

А. Л. КОНОВАЛОВ, К. И. ЛОХОВ, А. В. ЧЕРКАШИН, О. В. ВАКУЛЕНКО (ВСЕГЕИ)

**О тектонической границе
между метаморфическими сланцевыми и кристаллическими образованиями
позднего протерозоя Харбейского антиклинория (Полярный Урал)**

Получены новые данные по геологическому строению зоны несогласия между зеленосланцевым и мигматит-гнейсово-амфиболитовым структурно-вещественными комплексами Харбейского антиклинория. Проведены комплексные структурно-геологические, изотопно-геохронологические и геохимические исследования метаморфических образований, изучена U-Pb изотопная система. В цирконах получены изотопные датировки метаморфических пород мигматит-гнейсово-амфиболитового комплекса и «галеков» гранитоидов из «базальных конгломератов» зеленосланцевого комплекса, установлен тектонический характер их взаимоотношений. Результаты исследований свидетельствуют о масштабных эндогенных событиях на Полярном Урале в венде — раннем кембрии и на рубеже силура и девона.

Ключевые слова: *Полярный Урал, изотопная геохронология, метаморфизм, докембрий, гнейсы, амфиболиты, зеленые сланцы, несогласия, тектонический микстит, тектониты.*

A. L. KONOVALOV, K. I. LOKHOV, A. V. CHERCASHIN, O. V. VAKULENKO (VSEGEI)

**Tectonic boundary
between the Late Proterozoic shales and crystalline metamorphic rocks
of the Kharbey anticlinorium (Polar Urals)**

New data concerning geological structure of unconformity zone between greenschists and migmatite-gneiss-amphibolite complexes of the Kharbey anticlinorium have been revealed. Authors have carried out geological, structural, geochemical, geochronological, and U-Pb isotopic researches of zircons from metamorphic rocks. As a result, new isotopic ages of metamorphic rocks of migmatite-gneiss-amphibolite complex and granitic «pebbles» from basal conglomerates of greenschist complex have been obtained. Authors state that the contact between these complexes is tectonic. The result of the research shows that large-scale metamorphic events took place in Polar Urals at Vendian — Early Cambrian time and on the boundary between Silurian and Devonian time.

Keywords: *Polar Urals, isotopic geochronology, metamorphism, Precambrian, gneiss, amphibolite, greenschists, unconformity, tectonites.*

В полярном секторе Уральской складчатой системы позднепротерозойские метаморфические образования формируют сложнодислоцированную тектоническую структуру, известную в литературе как Харбейский антиклинорий. С запада его ограничивает Собско-Нундерминский надвиг [5, 6], по которому позднепротерозойские образования надвинуты на палеозойские сланцевые комплексы (орангская свита O_{1-2}). В антиклинории могут быть выделены три структурно обособленные части, последовательно сменяющие друг друга в восточном направлении: Западно-Харбейский параавтохтон, Центрально-Харбейский и Восточно-Харбейский аллохтоны [6].

Западно-Харбейский параавтохтон образован метаморфизованными в зеленосланцевой фации и динамометаморфизованными вулканогенно-терригенными парагенезами няровейской серии (верхнехарбейская и минисейшорская свиты RF_2 ? и немурьюганская свита RF_3), составляющими *зеленосланцевый* структурно-вещественный комплекс — СВК (рис. 1).

Центрально- и Восточно-Харбейский аллохтоны ограничены снизу и на поверхности

Хадатинско-Ханмейским и Лаптаеганским шарьяжами [6]. Тектонические покровы сложены породами *мигматит-гнейсово-амфиболитового* СВК, датруемыми, по одним данным, нижним протерозоем [15, 16], по другим источникам, условно верхним протерозоем [6]. Особенности строения территории служат локальные проявления специфических образований марункеуского *амфиболит-гнейсового* комплекса. Взаимоотношения и возраст образований *зеленосланцевого* и *мигматит-гнейсово-амфиболитового* СВК — предмет обсуждения в данной работе.

История вопроса. Системные работы по геологическому картированию этой территории в м-бе 1 : 200 000 начаты Г. П. Сафроновым (1947), М. С. Бельским (1953) и др. Позднее А. В. Цымбалюком составлены сводные геологические карты листов Q-42-I и Q-42-VII (1960), которые, наряду с данными первых геологических съемок м-ба 1 : 50 000 (И. К. Сулимов, Л. А. Смирнов, И. Л. Соловейчик, В. Н. Гессе и др.), легли в основу изданных листов Госгеолкарты-200 [3, 4]. Зеленосланцевые образования были расчленены на няровейскую и немурьюганскую свиты верхнепротерозойско-кембрийского



Рис. 1. Схематическая геологическая карта Харбейско-Щучинского междуречья (сост. по материалам А. В. Душина, А. Л. Коновалова, А. П. Казака, А. В. Жданова)

1 — сядайская свита кремнисто-сланцевая-базальтовая (O_3-S_2); 2 — орангская свита зеленосланцевая (O_{1-2}); 3 — сяда-тинская свита вулканогенно-терригенная (V_2-E_1); 4 — зеленосланцевый СВК (няровейская серия и немурьюганская свита, объединенные ($RF_{2-3}?$)); 5, 6 — мигматит-гнейсово-амфиболитовый СВК: 5 — лаптаюганская свита ($RF_2?$), 6 — ханмейхойская свита ($RF_3?$); 7 — марункеуский комплекс амфиболито-гнейсовый ($V_2-E?$); 8 — сыумкеуский комплекс дунит-гарцбургитовый ($O_2?$); 9 — сяда-тинский комплекс аляскитовых гранитов ($V-E_1$); 10 — евьюганский метагранитовый комплекс ($V_2-E?$); 11 — харбей-собский (крестовский) комплекс габбро-диорит-гранодиоритовый (RF_3-V_1); 12–15 — тектонические нарушения: 12 — шарьяжи, 13, 14 — надвиги (13 — главные, 14 — прочие), 15 — прочие разломы; 16 — геологические границы.

Цифры в кружках: 1 — Собско-Нундерминский надвиг, 2 — Хадатинско-Ханмейский шарьяж, 3 — Главный Уральский разлом, 4 — Хадаковский надвиг.

Участки работ (прямоугольники): 1 — Бадьяганский, 2 — Лаптаяхинский

возраста, а амфиболито-гнейсовые выделены в харбейский комплекс, включающий ханмейхойскую, а позднее и париквасьюрскую свиты. У геологов, изучавших и картировавших эти метаморфические образования, не было единой точки зрения относительно их возраста и структурного положения. Ряд исследователей (Г. П. Софронов, В. Я. Устинов, Н. И. Попович и др., 1956–1960) относили амфиболиты и гнейсы харбейского комплекса к верхнему протерозою, на котором структурно несогласно залегают зеленосланцевые образования. Ю. Н. Никитин (1964), А. П. Белоусов (1964), В. Н. Воронов (1965) считали наоборот, что породы харбейского комплекса, однообразные ранне-среднеордовикским сланцам орангской свиты, залегают несогласно(!) на зеленосланцевых образованиях (няровейская и немурьюганская свиты). Ю. Е. Молдованцев и А. С. Перфильев (1960) относили харбейский комплекс к верхней части разреза верхнего протерозоя, считая, что он согласно залегает на зеленосланцевых образованиях и метаморфизм не может приниматься во внимание при

обосновании стратиграфического положения пород харбейского комплекса. А. П. Прямоносков указывает на находки ордовикских конодонтов и хитинозой на правом берегу р. Лаптаган (руч. Ярейсоим) из графитоидно-кварцитовых сланцев лаптаганской свиты (1994).

По данным А. И. Шмидта (1974), «гальки» гранитоидов из «базальных» слоев верхнехарбейской свиты являются результатом «очковой» гранитизации, местами приводящей к образованию тел микропегматитовых гранитов. Состав «гале» меняется и соответствует составам пород, окружающих этот горизонт. Во многих разновидностях «базальных» пород установлен глаукофан.

Несмотря на столь очевидные сложные структурные проблемы взаимоотношений зеленосланцевых и кристаллических образований, до сих пор до конца неразрешенные, возобладала точка зрения, закрепившая положение о несогласном залегании зеленосланцевых образований (зеленосланцевый СВК) на амфиболит-гнейсовом основании (мигматит-гнейсово-амфиболитовый СВК), датированном верхним, а позже нижним протерозоем [3–5].

Характеристика регионально-метаморфических пород. Зеленосланцевый СВК сложен (снизу вверх) породами няровейской серии (верхнехарбейская и минисейшорская свиты) и немурьюганской свиты.

Няровейская серия образована преимущественно зеленоцветными, реже углеродистыми филлитовидными сланцами различного состава: хлорит-серицит-кварц-альбитовыми, альбит-кварц-хлоритовыми, углеродисто-серицит-кварцевыми, в том числе апобазальтовыми, с линзами мраморов и прослоями метапесчаников и металавролитов. Возраст верхнехарбейской и минисейшорской свит условно принят среднерифейским по положению в разрезе ниже немурьюганской свиты, в которой имеются единичные находки проблемных микрофилитов, на основании которых и был принят ее позднерифейский возраст.

В составе немурьюганской свиты преобладают серицит-хлорит-альбит-кварцевые сланцы (часто карбонатные и углеродсодержащие), переслаивающиеся с metabазальтами, апобазальтовыми, реже аподаци-апоритовыми сланцами; присутствуют мраморизованные доломитовые известняки и кварциты. Зеленые и углеродистые сланцы большей частью представляют собой тектонизированные тонкополосчатые породы — «полосатики», образованные слоями (2–15 мм) кварц-альбитового и серицит-хлоритового, кварц-серицит-углеродистого агрегата. Они в различной степени смяты в изоклинальные и пloyчатые микроскладки (рис. 2). Подобные образования следует относить уже к классу дислокационно-метаморфических пород (тектонитов). Следует отметить, что приводимые в некоторых первоисточниках описания этих стратонтов нередко включают, наряду с метаморфизованными породами, названия реконструированных (первичных) пород — конгломератов, песчаников, алевролитов, базальтов и др. без соответствующих приставок мета- или апо-, что приводит к искажению представления об этих породах. На немурьюганской свите с несогласием (?) залегают образования вулканогенно-терригенной сядайской свиты с условным возрастом (судя по положению в разрезе) венд — нижний кембрий [5].

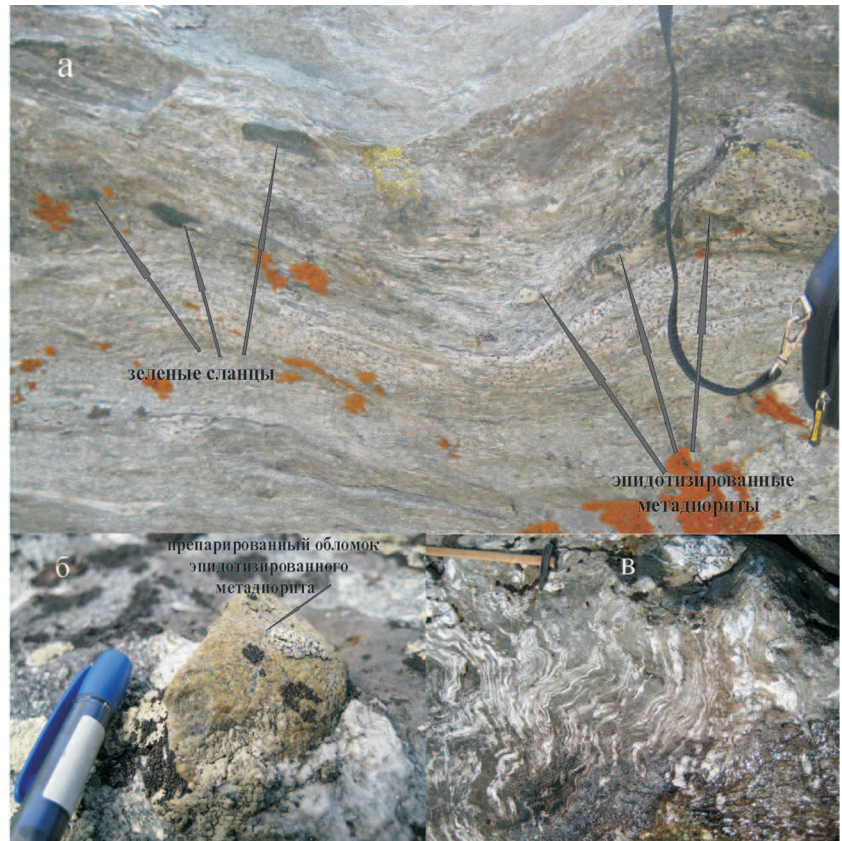


Рис. 2. Тектонический микстит на контакте верхнехарьбейской и ханмейхойской свит (ручей Ступенчатый)

а, б — обломки эпидотизированных метадiorитов позднерифейско-вендского возраста, *в* — плейчатые кварц-альбит-хлоритовые сланцы-«полосатики» (тектониты) верхнехарьбейской свиты

Зеленосланцевые образования вмещают многочисленные пластово-линзовидные тела палингено-метасоматических плагиогранитов вендско-кембрийского возраста, отнесенные к саятатинскому гранитовому комплексу [5, 8].

Мигматит-гнейсово-амфиболитовый СВК сложен породами (снизу вверх) ханмейхойской, лаптаюганской и париквасьшорской свит.

Ханмейхойская и лаптаюганская свиты состоят из плагиоклазовых, гранатовых и эпидот-гранатовых амфиболитов и чередующихся с ними амфибол-биотитовых и биотитовых гнейсов. В одних разрезах преобладают амфиболиты, в других гнейсы.

Париквасьшорская свита образована кристаллосланцами и различными парагнейсами с небольшим количеством амфиболитов, кварцитов и высокоглиноземистых плагиогнейсов с силлиманитом и ставролитом. Вверх по разрезу гранатосодержащие альбитовые амфиболиты постепенно замещаются плагиогнейсами и кристаллосланцами.

Палингено-метасоматические аляскитовые граниты, залегающие среди амфиболитов и гнейсов в виде субпластовых тел, являются продуктами гранитизации и мигматизации и отнесены к евыюганскому (гердизскому) мегагранитовому комплексу с условным возрастом венд-ранний кембрий [5, 6, 13].

Наиболее древние изотопные датировки гнейсов получены Pb-Pb методом (ТИЭ) по навескам цирконов из плагиогнейсов и гранат-слюдистых кристаллических сланцев ханмейхойской и лаптаюганской свит (2220, 2071, 1765, 1730 млн лет [10, 15]) и U-Pb методом ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) по биотит-мусковитовым плагиогнейсам (с гранатом и ставролитом) париквасьшорской свиты по трем зернам цирконов (1896, 951 и 555 млн лет [15, 16]), которые стали одним из оснований отнесения этих свит

к нижнему протерозою. Позднее была установлена осадочная природа субстрата гнейсов и кристаллических сланцев париквасьшорской свиты [2] и значительной части гнейсов ханмейхойской и лаптаюганской свит [11], что указывает на присутствие в пробах переотложенных обломочных цирконов.

Более или менее надёжно доказанные дорифейские возрасты гнейсово-амфиболитовых образований на Урале пока немногочисленны — это тараташский комплекс и селянинская свита. Сомнения относительно раннепротерозойского возраста метаморфических пород восточного склона Урала обоснованы в работе А. И. Кукушкина [11], считающего, что возраст большинства гнейсово-амфиболитовых толщ датируется средним-верхним рифеем. На основании U-Pb датирования (SHRIMP II) стратоны, до этого относимые к нижнему протерозою, переведены в нижнерифейские (няртинская и неркаюская свиты Приполярного Урала, городищенская свита Южного Урала и др.).

Проявления динамометаморфизма в различной степени фиксируются практически на всем пространстве Харьбейского антиклинория. В современном структурном плане породы сланцевого комплекса формируют «дислокационную моноклиаль» с восточным падением плоскостей сланцеватости, подчиненную простиранию генеральной структуры. В зеленых сланцах проявления дислокационной сланцеватости не всегда совпадают с метаморфической полосчатостью. Породы интенсивно дислоцированы, смяты в мелкие дисгармоничные складки — изоклинальные, плейчатые. В них широко проявлены структуры пластического течения пород. Обычны будинаж-структуры, включающие обрывки слоев и микроскладок с большим количеством будин-«закатышей» червеобразной и округлой формы кварцевого и альбит-кварцевого состава.

Иногда наблюдаются тектонические линзы, сформированные в результате совместной пластической деформации разнокомпетентных пород — кварц-полевошпатowych и хлорит (амфибол)-эпидотовых. Распределение динамических нагрузок на регионально-метаморфизованные породы по латерали неравномерно. Наблюдаются значительные участки интенсивно рассланцованных позднепротерозойских пород, но без признаков вышеописанных структур, что свидетельствует о зональном характере дислокационного метаморфизма, при котором распределение максимальных напряжений связано с шовными зонами сложнопостроенных тектонических пластин. Картирование их в большинстве случаев затруднено из-за однотипности дислоцированной массы зеленых сланцев, образующих доминирующие объемы в позднепротерозойских и раннепалеозойских сланцевых комплексах, склонных к пластическому течению и деформациям.

Подобные дислокации на микро- и макроуровнях описаны и в амфиболитах париквасьшорской свиты, слагающих синформу в ядре «Харбейского блока» в бассейне р. Б. Харбей [1, 12]. В кристаллических метаморфических породах особенно широко развит порфиروبластез.

Оценка геобарометрических параметров дислоцированных метаморфитов Харбейского антиклинория проведена ранее по материалам, собранным по профилю, проходящему по долине р. Б. Харбей [7]. Наиболее высокие значения РТ параметров ($640\text{--}670\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $12\text{--}14$ кбар) получены для образцов из гранатосодержащих пород ханмейхойской свиты в восточной части антиклинория. Для большинства остальных гранатосодержащих образцов из осевой части Центрально-Харбейского аллохтона наблюдается тенденция падения расчетных параметров в западном направлении, в частности давления от $10,4$ до $6,8\text{--}5,1$ кбар. Наиболее низкие значения Р $5,1\text{--}6,9$ кбар и Т $424\text{--}488\text{ }^{\circ}\text{C}$ получены для безгранатовых зеленых сланцев немурьюганской и орангской свит на западном окончании профиля. Высокие давления, получаемые методом расчета минеральных равновесий, косвенно подтвержаются как специфическими составами некоторых минералов (например, высокими содержаниями Al в амфиболох, а также Na), так и присутствием некоторых минералов, характерных для низкотемпературных комплексов повышенных давлений (парагонита и стильпномелана).

Марункеуский *амфиболит-гнейсовый* комплекс [6] представляет собой уникальный тектонический объект в виде пакета сложноустроенных пластин, «вынырывающих» из-под аллохтонных ультрабазитов Сыумкеуского массива. Они изначально были выделены в составе марункеуской свиты [3], а позднее как самостоятельный метаморфический комплекс (Н. Г. Удовкина [17]). По данным Н. Г. Удовкиной, А. П. Казака, В. И. Ленных, П. М. Вализер и др., изучавших эти образования, комплекс условно делят на верхнюю и нижнюю части. В нижней (ручьи Нягар-Нео-Шор, Перидотитовый) развиты чередующиеся тела гнейсов, гранитогнейсов, в меньшей степени гранатовых амфиболитов, мигматитов и наложенных эклогитов. Верхняя часть представлена чередующимися пакетами очковых амфиболитов (с гранатом и биотитом) и биотитовых, роговообманково-биотитовых, двуслюдяных плагиогнейсов (часто гранатосодержащих), среди которых иногда отмечаются скрины альмандиновых эклогитов.

Типичны широкие поля гранитизации, полностью стирающей границы между гнейсами и гранитоидами. В районе Слюдяной горки наблюдается цепочка тел эклогитов и эклогитизированных перидотитов, габбро и развитых по ним бластотектонитов. Нельзя исключать возможности присутствия в составе пакета пластин пород разновременных стратифицированных и инъективных СВК. Образования марункеуского комплекса испытали впоследствии воздействие высоких фаций дислокационного метаморфизма, что нашло отражение в появлении значительного объема эклогитоподобных пород, эклогитов и глаукофановых сланцев.

По единичным цирконам из эклогитов (по габбровому субстрату), отобранных в районе горы Габбровая, конкордантный возраст $485,4 \pm 4,0$ млн лет (VSWD 0,59, Prob 0,44) отвечает, вероятно, магматическому возрасту габброидов субстрата, и возраст $392 \pm 13,0$ млн лет (VSWD 0,16, Prob 0,69), полученный по светлым оторочкам зерен, указывает на вероятное время формирования эклогитов [7]. Подобные взаимоотношения известны в цирконах из эклогитов Беломорья.

Севернее, на левобережье р. Б. Хадата, в зоне тектонического контакта ультрабазитов Сыумкеуского массива с метаморфическими сланцами минсейшорской (?) свиты, известно проявление высокобарической жадеитовой минерализации (месторождение Пусерка). Цирконы, выделенные на месторождении из серых жадеититов, показали конкордантный возраст 409 ± 3 млн лет (VSWD 0,114, Prob 0,74) [10].

Ранее Rb-Sr методом по глаукофановым сланцам из зоны ГУР на Полярном Урале получен изотопный возраст 347 ± 72 млн лет (М. А. Шишкин, 2005).

Структурные взаимоотношения зеленосланцевого и кристаллического комплексов. Изображаемое на геологических картах несогласное залегание верхнехарбейской свиты на ханмейхойской установить практически невозможно, что объясняется высокой степенью дислоцированности пород, полностью стирающей границы естественных напластований. Установленным можно считать существование различных структурных планов этих комплексов.

Принято считать [3, 5], что в основании верхнехарбейской свиты залегает пачка метаморфизованных полимиктовых «конгломератов», переслаивающихся иногда с маломощными пачками «гнейсо-сланцев», огнейсованных аркозовых песчаников и гравелитов мощностью от первых до 300 м. «Гальки» конгломератов сильно раздавлены; размер их до 30 см. В составе «галеk» преобладают микроклин-пертитовые граниты, гнейсограниты (часто с микропегматитовой структурой), обычно альбитизированные и эпидотизированные; встречаются также кварциты, кварц, хлоритизированные слюдяные гнейсы, хлорит-амфиболовые ортосланцы, иногда амфиболиты и массивный магнетит. «Цемент» конгломератов мусковит-альбит-кварцевый, глаукофан-эпидот-полевошпатовый, хлорит-альбит-кварцевый состава характеризуется гранолепидо- и лепидогранобластовой структурой. Местами образования свиты интенсивно гранитизированы с возникновением мигматитов и инъекционных гнейсов.

Относительно горизонта «полимиктовых конгломератов» среди полярноуральских геологов-съемщиков существуют различные мнения. Одни

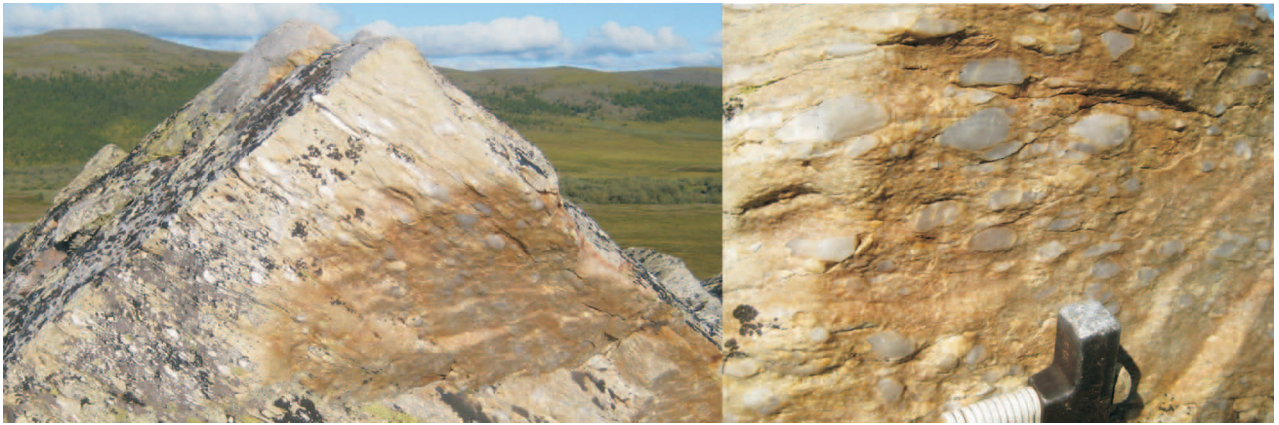


Рис. 3. Псевдогалки кварца в полевошпатово-кварцевых породах (ручей Лаптаяха)

считают эти породы «базальными», несогласно покрывающими древний кристаллический комплекс основания Уральской складчатой системы, другие рассматривают их как продукт проявления сложного комплекса метаморфогенно-дислокационных процессов (псевдоконгломераты).

Этот уровень прослежен нами на полевых работах на участке «Бадьяганский» на правом берегу р. Б. Харбей (ручьи Бадьяган и Ступенчатый) и на участке «Лаптаяхинский» на правом берегу р. Б. Щучья (ручьи Пэсавейяха и Лаптаяха). Использованы также материалы полевых работ 2016 г., проведенных отделом Урала ВСЕГЕИ [13].

На первом участке (ручей Ступенчатый) образования, относимые ранее к «базальному горизонту», идентифицированы в зоне подшарьяжных дислокаций и рассматриваются нами в ранге тектонических микститов (тектонитов) мусковит-кварц-полевошпатового состава с хорошо выраженными диагностическими признаками — текстурами пластического течения, милонитизации и т. п. [14]. В мусковит-кварц-полевошпатовом матриксе «закатаны» единичные округлые обломки зеленовато-серых мелкозернистых альбитизированных и эпидотизированных пород размером до 7 см (рис. 2). Химический состав обломков соответствует нормальным и умереннощелочным диоритам-гранодиоритам (SiO_2 57,3–69,9, Na_2O 2,39–03,3 + K_2O 0,84–2,25 = 3,23–5,55 %) (табл. 1). По вещественному составу (кварц, альбит, эпидот мусковит, амфибол) обломки в большинстве идентифицируются как диафторированные метадiorиты-метагранодиориты, принимаемые ранее за «галки микроклин-пертитовых гранитов базальных конгломератов» верхнехарбейской свиты [5]. Изотопно-геохронологические характеристики цирконов из обломков пород приведены ниже.

На правом берегу р. Б. Щучья (ручей Пэсавейяха), где показано несогласное залегание выше-названных свит, картируется мощная полоса тектонитов (шириной около 300–400 м) с полностью дезинтегрированной массой первичных пород (сланцев и амфиболитов) с характерной флазерной сланцеватостью и структурами пластического течения, на 8 км прослеженных нами в коренных выходах. На ее продолжении (левобережье р. Б. Щучья, устье ручья Лаптаяха) в зоне на пологом склоне покрытого тундрой предполагаемого тектонического контакта наблюдается коренной

выход интенсивно рассланцованных полевошпатово-кварцевых пород, основная масса которых сложена слюдяно-кварц-полевошпатовым агрегатом с многочисленными изометричными выделениями полевых шпатов (мм). Породы пронизаны веретенообразными выделениями (дм) молочно-белого кварца, дающими в поперечном срезе (рис. 3) уплощенные линзы (см), напоминающие галки пород. В продольном срезе это протяженные сложнопостроенные линзующиеся выделения того же кварца, сформированные в условиях интенсивного сжатия.

Учитывая структурные особенности и исключительно интенсивную дислоцированность рассмотренных образований, их следует выделять в особую группу пород — тектонических микститов (тектонитов), формирующих мощную зону надвигового типа, выделенную [6] в ранге Хадатинско-Ханмейского шарьяжа, по которому позднеерифейские (?) породы *мигматит-гнейсово-амфиболитового* СВК надвинуты на средне-позднеерифейские (?) зеленосланцевые образования.

U-Pb изотопные и геохимические исследования проводились в ЦИИ ВСЕГЕИ на SHRIMP II. Анализировались образцы, отобранные из ханмейхойской и париквасышорской свит *мигматит-гнейсово-амфиболитового* СВК и из обломков гранитоидов в зоне тектонического контакта *зеленосланцевого* и *мигматит-гнейсово-амфиболитового* СВК (верхнехарбейской и ханмейхойской свит).

В ханмейхойской свите отобрано пять проб.

В пр. 6092-2 из *альбититовых амфиболитов* (ручей Ровный, правобережье р. Б. Харбей) основной породообразующий минерал — роговая обманка 60–85, альбит присутствует в виде мелких овоидных включений 10–20, гранат 0–10, эпидот 0–15 %, а также хлорит, цоизит, мусковит. Сопоставление химического состава амфиболитов с магматическими породами указывает на значительное сходство амфиболитов с базальтоидами известково-щелочного ряда. Цирконы в трех разновидностях. Наиболее древние цирконы светло-коричневые, без ростовой зональности, в виде интенсивно корродированных зерен. В более темном коричневом цирконе наблюдается тонкая зональность. Это короткопризматические мелкие зерна размером от 35 до 150 мкм и коэффициентом удлинения (Ку) от 1,3 до 3,0. В катодолюминесцентном (КЛ) свете они с ярким и слабым свечением (рис. 4). На

Изотопные характеристики цирконов гнейсов и амфиболитов ханмейхойской свиты

Проба	% $^{206}\text{Pb}_c$	ppm U	ppm Th	ppm $^{206}\text{Pb}^*$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	Т, млн лет $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		Т, млн лет $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Степень дис- кордантности, %	$^{(1)}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	± %	$^{(1)}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	± %	Корреляция ошибок
5038														
5.1	0,17	193	104	14,7	0,56	548	± 6	575	± 54	0,72	2,7	0,089	1,1	0,4
7.1	0,41	172	95	13,7	0,57	574	± 6	629	± 72	0,78	3,5	0,093	1,1	0,3
4.1	—	276	214	22,1	0,80	576	± 15	608	± 77	0,78	4,4	0,094	2,7	0,6
2.1	0,16	207	136	16,7	0,68	579	± 6	656	± 48	0,80	2,5	0,094	1,1	0,4
10.1	—	80	44	6,45	0,58	580	± 8	507	± 73	0,74	3,7	0,094	1,5	0,4
3.1	0,00	380	216	30,8	0,59	581	± 5	613	± 27	0,78	1,6	0,094	1,0	0,6
1.1	0,10	179	92	14,6	0,53	584	± 6	603	± 50	0,78	2,6	0,095	1,1	0,4
6.1	0,16	195	152	16	0,80	585	± 13	528	± 59	0,76	3,6	0,095	2,4	0,7
9.1	0,66	103	86	8,47	0,86	591	± 7	530	± 115	0,77	5,4	0,096	1,3	0,2
8.1	0,96	145	64	11,9	0,46	592	± 8	647	± 124	0,81	5,9	0,096	1,4	0,2
8026-1														
9.1	0,00	177	145	10,1	0,85	412	4,1	530	51	0,528	2,6	0,06599	1	406
13.1	0,20	104	52	5,99	0,52	417	5,1	444	94	0,514	4,4	0,06681	1,3	286
9.2	0,35	215	84	12,8	0,41	430	4,4	576	89	0,564	4,2	0,06903	1,1	250
13.2	0,45	204	136	12,5	0,69	444	5	575	150	0,582	7,1	0,07124	1,2	162
2.2	0,87	1584	538	111	0,35	502	5	590	59	0,666	2,9	0,08098	1	352
4.1	0,20	380	125	30,9	0,34	582	4,6	598	52	0,779	2,5	0,09446	0,82	326
1.2	0,05	1677	326	140	0,20	597	4,8	667	32	0,827	1,7	0,097	0,83	482
6.1	0,01	459	239	38,3	0,54	597	4,4	584	26	0,796	1,4	0,0971	0,78	550
7.1	0,14	986	256	82,6	0,27	599	4,1	613	23	0,809	1,3	0,09743	0,71	549
6.2	0,07	862	378	72,4	0,45	601	4,5	591	27	0,803	1,5	0,09765	0,79	539
3.1	0,08	762	515	64,2	0,70	603	4,6	633	26	0,822	1,4	0,09805	0,81	562
2.1	0,11	918	500	79,8	0,56	621	4,7	608	24	0,838	1,4	0,10107	0,79	578
10.1	0,04	776	520	67,4	0,69	621	4,3	609	23	0,838	1,3	0,10108	0,73	568
8.1	—	557	564	48,6	1,04	623	4,5	643	23	0,855	1,3	0,1015	0,75	570
3.2	0,39	684	465	60,2	0,70	626	4,9	702	83	0,883	4	0,10196	0,83	207
5.1	0,05	702	479	62,8	0,70	639	5,1	665	25	0,887	1,4	0,10418	0,84	582
12.1	0,01	528	461	49,9	0,90	672	4,8	666	23	0,935	1,3	0,10982	0,76	570
11.1	—	785	566	74,3	0,74	674	4,6	695	20	0,951	1,2	0,11019	0,72	614
12.2	0,00	814	364	77,3	0,46	675	4,8	663	19	0,939	1,2	0,11041	0,75	642
1.1	0,04	1239	535	118	0,45	678	5,8	693	19	0,957	1,3	0,11095	0,9	708
7012-1														
1.1	0,16	649	791	52,0	1,26	574	± 11			0,758	2,3	0,0931	1,9	820
2.1	0,20	2345	1370	###	0,60	546	± 10			0,712	2,1	0,0883	1,9	925
4.1	0,04	1621	656	###	0,42	553	± 10			0,717	2,1	0,0896	1,9	922
4.2	0,39	371	218	27,2	0,61	526	± 10			0,688	3,4	0,085	2,0	586
5.1	0,06	640	426	48,6	0,69	546	± 10			0,733	2,4	0,0883	2,0	814
6.1	0,10	1252	355	93,9	0,29	539	± 11			0,706	2,4	0,0872	2,2	926
7.1	0,21	743	391	58,0	0,54	559	± 10			0,748	2,3	0,0906	1,9	831

7.2	0,20	398	185	32,2	0,48	580	± 11					0,77	2,6	0,0941	2,0	,746
8.1	0,48	333	155	26,8	0,48	574	± 11					0,775	3,0	0,0931	2,0	,645
8.2	3,89	784	239	63,8	0,32	562	± 10					0,797	8,4	0,0911	1,9	,231
6092-2																
4.2	0,16	267	231	15,7	0,90	428	4,1	510	56	19	0,543	2,7	0,06856	0,99	,365	
4.1	0,76	454	94	27,1	0,22	430	4,1	365	93	-15	0,512	4,2	0,06898	0,98	,231	
7.2	3,43	4445	696	275	0,16	432	3,2	444	60	3	0,534	2,8	0,06937	0,76	,271	
7.1	0,66	2581	679	198	0,27	549	3,9	592	49	8	0,731	2,4	0,08885	0,73	,309	
1.1	3,87	1557	2291	124	1,52	550	4,8	556	150	1	0,72	7,1	0,089	0,91	,128	
6.1	0,91	2938	923	228	0,32	553	3,8	540	37	-2	0,72	1,8	0,08956	0,72	,392	
5.2	2,70	2969	1277	236	0,44	556	8,5	646	140	16	0,759	6,6	0,09	1,6	,242	
2.1	1,49	1031	455	81,3	0,46	558	6,3	857	320	54	0,84	15	0,0903	1,2	,076	
5.1	1,31	2855	138	226	0,05	561	4	569	44	1	0,741	2,1	0,09098	0,74	,344	
3.1	4,84	655	275	54	0,43	562	5,9	722	240	28	0,796	11	0,0911	1,1	,098	
3105																
1.1	0,21	320	219	25,6	0,71	572,3	± 6,9	563	± 37	-2	0,754	2,1	0,0928	1,3	,597	
2.1	0,16	290	149	22	0,53	544,5	± 6,9	567	± 57	4	0,717	2,9	0,0881	1,3	,454	
3.1	0,11	233	187	18,9	0,83	581	± 7,2	578	± 47	-1	0,771	2,5	0,0943	1,3	,512	
4.1	—	409	355	32,4	0,90	569,3	± 6,8	584	± 26	3	0,757	1,7	0,0923	1,2	,719	
5.1	0,10	225	274	17,7	1,26	564,1	± 7,1	592	± 47	5	0,753	2,5	0,0915	1,3	,522	
6.1	0,06	188	104	15	0,57	574,6	± 7,7	586	± 42	2	0,765	2,4	0,0932	1,4	,584	
7.1	0,27	163	88	13,6	0,56	594,8	± 7,8	568	± 58	-5	0,787	3	0,0967	1,4	,454	
8.1	0,35	156	81	12,9	0,54	591,6	± 7,8	568	± 66	-4	0,782	3,3	0,0961	1,4	,414	
9.1	0,49	234	164	19,1	0,72	581,6	± 7,3	562	± 66	-3	0,766	3,3	0,0944	1,3	,396	
10.1	0,17	164	94	13,5	0,59	588,1	± 7,7	580	± 54	-1	0,782	2,8	0,0955	1,4	,483	
16.1	0,10	823	419	59,7	0,53	522	± 6	512	± 26	-2	0,669	1,7	0,0844	1,1	0,7	
18.2	0,00	174	149	12,6	0,88	523	± 7	591	± 106	+12	0,696	5,1	0,0846	1,3	0,3	
13.1	0,09	1245	609	91,8	0,51	531	± 6	564	± 39	+6	0,697	2,1	0,0858	1,1	0,5	
19.2	0,88	163	131	12	0,83	531	± 7	478	± 123	-12	0,671	5,7	0,0859	1,4	0,2	
11.2	0,59	126	81	9,36	0,66	532	± 7	489	± 108	-9	0,676	5,1	0,0861	1,4	0,3	
16.2	0,54	164	119	12,2	0,75	534	± 7	382	± 105	-41	0,646	4,9	0,0864	1,4	0,3	
13.2	1,21	166	106	12,3	0,66	535	± 7	418	± 135	-29	0,658	6,2	0,0865	1,4	0,2	
14.2	0,00	170	103	12,8	0,62	543	± 7	562	± 47	+4	0,713	2,6	0,0878	1,3	0,5	
12.2	0,77	192	133	14,5	0,72	544	± 7	613	± 89	+12	0,732	4,3	0,0881	1,3	0,3	
15.2	0,36	215	252	16,4	1,21	548	± 7	593	± 67	+8	0,730	3,4	0,0886	1,3	0,4	
17.2	0,82	176	160	14	0,94	572	± 8	543	± 114	-6	0,746	5,4	0,0927	1,4	0,3	
19.1	0,00	120	59	9,58	0,51	574	± 9	537	± 53	-7	0,747	3,0	0,0931	1,7	0,6	
20.1	—	185	139	14,9	0,77	576	± 7	579	± 61	+1	0,764	3,1	0,0934	1,3	0,4	
14.1	0,05	746	379	59,8	0,52	576	± 6	525	± 30	-10	0,746	1,8	0,0934	1,2	0,6	
18.1	—	1077	769	86,7	0,74	578	± 6	580	± 18	+1	0,767	1,4	0,0937	1,1	0,8	
12.1	0,17	446	389	35,9	0,90	578	± 7	567	± 38	-2	0,763	2,1	0,0937	1,2	0,6	
17.1	—	148	94	11,9	0,65	578	± 8	602	± 87	+4	0,775	4,3	0,0938	1,4	0,3	
15.1	—	111	46	8,99	0,43	579	± 10	621	± 71	+7	0,783	3,7	0,0939	1,7	0,5	
20.2	0,51	161	177	13,1	1,14	583	± 8	516	± 93	-14	0,752	4,5	0,0946	1,4	0,3	
11.1	0,06	305	205	24,8	0,70	583	± 7	557	± 46	-5	0,767	2,5	0,0947	1,2	0,5	

Примечание. Погрешности даны на уровне 1σ; Pbс и Pb* – доли обыкновенного и радиогенного свинца; (1) обыкновенный Pbс, исправлен на изменённый ²⁰⁴Pb, погрешности для рассчитанных конкордантных возрастов даны для доверительного интервала 95 %.

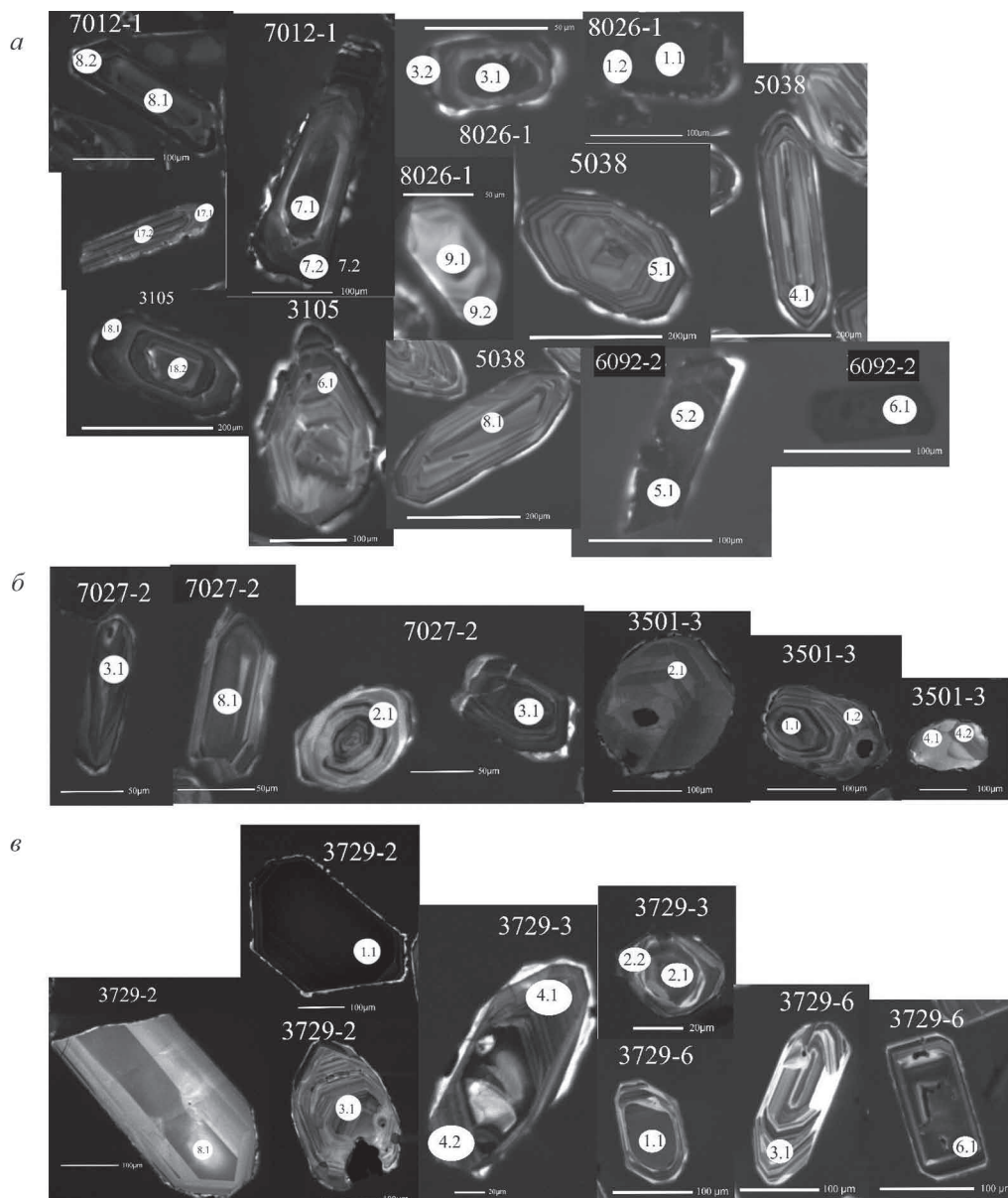


Рис. 4. Изображение цирконов в катодолюминесцентном свете

а – из плагиогнейсов (7012-1, 8026-1, 5038), амфиболитов (6092-3) и гранитизированных амфиболитов (3105) ханмейхойской свиты; *б* – из биотит-плагиоклазовых парагнейсов (3501-3) и гранат-биотит-кварц-альбитовых кристаллических сланцев (7027-2) париквасьшорской свиты; *в* – из обломков метадiorитов (3729-3, 3729-6) и вмещающего мусковит-кварц-полевошпатового матрикса (3729-2) тектонического микстита на контакте ханмейхойской и верхнехарбейской свит

поверхности темно-коричневых цирконов тонкие каймы и наросты позднего бесцветного циркона. Два конкордантных возраста – 555 ± 4 (зерна 1–3, 5 и 6) и 431 ± 4 млн лет (зерна 4 и 7) – получены U-Pb методом, последний, возможно, связан с эндогенным событием, фиксирующим этап позднего метаморфизма, поскольку для этих зерен характерна пониженная величина Th/U 0,16–0,22. В зернах с конкордантным возрастом 555 ± 4 млн лет очень высокое содержание U 655–4445, Th 275–2291 г/т, Th/U от 0,27 до 1,52, одно зерно (5.1) с аномально низким Th/U 0,05 (табл. 1, рис. 5). Высокое содержание урана в цирконах более древнего конкордантного кластера скорее характерно для щелочных гранитоидов, поэтому они могут быть захвачены при формировании магматического основного протолита амфиболитов.

Для пр. 3105 из *гранитизированных амфиболитов* (руч. Широкий) с правобережья р. Б. Харбей характерна порфировидная структура. Порфиробласты линзовидной формы, занимающие до 60–70 % ее объема, выполнены кварц-альбитовым гранулятом, а агрегаты роговой обманки (20–30 %) обтекают их, формируя свилеватые структуры. Цирконы розового и желтого цвета призматического и изометричного облика с включениями. Длина кристаллов 113–370 мкм и Ку 1,7–3,7. Большинство цирконов в КЛ с умеренным и ярким свечением как в центральных, так и в краевых частях. По цирконам получены два конкордантных возраста – 577 ± 5 и 529 ± 5 млн лет. Содержание U 111–446 и 746–1245, Th 46–252 и 379–769 г/т, Th/U 0,51–0,94 и 1,14–1,26 (табл. 1, рис. 5). Самые

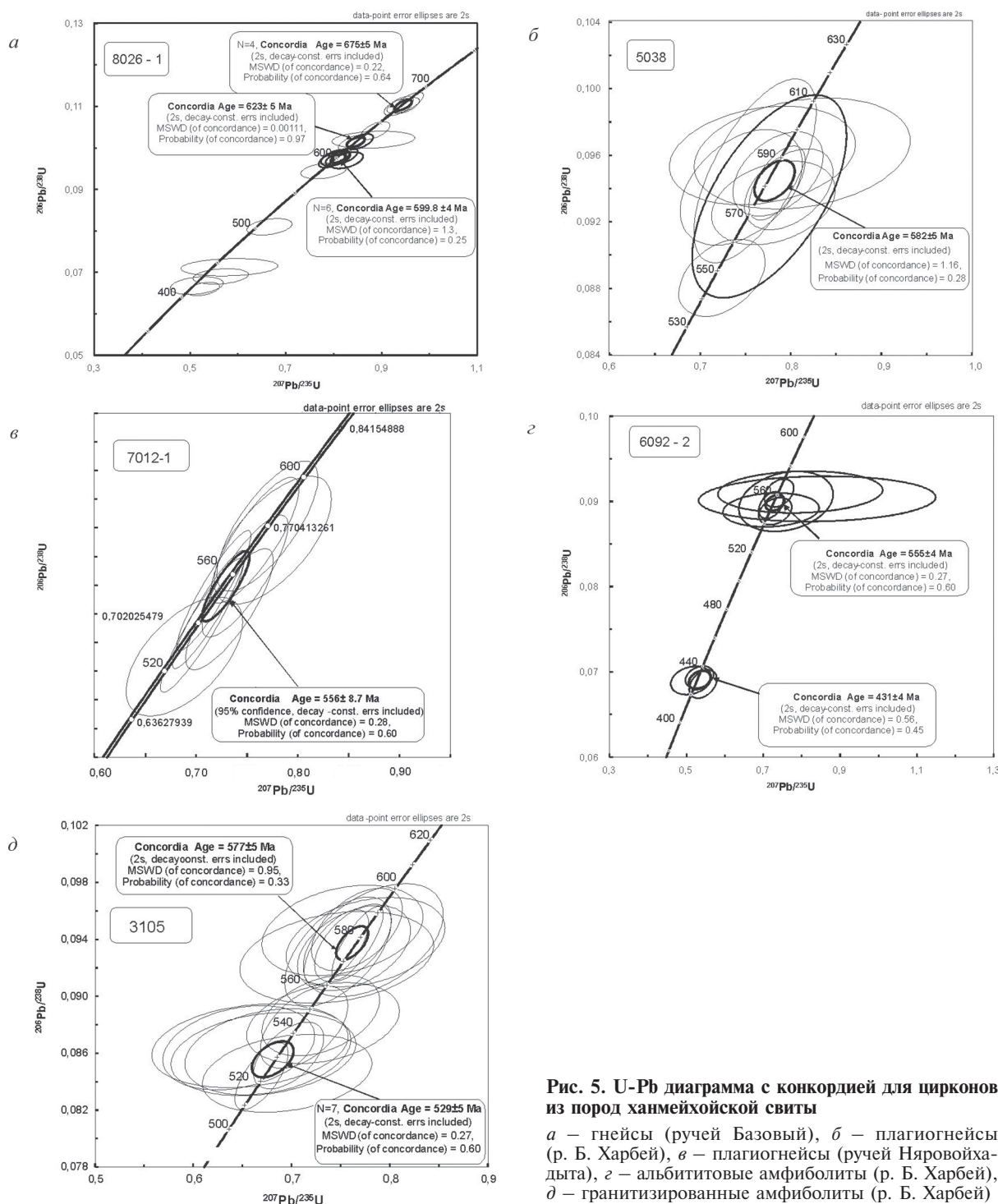


Рис. 5. U-Pb диаграмма с конкордией для цирконов из пород ханмейхойской свиты

а – гнейсы (ручей Базовый), *б* – плагиогнейсы (р. Б. Харбей), *в* – плагиогнейсы (ручей Няровойхадыта), *д* – альбититовые амфиболиты (р. Б. Харбей), *д* – гранитизированные амфиболиты (р. Б. Харбей)

высокие содержания U и Th на темных участках зерен. Высокая величина отношения $Th/U > 1$ в цирконах кластера с возрастом 529 ± 5 млн лет может свидетельствовать о магматическом генезисе этих цирконов в основной породе.

Плагиогнейсы проб 5038, 7012-1, 8026-1 представляют собой сланцеватые породы, в усредненном составе (%) сложенные кварцем 20–40, альбитом и олигоклаз-альбитом до 30, мусковитом до 20, амфиболом 0–10, микроклином 0–10, могут присутствовать заметные количества биотита, граната, сфена, в редких случаях (пр. 7012-1) пироксена (омфацит?). Имеет место высокое содержание редких земель с резким преобладанием легких

элементов над тяжелыми (La/Yb до 16), с отчетливо проявленными отрицательными аномалиями (г/т) Eu 0,31–0,74, Tm 0,17–1,09 (рис. 6). Редкие земли характеризуются примерно равным содержанием тяжелых и легких элементов (La/Yb 1,7) и ровным характером графика при невысоких содержаниях.

В **плагиогнейсах** (пр. 5038) ручья Широкий (правобережье р. Б. Харбей) выделены прозрачные идиоморфные призматические цирконы желтого цвета длиной 150–400 мкм и Ky 1,5–2,5. В КЛ они с ярким свечением и нарушенной тонкой магматической зональностью, некоторые с элементами секториальной зональности, большинство

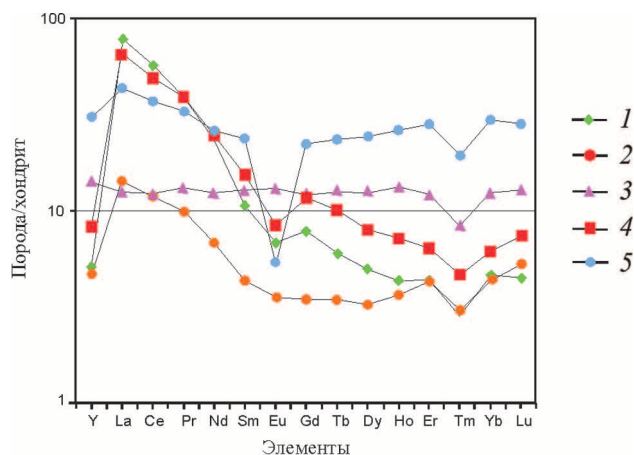


Рис. 6. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в гнейсах и амфиболитах ханмейхойской свиты 1 – гранитизированный амфиболит (3105); 2 – гнейс (5038); 3 – альбититовый амфиболит (6092/2); 4 – гнейс гранатсодержащий (7012/2); 5 – плагиогнейс (8026/1)

с тонкой яркой оболочкой. По результатам U-Pb датирования для цирконов данной пробы получен конкордантный возраст 582 ± 5 млн лет. Содержание U 80–380, Th 44–216 г/т, Th/U 0,46–0,86 (табл. 1, рис. 5).

В *плагиогнейсах* (пр. 8026-1) из ручья Базовый (р. Б. Хадата) выделены цирконы, среди которых отмечаются как коричневатые ксеноморфные корродированные зерна, так и бесцветные призматические идиоморфные призматические кристаллы. Примерно треть их черные, периферические части светлые, иногда более светлые, иногда зональные. Три конкордантных возраста – 675 ± 5 , 623 ± 5 и $599,8 \pm 4,0$ млн лет – получены U-Pb методом. Цирконы с конкордантным возрастом 675 ± 5 млн лет содержат расплавные включения с фазой силикатного стекла, что свидетельствует об их вулканогенном генезисе (точки 12.1, 12.2, 11.1, 1.1). Содержание U в них 104–918, в темных зернах до 1239–1677, Th 52–566 г/т, Th/U 0,13–0,5 до 1 (табл. 1, рис. 5). Наиболее молодые цирконы, представленные отдельными бесцветными зернами (зерна 9 и 13) или оболочками, на более древних цирконах имеют возраст 425 млн лет, фиксирующий эндогенное событие, связанное, вероятно, с поздним метаморфизмом.

В *плагиогнейсах* (пр. 7012-1) ручья Няровойхада (р. Б. Хадата) цирконы желтые и коричневатые, прозрачные, полупрозрачные и мутные, призматического облика, представлены субидиоморфными кристаллами, и их обломки часто сильно трещиноватые. Длина кристаллов 109–338 мкм и Ку 2,0–4,0. Большинство цирконов в КЛ темные до черных, некоторые со следами зональности (в них можно выделить ядро и краевую часть) и перекристаллизации, многие имеют тонкие каемки обрастания с ярким свечением. Конкордантный возраст $556 \pm 8,7$ млн лет получен U-Pb методом для всех зерен. Содержание в них U 333–784 и 1252–2345, Th 155–791 и 1370 г/т, Th/U 0,29–0,69 и 1,26 (табл. 1, рис. 5).

Самые древние датировки 857 ± 320 и 722 ± 220 млн лет, полученные по цирконам из альбититовых амфиболов, не соответствуют критериям достоверности. В плагиогнейсах возраст цирконов не древнее $678 \pm 5,8$ млн лет.

Проба	% $^{206}\text{Pb}_c$	ppm U	ppm Th	ppm $^{206}\text{Pb}^*$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	
3501-3						
7.2	0,17	370	55	26,10	0,15	
4.1	0,00	74	35	5,33	0,48	
6.1	0,00	83	57	6,02	0,72	
3.1	0,11	667	260	48,6	0,40	
4.2	1,27	64	53	4,76	0,85	
1.1	0,00	326	337	30,00	1,07	
1.2	0,00	207	124	19,10	0,62	
5.1	0,31	225	167	21,00	0,77	
7.1	0,16	245	223	23,10	0,94	
2.1	0,20	199	159	19	0,83	
7027-2						
1.1	0,85	218	115	14,9	0,54	
2.1	0,89	329	395	23	1,24	
3.1	0,56	627	169	45	0,28	
4.1	0,00	336	189	27,6	0,58	
5.1	0,42	652	462	47,9	0,73	
6.1	0,19	422	247	32	0,60	
7.1	—	557	279	139	0,52	
8.1	0,71	151	173	10,9	1,18	
9.1	1,31	193	123	17,6	0,66	
10.1	1,77	96	160	6,67	1,73	

Примечание. См. табл. 1.

Полученные по ханмейхойской свите геохронологические данные позволяют выделить поздний этап метаморфизма с возрастом около 412–425 млн лет. Возраст протолита пород 577–678 млн лет. Цирконы с датировкой 502–556 млн лет могут отвечать главному метаморфическому событию.

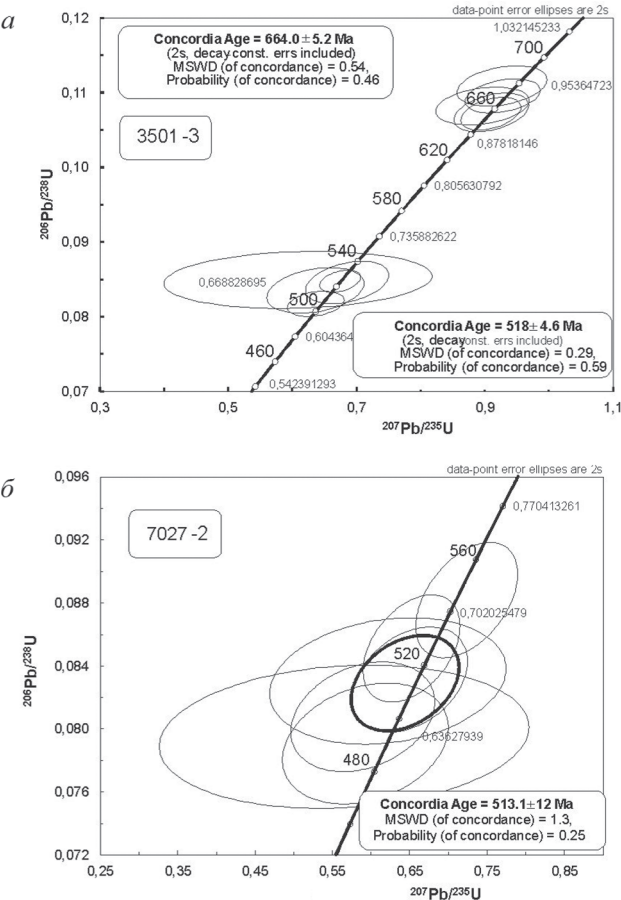
В париквасьшорской свите отобраны две пробы по ручью Париквасьшор.

Биотит-плагиоклазовые парагнейсы (пр. 3501-3) из нижней части свиты сложены кварц-плагиоклазовым гранулятом (до 80 %) с выделениями крупных кристаллов плагиоклаза, сланцеватость подчеркивается чешуйками биотита, на которые наложен мусковит. Присутствуют клиноцоизит, апатит, рутил. Цирконы прозрачные и полупрозрачные, окрашены в желтые цвета или бесцветные. Представлены преимущественно овальными и округлыми зернами, а также субидиоморфными призматическими кристаллами и их обломками. Длина зерен циркона от 100 до 300 мкм, Ку 1,5–2,0. В КЛ цирконы с ярким и умеренным свечением, с нарушенной тонкой магматической и секториальной зональностью. Цирконы показали два конкордантных возраста (табл. 2, рис. 7) – $664,0 \pm 5,2$ (U 199–326, Th 124–337, Th/U 0,62–1,07) и $518 \pm 4,6$ млн лет (U 64–667, Th 35–260, Th/U 0,15–0,72).

В *гранат-биотит-кварц-альбитовых кристаллических сланцах* пр. 7027-2 слоистость подчеркнута различной размерностью зерен. В грануляте альбит преобладает над кварцем; гранат (до 10 %) образует равномерную вкрапленность. Цирконы

Изотопные характеристики цирконов париквасьшорской свиты

Т, млн лет ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		Т, млн лет ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		Степень дискор- дантности	(1) ²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	± %	(1) ²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	± %	Корреляция ошибок
506	± 4,1	—	—	—	0,636	2,8	0,08170	0,85	,297
517	± 7,4	—	—	—	0,636	4,9	0,08350	1,5	,307
523	± 6,9	—	—	—	0,686	3,9	0,08460	1,4	,356
524	± 3,6	—	—	—	0,675	1,9	0,08474	0,72	,371
525	± 9,3	—	—	—	0,609	14	0,08490	1,8	,131
656	± 5,2	—	—	—	0,910	2,1	0,10718	0,84	,398
657	± 6,1	—	—	—	0,910	2,6	0,10730	0,98	,377
662	± 6,0	—	—	—	0,896	3,3	0,10820	0,95	,287
670	± 5,4	—	—	—	0,928	2,6	0,10956	0,85	,329
678	± 6,4	—	—	—	0,927	3,1	0,11090	10	,323
490,6	± 9,3	386	± 160	—21	0,593	7,4	0,0791	2	,268
500,7	± 8,5	325	± 140	—35	0,589	6,4	0,0808	1,8	,273
514,8	± 8,1	482	± 97	—6	0,65	4,7	0,0831	1,6	,351
587,7	± 9,5	696	± 42	18	0,824	2,6	0,0954	1,7	,653
526,6	± 8,3	436	± 79	—17	0,652	3,9	0,0851	1,6	,417
544,7	± 8,9	586	± 72	8	0,724	3,7	0,0882	1,7	,456
1645	± 24	1775	± 30	8	4,350	2,4	0,2906	1,7	,715
514,3	± 9,8	383	± 220	—25	0,622	10	0,0830	2	,197
642	± 12	747	± 180	16	0,926	8,6	0,1047	1,9	,220
493	± 11	266	± 390	—46	0,565	17	0,0795	2,3	,135



← Рис. 7. U-Pb диаграмма с конкордией для цирконов париквасьшорской свиты (ручей Париквасьшор)

а – биотит-плагиоклазовые парагнейсы нижней части свиты; б – гранат-биотит-кварц-альбитовый кристаллический сланец средней части свиты

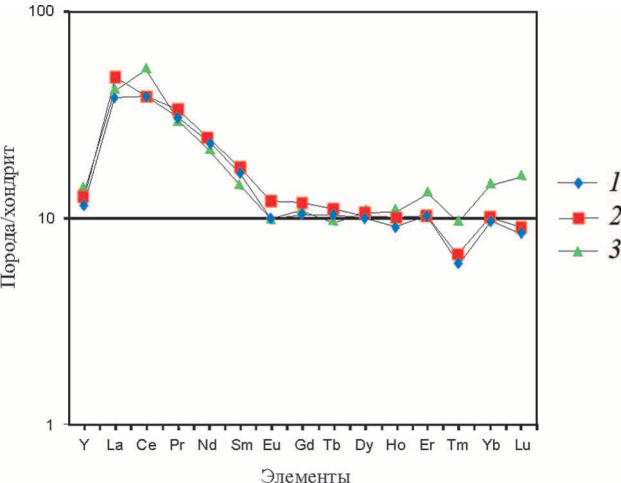


Рис. 8. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в породах париквасьшорской свиты (ручей Париквасьшор)

1 – биотит-плагиоклазовый парагнейс (3501-3); 2 – гранат-биотит-кварц-альбитовый кристаллический сланец (7027-2); 3 – кристаллический сланец с дистеном (3612)

представлены светло-желтыми, прозрачными, субидiomорфными, призматическими кристаллами или их обломками и округлыми зёрнами. Длина цирконов 50–120 мкм, Ku 1,5–2,6. В КЛ цирконы имеют яркое и слабое свечение. В них наблюдается как грубая зональность, так и участки с секториальной зональностью. Отмечается присутствие тонких неравномерных внешних оболочек со сравнительно ярким свечением. U-Pb методом (7 точек) получен конкордантный возраст $513,1 \pm 12$ млн лет, U 96(10.1)–652(5.1), Th 115(1.1)–462(5.1) г/т, Th/U 0,28–1,73, в отдельных зернах получены датировки $587,7 \pm 9,5$, 642 ± 12 и 1645 ± 24 млн лет (табл. 2, рис. 7). Содержания редких земель в породах характеризуются относительно невысокими значениями с преобладанием легких элементов над тяжелыми – La/Yb до 7 при отсутствии Eu 0,31–0,74 г/т отрицательной аномалии и выраженной Tm 0,33–0,54 г/т (рис. 8).

Геохронологические данные по париквасьшорской свите позволяют предполагать возраст метаморфических событий около 513–518, а возраст протолита формально 587–1645 млн лет. Древние датировки могут быть связаны с обломками перетолженных цирконов.

Зона контакта кристаллического и зеленосланцевого метаморфических СВК. Опробованы округлые обломки кварцевых метадiorитов-метагранодиоритов из тектонического микстита (ручей Ступенчатый), принимаемые ранее за гальки базальных конгломератов верхнехарьбейской свиты. В этих метапородах, сложенных мелкозернистым альбитом, кварцем, амфиболом, эпидотом, встречаются реликты первичной породы – порфириобласты кварца, микроклина и альбитизированного плагиоклаза. В породе присутствуют незначительные

количества сфена, мусковита, биотита, рудного. Наиболее вероятно, что это кварцевый диорит или гранодиорит-порфир. Вмещающая эти обломки породная масса представлена кварцево-альбитовым гранулятом с новообразованиями карбоната и мелкими выделениями амфибола. Породы милонитизированы, характерны проявления бластеза с последующей пропилитизацией и далее с катаклазированием и метаморфической мусковитизацией и серицитизацией. Судя по вещественному и петрохимическому составу (табл. 3) обломков и матрикса, породы принадлежат к группе диоритов-гранодиоритов. В метадiorитах установлены невысокие значения элементов РЭЗ с преобладанием легких элементов над тяжелыми (La/Yb 5,5, а для пород матрикса 16). Характерно отсутствие Eu отрицательной аномалии и выраженной Tm (рис. 9).

Цирконы, выделенные из 7 обломков метадiorитов (пр. 3729-6), рыжеватого и желтого цвета, прозрачные и полупрозрачные, представлены идиоморфными кристаллами призматического облика и обломками. Длина цирконов от 100 до 300 мкм, Ku 1,2–2,5. В КЛ цирконы имеют двухфазное строение – темная центральная часть с грубой магматической зональностью и светлая краевая с тонкой.

Измерения по объединенной пробе из 7 однотипных обломков эпидотизированных гранодиоритов показали конкордантные значения $612 \pm 6,7$ (MSWD 0,054, Prob 0,82) и $493,7 \pm 6,5$ млн лет (MSWD 0,0032, Prob 0,95). В цирконах содержание U 206–483, Th 155–556 г/т, Th/U 0,67–1,24 (табл. 4, рис. 10).

Цирконы из обломка эпидотизированного метадiorита (пр. 3729-3, ш-1617) – желтые, коричневатые, полупрозрачные и мутные обломки призматических кристаллов и округлой формы зерна. Длина цирконов 79–151 мкм. В КЛ они с ярким и слабым свечением, со следами грубой секториальной, реже тонкой зональности. Некоторые цирконы имеют тонкую светлую оторочку.

По цирконам из обломка метадiorита получены два конкордантных возраста: для более крупных изометричных зональных кристаллов 522 ± 10 млн лет (СКВО 0,14, Prob 0,71), U 383–988, Th 200–482 г/т, Th/U 0,40–0,54), для мелких изометричных цирконов с ярким свечением $383,8 \pm 6,8$ млн лет (СКВО 0,82, Prob 0,37), U 237–407, Th 83–172 г/т, Th/U 0,36–0,48). Первая дата, вероятно, отвечает эндогенному событию, связанному с формированием гранодиоритов, а более молодые значения возраста – этапам метаморфических преобразований, связанных с дислокационным метаморфизмом (табл. 4, рис. 9).

Цирконы из мусковит-кварц-полевошпатового матрикса зоны тектонического несогласия (пр. 3729-2) представлены желтыми полупрозрачными призматическими кристаллами и их обломками (основная масса). Длина цирконов 139–460 мкм, Ku 1,6. В КЛ присутствуют цирконы со слабым и ярким (преобладающим) свечением, с грубой, реже тонкой или секториальной зональностью. Для 7 зерен получен конкордантный возраст $512,5 \pm 6,0$ млн лет. Содержание U 28–80 и 146–911, Th 20–97 и 129–483 г/т, Th/U 0,55–0,77 и 1,13 (табл. 4, рис. 9). Для двух зерен получен конкордантный возраст $545,7 \pm 9,1$ млн лет. Содержание U 205–766, Th 161–511, Th/U 0,69–0,81.

Таблица 3

Химический состав пород (вес. %) из тектонических микститов зоны контакта верхнехарьбейской и ханмейхойской свит (ручей Ступенчатый)

Элементы	Проба		Нижние пределы
	3729-3 *	3729-2 **	
SiO ₂	57,20	69,90	0,02
Al ₂ O ₃	14,50	11,80	0,05
TiO ₂	2,10	0,85	0,01
Fe ₂ O ₃ общ	9,63	5,51	0,01
MnO	0,120	0,071	0,010
MgO	1,79	2,08	0,10
CaO	9,02	2,20	0,01
Na ₂ O	2,39	3,30	0,10
K ₂ O	0,84	2,25	0,01
P ₂ O ₅	0,220	0,087	0,050
п.п.п.	2,14	1,66	0,10
Σ	99,9	99,7	
V	0,021	0,011	0,005
Cr	0,0029	0,0077	0,0020
Ba	0,016	0,046	0,005
Fe ₂ O ₃	8,50	4,39	0,30
FeO	1,01	1,01	0,25

* Обломок эпидотизированного метадiorита.

** Серицит-кварц-полевошпатовый матрикс тектонического микстита.

Самые высокие содержания урана и тория в точке в черном зерне. Одно зерно (с ярким свечением) имеет конкордантный возраст 606 ± 17 млн лет и достаточно низкое U 80, Th 70 г/т, Th/U 0,91.

Геохронологические данные по цирконам из зоны контакта кристаллического и зеленосланцевого метаморфических СВК показывают, что метаморфические преобразования пород имеют возраст около 383, пород протолита (гранитоидов) 512–612 млн лет.

Основные результаты работ. Наиболее древние датировки цирконов с конкордантным возрастом 685–577 млн лет получены для цирконов из плагиогнейсов и амфиболитов ханмейхойской свиты, которые наиболее вероятно указывают на формирование их протолита в позднем рифее–раннем венде.

В парagneйсах париквасьшорской свиты установлены цирконы с конкордантным возрастом $664,0 \pm 5,2$ млн лет. В кристаллических парасланцах средней части свиты изотопное датирование цирконов показало конкордантный возраст $513,1 \pm 12$ млн лет. Здесь также присутствуют единичные зерна цирконов с более древними возрастными 587,7 $\pm$ 9,5, 642 $\pm$ 12 и 1645 $\pm$ 24 млн лет. В кристаллических парасланцах возможны кластические цирконы с еще более древними датировками. Критерием оценки нижней возрастной границы протолита пород париквасьшорской свиты может служить $664,0 \pm 5,2$ млн лет, т. е. возраст свиты следует датировать не древнее позднего рифея.

Возрастные кластеры для метаморфических цирконов пород ханмейхойской и париквасьшорской свит 556–513 млн лет отражают этап динамо-термального метаморфизма байкальского (?) тектогенеза. В то же время маломощные светлые в КЛ метаморфические оболочки цирконов из ханмейхойской свиты имеют возраст 412–425 млн лет, сопоставимый с возрастом цирконов из жадеитов ($409 \pm 3,3$ млн лет), локализованных в зоне Главного Уральского разлома, ограничивающего с запада ультрамафиты массива Сыумкеу [9].

В зоне сочленения зеленосланцевых образований верхнехарьейской свиты и амфиболитов ханмейхойской свиты повсеместно развиты тектониты, на что указывали многие исследователи еще на ранних этапах изучения этого района, а «гальки из базальных конгломератов» верхнехарьейской свиты на поверку оказались обломками в тектоническом микстите (ручей Ступенчатый) или псевдогальками кварцевого состава в полевошпатово-кварцевых породах (ручей Лаптаяха).

Датировки цирконов из обломков метадiorитов и матрикса тектонического микстита 612–606 и 545–512 млн лет указывают на их формирование преимущественно в венде, начиная с самых верхов позднего рифея до раннего кембрия включительно, что согласуется с датировками, полученными в последнее время для палингенно-метасоматических гранитоидов Харьбийского антиклинория (харьбий-собский, сядатаяхинский и евьоганский комплексы), к которым эти обломки, вероятно, и принадлежат.

Эндеогенное событие с возрастом 383,8 млн лет отражает этап мощного метаморфизма, который может быть предварительно связан с формированием высокобарических ассоциаций на Полярном Урале и требует дальнейшей оценки.

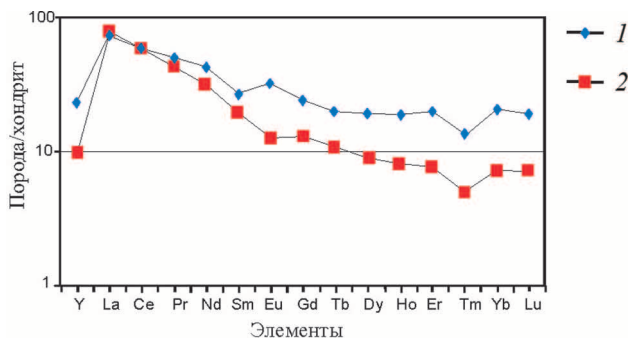


Рис. 9. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в обломках 1 – эпидотизированных метадiorитов (3729-3) и 2 – матрикса тектонического микстита (3729-2) с контакта ханмейхойской и верхнехарьейской свит (ручей Ступенчатый)

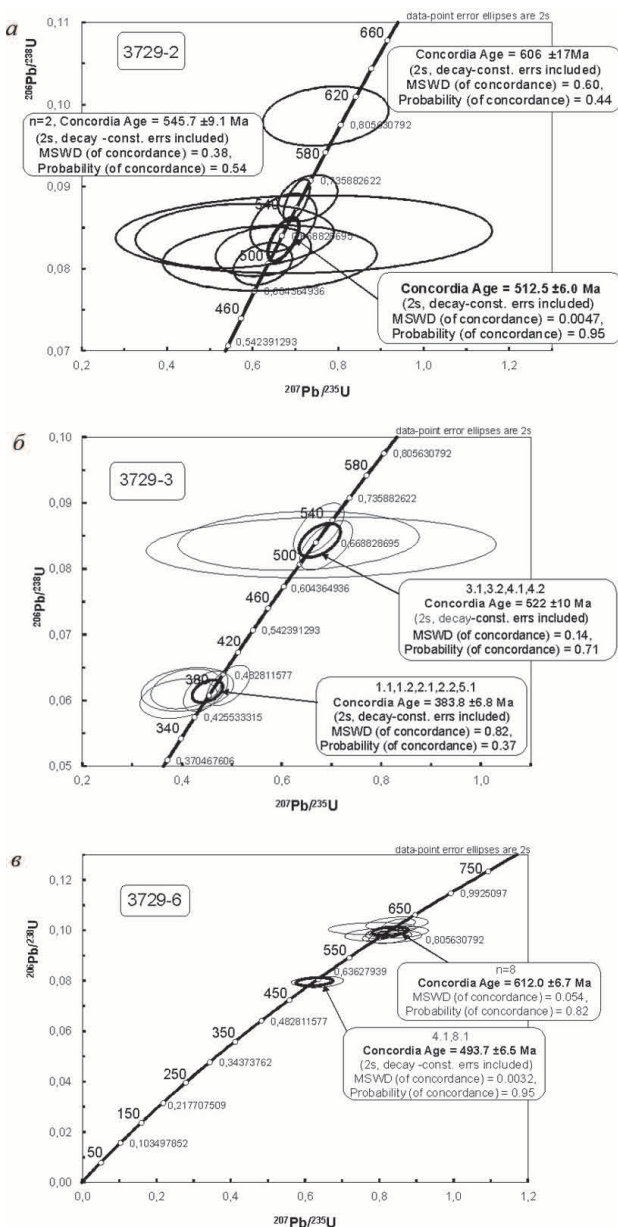


Рис. 10. U-Pb диаграмма с конкордией для цирконов из тектонического микстита на контакте верхнехарьейской и ханмейхойской свит (ручей Ступенчатый)

а, б – обломки метадiorитов, в – кварц-полевошпатово-мусковитовый матрикс

Таблица 4

Изотопные характеристики цирконов из кварц-полевошпат-мусковитового матрикса тектонических микститов зоны контакта верхнехарьбейской и ханмейхойской свит (ручей Ступенчатый)

Проба	$\% \text{ } ^{206}\text{Pb}_e$	ppm U	ppm Th	ppm $^{206}\text{Pb}^*$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	Т, млн лет $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Т, млн лет $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Степень дискордантности, %	(1) $^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm \%$	(1) $^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm \%$	Корреляция ошибок
3729-6													
1.1	0,44	206	155	18,2	0,78	629,3 $\pm$ 6,7	602 $\pm$ 84	-4	0,848	4	0,1025	4	,275
2.1	1,82	483	556	42,6	1,19	618,7 $\pm$ 5,6	463 $\pm$ 140	-25	0,781	6,2	0,10073	6,2	,154
3.1	0,72	473	200	0,933	0,44	14,7 $\pm$ 0,41	-5 $\pm$ 450	-136	0,0145	19	0,002282	19	,147
4.1	0,32	682	525	46,9	0,80	494,1 $\pm$ 4	449 $\pm$ 75	-9	0,614	3,5	0,07966	3,5	,242
5.1	—	339	353	28,8	1,08	610,1 $\pm$ 5,6	681 $\pm$ 81	12	0,851	3,9	0,09926	3,9	,246
6.1	0,10	437	387	38,4	0,92	628,5 $\pm$ 5,2	620 $\pm$ 41	-1	0,854	2,1	0,1024	2,1	,410
7.1	3,47	216	121	0,449	0,58	15,01 $\pm$ 0,71	410 $\pm$ 1200	2665	0,0177	56	0,00233	56	,085
8.1	0,38	202	139	13,9	0,71	493 $\pm$ 5,4	547 $\pm$ 84	11	0,641	4	0,07947	4	,287
9.1	—	266	173	22,2	0,67	599,1 $\pm$ 5,9	678 $\pm$ 81	13	0,834	3,9	0,0974	3,9	,262
10.1	0,09	206	160	17,2	0,80	598,9 $\pm$ 6,2	666 $\pm$ 56	11	0,829	2,8	0,0974	2,8	,381
11.1	0,22	300	243	25,3	0,84	604,2 $\pm$ 5,7	514 $\pm$ 81	-15	0,78	3,8	0,09825	3,8	,259
12.1	0,21	460	554	39,1	1,24	607 $\pm$ 5,1	599 $\pm$ 55	-1	0,815	2,7	0,09874	2,7	,327
3729-3													
1.1	1,16	345	146	18,1	0,44	377,1 $\pm$ 7,5	65 $\pm$ 190	-83	0,393	8,1	0,0602	8,1	,252
2.1	0,06	292	127	15,4	0,45	384,1 $\pm$ 7,6	323 $\pm$ 80	-16	0,448	4,1	0,0614	4,1	,500
2.2	0,07	338	156	18,1	0,48	389,3 $\pm$ 7,6	509 $\pm$ 66	31	0,493	3,6	0,0623	3,6	,557
3.1	0,28	988	482	73,3	0,50	532,2 $\pm$ 9,5	485 $\pm$ 54	-9	0,674	3,1	0,0861	3,1	,605
3.2	0,28	834	327	60	0,40	517,3 $\pm$ 9,2	597 $\pm$ 55	15	0,689	3,2	0,0836	3,2	,587
4.1	15,42	479	239	40,6	0,52	515 $\pm$ 11	575 $\pm$ 460	12	0,68	21	0,0832	21	,107
4.2	10,51	383	200	31,1	0,54	521 $\pm$ 11	396 $\pm$ 350	-24	0,634	16	0,0843	16	,139
5.1	1,05	407	172	21,8	0,44	386,3 $\pm$ 7,5	96 $\pm$ 160	-75	0,408	7,1	0,0618	7,1	,284
1.2	1,09	237	83	12,7	0,36	385,7 $\pm$ 8,2	116 $\pm$ 210	-70	0,411	9,2	0,0617	9,2	,238
3729-2													
4.1	0,22	181	129	12,6	0,73	499,9 $\pm$ 6,2			0,624	4,5	0,0806	4,5	0,289
6.1	1,43	63	46	4,47	0,76	503,8 $\pm$ 9,5			0,640	16	0,0813	16	0,124
3.1	0,60	146	97	10,4	0,68	508,5 $\pm$ 7,3			0,625	7,3	0,0821	7,3	0,204
10.1	0,15	911	483	65,5	0,55	517,7 $\pm$ 6,6			0,672	2,2	0,0836	2,2	0,613
2.1	1,79	80	87	5,87	1,13	519,8 $\pm$ 9,6			0,558	17	0,0840	17	0,116
9.1	4,85	60	44	4,55	0,77	521,0 $\pm$ 12			0,720	25	0,0842	25	0,092
8.1	0,00	28	20	2,06	0,73	529,6 $\pm$ 8,5			0,672	4,7	0,0856	4,7	0,359
1.1	0,06	766	511	58,1	0,69	545,6 $\pm$ 6,0			0,703	1,8	0,0883	1,8	0,635
5.1	0,31	205	161	15,7	0,81	547,4 $\pm$ 6,6			0,729	3,9	0,0886	3,9	0,323
7.1	0,73	80	70	6,82	0,91	606,2 $\pm$ 8,9			0,771	7,8	0,0986	7,8	0,196

Примечание. См. табл. 1.

Пространственное совмещение близких по возрасту (рифей — венд), но разнофациальных метаморфических образований *зеленосланцевого и мигматит-гнейсово-амфиболитового* СВК свидетельствует о значительных амплитудах перемещения последнего, вероятнее всего, из области, закрытой отложениями Западно-Сибирской платформы.

1. *Афонкин М.М., Голубева И.И.* Амфиболиты париквасьшорской свиты (харбейский комплекс) как индикатор наличия докембрийской островной дуги на Полярном Урале // *Петрология и минералогия севера Урала и Тимана: Сб. статей.* — Сыктывкар, 2006. — С. 22–38 (Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН. Вып. 120).

2. *Голубева И.И., Афонкин М.М.* Петрогеохимические характеристики и условия формирования субстрата докембрийских парасланцев париквасьшорской свиты (Полярный Урал) // *Петрология и минералогия севера Урала и Тимана: Сб. статей.* — Сыктывкар, 2010. — С. 45–58 (Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН. Вып. 127).

3. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Серия Северо-Уральская. Лист Q-42-I. Объясн. зап. / сост. А.В. Цымбалюк. — М., 1984. — 107 с.

4. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Серия Северо-Уральская. Лист Q-42-VII. Объясн. зап. / сост. А.В. Цымбалюк. — М., 1976. — 100 с.

5. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 200 000 (второе издание). Серия Полярно-Уральская. Лист Q-42-I, II (Лаборова). Объясн. зап. / В.А. Душин, О.П. Сердюкова и др. — СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. — 372 с.

6. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 — Салехард. Объясн. зап. / Л.И. Зылева, А.Л. Коновалов, А.П. Казак, А.В. Жданов и др. — СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2014. — 396 с.

7. *Коновалов А.Л.* Дислокационный метаморфизм протерозойских комплексов Харбейско-Марункеуской структурно-формационной зоны (Полярный Урал) / А.Л. Коновалов, Д.В. Доливо-Добровольский, А.Н. Мельгунов, А.П. Казак // *Регион. геология и металлогения.* 2009. № 39. — С. 33–45.

8. *Коновалов А.Л., Лохов К.И., Мельгунов А.Н.* и др. Доордовикские гранитоиды и молибденитовые руды Харбея — геология, изотопная геохронология и геохимия (Полярный Урал) // *Регион. геология и металлогения.* 2011. № 45. — С. 12–28.

9. *Коновалов А.Л., Сергеев С.С.* О возрасте цирконов из жадеититов ультрабазитового массива Сыумкеу в зоне Главного Уральского разлома (Полярный Урал) // *Регион. геология и металлогения.* 2015. № 64. — С. 41–47.

10. *Краснобаев А.А.* Циркон как индикатор геологических процессов. — М.: Наука, 1986. — 152 с.

11. *Кукушкин А.И.* Метаморфические толщи восточного склона Урала, их происхождение и возраст // *Регион. геология и металлогения.* 2006. № 27. — С. 26–41.

12. *Любоженко Л.Н.* Результаты микроструктурного изучения пород париквасьшорского блока (Полярный Урал) // *Магматические и метаморфические комплексы севера Урала.* — Сыктывкар, 1995. — С. 80–86 (Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН СССР. Вып. 87).

13. Основные черты геологического строения и минерально-сырьевой потенциал Северного, Приполярного и Полярного Урала / ред. А.Ф. Морозов, О.В. Петров, А.Н. Мельгунов. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. — 274 с. + приложения на CD.

14. Основы геодинимического анализа при геологическом картировании / гл. ред. Н.В. Межеловский. — М., 1997. — 519 с.

15. *Пыстина Ю.И., Пыстин А.М.* Цирконовая летопись уральского докембрия. — Екатеринбург: УрО РАН, 2002. — 168 с.

16. *Пыстин А.М., Пыстина Ю.И., Конанова Н.В., Потапов И.Л.* Типизация нижнего докембрия Тимано-Северо-уральского региона. — Сыктывкар: Геопринт, 2009. — 34 с.

17. *Удовкина Н.Г.* Эклогиты Полярного Урала: на примере южной части хр. Марун-Кей. — М.: Наука, 1971. — 191 с.

1. *Afonkin M.M., Golubeva I.I.* Amphibolites parikvasshorskoy Formation (kharbeysky complex) as an indicator of the presence of a Precambrian island arc on the Polar Ural. *Petrology and Mineralogy of the Northern Urals and Timan: Sat. articles.* Syktyvkar. 2006. Pp. 22–38. (In Russian).

2. *Golubeva I.I., Afonkin M.M.* Petrogeochemical characteristics and formation conditions of Precambrian substrate paraslantsev parikvasshorskoy Formation (Polar Urals). *Petrology and Mineralogy of the Northern Urals and Timan: Sat. articles.* Syktyvkar. 2010. Pp. 45–58. (In Russian).

3. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR, masshtab 1 : 200 000. Seriya Severo-Ural'skaya. List Q-42-I. Ob'yasnitelnaya zapiska [State geological map of USSR, scale of 1:200,000. Series of the North Ural. Sheet Q-42-I. Explanatory Note]. A.V. Tsyimbalyuk. Moscow: MinGeo. 1984. 107 p.

4. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR, masshtab 1 : 200 000. Seriya Severo-Ural'skaya. List Q-42-VII. Ob'yasnitelnaya zapiska [State geological map of USSR, scale of 1:200,000. Series of the North Ural. Sheet Q-42-VII. Explanatory Note]. A.V. Tsyimbalyuk. Moscow: 1976. 100 p.

5. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF, masshtab 1 : 200 000 (vtoroe izdanie). Seriya Polyarno-Ural'skaya. List Q-42-I, II (Laborovaya). Ob'yasnitelnaya zapiska [State geological map of Russian Federation, scale of 1:200,000 (second edition). Series of Polar-Ural. Sheet Q-42-I, II (Laborovaya). Explanatory Note]. V.A. Dushin, O.P. Serdyukova i dr. St. Petersburg: VSEGEI. 2009. 372 p.

6. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF, masshtab 1 : 100 000 (tret'e pokolenie). Seriya Zapadno-Sibirskaya. List Q-42 — Salehard. Ob'yasnitelnaya zapiska [State geological map of Russian Federation, scale of 1:1,000,000 (third generation). Series of West-Siberian. Sheet Q-42 — Salekhard. Explanatory Note]. L.I. Zyileva, A.L. Konovalov, A.P. Kazak, A.V. Zhdanov i dr. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2014. 396 p.

7. *Konovalov A.L., Dolivo-Dobrovolskiy D.V., Melgunov A.N., Kazak A.P.* Dislocation metamorphism of the Proterozoic complexes Kharbeysko-Marunkeuskoj structural-formational zone (the Polar Urals). *Regionalnaya geologiya i metallogeniya.* 2009. No 39, pp. 33–45. (In Russian).

8. *Konovalov A.L., Lokhov K.I., Melgunov A.N., Berzhnaya N.G.* i dr. Doordeweekse granitoids and ore of molybdenite Harba — geology, isotopic geochronology and geochemistry (Polar Urals). *Regionalnaya geologiya i metallogeniya.* 2011. No 45, pp. 12–28. (In Russian).

9. *Konovalov A.L., Sergeev S.S.* About the age of zircons from jadeitite ultrabasite array of Syomke in the zone of the Main Uralian fault (the Polar Urals). *Regionalnaya geologiya i metallogeniya.* 2015. No 64, pp. 41–47. (In Russian).

10. *Krasnobayev A.A.* Tsirkon kak indikator geologicheskikh protsessov [Zircon as an indicator of geological processes]. Moscow: Nauka. 1986. 152 p.

11. *Kukushkin A.I.* Metamorphic strata of the Eastern slope of the Urals, their origin and age. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya.* 2006. No 27, pp. 26–41. (In Russian).

12. *Lyubozhenko L.N.* Rezul'taty mikrostrukturnogo izucheniya porod parikvas'shorskogo bloka (Polyarnyy Ural). *Magmatic and metamorphic complexes of the Northern Urals.* Syktyvkar. 1995. Pp. 80–86. (In Russian).

13. Osnovnyie chertyi geologicheskogo stroeniya i mineralno-syirevoye potentsial Severnogo, Pripolyarnogo i Polyarnogo Urala [The main features of the geological structure and mineral resource potential of the Northern, Subpolar and Polar Urals]. Eds. A.F. Morozov, O.V. Petrov, A.N. Melgunov.

St. Petersburg: Izd-vo VSEGEI. 2010. 274 p. + prilozheniya na CD.

14. Osnovy geodinamicheskogo analiza pri geologicheskoy kartirovani [The basics of geodynamic analysis in geological mapping]. Editor in chief N.V. Mezhelevskiy. Moscow: 1997. 519 p.

15. Pyistina Yu.I., Pyistin A.M. Tsirkonovaya letopis Uralskogo dokembriya [Zircon record of the Precambrian of the Urals]. Ekaterinburg: UrO RAN. 2002. 168 p.

16. Pyistin A.M. Pyistina Yu.I., Konanova N.V., Potapov I.L. Tipizatsiya nizhnego dokembriya Timano-Severouralskogo regiona [Typisation of the Lower Precambrian of the Timan-Northern Ural region]. Syktyivkar: Geoprint. 2009. 34 p.

17. Udovkina N.G. Eklogityi Polyarnogo Urala: na primere yuzhnoy chasti hr. Marun-Keu [Eclogites of the Polar Urals: an example from the southern part of the ridge Marun-Keu]. Moscow: Nauka. 1971. 191 p.

Коновалов Александр Леонидович — ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <Aleksandr_Kononov@vsegei.ru>

Лохов Кирилл Игоревич — канд. геол.-минер. наук, зав. кафедрой, геологический факультет Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ)², вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <kirill.lokhov@spbu.ru>

Черкашин Алексей Васильевич — вед. инженер, ВСЕГЕИ¹. <Aleksey_Cherkashin@vsegei.ru>

Вакуленко Ольга Владимировна — вед. инженер, ВСЕГЕИ¹. <Olga_Gavryutchenkova@vsegei.ru>

Kononov Aleksandr Leonidovich — Senior Researcher, VSEGEI¹. <Aleksandr_Kononov@vsegei.ru>

Lokhov Kirill Igorevich — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Chair, St. Petersburg State University (SPbU)², Leading Researcher, VSEGEI¹. <kirill.lokhov@spbu.ru>

Cherkashin Aleksey Vasil'evich — Leading Engineer, VSEGEI¹. <Aleksey_Cherkashin@vsegei.ru>

Vakulenko Ol'ga Vladimirovna — Leading Engineer, VSEGEI¹. <Olga_Gavryutchenkova@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.

² Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ). Университетская наб., 7–9, Санкт-Петербург, 199034, Россия. St. Petersburg State University. 7-9 Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia.