

Первичный состав и Р-Т условия метаморфизма метаосадочной толщи неопротерозойского возраста(?) восточной зоны Харбейского блока (Полярный Урал)

©2024 Н. С. Уляшева[✉]

*Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
ул. Первомайская, 54, 167982, Сыктывкар, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: Изучен первичный состав и Р-Т условия метаморфизма метаосадочной толщи спорного генезиса, обнажающейся в восточной зоне Харбейского блока Центрально-Уральской тектонической зоны Полярного Урала среди пород харбейского амфиболит-гнейсового комплекса.

Методика: Петрографические и минералогические особенности пород изучены с помощью поляризационного и электронного микроскопов. Первичный состав метаморфитов установлен с использованием идентификационных диаграмм. Предположительные источники сноса для метатерригенной составляющей и геодинамическая обстановка формирования пород выявлены с помощью анализа содержаний петрогенных компонентов, редких и редкоземельных элементов, а Р-Т условия метаморфизма установлены с применением методов классической и мультиравновесной термобарометрии.

Результаты и обсуждение: Петрографические исследования показали, что метаосадочная толща представлена переслаивающимися черными и кристаллическими сланцами, мраморами. Черные сланцы принадлежат к углеродисто-кремнистой и углеродисто-терригенной формациям. Протолитом для кристаллических сланцев служили глинистые породы и граувакки, сформировавшиеся, по-видимому, в обстановке активной континентальной окраины за счет размыва пород основного состава с надсубдукционными геохимическими метками, в том числе, возможно, метабазальтов ханмейхойской свиты, и континентальных образований кислого состава. По составам питающих провинций породы отличаются от метатерригенных образований париквасьшорской и верхнехарбейской свит. В кристаллических сланцах наблюдается зональность барровианского типа: гранат–ставролит–кианит. Р-Т параметры метаморфизма для кианитовой зоны, рассчитанные с помощью программы TWQ по минеральной ассоциации $Ky+Pl+Bt+Ms+Grt+Qz+Ilm+Rt$ соответствуют средним температурам и повышенным давлениям: Т – 530–550° С, Р – 7 кбар. Для гранатовой зоны термодинамические условия метаморфизма, полученные методами классической термобарометрии ($Gr-Bt$ геотермометры, $GBMP$ геобарометр), имеют более низкие значения и составляют: Т – 460–500° С, Р – 5.6–6.5 кбар. По характеру метаморфизма толща коррелируются с париквасьшорской и ханмейхойской свитами, претерпевшими преобразования в девоне–карбоне.

Выводы: Полученные результаты дают основание рассматривать метаосадочную толщу восточной зоны Харбейского блока в качестве самостоятельной свиты, залегающей выше ханмейхойской свиты и подтверждают предположение о том, что породы Харбейского блока, развитые восточнее от Хадатинско-Ханмейского надвига, имели метаморфическую и тектоническую историю развития, отличающуюся от модели развития пород западной зоны и связанную, по-видимому, с обдукционно-коллизионными процессами становления уральского орогена.

Ключевые слова: кристаллические сланцы, первичный состав, геотермобарометр, Полярный Урал, Харбейский блок.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Уляшева Наталья Сергеевна, e-mail: nataliaulyashewa@yandex.ru

Источник финансирования: Работа выполнена в рамках темы НИР государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Североуральского литосферного сегмента».

Для цитирования: Уляшева Н. С. Первичный состав и Р–Т условия метаморфизма метаосадочной толщи неопротерозойского возраста(?) восточной зоны Харбейского блока (Полярный Урал) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2024. № 2. С. 71–85. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/2/71-85>

Введение

В Харбейско-Марункеуской зоне Полярного Урала выделяются два структурно-вещественных комплекса: зеленосланцевые толщи няровейской серии (верхнехарбейская и минисейшорская свиты) и глубокометаморфизованные образования харбейского и марункеуского комплексов (рис. 1). Согласно устоявшимся представлениям, метаморфизованные стратифицированные образования харбейского амфиболит-гнейсового и марункеуского эклогит-амфиболит-гнейсового комплексов относятся к палеопротерозойскому структурному этажу – выступу фундамента платформы, на котором с угловым и стратиграфическим несогласием залегают неопротерозойские (средний рифей) зеленосланцевые толщи верхнехарбейской свиты няровейской серии [1–3]. В последние времена появились новые данные, что породы харбейского и марункеуского комплексов и зеленосланцевые толщи няровейской серии близко одновозрастные (неопротерозой). Они, по-

видимому, отличаются лишь по степени метаморфизма, связанного с палеозойскими субдукционно-коллизионными процессами формирования уралид [4–6]. В связи с этим харбейский и марункеуский метаморфические комплексы можно рассматривать как тектонические блоки на краю палеоконтинента, вовлеченные в зону субдукции и претерпевшие (средне-) высокотемпературные и высокобарические изменения, а в дальнейшем надвинутые на няровейскую серию [5]. Для решения вопросов стратиграфического расчленения и истории развития пород восточной зоны Харбейского блока актуально рассмотреть и установить первичный состав и Р–Т условия формирования метаосадочной толщи, обнажающейся к востоку от Хадатинско-Ханмейского надвига среди метаморфитов харбейского комплекса (рис. 1), которую относят как к верхнехарбейской свите няровейской серии [2], так и к париквасьшорской свите харбейского амфиболит-гнейсового комплекса [7].

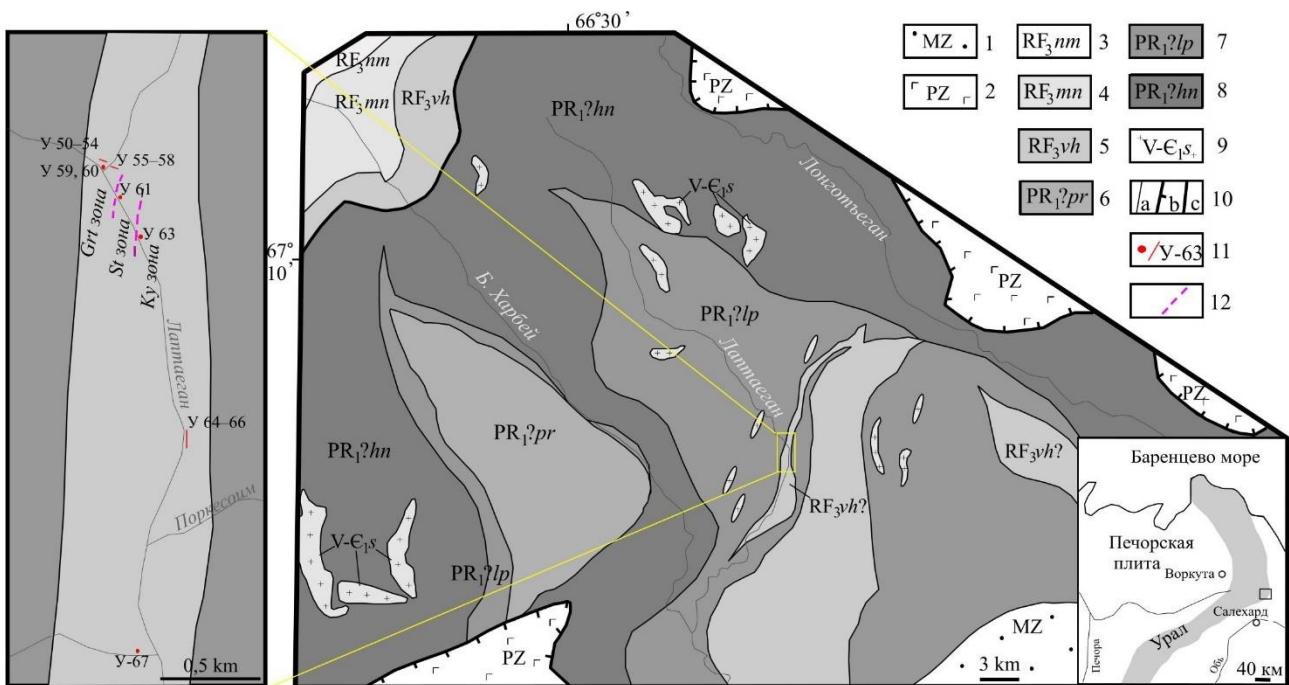


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Харбейского блока с точками отбора образцов (по [2]): 1 – мезозойские отложения Западно-Сибирской платформы; 2 – палеозойские образования Тагило-Магнитогорской зоны; 3–5 – зеленосланцевые толщи: 3 – немурьюганская свита, 4 – минисейшорская свита, 5 – верхнехарбейская свита; 6–8 – харбейский гнейсо-амфиболитовый комплекс; 6 – париквасьшорская свита, 7 – лаптауганская свита, 8 – ханмейхайская свита; 9 – гнейсо-граниты сядатояхинского комплекса; 10 – границы раздела (a – между свитами, b – Главный Уральский разлом, c – Хадатинско-Ханмейский надвиг); 11 – места отбора и номера образцов; 12 – изограды индекс-минералов (Grt – гранат, St – ставролит, Ky – кианит).

[Fig. 1. Schematic geological map of the Kharbey block with sampling points (according to [2]): (1) – Mesozoic deposits of the West Siberian platform; (2) – Paleozoic formations of the Tagil-Magnitogorsk zone; (3–5) – greenschist sequences: (3) – Nemuryugan Formation,

(4) – Miniseishor Formation, (5) – Upper Kharbey Formation; (6–8) – Kharbey gneiss-amphibolite complex: (6) – Parikvashor Formation, (7) – Laptayugan Formation, (8) – Khanmeikhoy Formation; (9) – gneiss-granites of the Syadatoyakha complex; (10) – interfaces ((a) – between suites, (b) – Main Ural Fault, (c) – Khadatinsky-Khanmey overthrust); (11) – places of sampling; (12) – isograds of index minerals (Grt – garnet, St – staurolite, Ky – kyanite).]

Методы исследования

Минеральный состав, текстурные и структурные особенности пород изучались под поляризационным микроскопом Биоптик СР-400. Содержания породообразующих оксидов получены с помощью метода мокрой химии. Химический состав минералов и их зональность изучались на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMH с энергодисперсионной приставкой Instruments X-Max (аналитики А. С. Шуйский, Е. М. Тропников). Определение концентраций редких и редкоземельных элементов осуществлялось путем кислотного разложения и дальнейшего анализа с помощью секторного масс-спектрометра Agilent 7700x (аналитик Г. В. Игнатьев) с ионизацией в индуктивно связанной плазме (ICP-MS). Исследования проводились в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Для установления Р–Т параметров метаморфизма применены методы как классической геотермобарометрии (гранат-биотитовые геотермометры [8, 9], геобарометр GBMP [10]), так и мультиравновесной минеральной термобарометрии (TWQ [11]).

Краткая характеристика геологической позиции Харбейского блока

Харбейский блок выделяется в пределах Собского поднятия в составе Центрально-Уральской тектонической зоны Полярного Урала. В западной области Харбейского блока обнажаются зеленосланцевые толщи няровейской серии (верхнехарбейская и мини-сейшорская свиты) и немурюганской свиты (рис. 1). На востоке верхнехарбейская свита по Хадатинско-Ханмейскому надвигу перекрывается харбейским амфиболит-гнейсовым метаморфическим комплексом, в составе которого выделяются (снизу вверх) ханмейхайская (амфиболиты, гнейсы), лаптауганская (амфиболиты, гнейсы, кварциты) и париквашорская свиты.

Метаморфизм пород ханмейхайской свиты достигал условий эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фазий повышенных и умеренных давлений ($T = 575\text{--}685^\circ\text{C}$; $P = 6\text{--}13\text{ кбар}$) и происходил в девоне-карбоне [5].

Поводом для отнесения пород харбейского амфиболит-гнейсового комплекса к палеопротерозойским образованиям послужили представления о том, что чем выше метаморфизм, тем породы древнее, а также результаты Pb-Pb датирования зерен циркона из единичных проб гнейсов [12].

За последнее десятилетие появились новые надежные изотопно-геохронологические данные, позволяющие пересмотреть стратиграфическое расчленение пород осевой зоны Полярного Урала. U–Pb-датирование дегритовых зерен циркона из метапесчаника няровейской серии показало ошибочность выделения её в качестве среднерифейского стратона и позволило ограничить эпизод осадконакопления серии возрастом 660

млн лет – криогением (верхним рифеем) [13].

Sm-Nd (TDM2) модельные возраста амфиболитов ханмейхайской свиты харбейского метаморфического комплекса составляют 1.07, 1.13 млрд лет [5] и ограничивают нижний предел формирования этой свиты. По цирконам магматического генезиса из амфиболитов и плагиогнейсов ханмейхайской свиты U–Pb методом получены конкордантные возраста – 577, 582 [4], 583 млн лет [14], что позволило возвести породы свиты, и следовательно стратиграфические единицы харбейского метаморфического комплекса, в ранг неопротерозойских (вендинских) образований. В амфиболитах были обнаружены ксеногенные округленные обломки зерна циркона с палеопротерозойскими и мезопротерозойскими возрастами, не имеющие отношения к времени формирования протолита и метаморфизма [14]. Таким образом, няровейская серия и стратифицированные отложения харбейского метаморфического комплекса близко одновозрастны и сформировались, по-видимому, в неопротерозое.

Верхнехарбейская свита няровейской серии картируется на западе в виде отдельных полос северо-западного и северо-восточного простираций шириной от 2–6 до 12 км, при протяженности более 30 км. Свита сложена метаморфизованными осадочными отложениями (кварцито-песчаники мусковит-кварц-полевошпатовые, сланцы хлорит-мусковит-кварц-альбитовые и хлорит-серicit-альбит-кварцевые, графитоидные сланцы, линзы кварцитов и мраморов) с горизонтами метабазитов [2, 3]. Протолитами сланцев являются пелиты, алевропелиты, полимиктовые, граувакковые и кварцевые песчаники, графитоидные сланцы – породы углеродисто-кремнистой и углеродисто-терригенной формаций [15]. Уровень метаморфизма пород не превышал фации зеленых сланцев ($T = 400\text{--}450^\circ\text{C}$, $P = 3\text{--}5\text{ кбар}$) [16].

Париквашорская свита харбейского комплекса картируется на водоразделе рек Малый Ханмей–Большой Харбей, Парнаеган, Киргизшор. Стратотип описан по руч. Париквашор. Она прослеживается в виде расширяющейся с северо-запада на юго-восток полосы шириной 3–12 км при протяженности около 30 км, слагая одноименную синформу. В составе свиты выделяют три пачки: нижняя, средняя и верхняя. Первая сложена плагиогнейсами мусковитовыми и двуслюдянymi, переслаивающимися с прослоями амфиболитов. Средняя пачка характеризуется большим разнообразием пород: плагиогнейсы гранат-двуслюдянные, двуслюдянные, амфибол-двуслюдянные и иногда мусковитовые. Верхняя пачка париквашорской свиты сложена плагиогнейсами и высокоглиноземистыми кристаллическими сланцами с кианитом, ставролитом и гранатом [2, 3]. Субстратом плагиогнейсов и кристаллических сланцев являлись псаммитовые, алевритовые и пелитовые породы. Характер минеральных ассоциаций этого стратона свидетельствует о меньшей

степени динамотермальных образований пород по сравнению с породами ханмейхойской и лаптауганской свит [7]. Для пород характерна зональность барровианского типа, уровень метаморфизма соответствует $T = 450\text{--}600^\circ\text{C}$, $P = 4\text{--}6$ кбар [17].

Петрография и минералогия

В восточной зоне Харбейского блока по р. Лаптаеган обнажается толща метаосадочных пород (рис. 1), образующая узкую полосу (0.6–2 км) северного, северо-восточного простирания и представленная переслаивающимися пачками черных сланцев, кристаллических сланцев и мраморизованных известняков. Направление простирания поверхностей раздела между разными типами пород северо-восточное и совпадает с ориентировкой сланцеватости метаморфитов, падение пород северо-западное.

Обогащенные органическим веществом породы представлены плагиоклаз-мусковит-кварцевыми (У-50, 58), мусковит-кварцевыми (У-52, 54), плагиоклаз-биотит-кварцевыми (У-56), мусковит-биотит-кварцевыми (У-51) и цоизит-мусковит-кварцевыми (У-59, 60) сланцами и кварцитами (У-64). Они образуют пачки мощностями от 1 до 30 м (рис. 2а). Содержание C_{org} в них варьирует от 1.85 до 9.87 % (табл. 1), в связи с этим их можно отнести к низкоуглеродистым и углеродистым черным сланцам. Породы имеют сланцеватую и плойчатую текстуры, мелкозернистую, лепидогранобластовую иногда порфиробластовую структуры. Состав сланцев (в об. %): кварц (40–65), плагиоклаз (1–10), углеродистое вещество (10–35), мусковит (1–30), биотит (0–10), апатит (1–10), цоизит (0–15), лейкоксен-направленный ильменит (0–1), титанит (0–1) и гидроксиды железа (1). Полосчатость пород обусловлена перераспределением вещества: прослои мощностью до 0.3 мм, выполненные мусковитом, биотитом и углеродистым веществом, перемежаются с альбит-кварцевыми слойками мощностью до 0.5 мм. Углеродистое вещество представлено комковатыми удлиненными выделениями, пылевидно-точечными скоплениями размером до 0.4 мм (рис. 2б). Изредка в породах можно наблюдать крупные порфиробласти цоизита размером до 3 мм с включениями углеродистого вещества и кварца.

Среди кристаллических сланцев распространены двуслюдянные гранат-плагиоклаз-кварцевые (У-55, 57, 67), двуслюдянные ставролит-гранат-плагиоклаз-кварцевые (У-61) и двуслюдянные кианит-ставролит-гранат-плагиоклаз-кварцевые (У-63, 65) разновидности, образующие пласти мощностями 2–20 мм.

Двуслюдянные кианит-ставролит-гранат-плагиоклаз-кварцевые сланцы имеют лепидогранобластовую, порфиробластовую, гелицитовую, средне- и мелкозернистую структуры; сланцеватую и полосчатую текстуры. Сланцы в переменном количестве (в об. %) содержат кварц (30–40), олигоклаз (15–20), гранат (1–3), биотит (20–25), мусковит (3–15), ставролит (1–2), кианит (1–3), хлорит (1–2), цоизит (0–1), кальцит (0–2), рутил (1), ильменит (1–2), апатит (1–3), циркон (1), монацит (ед. зерна), углеродистое вещество (0–2). Полосчатость

породы обусловлена наличием прослоев мощностью до 3–5 мм различного состава – преимущественно плагиоклаз-кварцевых и гранат-ставролит-кианит-биотитовых. Порфиробласти образуют изометричные зерна граната размером до 4 мм и длиннопризматические и призматические кристаллы кианита размером до 3 мм, которые, по-видимому, являются синдеформационными образованиями (рис. 2с, д). Часто они имеет скрученную S образную форму (структуре снежного кома) и тени давления, выполненные кварцем. Включения в порфиробластах ориентированы под углом к направлению сланцеватости в основной массе породы. В гранатах они вытянутые и представлены кварцем, апатитом, ставролитом, олигоклазом ($\text{An}_{23\text{--}24}$), ильменитом и цирконом. Включения в кианите представлены кварцем и углеродистым веществом. Гранат относится к спессартин-гроссуляр-альмандиновому ряду и имеет зональное строение (рис. 3): наблюдается увеличение Fe и Mg и уменьшение Ca и Mn от центра ($\text{Prp}_{5.9}\text{Sps}_{10\text{--}16}\text{Alm}_{54\text{--}61}\text{Ca}_{\text{комп17\text{--}27}}$) к периферии ($\text{Prp}_{11\text{--}13}\text{Sps}_{5\text{--}8}\text{Alm}_{71\text{--}75}\text{Ca}_{6\text{--}11}$). Железистость граната ($X_{\text{Fe}}=\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$) варьирует в интервале 0.85–0.92. Чешуйки бурого биотита ($X_{\text{Fe}}=0.41\text{--}0.44$) размером до 2.5 мм изредка замещаются по краям хлоритом. Слюды формируют сланцеватость породы, огибают порфиробласти граната и кианита. Ставролит образует призматические зерна размером до 0.7 мм, имеет слабо желтую окраску, ассоциируется с кианитом и биотитом. Минерал имеет примесь ZnO (0.59–1.27 мас. %), железистость составляет $X_{\text{Fe}}=0.81\text{--}0.87$. Ильменит ассоциируется с рутилом, который в свою очередь обрастает титанитом.

Двуслюдянные ставролит-гранат-плагиоклаз-кварцевые сланцы отличаются от предыдущего типа пород отсутствием в породе кианита.

Двуслюдянные плагиоклаз-кварцевые сланцы в переменном количестве содержат (в об. %) кварц (30–40), андезин (10–15), биотит (20–25), мусковит (3–5), гранат (0–10), клиноцизит (0–10), кальцит (0–8), хлорит (10), апатит (1–2), ильменит (0–1), рутил (0–1), титанит (0–1), лейкоксен (0–1), сульфиды (0–2), циркон (1), углеродистое вещество (0–2 %). В породе отсутствуют кианит и ставролит.

Гранат в породах представлен как в виде порфиробластов размером до 2 мм с включениями кварца и иногда клиноцизита, так и в виде мелких зерен размером до 0.15 мм, равномерно распределенных по породе. В последнем случае он является, скорее всего, постдеформационным (рис. 2е). Центральные части минерала часто полностью состоят из биотита и кварца и гранат выглядит как оболочка вокруг них. Порфиробластический гранат спессартин-гроссуляр-альмандинового ряда имеет прогрессивную зональность: от центра ($\text{Prp}_{2}\text{Sps}_{8\text{--}25}\text{Alm}_{39\text{--}55}\text{Ca}_{33\text{--}34}$) к краю ($\text{Prp}_{2\text{--}3}\text{Sps}_{7\text{--}9}\text{Alm}_{56\text{--}58}\text{Ca}_{32}$) увеличивается количество Mg и Fe и уменьшаются содержания Mn и Ca. Они отличаются от гранатов из кианитсодержащих сланцев пониженным содержанием альмандинового и пиропового и повышенным спессартинового и гроссулярового компонентов как в центральных, так и краевых частях минералов.

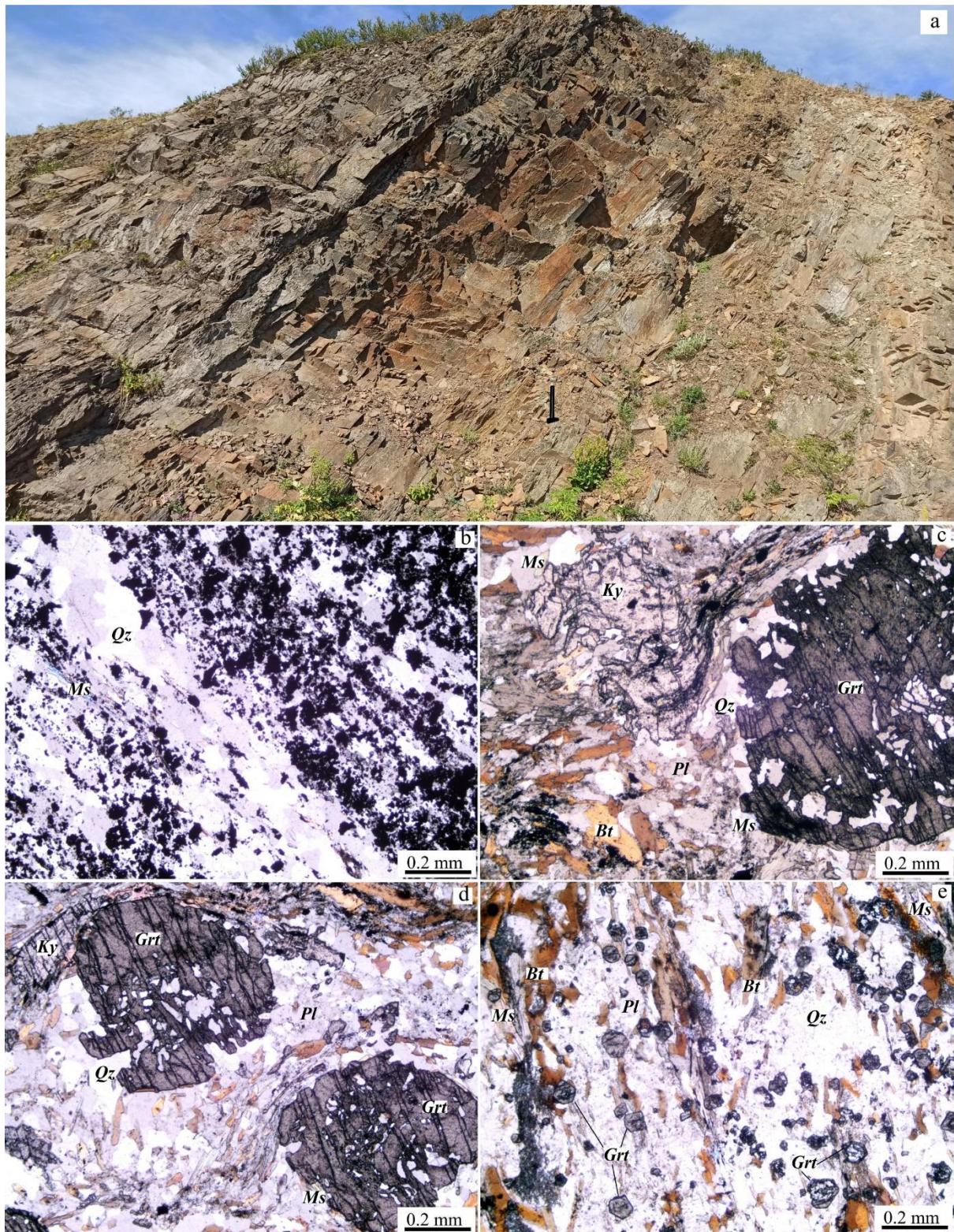


Рис. 2. Выходы черных сланцев по р. Лаптаеган (a), структурные и текстурные особенности метаосадочных пород (b–e): b – комковатые выделения углеродистого вещества в мусковит-кварцевых черных сланцах; c, d – порфироблазты синдеформационных граната и кианита в кристаллических сланцах; e – мелкие зерна постдеформационного граната в кристаллическом сланце. Изображения получены при одном николе. Условные обозначения: Qz – кварц, Ms – мусковит, Bt – биотит, Grt – гранат, Pl – плагиоклаз, Ky – кианит.

[Fig. 2. Outcrops of black shales: (a) – structural and textural features of metasedimentary rocks (b–e): (b) – lumpy segregations of carbonaceous matter in muscovite-quartz black shales; (c, d) – porphyroblasts of syndeformational garnet and kyanite in crystalline schists; (e) – fine grains of post-deformation garnet in schist. The images were taken at one nikol. Symbols: Qz – quartz, Ms – muscovite, Bt – biotite, Grt – garnet, Pl – plagioclase, Ky – kyanite.]

Табл. 1. Химический состав метаосадочных пород, в мас. %
[Table 1.] Chemical composition of the meta-sediment rocks, in wt. %]

№ п/п	№ обр. [Sampe]	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	C _{опр.}
1	У-51	78.8	0.42	8.42	0.39	1.91	0.04	0.85	0.52	0.23	2.68	0.32	4.41	2.56
2	У-50	70.58	0.35	6.75	0.41	1.83	0.02	0.76	5	0.16	2.35	3.66	6.43	4.62
3	У-54	74.82	0.3	5.13	0.79	1.22	0.04	0.59	4.9	0.15	1.67	3.58	5.23	3.94
4	У-56	71.56	0.43	7.69	0.72	2.68	0.04	1.57	3.29	0.74	2.21	2.06	6.7	5.71
5	У-58	63.51	0.31	5.71	2	1.11	0.06	1.64	9.08	0.23	1.8	6.73	6.52	4.16
6	У-59	79.02	0.29	4.59	0.15	2.07	0.03	0.47	3.58	0.14	1.45	2.4	5.12	4.07
7	У-60	57.01	0.69	12.51	1.56	1.68	0.06	1.19	5.68	0.25	2.87	3.39	12.24	9.87
8	У-64	91.39	0.05	1.04	0.13	1.12	0.02	0.2	1.82	0.05	0.28	1	2.15	1.85
9	У-55	62.82	0.64	14.48	0.9	4.29	0.14	1.71	5.28	3.03	2.21	0.15	2.78	0.12
10	У-57	73.62	0.54	9.82	0.75	3.29	0.05	1.91	2.46	1.64	2.3	0.16	2.05	0.46
11	У-61	67.41	0.95	12.35	0.48	5.08	0.12	2.28	3.38	1.99	2.59	0.49	1.85	–
12	У-63	57.46	1.22	17.67	0.78	6.39	0.11	4.27	2.24	3.08	3.41	0.33	1.68	–
13	У-65	70.82	0.65	12.04	0.57	4.48	0.07	2.93	1.49	2.21	1.76	0.12	1.82	0.29
14	У-67	72.11	0.67	10.95	0.41	4.67	0.19	1.75	2.35	2.17	2.06	0.36	1	0.45

Примечание: 1–8 – черные сланцы, 9–14 – кристаллические сланцы.

[Note: (1–8) – black shales; (9–14) – crystalline schists.]

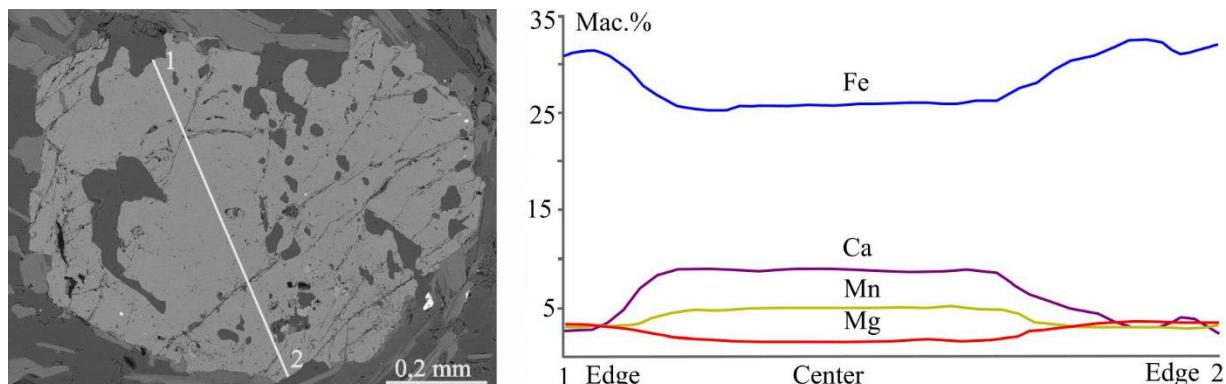


Рис. 3. Прогрессивная зональность в порфиробластическом гранате.

[Fig. 3. Progressive zoning in porphyroblastic garnet.]

Железистость граната варьирует в интервале $X_{\text{Fe}} = 0.94\text{--}0.96$. Плагиоклаз в породе представлен андезином ($\text{An}_{30\text{--}31}$). Биотит ($X_{\text{Fe}} = 0.59\text{--}0.63$) и мусковит вытянуты в одном направлении.

Мраморы или мраморизованные известняки образуют выходы мощностью до 15 м. Они имеют гранобластовую структуру и массивную текстуру, состоят из (в об. %) карбоната (90), кварца (1–5), мусковита (менее 1), углеродистого вещества (1), окислов железа (1). Между призматическими кристаллами карбоната размером до 2 мм расположены изометричные зерна кварца размером до 0.6 мм. Изредка в породе можно увидеть чешуйки мусковита. Углеродистое вещество распространено неравномерно, оно образует пылевидные скопления.

Протолиты метаморфических пород

Черные сланцы с преобладанием в породе кварца (мусковит-кварцевые, мусковит-биотит-кварцевые и клиноцизит-мусковит-кварцевые) на идентификационной диаграмме ASC [18] обнаруживают сходство с кремнисто-углеродистой формацией, остальные поро-

ды тяготеют к области терригенно-углеродистой формации, образуя тренд в сторону кремнисто-углеродистых пород (рис. 4 а).

Для установления осадочной природы кристаллических сланцев была использована диаграмма Херрона [19]. Точки составов пород (У-55, У-63) с низким содержанием кремнезема ($\text{SiO}_2 = 57.5\text{--}62.8$ мас. %) и повышенным глиноземом ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 17.7\text{--}14.5$ мас. %) располагаются в области глинистых сланцев, а остальные – в поле граувакков (табл. 1, рис. 4 б).

Содержания петрогенных компонентов, редких и редкоземельных элементов и значения их отношений широко используются для определения источников сноса, тектонических условий осадконакопления и степени химического выветривания, так как они наследуются от материнских пород [22].

По индексам ICV [20] и CIA [21], отражающим зрелость поступающей в область седиментации тонкой алюмосиликокластики и степень выветрелости, кианит-ставролит-гранатовый сланец (У-63) с низким $\text{SiO}_2 = 57.46$ мас. % и высоким $\text{Al}_2\text{O}_3 = 17.67$ мас. % является наиболее зрелым (ICV=0.2) с высоким количеством

собственно глинистых минералов и сильно выветрелым. Остальные кристаллические сланцы имеют индексы ICV больше 1 (1.4–1.6) и CIA – 46–59, что указывает на значительное количество неглинистых силикатных минералов в составе и слабую выветрелость

пород (рис. 4 с). Значения отношения калиевого модуля (K_2O/Al_2O_3) [20] для кристаллических сланцев варьирует от 0.15 до 0.23, что может указывать на низкое количество гранитных пород или КПШ в питающей провинции.

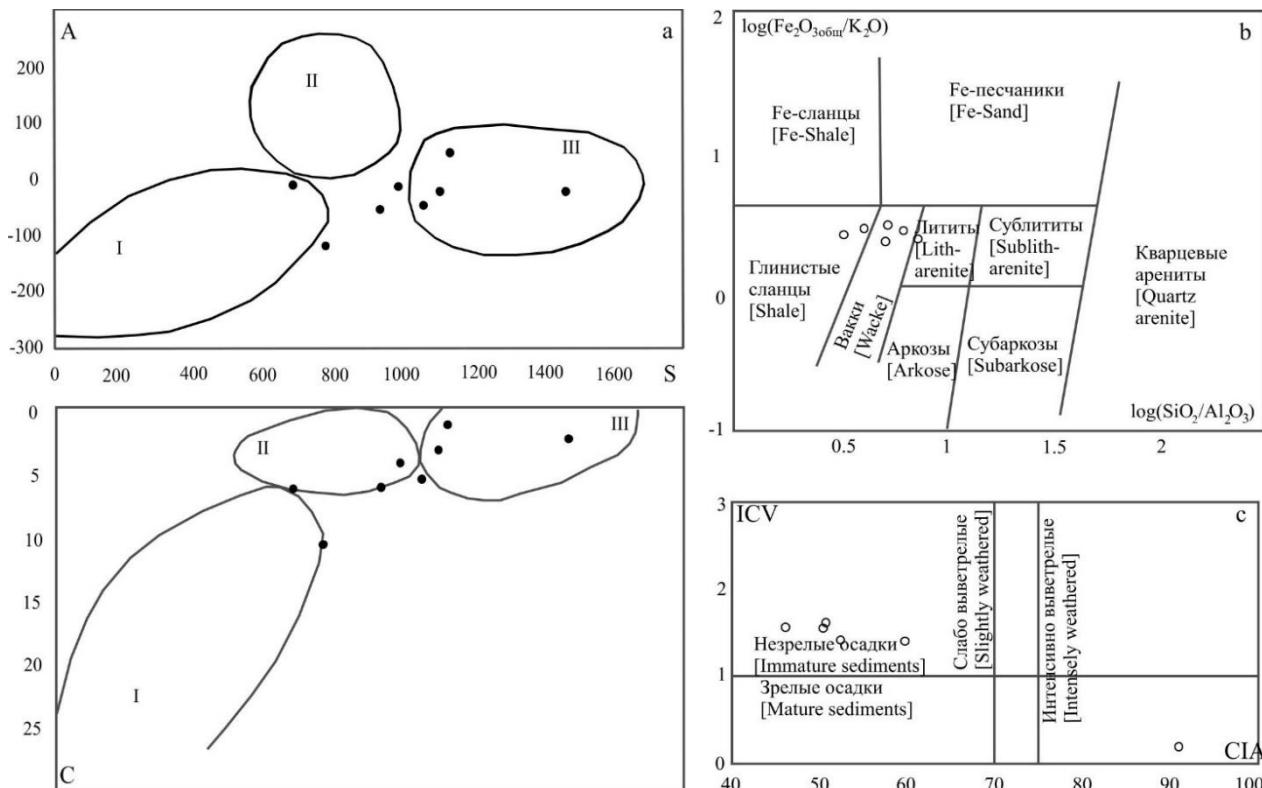


Рис. 4. Идентификационные диаграммы для метаосадочных пород: *a* [18] – для черных сланцев (I – карбонатно-углеродистая формация, II – углеродисто-терригенная формация, III – углеродисто-кремнистая формация); *b* [19] и *c* [20, 21] – для кристаллических сланцев.

[**Fig. 4.** Identification diagrams for metasedimentary rocks: (*a*) [18] – for black shales (I – carbonaceous-carbonate formation, II – carbonaceous-terrigenous formation, III – carbonaceous-siliceous formation); (*b*) [19] and (*c*) [20, 21] are for crystalline schists.]

Присутствие постархейского гранитного материала в метаосадочных образованиях отмечается по повышенным значениям Y_{Bn} (11–21) и отношения Th/Co (0.4–1.1) [23]. Смешанный состав источников сноса определяется промежуточными между кислыми, средними и основными породами значениями (табл. 2) отношений Th/Sc (0.4–0.6) и La/Sc (1.1–1.9). Значительный вклад пород основного состава указывают высокие значения отношений Cr/Zr (0.9–7.9) и Th/Cr (0.1–0.2), а также низкие суммарные содержания РЗЭ (81–184 ppm) [22]. Графики распределения содержаний РЗЭ в кристаллических сланцах, нормированных на состав хондрита [24], образуют наклон в сторону уменьшения тяжелых РЗЭ (рис. 5а). От PAAS (постархейского глинистого сланца) [28] рассматриваемые породы отличаются пониженным количеством легких РЗЭ и неярко выраженной положительной европиевой аномалией ($Eu/Eu^*=0.9–1.4$), когда как у PAAS она отрицательная. Такой характер распределения элементов, по-видимому, подтверждает наличие в источниках сноса пород основного состава.

Для сравнения на рис. 5а приведены спектры распре-

деления содержаний редких и редкоземельных элементов в амфиболитах (метабазальтах) ханмейхойской свиты [25]. В области тяжелых редкоземельных (Y, Yb) и высокозарядных (Ta, Nb, Zr, Hf) элементов линии составов кристаллических сланцев субпараллельны спектрам метабазальтов. Для метаосадочных пород, так же, как и для амфиболитов характерны специфические признаки: Ta-Nb и глубокая Zr-Hf отрицательные аномалии, которые хорошо заметны на N-MORB нормированных графиках [24] и могут свидетельствовать о генетическом родстве двух типов пород. Поставщиком материала основного состава для метаосадочных пород могли служить как метабазальты ханмейхойской свиты, так и островодужные образования, для которых характерны подобные аномалии высокозарядных элементов. Повышенные количества в метаосадках легких редкоземельных элементов и крупноионных лиофилов (Rb, Th) по сравнению с метабазальтами указывают на то, что размывались породы также с континента. Судя по полученным данным, рассматриваемая в этой работе метаосадочная толща стратиграфически залегает, скорее всего, выше ханмейхойской свиты.

Табл. 2. Содержания редких и редкоземельных элементов (в г/т)
в кристаллических сланцах и значения отношения индикаторных элементов
[Table 2. Rare and rare earth elements content (g/t) in crystalline schists and the ratios of indicator elements]

№ проб [Sampe]	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
y-65	17	42	4,8	19	4,3	1,7	4,7	0,7	3,6	0,8	2,6	0,4
y-67	23	55	6,4	25	5,6	2,4	6,3	1,0	5,2	1,1	3,4	0,5
y-63	32	73	8,5	33	7,4	2,8	10	1,3	6,5	1,3	3,7	0,5
y-61	26	54	6,7	26	5,7	2,0	8,1	1,0	5,5	1,1	3,2	0,4
y-55	16	36	4,7	19	4,4	2,2	5,7	0,8	4,6	1,0	2,9	0,4
y-57	13	31	3,8	15	3,3	1,8	4,5	0,6	3,0	0,7	2,0	0,3
№ проб [Sampe]	Ybn	Lu	Zr	Hf	Sc	Co	Th	V	Ni	Cr	Rb	Ba
y-65	2,7	0,4	47	1,4	16	6,2	6,8	68	16	43	61	640
y-67	3,5	0,5	22	0,7	15	19	9,1	126	48	56	65	1160
y-63	3,5	0,5	87	2,5	21	24	9,3	139	70	141	107	604
y-61	2,7	0,4	57	1,6	14	16	8,8	101	35	115	89	372
y-55	2,8	0,4	8,7	0,3	13	8,6	7,3	83	13	69	47	666
y-57	1,9	0,3	32	0,9	9,8	9	3,8	71	21	61	52	570
№ проб [Sampe]	Ta	Nb	Sr	Y	Th/Co	Th/Sc	La/Sc	Cr/Zr	Cr/V	Th/Cr	Lan/Ybn	ΣРЭ
y-65	0,3	3,7	106	17	1,1	0,4	1,1	0,9	0,6	0,2	4,5	104,7
y-67	0,7	7,4	195	27	0,5	0,6	1,5	2,5	0,4	0,2	4,7	138,9
y-63	0,4	6,3	140	33	0,4	0,4	1,5	1,6	1,0	0,1	6,6	184,1
y-61	0,3	7,1	181	29	0,6	0,6	1,9	2,0	1,1	0,1	6,9	142,8
y-55	0,2	3,0	262	24	0,8	0,6	1,2	7,9	0,8	0,1	4,1	100,9
y-57	0,3	4,1	109	16	0,4	0,4	1,3	1,9	0,9	0,1	4,9	81,1

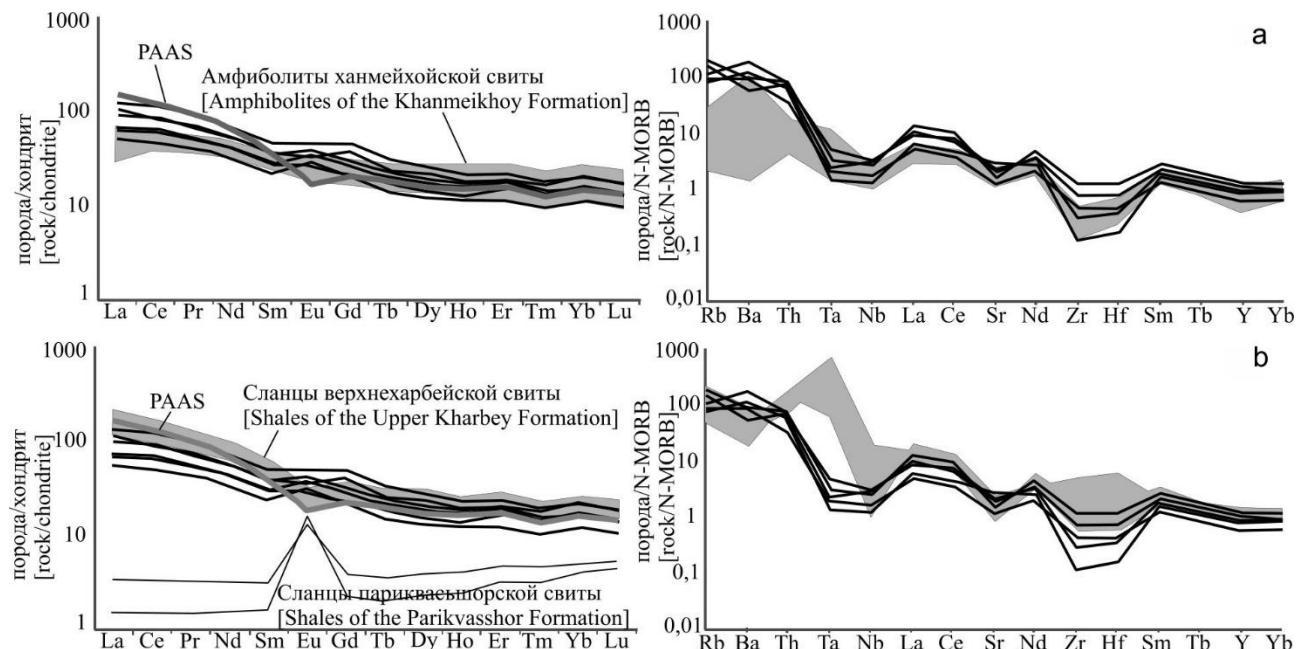


Рис. 5. Спектры содержаний редких и редкоземельных элементов кристаллических сланцев (черные жирные линии) восточной зоны Харбейского блока, нормированных на состав хондрита и базальта N-MORB [24]. Для сравнения приведены составы амфиболитов ханмейхойской свиты [25] (а), сланцев верхнехарбейской и париквасьшорской свит (б) [26, 27], PAAS [28].
[Fig. 5. Content spectra of rare and rare earth elements of crystalline schists (black bold lines) of the Eastern part of the Kharbeian block normalised to the composition of chondrite and basalt N-MORB [24]. The compositions of amphibolites of the Khanmeikhoyan suite [25] (a), and schists of the Parikvasshorsk and Verkhnekharbeisk suites (b) [26, 27], PAAS [28] are given for comparison.]

На диаграммах $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ [29], F1–F2 [30], DF1–DF2, DF3–DF4 [31], идентифицирующих геодинамические обстановки формирования осадочных пород (рис. 6), точки составов кристаллических сланцев

тяготеют в большинстве случаев к области обстановки активной континентальной окраины, редко точки составов располагаются в полях пассивной континентальной окраины. Реконструкция геодинамических

обстановок формирования метабазальтов хамнейхойской свиты показала, что они могли образоваться в обстановке континентального рифтогенеза [7] с последующим раскрытием задугового бассейна [25]. Вероятнее всего, протолиты кристаллических сланцев и ам-

фиболитов хамнейхойской свиты сформировались в обстановке окраинного моря, где активно проявляется вулканическая деятельность и куда поступают продукты размыта с островной дуги и пород континентальной окраины.

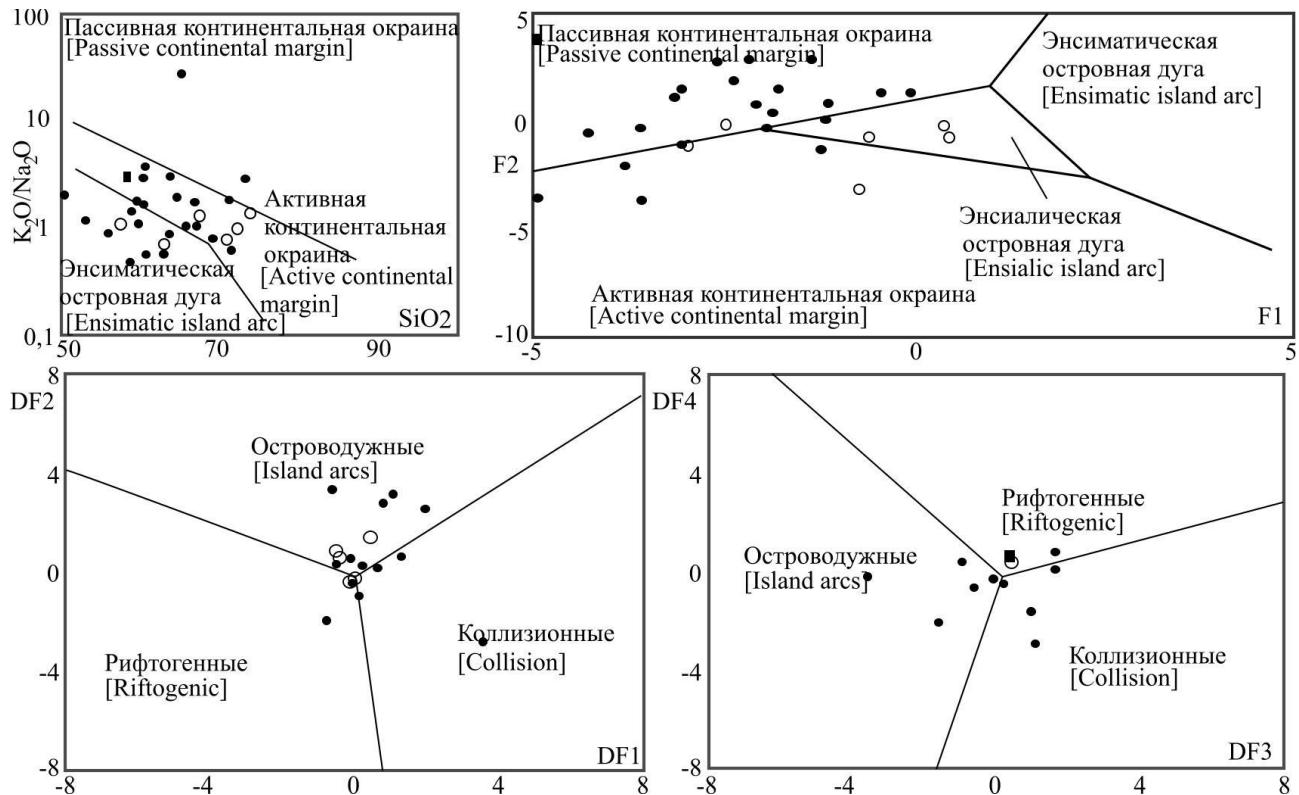


Рис. 6. Точки составов сланцев восточной зоны Харбейского блока (незакрашенные круги), верхнекарбейской (закрашенные круги) и париквашорской (закрашенный квадрат) свит на идентификационных диаграммах $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ [29], F1–F2 [30], DF1–DF2, DF3–DF4 [31].

[**Fig. 6.** Composition points of shales of the eastern zone of the Kharbey block (open circles), Upper Kharbey (filled circles) and Parikvasshorskaya (filled square) formations on identification diagrams $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$ [29], F1–F2 [30], DF1–DF2, DF3–DF4 [31].]

Р-Т условия метаморфизма пород

Петрографические исследования показали, что в породах присутствуют следующие ассоциации минералов: $\text{Ms}+\text{Qz}+\text{Ap}\pm\text{Pl}\pm\text{Bt}\pm\text{Czo}$ (в черных сланцах), $\text{Grt}+\text{Ms}+\text{Bt}+\text{Qz}+\text{Pl}+\text{Ap}\pm\text{Rt}\pm\text{Tit}\pm\text{Ilm}$, $\text{Gr}+\text{St}+\text{Bt}+\text{Ms}+\text{Pl}+\text{Qz}+\text{Rt}+\text{Ilm}+\text{Ap}\pm\text{Tit}$, $\text{Gr}+\text{Ky}+\text{St}+\text{Bt}+\text{Ms}+\text{Pl}+\text{Qz}+\text{Rt}+\text{Ilm}+\text{Ap}\pm\text{Tit}$ (в кристаллических сланцах), $\text{Ca}+\text{Qz}$ (в мраморизованных известняках). По кристаллическим сланцам фиксируется зональность барровианского типа – гранат–ставролит–кианит (рис. 1). Рассчитаны условия метаморфизма для гранатовой и кианитовой зон. Для пород, в которых отсутствуют ставролит и кианит, расчеты проводились по гранат–биотитовому геотермометру [8, 9] и геобарометру GBMP [10]. Р-Т условия формирования двуслюдяных гранат–плахиоклаз–кварцевых сланцев оцениваются как: $T = 460\text{--}500^\circ\text{C}$, $P = 5.6\text{--}6.5$ кбар.

Для двуслюдяных кианит–ставролит–гранат–плахиоклаз–кварцевых сланцев расчеты выполнены в программе winTWQ 2.32 [32] для минеральной ассоциации $\text{Pl}+\text{Bt}+\text{Ms}+\text{Grt}+\text{Qz}+\text{Ky}+\text{Ilm}+\text{Rt}$ с четырьмя независимыми реакциями, описывающими взаимодействие

между твердыми растворами и минералами постоянного состава:

1. $\text{Alm} + \text{Phl} = \text{Prp} + \text{Ann}$
2. $3\text{An} = 2\text{Ky} + \text{Qz} + \text{Grs}$
3. $\text{Alm} + 3\text{Rt} = \text{Ky} + 2\text{Qz} + 3\text{Ilm}$
4. $\text{Alm} + \text{Grs} + \text{Mu} = \text{An} + \text{Ann}$

Номера реакций соответствуют номерам линий на рис. 7. Первая реакция представляет собой геотермометр GARB (1), остальные – это геобарометры, в том числе известные как GASP (2) и GRAIL (3) [33]. Вычисления проводились в системе KCFMMASTiH и учитывались краевые зоны минералов, находящиеся в непосредственном контакте. Равновесными считаются реакции, точки парных пересечений которых близки друг к другу. Исходя из этого, можно утверждать, что минералы в породах достигли равновесия, пересечения реакций происходит в кианитовом поле и рассчитанные условия формирования кристаллических сланцев соответствуют средним температурам и повышенным давлениям: $T = 530\text{--}550^\circ\text{C}$, $P = 7$ кбар (рис. 7). Полученные результаты по программе TWQ хорошо сопоставляются с расчетами по гранат–биотитовым гео-

термометрам [8, 9], согласно которым температура формирования кианитсодержащих кристаллических сланцев оценивается 520–540°C. Значения давления, рассчитанные согласно геобарометру GBMP [10] несколько ниже по сравнению с данными программы TWQ и составляют 6.1–6.8 кбар.

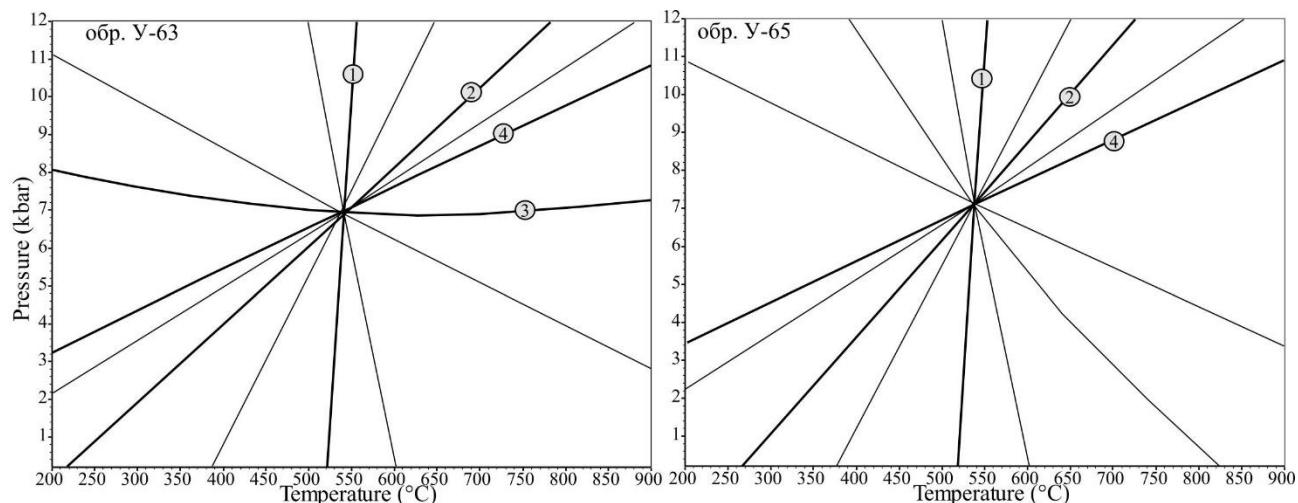


Рис. 7. Примеры TWQ диаграмм [11] со сходящимися линиями минеральных реакций (система KCFMASTiH) для парагенезиса $Pl + Bt + Ms + Grt + Qz + Ky + Ilm + Rt$ из двуслюдянных кианит-ставролит-гранат-плагиоклаз-кварцевых сланцев. Цифры в кругах — см. пояснение в тексте.

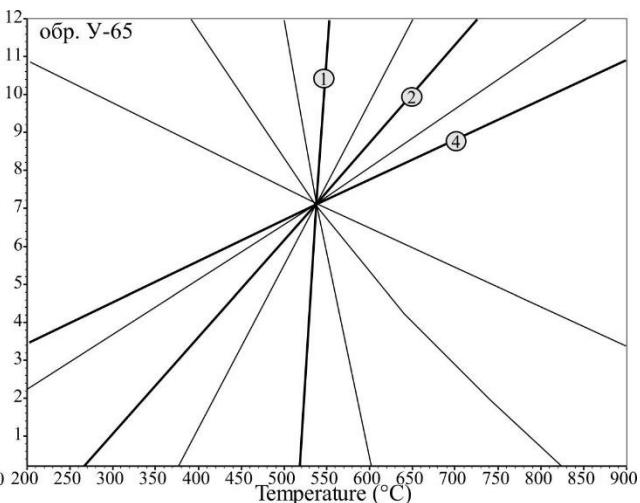
[**Fig. 7.** Examples of TWQ diagrams [11] with converging lines of mineral reactions (KCFMASTiH system) for the $Pl + Bt + Ms + Grt + Qz + Ky + Ilm + Rt$ paragenesis from two-mica kyanite-staurolite-garnet-plagioclase-quartz schists. The numbers in circles are detailed in the article.]

Сравнительная характеристика пород

Проведем сравнительную характеристику метаосадочной толщи в восточной зоне Харбейского блока с породами стратотипов верхнехарбейской и париквасьшорской свит по составу осадочного протолита и характеру метаморфизма.

Протолит. В изучаемой толще пород, как и в верхнехарбейской и париквасьшорской свитах присутствуют метатерригенные образования – метапелиты и метаграувакки. Однако в париквасьшорской свите отсутствуют карбонатные и углеродистые отложения [3], широко проявленные в верхнехарбейской свите. Для сравнения составов пород питающих провинций и геодинамических обстановок формирования свит приведены (рис. 5б, б) химические составы метапелитов и метаграувакков няровейской серии [27] и париквасьшорской свиты [26]. К сожалению, по париквасьшорской свите имеются достаточно скучные данные. На рис. 5б видно, что содержания РЭЗ в метапесчанике и метапелите париквасьшорской свиты кардинально отличаются пониженным количеством элементов, наклоном в сторону уменьшения легких РЭЗ и четко выраженной европиевой положительной аномалией, что подразумевает другой источник сноса, нежели для изучаемых кристаллических сланцев. Метатерригенные отложения няровейской серии отличаются от изучаемых образований повышенным количеством легких РЭЗ и высокозарядных элементов Nb, Ta, Zr, Hf (рис. 5б). Эти признаки, а также субпарал-

По полученным результатам видно, что при переходе от гранатовой зоны ($T = 460\text{--}500^\circ\text{C}$, $P = 5.6\text{--}6.5$ кбар) к кианитовой ($T = 530\text{--}550^\circ\text{C}$, $P = 7$ кбар) фиксируется увеличение давления и температуры. В этом же направлении увеличивается магнезиальность минералов (граната и биотита).



ельные с PAAS спектры содержаний РЭЗ с отрицательной европиевой аномалией указывают на поступление осадочного материала при формировании няровейской серии с континентальных пород преимущественно кислого состава. На идентификационных диаграммах точки составов пород няровейской серии и париквасьшорской свиты располагаются как в области активной континентальной окраины, так и пассивной (рис. 6). Таким образом, несмотря на хорошую корреляцию метатерригенных отложений рассматриваемой толщи и верхнехарбейской свиты по типам пород, они отличаются по составам питающих провинций, поэтому целесообразно выделить метаосадочную толщу восточной части Харбейского блока в самостоятельную свиту, залегающую выше ханмейхойской свиты и имеющую, предположительно, неопротерозойский (вендинский) возраст.

Метаморфизм. Еще в 60-х годах некоторые исследователи высказывались о том, что уровень метаморфизма пород осевой полосы Полярного Урала возрастает в сторону глубинного разлома и время его проявления соответствует среднему и позднему палеозою [34]. В последние годы появились первые надежные изотопно-геохронологические данные [5] по возрасту метаморфизма харбейского метаморфического комплекса, согласно которым изменения пород ханмейхойской свиты в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций повышенных и умеренных давлений происходили в девоне-карбоне (367 ± 40 , 392 ± 23

млн лет (Sm-Nd метод по гранатовому (гранат, амфибол, порода) и безгранатовому (амфибол, плагиоклаз, порода) амфиболитам), 346 ± 5 млн лет (^{40}Ar - ^{39}Ar метод по амфиболу)), что коррелируются с временем высокобарического метаморфизма марункеуского метаморфического комплекса. Выдвинуто предположение, что породы харбейского метаморфического комплекса, представляющего к этому времени фрагмент передовой части обдуцирующего под островную дугу палеоконтинента, во время погружения находились на разных уровнях и метаморфизовались в разных термодинамических условиях.

Уровень метаморфизма изучаемой метаосадочной толщи хорошо коррелируется с Р-Т параметрами (повышенные давления) и характером метаморфизма (зональность) париквасьшорской и ханмейхской свит, что свидетельствует о том, что эти отложения были вместе вовлечены в один тектонический процесс. Полученные результаты подтверждают ранее выдвинутое предположение о том, что породы, наблюдаемые к востоку от Хадатинско-Ханмейского надвига, развивались как самостоятельный тектонический блок [5, 35], а метаморфические изменения в них связаны, по-видимому, с обдукционно-коллизионными процессами формирования уральского орогена.

Выводы

Впервые исследован первичный состав и Р-Т условия метаморфизма метаосадочной толщи спорного генезиса, обнажающейся в восточной части Харбейского блока среди пород харбейского гнейсо-амфиболитового комплекса. Установлено, что толща представлена пачками черных сланцев, кристаллических двуслюдяных плагиоклаз-кварцевых, ставролит-гранат-плагиоклаз-кварцевых и кианит-ставролит-гранат-плагиоклаз-кварцевыми сланцами, мраморами. Черные сланцы соответствуют кремнисто-углеродистой и терригенно-углеродистой формациям. Кристаллические сланцы сформировались по глинистым породам и грауваккам. Анализ индикаторных петрологических компонентов, редких и редкоземельных элементов кристаллических сланцев показал, что метаосадочная толща сформировалась обстановке активной континентальной окраины, возможно в задуговом бассейне. В источниках сноса присутствовали как магматиты основного, так и кислого составов. Метатерригенные образования отличается от подобных пород париквасьшорской и верхнехарбейской свит по составупитающих провинций, поэтому метаосадочную толщу восточной зоны Харбейского блока целесообразно рассматривать в качестве самостоятельной свиты. Породы претерпели зональный низко- и среднетемпературный метаморфизм повышенных давлений: наблюдаются гранатовая (T – 460–500°C, P – 5.6–6.5 кбар), ставролитовая и кианитовая (T – 530–550°C, P – 7 кбар) зоны. По уровню и характеру метаморфизма рассматриваемая толща коррелируется с париквасьшорской и ханмейхской свитами харбейского комплекса, метаморфические изменения которых связаны с палеозойскими тектоничес-

кими процессами. Полученные результаты подтверждают ранее выдвинутую гипотезу о том, что породы Харбейского блока, развитые восточнее от Хадатинско-Ханмейского надвига, представляют собой тектонический блок со своей историей метаморфизма, связанного с обдукционно-коллизионными процессами формирования уральского орогена.

ЛИТЕРАТУРА

- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. 2 изд-е. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-42-I, II. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 340 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200000. 2 изд-е. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-42-VII, VIII. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014а. 384 с.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: Уралгеолком, 1993
- Коновалов А. Л., Лохов К.И., Черкашин А.В., Вакуленко О.В. О тектонической границе между метаморфическими сланцевыми и кристаллическими образованиями позднего протерозоя Харбейского антиклинария (Полярный Урал) // Региональная геология. 2016. № 68. С. 6–20
- Уляшева Н. С., Серов П. А., Травин А. В. Sm/Nd- и ^{40}Ar / ^{39}Ar -изотопно-геохронологические исследования амфиболитов ханмейхской свиты харбейского метаморфического комплекса (Полярный Урал) // Доклады академии наук. Науки о земле. 2022. Т. 506. № 2. С. 194–201. DOI: 10.31857/S2686739722601016
- Лю И., Перчук А. Л., Арискин А. А. Высокобарный метаморфизм в перидотитовом кумулите комплекса Марун-Кей, Полярный Урал // Петрология. 2019. № 2. С. 136–157
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 – Салехард. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014б. 396 с.
- Perchuk L. L. Derivation of thermodynamically consistent system of geothermometers and geobarometers for metamorphic and magmatic rocks. In: Progress in metamorphic and magmatic petrology. Cambridge University Press. 1990
- Holdaway M. J. Application of new experimental and garnet Margules data to the garnet-biotite geothermometer // American Mineralogist. 2000. Vol. 85. P. 881–892
- Wu C. M. Revised empirical garnet–biotite–muscovite–plagioclase geobarometer in metapelites // J. metamorphic Geol.. 2015. Vol. 33. P. 167–176. doi:10.1111/jmg.12115
- Berman R. G. Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications // Canadian Mineralogist. 1991. No. 29. P. 833–855
- Краснобаев А. А. Циркон, как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986
- Ulyasheva N. S., Pytina Y. I., Pystin A. M., Grakova O. V., Khubanov V. B. The first results of U–Pb LA-SF-ICP-MS dating of detrital zircons from Middle Riphean(?) terrigenous deposits of the Polar Urals // Doklady Earth Sciences. 2019. Vol. 485(2). P. 386–390
- Уляшева Н. С., Шуйский А. С., Хубанов В. Б. Результаты U-Pb LA-SF-ICP-MS датирования циркона из амфиболитов ханмейхской свиты (харбейский метаморфический комплекс, Полярный Урал). Структура, вещества, история липосферы Тимано-североуральского сегмента: материалы конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2022. С. 123–126
- Уляшева Н. С. Геохимические и петрографические особенности углеродсодержащих пород верхнепротерозойских

- отложений Полярного Урала // *Известия Кomi НЦ УрО РАН*. 2018. № 3. С. 75–82. DOI:10.19110/1994-5655-2018-3-75-82
16. Нейман К. С. Няровейская серия Полярного Урала: геологическое строение, состав, условия формирования. Геология европейского севера России. Труды института геологии Кomi науч. центра УрО РАН. Вып. 123. Сб. 6. 2008. С. 12–19
17. Голубева И. И. Первичный состав и условия образования метаморфических пород париквасьшорского выступа. Магматиты и метаморфиты севера Урала и Тиммана. Труды института геологии Кomi науч. центра УрО АН СССР. Вып. 74. 1991. С. 75–88
18. Горбачев О. В., Созинов Н. А. Некоторые петрохимические и geoхимические аспекты типизации углеродистых отложений докембра. *Проблемы осадочной геологии докембра*. Вып. 10. М.: Наука, 1985. С. 46–57
19. Herron M. M., Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log date // *J. Sed. Petrol.*. 1988. Vol. 58. P. 820–829
20. Cox R., Lowe D. R., Cullers, R. L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States // *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59. 1995. P 2919–2940
21. Nesbitt H. W., Young, G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. 1982. No. 199, P. 715–717
22. Интерпретация geoхимических данных. Под ред. Е. В. Склярова. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. Т. 1. 288 с.
23. Cullers R. L. Implications of elements concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // *Chem. Geol.* 2002. No. 191(4). P. 305–327
24. Sun, S. -s., & McDonough, W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Geological Society*. 1989. Vol 42(1). 313–345. doi:10.1144/gsl.sp.
25. Уляшева Н. С. Геохимия амфиболитов харбейского раннепротерозойского метаморфического комплекса. Труды Карельского научного центра РАН. №. 10. 2020. С. 1–11. DOI: 10.17076/geo1266
26. Golubeva I. I., Makhlaev L. V., Afonkin M. M. Ilmenite-bearing metapelites of the Polar Urals and Taimyr Peninsula and continuation of north Uralian structures // *Doklady Earth Sciences*. 2007. Vol. 412. No. 1. P. 58–63
Doi:10.1134/s1028334x07010138.
27. Уляшева Н. С. Геохимические особенности и геодинамическая обстановка формирования верхнепротерозойских отложений няровейской серии // *Вестник института геологии Кomi НЦ УрО РАН*. 2017. № 5. С. 20–30
28. Taylor S. R., McLennan S. M., The continental Crust: Its composition and Evolution. Blackwel, Oxford, 1985.
29. Roser B. P., Korsch R. J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // *J. Geol.*. 1986. Vol. 94. No. 5. P. 635–650
30. Bhatia M. R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // *J. Geol.*. 1983. Vol. 91. P. 611–627
31. Verma S.P. and Armstrong-Altrin J.S. New Multi-Dimensional Diagrams for Tectonic Discrimination of Siliciclastic Sediments and Their Application to Precambrian Basins // *Chemical Geology*. 2013. Vol. 355. P. 117–133.<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.07.014>
32. Berman R. G. WinTWQ (version 2.3): A software package for performing internally - consistent thermobarometric calculations. *Geol. Surv. Canada*. 2007.
33. Essene E. J., Daly J. S., Cliff R. A., Yardley B. W. D. The current status of thermobarometry in metamorphic rocks // *Evolution of Metamorphic Belts*. 1989. Vol. 43. P. 1–44. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.043.01.02>
34. Каракенцев С. Г., Молдаванцев Ю. Е., Перфильев А. С. Новые данные о стратиграфии метаморфических толщ осевой полосы Полярного Урала // *Бюллетень Московского общества испытателей Природы. Отд. Геологии*. 1964 Т. XXXIX (1). С. 49–56
35. Коновалов А. Л., Доливо-Доброльский Д. В., Мельгунов А. Н., Казак А. П. Дислокационный метаморфизм протерозойских комплексов Харбейско-Марункеуской структурно-формационной зоны (Полярный Урал) // *Региональная геология и металлогения*. 2009. № 39. С. 33–45

Primary composition and P-T conditions of metamorphism of meta-sediment strata of the Neoproterozoic age(?) eastern zone of the Kharbey block (PolarUrals)

©2024 N. S. Ulyasheva[✉]

*Institute of Geology FRC Komi Scientific Center Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Pervomaiskaya st., 54,
167982, Syktyvkar, Russian Federation*

Abstract

Introduction: The article focuses on the primary composition and the T-P conditions for the metamorphism of meta-sediment strata of indefinite genesis found in the Eastern part of the Kharbeisk block of the Central Ural tectonic zone of the Polar Urals as part of the rocks of the Kharbeian amphibolite-gneiss complex.

Methodology: Petrographic and mineralogical features of the rocks were studied using a polarizing microscope and an electron microscope. The primary composition of the metamorphites was determined by means of identification diagrams. Probable provenance areas of metaterrigenous formations and thegeodynamic conditions for the formation of the rocks were determined by means of an analysis of the contents of petrogenic components, rare elements and rare earth elements. The T-P conditions for the metamorphism were determined using classical and multi-equilibrium thermobarometry.

Results and discussion: The petrographic study demonstrated that the meta-sediment strata is represented by interbedded black shales, crystalline schists, and marbles. Black shales are carbonaceous-siliceous and carbonaceous-terrigenous rocks. The protolytes of crystalline schists were clay rocks and greywackes, which were apparently formed in active continental margins due to the drainage of the rocks of the basic composition with oversubduction geochemical marks, possibly including metabasalts of the Khanmeikhoyan suite and continental acidic formations. In terms of the composition of their distributive provinces the analysed rocks are different from metaterrigenous formations of the Parikvasshorsk and Verkhnekharbeisk suites. The crystalline schists demonstrated Barrovian metamorphism garnet-staurolite-kyanite. The T-P parameters of metamorphism for the kyanite zone were calculated using the TWQ software based on the mineral association $Ky+Pl+Bt+Ms+Grt+Qz+Ilm+Rt$ and correspond to the mean temperatures and increased pressures: $T = 530-550^\circ C$, $P = 7 \text{ kbar}$. The thermodynamic metamorphism conditions in the garnet zone were determined by means of classical thermobarometry ($Gr-Bt$ geothermometers, $GBMP$ geobarometer). They appeared to be lower: $T = 460-500^\circ C$, $P = 5.6-6.5 \text{ kbar}$. Based on the nature of metamorphism, the analysed strata correlates with the Parikvasshorsk and Khanmeikhoyan suites transformed in the Devonian-Carboniferous.

Conclusions: Based on the obtained results we can conclude that the meta-sediment strata in the Eastern part of the Kharbeian block is an independent suite. It is deposited higher than the Khanmeikhoyan suite and proves the assumption that the rocks of the Kharbeian block formed to the East of the Khadatinsk-Khanmeiysn thrust are of metamorphic and tectonic origin, which is different from that of the rocks in the Western zone. This can be explained by the obduction and collision processes taking place during the formation of the Ural orogen.

Keywords: crystalline schists, primary composition, geothermobarometer, Polar Urals, Kharbey block



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Natalia S. Ulyasheva, e-mail: nataliaulyashewa@yandex.ru

Funding: The study received financing within the framework of the state assignment the Institute of Geology of Federal Research Centre “Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences”, project “Deep structure, geodynamic evolution, geosphere interactions, magmatism, metamorphism, and isotope geochronology of the Timan-North Ural lithosphere segment”.

For citation: Ulyasheva N. S. Primary composition and P-T conditions of metamorphism of meta-sediment strata of the Neoproterozoic age(?) eastern zone of the Kharbey block (PolarUrals) // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2024, no. 2, pp. 71–85. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/2/71-85>

Conflict of interests: The author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiijskoj Federacii masshtaba 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Ural'skaya. List Q-42-I, II. Ob"yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation, scale 1:200000. Second edition. Series Polar-Ural. Sheet Q-42-I, II. Explanatory letter]. Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2009, 340 p. (In Russ.)
2. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiijskoj Federacii masshtaba 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Ural'skaya. List Q-42-VII, VIII. Ob"yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation, scale 1:200000. Second edition. Series Polar-Ural. Sheet Q-42-VII, VIII. Explanatory letter]. Saint Petersburg, VSEGEI publ., 20014a, 384 p. (In Russ.)
3. Stratigraficheskie skhemy Urala (dokembrij, paleozoj) [Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. Ekaterinburg, Uralgeolkom publ., 1993. (In Russ.)
4. Konovalov A. L., Lohov K. I., Cherkashin A. V., Vakulenko O. V. O tektonicheskoy granice mezhdu metamorficheskimi slancevymi i kristallicheskimi obrazovaniyami pozdnego protorozya Harbejskogo antiklinoriya (Polyarnyj Ural) [On the tectonic boundary between metamorphic shale and crystalline formations of the Late Proterozoic of the Kharbey anticlinorium (Polar Urals)]. *Regional'naya geologiya i metallogenija – Regional geology and metallogeny*, 2016, no. 68, pp. 6–20 (In Russ.)
5. Ulyasheva N. S., Serov P. A., Travin A. V. Sm-Nd and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotope-geochronological investigations of amphibolites of the Khanmeykhoy Formation of the Kharbey metamorphic complex (Polar Urals). *Doklady akademii nauk. Nauki o zemle – Doklady Earth Sciences*, 2022, vol. 506, no. 2. pp. 761–767 DOI: 10.1134/S1028334X22600517 (In Russ.)
6. Liu, Y. Y., Perchuk, A. L., Ariskin, A. A. High Pressure Metamorphism in the Peridotitic Cumulate of the Marun-Keu Complex, Polar Urals. *Petrology*, 2019, vol. 27, no. 2. pp. 124–145 doi:10.1134/s0869591119020061 (In Russ.)
7. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Zapadno-Sibirskaya. List Q-42 – Salekhard. Ob"yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Series West Siberian. Sheet Q-42 – Salekhard. Explanatory letter]. Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2014b, 396 p. (In Russ.)
8. Perchuk L. L. Derivation of termodynamically consistent system of geothermometers and geobarometers for metamorphic and magmatic rocks. In: Progress in metamorphic and magmatic petrology. Ed. L. L. Perchuk. Cambridge University Press. 1990.
9. Holdaway M. J. Application of new experimental and garnet Margules data to the garnet-biotite geothermometer. *American Mineralogist*, 2000, vol. 85, pp. 881–892.
10. Wu C. M. Revised empirical garnet-biotite-muscovite-plagioclase geobarometer in metapelites. *J. metamorphic Geol.*, 2015, vol. 33, pp. 167–176. doi:10.1111/jmg.12115
11. Berman R. G. Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications. *Canadian Mineralogist*, 1991, no. 29, pp. 833–855.
12. Krasnobaev A. A. *Cirkon, kak indikator geologicheskikh processov* [Zircon as an indicator of geological processes]. Moscow, Nauka publ., 1986.
13. Ulyasheva N. S., Pyatina Y. I., Pyatina A. M., Grakova O. V., Khubanov V. B. The first results of U-Pb LA-SF-ICP-MS dating of detrital zircons from Middle Riphean(?) terrigenous deposits of the Polar Urals. *Doklady Earth Sciences*, 2019, vol. 485, part. 2, pp. 386–390.
14. Ulyasheva N. S., Shujskij A. S., Hubanov V. B. Rezul'taty U-Pb LA-SF-ICP-MS datirovaniya cirkona iz amfibolitov hanmejhojskoy svity (harbejskij metamorficheskij kompleks, Poljarnyj Ural) [Results of U-Pb LA-SF-ICP-MS dating of zircon from amphibolites of the Khanmeikhoi Formation (Kharbei metamorphic complex, Polar Urals)]. *Struktura, veshhestvo, istorija litosfery Timano-severouralskogo segmenta: materialy konferencii*. [Structure, substance, history of the lithosphere of the Timan-North Ural segment: materials of the conference]. Syktyvkarsk, Geoprint publ., 2022, pp. 123–126 (In Russ.)
15. Ulyasheva N. S. Petrographic and geochemical peculiarities of carbonaceous rocks of the Upper Proterozoic deposits of the Polar Urals. *Izvestiya Komi NC UrO RAN – Izvestiya Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2018, no. 3, pp. 75–82 (In Russ.)
16. Nejman K. S. Nyarovejskaya seriya Polyarnogo Urala: geologicheskoe stroenie, sostav, usloviya formirovaniya [Nyarovejskaya Series of the Polar Urals: Geological Structure, Composition, Formation Conditions]. *Trudy instituta geologii Komi nauch. centra UrO RAN* [The work of the Research Institute of Geology]. Syktyvkarsk publ., no. 6, pp. 12–19 (In Russ.)
17. Golubeva I. I. Pervichnyj sostav i usloviya obrazovaniya metamorficheskikh porod parikvas' shorskogo vystupa [Primary Composition and Formation Conditions of Metamorphic Rocks of the Parikvasshor Swell]. *Trudy instituta geologii Komi nauch. centra UrO RAN* [The work of the Research Institute of Geology]. Syktyvkarsk publ., pp. 75–88 (In Russ.)
18. Gorbachev O. V., Sozinov N. A. *Nekotorye petrohimicheskie i geohimicheskie aspekty tipizacii uglerodistykh otlozhenij dokembriya* [Some petrochemical and geochemical aspects of the typification of Precambrian carbonaceous deposits]. *Problemy osadochnoj geologii dokembrija – Problems of Precambrian sedimentary geology*, 1985, vol. 10, Moscow, Nauka publ., pp. 46–57 (In Russ.)
19. Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log date. *J. Sed. Petrol.*, 1988, vol. 58, pp. 820–829.
20. Cox R., Lowe D. R., Cullers, R. L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et*

- Cosmochimica Acta* 59, 1995, pp. 2919–2940.
21. Nesbitt H. W., Young, G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, 299, pp. 715–717.
22. *Interpretacija geohimicheskikh danniy* [Interpretation of geochemical data]. Moscow, Intemet Inzhiniring publ., 2001, vol. 1. 288 p. (In Russ.)
23. Cullers R. L. Implications of elements concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem. Geol.*, 2002, no. 191(4), pp. 305–327.
24. Sun S. -s., & McDonough, W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications, 1989, vol 42(1), pp. 313–345 doi:10.1144/gsl.sp.
25. Ulyasheva N. S. Geohimija amfibolitov harbejskogo ran-neoproterozojskogo metamorficheskogo kompleksa [Geochemistry of amphibolites of the Kharbey Early Proterozoic metamorphic complex]. *Trudy instituta geologii Komi nauch. centra UrO RAN* [The work of the Research Institute of Geology]. Syktyvkar publ., 2020, no. 10, pp. 1–11. DOI: 10.17076/geo1266 (In Russ.)
26. Golubeva I. I., Makhlaev L. V., Afon'kin M. M. Ilmenite-bearing metapelites of the Polar Urals and Taimyr Peninsula and continuation of north Uralian structures. *Doklady Earth Sciences*, 2007, vol. 412 (1), pp. 58–63 doi:10.1134/s1028334x07010138.
27. Ulyasheva N. S. Geohimicheskie osobennosti i geodinamicheskaja obstanovka formirovaniya verhneproterozojskih otlozhenij nyarovejskoj serii [Geochemical features and geodynamic setting of the formation of Upper Proterozoic deposits of the Nyarovey series]. *Vestnik instituta geologii Komi NC UrO RAN – Bulletin of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2017, no 5. pp. 20–30 (In Russ.)
28. Taylor S. R., McLennan S. M. The continental Crust: Its composition and Evolution. Blackwel, Oxford, 1985.
29. Roser B. P., Korsch R. J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *J. Geol.*, 1986, vol. 94, no. 5, pp. 635–650.
30. Bhatia M. R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.*, 1983, vol. 91, pp. 611–627.
31. Verma S.P. and Armstrong-Altrin J.S. New Multi-Dimensional Diagrams for Tectonic Discrimination of Siliciclastic Sediments and Their Application to Precambrian Basins. *Chemical Geology*, 2013. vol. 355, pp. 117–133.https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.07.014
32. Berman R. G. WinTWQ (version 2.3): A software package for performing internally – consistent thermobarometric calculations. *Geol. Surv. Canada*. 2007.
33. Essene E. J. The current status of thermobarometry in metamorphic rocks // Eds. J.S. Daly, R.A. Cliff, and B.W.D. Yardley. *Evolution of Metamorphic Belts*. Geol. Soc. London Spec. publ., 1989, vol. 43, pp. 1–44. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.043.01.02
34. Karachencev S. G., Moldavancev Ju. E., Perfil'ev A. S. Novye dannye o stratigrafii metamorficheskikh tolshh osevoj polosy Poljarnogo Urala [New data on the stratigraphy of metamorphic strata of the axial strip of the Polar Urals]. *Bulleten' m. o-va isp. Prirody, otd. geologii – Bulletin of the Moscow Island of Isp. Nature, dept. geology*, 1964, vol. XXXIX (1), pp. 49–56 (In Russ.)
35. Konovalov A. L., Dolivo-Dobrovolskij D. V., Mel'gunov A. N., Kazak A. P. Dislokacionnyj metamorfizm proterozojskikh kompleksov Harbejsko-Marunkeuskoy strukturno-formacionnoj zony (Polyarnyj Ural) [Dislocation metamorphism of the Proterozoic complexes of the Harbey-Marunkeu structural-formational zone (Polar Urals)]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya – Regional geology and metallogeny*, 2009, no. 39, pp. 33–45 (In Russ.)

Уляшева Наталья Сергеевна, к.г.-м.н., ст.н.с., Институт геологии им. академика Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Российская Федерация; e-mail: nataliaulyashewa@yandex.ru; ORCID 0000-0001-5744-0478

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Natalia S. Ulyasheva, PhD in Geol.-Min., Senior research fellow, Institute of Geology, FIC Komi Scientific Center, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation; e-mail: nataliaulyashewa@yandex.ru; ORCID 0000-0001-5744-0478

Author have read and approved the final manuscript.