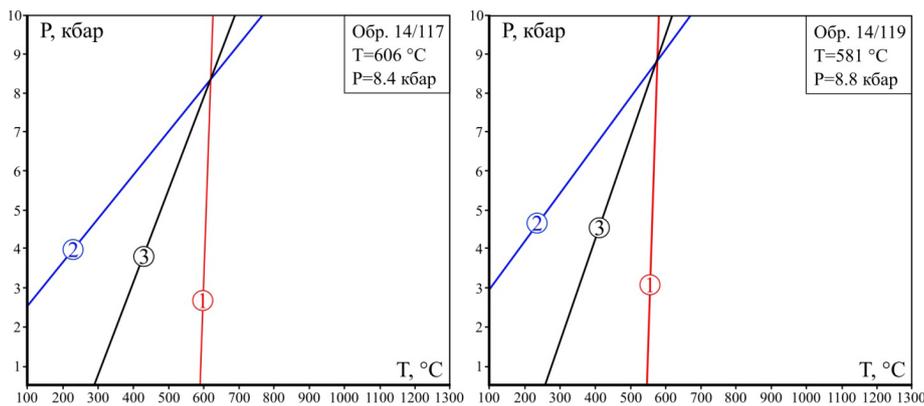
Таблица 6
Оценка PT-условий метаморфизма с использованием классической геотермобарометрии

Table 6
Estimation of PT-conditions of metamorphism by classical geothermobarometry

| Образец | T, °C | | | | P, кбар | | |
|----------------------|---------------------------|-----|-----|-----------------|--------------------------|-----|-----------------|
| | Минеральные геотермометры | | | | Минеральные геобарометры | | |
| | 1 | 2 | 3 | T _{ср} | 4 | 5 | P _{ср} |
| Няртинский комплекс | | | | | | | |
| 14/117с ₁ | 477 | 507 | 528 | 504 | 6.5 | 6.8 | 6.7 |
| 14/117г ₁ | 541 | 546 | 573 | 554 | 8.3 | 8.7 | 8.5 |
| 14/117с ₂ | 459 | 486 | 508 | 484 | 7.8 | 6.8 | 7.3 |
| 14/117г ₂ | 517 | 520 | 545 | 527 | 9.5 | 8.2 | 8.9 |
| Маньхобеинская свита | | | | | | | |
| 14/119с | 454 | 466 | 486 | 468 | 5.2 | 5.4 | 5.3 |
| 14/119г | 542 | 552 | 572 | 555 | 8 | 7.8 | 7.9 |

Примечание. 1 – Grt-Bt термометр [19], 2 – Grt-Bt термометр [20], 3 – Grt-Bt термометр [21], 4 – Grt-Bt-Ms-Pl(Qz) [22], Grt-Bt-Pl-Qz [23].

Note. 1 – Grt-Bt thermometer [19], 2 – Grt-Bt thermometer [20], 3 – Grt-Bt thermometer [21], 4 – Grt-Bt-Ms-Pl(Qz) [22], Grt-Bt-Pl-Qz [23].



1. $\text{Alm}+\text{Phl}=\text{Ann}+\text{Prp}$ 2. $\text{Grs}+\text{Ms}+\text{Prp}=3\text{An}+\text{Phl}$ 3. $\text{Alm}+\text{Grs}+\text{Ms}=\text{Ann}+3\text{An}$

Рисунок 6. PT- параметры пиковых условий метаморфизма, полученные для краевых зон граната и минералов основной ткани с использованием программы TWQ: а) няртинский комплекс (обр. 14/117), б) маньхобеинская свита (обр. 14/119). Обозначения минералов: Alm – альмандин, An – анортит, Ann – аннит, Grs – гроссуляр, Phl – флогопит, Prp – пироп, Ms – мусковит.

Figure 6. PT-parameters of peak metamorphism conditions obtained for the marginal zones of garnet and essential minerals using the TWQ program: а) the Nyartinskiy complex (sample 14/117), б) the Mankhobeinskaya suite (sample 14/119). Mineral symbols: Alm – almandine, An – anorthite, Ann – annite, Grs – grossular, Phl – phlogopite, Prp – pyrope, Ms – muscovite.

точные с падением под пологими углами на северо-запад. К ранним складкам в породах маньхобеинской свиты относятся сжатые и изоклиналиные, морфологически сходные с ранними складками в породах няртинского комплекса. В породах маньхобеинской свиты также развиты асимметричные подобные складки второй генерации. Они развиты в основном по контактам прослоев кварцитов и кристаллических сланцев и наиболее часто встречаются в верхах свиты. Полюса крыльев данной генерации на стереографических диаграммах накладываются на дугу большого круга (рис. 7, д). Шарниры погружаются главным образом на северо-запад под углами 10–40° (рис. 7, е). Так же как и в породах няртинского комплекса, в породах маньхобеинской свиты отмечаются прямые открытые и пологие складки третьей генерации, развитые на крыльях ранних складок, шарниры которых погружаются на север под малыми углами.

Результаты и их обсуждение

Анализ минеральных и структурных особенностей парагнейсов няртинского комплекса и маньхобеинской свиты в совокупности с данными классической и мультиравновесной минеральной термобарометрии устойчивых парагенезисов позволяет судить о длительном и многоэтапном процессе преобразования пород. По полученным в работе данным установлены два самостоятельных тектоно-метаморфических этапа. Учитывая данные [5–7], а именно наличие реликтовых минералов в гнейсах и амфиболитах (гранатов, в которых центральные части зерен обогащены магнием, высокотитанистой роговой обманки, биотита, а также гранулитоморфного циркона) и распространение в изученных обнажениях ранних изоклиналиных складок первой генерации в парагенезисе со сланцеватостью первой генерации, отсутствующие в вышележащих, верхнерифейских отложениях, можно предположить ранний тектоно-метаморфический этап. Условия указанного этапа метаморфизма могли достигать амфиболитовой [6] или даже гранулитовой [7, 18] фаций. В последние годы получен U–Pb возраст гранулитоморфных цирконов из гранат-биотитового гнейса, отобранного в истоках р. Кожим, по 44 локальным определениям, равным 2127±31 млн лет [3]. Полученный возраст интерпретируется как время проявления раннего этапа метаморфизма, а возраст 1950±35 млн лет, определенный по цирконам мигматитового типа [17], отражает проявления метаморфизма амфиболитовой фации и процессов мигматизации. Согласно модели метаморфизма доуралид Приполярного Урала [25], вышеуказанные геохронологические возрасты относятся к эволюции Восточно-Европейской платформы, что совпадает со временем сочленения Волго-Урала с Сарматией и Волго-Сарматии с Фенноскандией [25].

Второй тектоно-метаморфический этап привел к частичной или полной перекристаллизации

парагнейсов няртинского комплекса и маньхобеинской свиты и первичному метаморфизму рифейско-вендских метаморфитов. В минеральных парагенезисах с гранатом намечается прогрессивный тренд метаморфизма с пиковыми условиями T=606–527 °C и P=8.8–7.9 кбар. Полученные температуры и давления соответствуют уровню эпидот-амфиболитовой фации регионального метаморфизма V₃ [24]. Данный этап связан с развитием орогена протоуралид-тиманид и становлением метаморфической зональности в условиях эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций в вендское время – 640–550 млн лет [18]. Совместно с процессами метаморфизма образуются складки второй генерации в парагенезисе с кливажем-сланцеватостью. Данные структуры проявлены во всех докембрийских обнажениях рассматриваемого района.

Следующий этап метаморфизма пород (низкотемпературный диафорез) проявляется во всех докембрий-

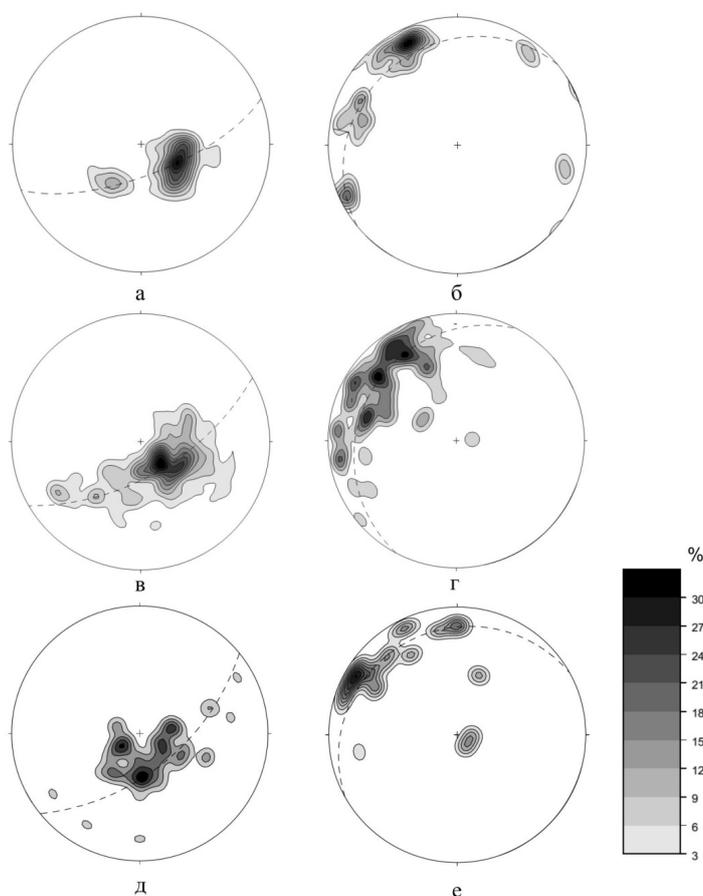


Рисунок 7. Стереографические диаграммы (нижняя полусфера, равноугольная сетка) замеров плоскостных структурных элементов (слоистости, сланцеватости, контактов, крыльев складок) и шарниров для няртинского комплекса: (а) плоскостные элементы (количество замеров n=152) и (б) шарниры (n=70) в районе верховья р. Кожим до устья ручья Николай-Шор, (в) плоскостные элементы (n=88) и (г) шарниры (n=32) в районе приустьевой части ручья Николай-Шор; для маньхобеинской свиты: (д) плоскостные (n=52) и (е) шарниры (n=34) в районе горы Хасаварка-Из и ручья Хасаварка.

Figure 7. Stereographic diagrams (lower hemisphere, equirectangular grid) of measurements of in-plane structural elements (foliation, cleavage, contacts, limbs of folds) and hinges for the Nyartinskiy complex: (a) planar elements (number of measurements n=1515) and (б) hinges (n=70) in the area of the Upper Kozhim River to the mouth of the Nikolai-Shor stream, (в) planar elements (n=88) and (г) hinges (n=32) in the area of the mouth of the Nikolai-Shor stream; for the Mankhobeinskaya suite: (д) planar (n=52) and (е) hinges (n=34) in the area of the Khasavarka-Iz Mountain and the Khasavarka stream.

ских и нижнепалеозойских породах. В парагнейсах, уже претерпевших два этапа метаморфизма, данный этап приводит к развитию будинажа и процессов бластомилонитизации, а также частичной грануляции. Преобладают открытые и пологие складки третьей генерации, деформирующие крылья складок первой генерации с шарнирами, погружающимися на север под небольшими углами. В минеральном плане отмечается развитие хлорита по гранату и биотиту. Рассчитанные температуры кристаллизации хлоритов по геотермометру Занга и Файфа [26] в парагнейсах няртинского комплекса и маньхобеинской свиты равны 285–232 °С (n=12), что соответствует фации зеленых сланцев (В₄). Возраст данного этапа оценивается в 260–240 млн лет [27].

Заключение

Полученные петрографические и минералогические данные в совокупности с результатами структурных исследований дают основание считать, что породы няртинского комплекса и маньхобеинской свиты испытали как минимум двукратную структурно-метаморфическую переработку. Согласно установленным структурным особенностям, а также материалам [2–7, 18], можно выделить еще один, более ранний (первый) тектоно-метаморфический этап, проявленный в наличии складок и сланцеватости первой генерации и реликтовых минералов. Следующий этап метаморфизма характеризуется прогрессивным РТ-трендом. Уточнены пиковые параметры метаморфизма, которые соответствуют уровню эпидот-амфиболовой фации повышенных давлений (Т=606–527 °С, Р=7.9–8.9 кбар). Процессы данного этапа метаморфизма коррелируются с развивающимися по складкам первой генерации асимметричными подобными складками второй генерации в парагенезисе с кливажем-сланцеватостью. Процессы низкотемпературного диафореза проходили в условиях фации зеленых сланцев (В₄). Они проявились в парагнейсах няртинского комплекса и маньхобеинской свиты в замещении хлоритом граната и биотита, развитии вторичных структурных преобразований (образование прямых открытых и пологих складок третьей генерации в парагенезисе с поздней сланцеватостью, бластомилонитизация, будинаж, грануляция). Это подтверждает представление о том, что основание докембрийского разреза Приполярного Урала сложено полиметаморфическими образованиями [2, 3].

Новые данные об РТ-условиях второго и третьего этапов метаморфизма пород, а также связи процессов метаморфизма и деформации являются дополнительным аргументом, указывающим на ошибочность выделения маньхобеинской свиты в качестве самостоятельного стратиграфического подразделения, и подтверждением точки зрения о том, что в качестве названной свиты выделены низкотемпературные диафориты по метаморфическим образованиям няртинского комплекса.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники и литература

1. Пыстин, А. М. U-Pb (LA-SF-ICP-MS) возраст и вероятные источники сноса детритовых цирконов из терригенных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала / А. М. Пыстин, О. В. Гракова, Ю. И. Пыстина, Е. В. Кушманова, К. С. Попвасев [и др.] // Литосфера. – 2022. – № 6. – С. 741–760. – DOI: <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-6-741-76>.
2. Пыстин, А. М. Базальные отложения верхнего докембрия в Тимано-Североуральском регионе // А. М. Пыстин, Ю. И. Пыстина // Литосфера. – 2014. – № 3. – С. 41–50.
3. Пыстин, А. М. Докембрий Приполярного Урала: хроностратиграфический аспект / А. М. Пыстин, Ю. И. Пыстина // Труды Карельского научного центра РАН. – 2019. – № 2. – С. 34–52. – DOI: <http://dx.doi.org/10.17076/geo904>.
4. Потапов, И. Л. Структурная эволюция докембрийских пород северной части Приполярного Урала / И. Л. Потапов, К. С. Попвасев // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2017. – № 10. – С. 9–20.
5. Попвасев, К. С. Минералогия и РТ-условия образования амфиболитов няртинского метаморфического комплекса и маньхобеинской свиты Приполярного Урала / К. С. Попвасев // Вестник Пермского университета. Геология. – 2022. – Т. 21, № 3. – С. 216–228. – DOI: <https://doi.org/10.17072/psu.geol.21.3.216>.
6. Тимонина, Р. Г. Петрология метаморфических пород Приполярного Урала / Р. Г. Тимонина. – Ленинград: Наука, 1980. – 100 с.
7. Пыстин, А. М. Полиметаморфические комплексы западного склона Урала / А. М. Пыстин. – Санкт-Петербург: Наука, 1994. – 208 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Северо-Уральская. Лист Q-41-XXV. Объяснительная записка. – Москва: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 252 с.
9. Berman, R. G. Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications / R. G. Berman, L. Ya. Aranovich // Canadian Mineralogist. – 1991. – Vol. 29. – P. 833–855.
10. Berman, R. G. Optimized standard state and solution properties of minerals. I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet, and ilmenite in the system FeO–MgO–CaO–Al₂O₃–TiO₂–SiO₂ / R. G. Berman // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1996. – Vol. 126. – № 1–2. – P. 1–24. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s004100050232>.
11. Aranovich, L. Ya. Optimized standard state and solution properties of minerals. II. Comparisons, predictions, and applications / L. Ya. Aranovich, R. G. Berman // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1996. – Vol. 126. – № 1–2. – P. 25–37. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s004100050233>.
12. Юдович, Я. Э. Очерки литохимии Тимано-Уральского региона / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис, В. В. Терешко, Н. В. Рыбина. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2016. – 236 с.

13. Маркова, П. А. Няртинский метаморфический комплекс Приполярного Урала: первичная природа метаморфических пород и палеогеографические условия формирования протолитов / П. А. Маркова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2016. – № 7. – С. 19–32.
14. Предовский, А. А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия / А. А. Предовский. – Ленинград : Наука, 1980. – 152 с.
15. Tischendorf, G. A new graphical presentation and subdivision of potassium micas. / G. Tischendorf, M. Rieder, H. Förster, B. Gottsmann, C. Guidotti // *Mineralogical Magazine*. – 2004. – Vol. 68(4). – P. 649–667. – DOI: <https://doi.org/10.1180/0026461046840210>.
16. Hey, M. H. A new review of the chlorites / M. H. Hey // *Mineralogical Magazine*. – 1954. – Vol. 30. – P. 277–292.
17. Пыстина, Ю. И. Цирконовая летопись Уральского докембрия / Ю. И. Пыстина, А. М. Пыстин. – Екатеринбург : УрО РАН, 2002. – 168 с.
18. Пыстин, А. М. Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско-раннепалеозойской истории формирования Приполярноуральского сегмента земной коры / А. М. Пыстин, Ю. И. Пыстина // *Литосфера*. – 2008. – № 6. – С. 25–38.
19. Kleemann, U. Garnet-biotite thermometry revisited; the effect of Al[VI] and Ti in biotite / U. Kleemann, J. Reinhardt // *European Journal of Mineralogy*. – 1994. – Vol. 6 (6). – P. 925–941.
20. Holdaway, M. J. Application of new experimental and garnet Margules data to the garnet-biotite geothermometer / M. J. Holdaway. – 2000. – *American Mineralogist*. – Vol. 85. – P. 881–892.
21. Kaneko, Y. Recalibration of mutually consistent garnet-biotite and garnet-cordierite geothermometers / Y. Kaneko, T. Miyano // *Lithos*. – 2004. – Vol. 73(3–4). P. 255–269. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2003.12.009>, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2005.09.003>.
22. Hoisch, T. D. Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet / T. D. Hoisch // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – Vol. 104. – P. 225–234. – DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00306445>.
23. Wu, C. M. Revised empirical garnet-biotite-muscovite-plagioclase geobarometer in metapelites / C. M. Wu // *Journal of Metamorphic Geology*. – 2015. – Vol. 33(2). – P. 167–176. – DOI: <https://doi.org/10.1111/jmg.12115>.
24. Добрецов, Н. Л. Фации метаморфизма / Н. Л. Добрецов, В. В. Ревердатто, В. С. Соболев, Н. В. Соболев, В. В. Хлестов. – Москва : Наука, 1970. – Т. 1. – 432 с.
25. Андреичев, В. Л. Эволюция фундамента Печорской плиты по изотопно-геохронологическим данным: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / В. Л. Андреичев. – Екатеринбург, 2010. – 47 с.
26. Zang, W. Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahia gold deposit Carajás, Brazil / W. Zang, W. S. Fyfe // *Mineralium Deposita*. – 1995. – Vol. 30. – P. 30–38 (1995). – DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00208874>.
27. Андреичев, В. Л. Изотопная геохронология доуралид Приполярного Урала / В. Л. Андреичев. – Сыктывкар, 1999. – 48 с.

References

1. Pystin, A. M. U-Pb (LA-SF-ICP-MS) возраст и вероятные источники сноса детритовых цирконов из терригенных отложений верхнего докембрия Приполярного Урала [U-Pb (LA-SF-ICP-MS) age and probable sources of detrital zircons from terrigenous deposits of the Upper Precambrian of the Subpolar Urals] / A. M. Pystin, O. V. Grakova, Yu. I. Pystina, E. V. Kushmanova, K. S. Popvasev [et al.] // *Litosfera [Lithosphere]*. – 2022. – № 6. – P. 741–760. – DOI: <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-6-741-76>.
2. Pystin, A. M. Bazal'nyye otlozheniya verkhnego dokembriya v Timano-Severoural'skom regione [Basal deposits of the Upper Precambrian in the Timan-Northern Urals region] // A. M. Pystin, Yu. I. Pystina // *Litosfera [Lithosphere]*. – 2014. – № 3. – P. 41–50.
3. Pystin, A. M. Dokembriy Pripolyarnogo Urala: khronostratigraficheskiy aspekt [Precambrian of the Subpolar Urals : chronostratigraphic aspect] / A. M. Pystin, Yu. I. Pystina // *Proceedings of the Karelian Science Centre of the Russian Academy of Sciences*. – 2019. – № 2. P. 34–52. – DOI : <http://dx.doi.org/10.17076/geo904>.
4. Potapov, I. L. Strukturnaya evolyutsiya dokembriyskikh porod severnoy chasti Pripolyarnogo Urala [Structural evolution of Precambrian rocks of the northern part of the Subpolar Urals] / I. L. Potapov, K. S. Popvasev // *Bulletin of the Institute of Geology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. – 2017. – № 10. – P. 9–20.
5. Popvasev, K. S. Mineralogiya i PT usloviya obrazovaniya amfibolitov nyartinskogo metamorficheskogo kompleksa i man'khobeinskoy svity Pripolyarnogo Urala [Mineralogy and PT conditions for the formation of amphibolites of the Nyartinskiy metamorphic complex and the Mankhobeinskaya suite of the Subpolar Urals] / K. S. Popvasev // *Bulletin of the Perm University. Geology*. – 2022. – Vol. 21. – № 3. – P. 216–228. – DOI : <https://doi.org/10.17072/psu.geol.21.3.216>.
6. Timonina, R. G. Petrologiya metamorficheskikh porod Pripolyarnogo Urala [Petrology of metamorphic rocks of the Subpolar Urals] / R. G. Timonina – Ленинград : Nauka, 1980. – 100 p.
7. Pystin, A. M. Polimetamorficheskiye komplekсы zapadnogo sklona Urala [Polymetamorphic complexes of the western slope of the Urals] / A. M. Pystin. – Saint-Petersburg : Nauka, 1994. – 208 p.
8. State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 200 000. North-Ural series. Sheet Q-41-XXV. Explanatory letter. – Moscow : MF VSEGEI, – 2013. – 252 p.
9. Berman, R. G. Thermobarometry using multiequilibrium calculations : a new technique with petrologic applications / R. G. Berman, L. Ya. Aranovich // *Canadian Mineralogist*. – 1991. – Vol. 29. – P. 833–855.

10. Berman, R. G. Optimized standard state and solution properties of minerals. I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet, and ilmenite in the system FeO–MgO–CaO–Al₂O₃–TiO₂–SiO₂ / R. G. Berman // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1996. – Vol. 126. – № 1–2. – P. 1–24. DOI : <https://doi.org/10.1007/s004100050232>.
11. Aranovich, L. Ya. Optimized standard state and solution properties of minerals. II. Comparisons, predictions, and applications / L. Ya. Aranovich, R. G. Berman // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1996. – Vol. 126. – № 1–2. – P. 25–37. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s004100050233>.
12. Yudovich, Ya. E. Ocherki litokhimii Timano-Ural'skogo regiona [Essays on lithochemistry of the Timan-Ural region] / Ya. E. Yudovich, M. P. Ketris, V. V. Tereshko, N. V. Rybina. – Syktyvkar : Institute of Geology, Komi Science Centre of the Ural Branch RAS, 2016. – 236 p.
13. Markova, P. A. Nyartinskiy metamorficheskiy kompleks pripolyarnogo Urala : pervichnaya priroda metamorficheskikh porod i paleogeograficheskiye usloviya formirovaniya protolitov [The Nyartinskiy metamorphic complex of the Subpolar Urals : the primary nature of metamorphic rocks and paleogeographic conditions for the formation of protoliths] / P. A. Markova // Bulletin of the Institute of Geology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2016. – № 7. – P. 19–32.
14. Predovskiy, A. A. Rekonstruktsiya usloviy sedimentogeneza i vulkanizma rannego dokembriya [Reconstruction of the conditions of sedimentogenesis and volcanism of the Early Precambrian] / A. A. Predovskiy. – Leningrad : Nauka, 1980. – 152 p.
15. Tischendorf, G. A new graphical presentation and subdivision of potassium micas / G. Tischendorf, M. Rieder, H. Förster, B. Gottesmann, C. Guidotti // Mineralogical Magazine. – 2004. – Vol. 68(4). – P. 649–667. – DOI: <https://doi.org/10.1180/0026461046840210>.
16. Hey, M. H. A new review of the chlorites / M. H. Hey // Mineralogical Magazine. – 1954. – Vol. 30. – P. 277–292.
17. Pystina, Yu. I. Tsrkonovaya letopis' Ural'skogo dokembriya [Zircon chronicle of the Ural Precambrian] / Yu. I. Pystina, A. M. Pystin. – Ekaterinburg : Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002. – 168 p.
18. Pystin, A. M. Metamorfizm i granitobrazovaniye v proterozoysko-rannepaleozoyskoy istorii formirovaniya Pripolyarnoural'skogo segmenta zemnoy kory [Metamorphism and granite formation in the Proterozoic-Early Paleozoic history of the formation of the Subpolar Ural segment of the Earth's crust] / A. M. Pystin, Yu. I. Pystina // Litosfera [Lithosphere]. – 2008. – № 6. – P. 25–38.
19. Kleemann, U. Garnet-biotite thermometry revisited : The effect of Al[VI] and Ti in biotite / U. Kleemann, J. Reinhardt // European Journal of Mineralogy. – 1994. – Vol. 6 (6). – P. 925–941.
20. Holdaway, M. J. Application of new experimental and garnet Margules data to the garnet-biotite geothermometer / M. J. Holdaway. – 2000. – American Mineralogist. – Vol. 85. – P. 881–892.
21. Kaneko, Y. Recalibration of mutually consistent garnet-biotite and garnet-cordierite geothermometers / Y. Kaneko, T. Miyano // Lithosphere. – 2004. – Vol. 73 (3–4). – P. 255–269. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2003.12.009>, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2005.09.003>.
22. Hoisch, T. D. Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet / T. D. Hoisch // Contributions to Mineralogy and Petrology. – Vol. 104. – P. 225–234. – DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00306445>.
23. Wu, C. M. Revised empirical garnet-biotite-muscovite-plagioclase geobarometer in metapelites / C. M. Wu // Journal of Metamorphic Geology. – 2015. – Vol. 33 (2). – P. 167–176. – DOI: <https://doi.org/10.1111/jmg.12115>.
24. Dobretsov, N. L. Fatsii metamorfizma [Facies of metamorphism] / N. L. Dobretsov, V. V. Reverdatto, V. S. Sobolev, N. V. Sobolev, V. V. Khlestov. – Moscow : Nauka, 1970. – Vol. 1. – 432 p.
25. Andreichev, V. L. Evolyutsiya fundamenta Pechorskoy plity po izotopno-geokhronologicheskim dannym [Evolution of the basement of the Pechora plate according to isotope-geochronological data]: extended abstract of Doctor's thesis (Geology and Mineralogy) / V. L. Andreichev. – Ekaterinburg, 2010. – 47 p.
26. Zang, W. Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahia gold deposit, Carajás, Brazil / W. Zang, W. S. Fyfe // Mineralium Deposita. – 1995. – Vol. 30. – P. 30–38 (1995). – DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00208874>.
27. Andreichev, V. L. Izotopnaya geokhronologiya douralid Pripolyarnogo Urala [Isotope geochronology of pre-uralids of the Subpolar Urals] / V. L. Andreichev. – Syktyvkar, 1999. – 48 p.

Информация об авторах:

Попвасев Константин Степанович – младший научный сотрудник Геологического музея им. А. А. Чернова Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: kspovvasev@geo.komisc.ru).

Потапов Игорь Леонидович – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: ilpotapov@geo.komisc.ru).

About the authors:

Konstantin S. Popvasev – Junior Researcher at the A. A. Chernov Geological Museum at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: kspopvasev@geo.komisc.ru).

Igor L. Potapov – Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Researcher at the Institute of Geology named after academician N. P. Yushkin, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982; e-mail: ilpotapov@geo.komisc.ru).

Для цитирования:

Попвасев, К. С. Парагнейсы няртинского метаморфического комплекса и маньхобеинской свиты (Приполярный Урал): метаморфизм, минеральные и структурные особенности / К. С. Попвасев, И. Л. Потапов // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Науки о Земле». – 2024. – № 3 (69). – С. 27–40.

For citation:

Popvasev, K. S. Paragnejsy nyartinskogo metamorficheskogo kompleksa i manhobeinskoj svity (Pripolyarnyj Ural): metamorfizm, mineralnye i strukturnye osobennosti [Paragneisses of the Nyartinskiy metamorphic complex and the Mankhobeinskaya suite (Subpolar Urals): metamorphism, mineral and structural properties] / K. S. Popvasev, I. L. Potapov // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Earth Sciences". – 2024. – № 3 (69). – P. 27–40.

Дата поступления статьи: 04.04.2024

Прошла рецензирование: 05.05.2024

Принято решение о публикации: 17.05.2024

Received: 04.04.2024

Reviewed: 05.05.2024

Accepted: 17.05.2024