

ПЛАГИОКЛАЗИТЫ ИЗ ХРОМИТОНОСНЫХ УЛЬТРАМАФИТОВ МАССИВА РАЙ-ИЗ

© 2016 г. Н. В. Вахрушева*,***, К. С. Иванов*, А. Е. Степанов*,
С. П. Шокальский**, А. Н. Азанов***, В. В. Хиллер*, П. Б. Ширяев*,***

**Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15
E-mail: nv250190@yandex.ru*

***Всероссийский научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ)
199106, Санкт-Петербург, Средний просп., 74*

****Уральский государственный горный университет
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30*

Поступила в редакцию 27.01.2016 г.

Принята к печати 29.03.2016 г.

Исследованы корундсодержащие и бескорундовые плагиоклазиты, локализованные в хромитоносных ультрамафитах массива Рай-Из. Изучен состав породообразующих минералов, установлены геохимические характеристики пород. Проведено определение изотопного возраста плагиоклазитов (398 ± 3 и 404.4 ± 2.8 млн лет по цирконам U-Pb методом на SHRIMP-II), который отвечает границе среднего и раннего девона. В это время на фоне начинающейся мощной коллизии произошла глубокая метаморфическая переработка ультрамафитов большей части массива Рай-Из с формированием хромового оруденения высокохромистого типа и обособлением жильной серии существенно плагиоклазовых пород с корундовой (рубиновой) минерализацией.

Ключевые слова: ультрамафиты, плагиоклазиты, Полярный Урал, цирконы, U-Pb датирование, возраст, палеозой.

ВВЕДЕНИЕ

Массив Рай-Из – это классический геологический объект, на примере которого развивались представления о геологии, петрологии и геодинамической природе ультраосновных комплексов [6, 13 и др.], а теперь добывается основная часть хромовых руд России. Среди ультрамафитов массива встречаются тела плагиоклазитов, варьирующих от мономинеральных до амфиболовых и флогопит-амфиболовых корундсодержащих.

Флогопит-амфибол-плагиоклазовые породы, установленные в южной части хромитового месторождения Центральное [11, 20, 21 и др.], вмещают известное проявление корундовой минерализации Рубиновый Лог. С.В. Щербаковой [20, 21] описана зональность в строении флогопит-амфиболовых плагиоклазитов с рубиновой минерализацией, исследованы составы минералов, сделан вывод о генетической связи плагиоклазовых пород и вмещающих их ультрамафитов.

В 2004 г. Н.И. Брянчаниновой, А.Б. Макеевым и их соавторами впервые опубликованы микрозондовые анализы породообразующих минералов плагиоклазитов проявления Рубиновый Лог. В каймах вокруг кристаллов рубина установлена и исследована натрий-стронциевая слюда [2].

Краткие сведения о составе породообразующих минералов и петро-геохимических особенностях, выявленных на основе исследований рубинсодержащих плагиоклазитов массива Рай-Из современными методами, а также интерпретация их образования в результате мантийного метасоматоза приведены в статье [24].

Жилы плагиоклазитов встречены и описаны в мировой литературе в ультрамафитах различной формационной принадлежности. Например, жильная серия плагиоклазитов широко развита в породах Платиноносного пояса Урала и освещена в работах А.А. Ефимова [4, 5], Г.Б. Ферштатера [15, 16] и других исследователей. Так, жильный штокверк плагиоклазитов прорывает клинопироксениты Качканарского массива, вмещающие залежи титаномагнетитовых руд [5]. Генезис плагиоклазитов объясняется А.А. Ефимовым “десиликацией... магматических плагиогранитных жил... во время метаморфического события амфиболитовой ступени” [4]. Г.Б. Ферштатером [15, 16 и др.] анортозиты Черноисточинского массива рассматриваются как пример продуктов водного анатексиса роговообманковых габбро.

Дайки корундсодержащих и бескорундовых альбититов в лерцолитовых массивах Западных Пиренеев исследовавшими их авторами ранее также

считались десицированными фельзитовыми породами [26]. В более поздних работах, в том числе этих же исследователей [27, 28] приведены достаточно убедительные минералогические и геохимические обоснования их магматической природы.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПЛАГИОКЛАЗИТОВ

Нами уточнен вещественный состав и возраст корундсодержащих плагиоклазитов проявления Рубиновый Лог; впервые исследованы бескорундовые плагиоклазиты, залегающие в рудомещающих дунитах рудопроявления хромитов Юго-Западное-IV.

Тела плагиоклазитов жиллообразной, линзовидной или неправильной формы (в плане близкой к изометричной), локализованы, как правило, в дунит-пегматитах, а в ряде случаев совмещены с рудными телами хромитов. Так, горными выработками установлено, что рудное тело 254, расположенное в пределах Юго-Западного рудного поля массива Рай-Из, залегает согласно жиле плагиоклазитов (обр. Y-200). В целом, выходы плагиоклазитов располагаются субпараллельно Центральной зоне метаморфизма и полосе распространения месторождений и рудопроявлений хромитов (рис. 1).

Плагиоклазиты заметно варьируют по структуре, составу минералов, содержанию малых элемен-

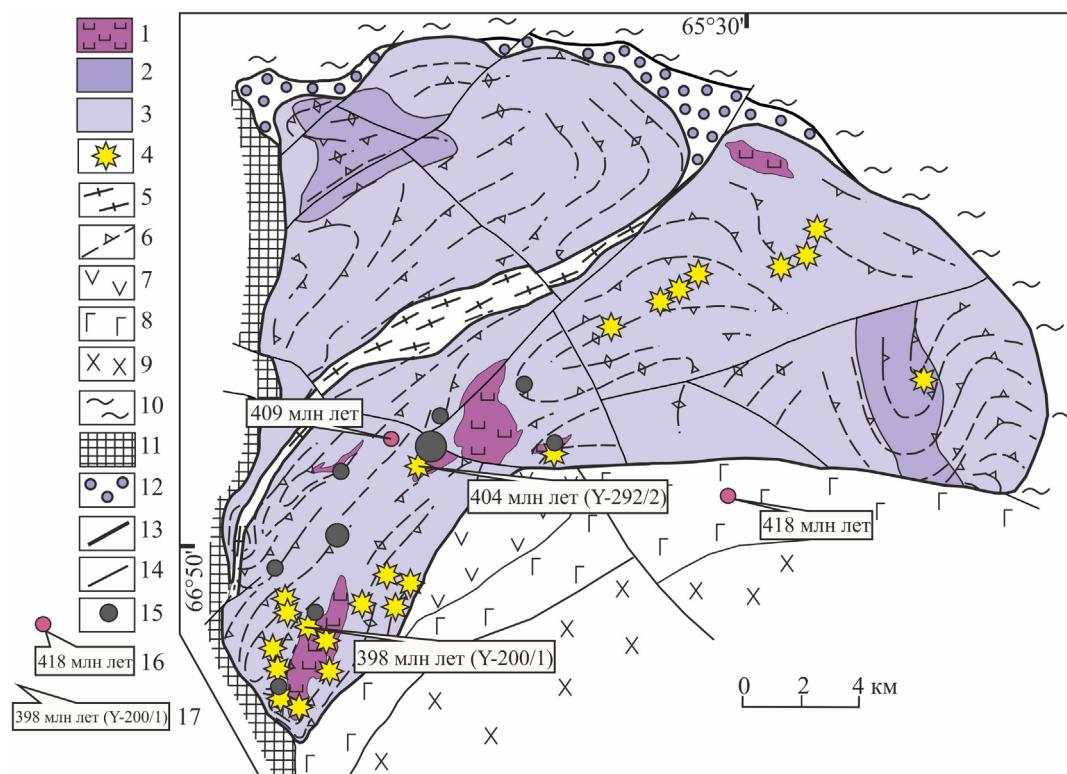


Рис. 1. Схематическая геологическая карта массива Рай-Из по [12] с уточнениями и дополнениями авторов с использованием материалов геологической съемки А.П. Прямоноснова (2001).

1–3 – райизско-войкарский дунит-гарцбургитовый комплекс: 1 – дуниты, 2 – гарцбургиты, 3 – нерасчленённый дунит-гарцбургитовый комплекс; 4 – внемасштабные тела плагиоклазитов; 5 – Центральная зона метаморфизма; 6 – полосчатость и направление её падения; 7–8 – кэршорский дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплекс: 7 – нерасчленённые дуниты, верлиты, клинопироксениты, 8 – габбро; 9 – плагиограниты и тоналиты собского комплекса; 10 – филлитовидные сланцы нижнего палеозоя (орангская свита); 11 – кристаллические сланцы и гнейсы хараматалоуского комплекса; 12 – зоны серпентинитового меланжа; 13–14 – разрывные нарушения: 13 – 1-го порядка, 14 – 2-го порядка; 15 – месторождения и рудопроявления хромитов; 16 – датировки, полученные предшественниками (см. текст); 17 – определение абсолютного возраста, полученные в настоящей работе.

Fig. 1. Simplified geological scheme of the Rai-Iz massif. Compiled by N.V. Vakhrusheva with materials of A.P. Prjamonosov et al. (2001, 2007) and [12].

1–3 – the Rai-Iz-Voicarian dunite-harzburgite complex: 1 – dunites, 2 – harzburgites, 3 – undifferentiated dunite-harzburgite complex; 4 – outscale plagioclase bodies; 5 – Central metamorphic zone; 6 – banding and its dip direction; 7–8 – Kershore dunite-wehrlite-clinopyroxenite-gabbro complex: 7 – undifferentiated dunites, wehrlites, clinopyroxenites, 8 – gabbro; 9 – plagiogranites and tonalites of the Sob complex; 10 – Lower-Paleozoic phyllitic schist (the Organskaya formation); 11 – the Kharamatalow block crystal schists and gneisses; 12 – serpentinite melange zone; 13–14 – faults: 13 – the 1st order, 14 – the 2nd order; 15 – chromite deposits and mineral occurrences; 16 – dating results by former researchers; 17 – absolute age by this work.

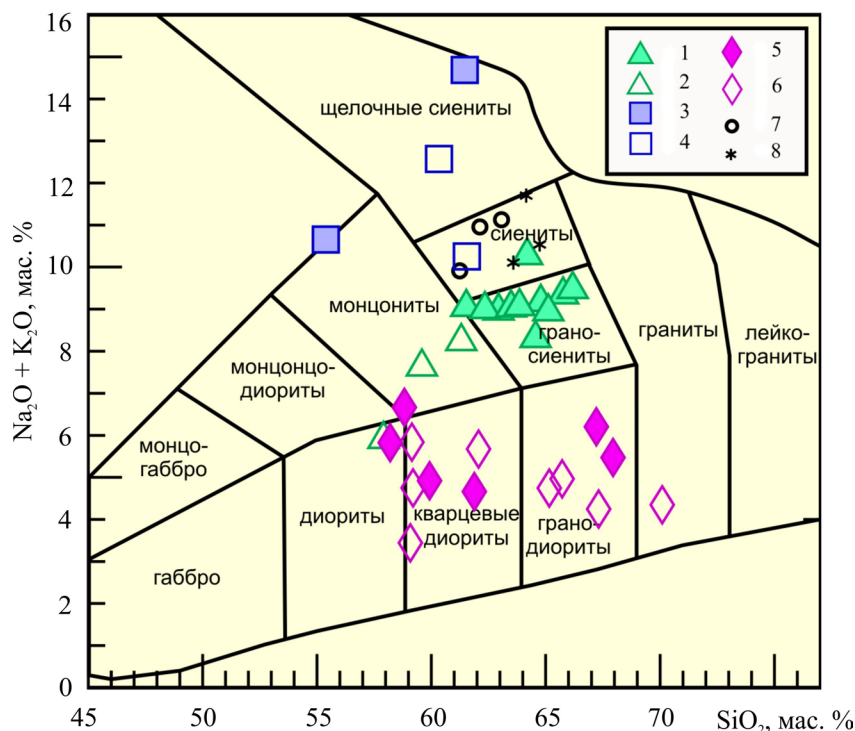


Рис. 2. Соотношение петрогенных оксидов в плагиоклазах массива Рай-Из и породах собского комплекса.

1, 2 – бескорундовые плагиоклазиты (рудопоявление хромитов Юго-Западное IV): 1 – амфиболовый плагиоклазит порфировидной структуры, 2 – амфиболовый плагиоклазит гипидиоморфнозернистой структуры; 3, 4 – корундсодержащие плагиоклазиты проявления Рубиновый Лог: 3 – флогопитовый плагиоклазит, 4 – амфибол-флогопитовый плагиоклазит; 5, 6 – породы собского комплекса: 5 – тоналиты, плагиограниты, 6 – гипабиссальные кварцевые диорит-порфиры, тоналит- и плагиогранит-порфиры; 7, 8 – альбититы Западных Пиренеев [28]: 7 – с корундом, 8 – без корунда.

Fig. 2. Average content of petrogenic oxides in plagioclases from the Rai-Iz massif and Sob complex.

1, 2 – without-corundum plagioclases (the Yugo-Zapadnoe-IV occurrence): 1 – amphibole-plagioclase rock with porphyritic texture; 2 – amphibole-plagioclase rock with hypidiomorphic texture; 3, 4 – corundum-bearing plagioclases from the Rubinov Log occurrence: 3 – phlogopite-plagioclase rock, 4 – amphibole-phlogopite-plagioclase rock; 5, 6 – the Sob complex rocks: 5 – tonalites, plagiogranites; 6 – hypabyssal quartz diorite-porphyrates, tonalite- and plagiogranite-porphyrates; 7, 8 – Western Pyrenees albitites [28]: 7 – corundum-bearing, 8 – without-corundum.

тов. Встречены плагиоклазиты как с типично метаморфической – гранобластовой структурой, так и гипидиоморфнозернистой – с идиоморфными зернами плагиоклаза и ксеноморфным амфиболом; также отмечаются порфировидные/порфиروبластовые разновидности.

Плагиоклаз в большинстве изученных образцов соответствует олигоклазу.

В амфиболовых плагиоклазитах с порфировидной/порфиروبластовой структурой (обр. Y-200) во вкрапленниках проявлена зональность – в центре зерен состав плагиоклаза соответствует $An_{18.7}$, в краевых частях – $An_{16.4}$. Закономерностей в распределении примесей – калия, стронция, бария, железа, магния, хрома, титана, марганца, содержащихся в минерале в сотых долях процента, не выявлено. В мелкозернистом матриксе состав плагиоклаза более кислый и также соответствует олигоклазу $An_{15.4}$ – $An_{15.8}$.

В амфиболовом плагиоклазите с идиоморфным плагиоклазом (обр. Y-12/1) зональность в пла-

гиоклазе более отчетливая и устанавливается при оптическом исследовании. По данным микрозондового анализа минерал в центре зерна по составу соответствует $An_{25.4}$, в краевых частях – $An_{10.4}$.

В корундсодержащих флогопитовых плагиоклазитах гранобластовой структуры (обр. Y-292/1), зональность в плагиоклазе не выявлена. Состав минерала более основной, чем в бескорундовых разновидностях и составляет $An_{25.7}$ – $An_{30.1}$, достигая в отдельных точках состава андезина. Для плагиоклаза из ассоциации с флогопитом и корундом характерно содержание в минерале стронция в количестве 0.99–1.38 мас. %.

Амфибол по химическому составу соответствует магнезиальной роговой обманке, реже – эденту-паргаситу (обр. Y-292/2). В отдельных зернах в результате диафтореза формируются тремолитовые или актинолитовые каймы. Иногда к краям зерен в минерале наблюдается повышение количества хрома.

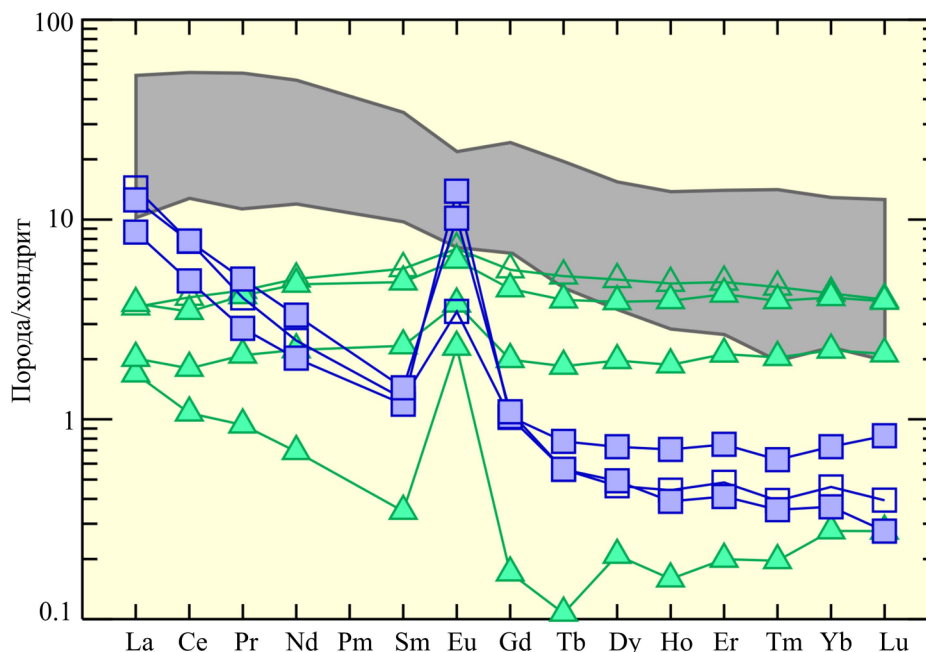


Рис. 3. Спектры распределения РЗЭ (нормировано по хондриту [30]).

Условные обозначения – см. рис. 2; серое поле – спектры РЗЭ для пород собского комплекса.

Fig. 3. C1 chondrite-normalized by [30] REE distribution patterns.

Legends – see fig. 2; grey area – REE patterns for Sob complex rocks.

Флогопит из корундсодержащих плагиоклазитов отличается высоким содержанием хрома (Cr_2O_3 – 1.69–2.68 мас.%), бария (BaO – 1.47–2.88 мас.%) и примесью стронция (SrO – 0.09–0.18 мас. %). Минерал содержит оксид натрия в количестве 1.07–2.13 мас. %.

Парагонит развивается вокруг кристаллов корунда на границе с плагиоклазом, иногда совместно с маргаритом. В парагоните отмечаются повышенные содержания оксида хрома (до 2.23 мас. %), стронция (SrO до 2.53 мас. %), бария (0.37 мас. % BaO).

Корунд (по 17 микронзондовым анализам) содержит от 3.72 до 5.58 мас. % Cr_2O_3 и интенсивно окрашен в “рубиновый” цвет. Другие примеси, за исключением железа, присутствующего в очень небольшом количестве (0.3–0.4 мас. % FeO), в минерале не установлены.

Среди акцессорных минералов в плагиоклазитах выявлены апатит, титанит, алланит-Се, монацит, циркон.

По соотношению главных петрогенных оксидов бескорундовые плагиоклазиты близки сиенитам-граносиенитам; флогопитовые и флогопит-амфиболовые плагиоклазиты, вмещающие корундовую минерализацию попадают в поле щелочных сиенитов (рис. 2).

По распределению редкоземельных элементов в плагиоклазитах выявлено два типа спектров (рис. 3) – в первом наблюдается обогащение легкими лантаноидами и обеднение тяжелыми отно-

сительно хондрита, во втором – нормированные к хондриту содержания РЗЭ дают субгоризонтальную линию, показывающую обогащение плагиоклазитов РЗЭ относительно хондрита в 3–5 раз. В обоих случаях имеет место положительная европиевая аномалия. Если амфиболовые и флогопитовые плагиоклазиты проявления Рубиновый Лог относятся к первому типу, то амфиболовые плагиоклазиты из одного тела (рудопоявление 254, Юго-Западное рудное поле) показывают как тот, так и другой типы спектров. Для альбититов из жил в лерцолитах Западных Пиренеев [28] характерен первый тип спектра при более высоких содержаниях РЗЭ.

Содержание стронция в плагиоклазитах Юго-Западного рудного поля массива Рай-Из варьирует от 308 до 674 г/т, тогда как в амфиболовых и флогопитовых плагиоклазитах проявления Рубиновый Лог оно аномально высокое и составляет 4482–7706 г/т. Как показано выше, стронций концентрируется, в основном, в плагиоклазе и слюдах.

ИЗОТОПНЫЙ ВОЗРАСТ ПЛАГИОКЛАЗИТОВ

Ранее изотопный возраст корундсодержащих пород проявления Рубиновый Лог определен калий-аргоновым методом как 320 ± 20 млн лет [25].

В настоящей работе изотопный возраст плагиоклазитов определен по цирконам из амфи-

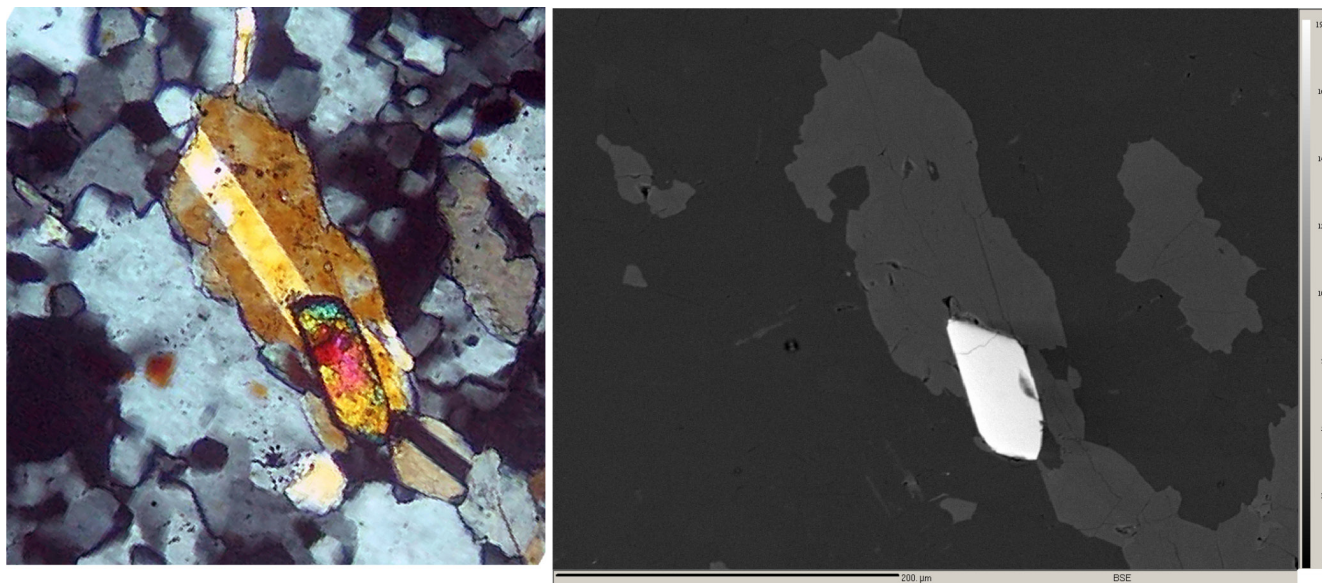


Рис. 4. Включение циркона в амфиболе. Обр. Y-200/1.

Слева – фото шлифа с анализатором, справа – изображение BSE (темно-серое – плагиоклаз; серое – амфибол; белое – циркон).

Fig. 4. Zircon inclusion in amphibole grain. Sample Y-200/1.

Left – thin section photo (polarized light), right – BSE image (dark-grey – plagioclase; grey – amphibole; white – zircon).

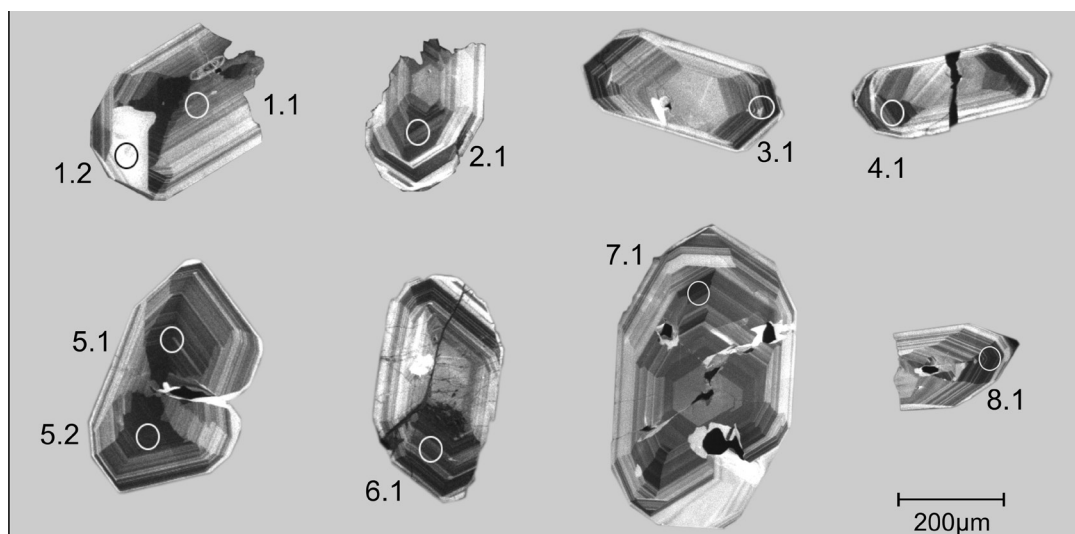


Рис. 5. Католюминесцентное изображение кристаллов цирконов с номерами точек измерений (см. табл. 1); обр. Y-200/1.

Fig. 5. Cathodoluminescence image of zircon grains with measurement point numbers (see. table. 1); sample Y-200/1.

боловых (проба Y-200/1, рудопоявление Юго-Западное IV; широта – $66^{\circ}48'34.85''$ N; долгота – $65^{\circ}9'2.41''$ E) и флогопит-амфиболовых плагиоклазитов (проба Y-292/2, проявление Рубиновый Лог, южная часть месторождения Центральное; широта – $66^{\circ}51'39.2''$ N; долгота – $65^{\circ}14'34''$ E). Циркон в обоих случаях характеризуется идиоморфным призматическим габитусом, прозрачный, лилово-

розового цвета. В шлифах установлено, что он встречается как правило в виде включений в амфиболе (рис. 4) и/или флогопите. На католюминесцентных изображениях кристаллы циркона обнаруживают секториальность и концентрическую зональность роста (рис. 5, 7).

Циркон из флогопит-амфиболовых корундсодержащих плагиоклазитов характеризуется несколько

Таблица. 1. Результаты локального U-Pb анализа цирконов из плагиоклазитов массива Рай-Из**Table. 1.** Results of local U-Pb zircon study from plagioclase rock of Rai-Iz massif

Точка	Содержание				Возраст, млн лет	Изотопные отношения (1), ±%		
	%	г/г				$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$
	$^{206}\text{Pb}_c$	$^{206}\text{Pb}^*$	U	Th				
флогопит-амфиболовый плагиоклазит (обр. Y-292/2)								
1.1	0.56	2.68	50	12	385.9 ± 6.6	0.468	0.0617	0.0551
4.1	1.45	2.39	44	8	391.4 ± 8.2	0.45	0.0626	0.052
2.1	1.53	9.65	173	38	399.3 ± 5	0.462	0.0639	0.0524
8.1	0	9.92	180	29	399.9 ± 3.9	0.473	0.064	0.0537
3.1	0.18	18.7	340	47	400.2 ± 3.3	0.482	0.06405	0.0546
6.1	0	14.2	255	58	405.3 ± 3.5	0.487	0.06489	0.0544
7.1	0	5.57	99	21	408.5 ± 4.9	0.496	0.06542	0.055
9.1	0	21.4	379	56	410.8 ± 3.1	0.493	0.0658	0.0544
5.1	0	17.7	309	46	414.5 ± 3.9	0.502	0.06642	0.0548
амфиболовый плагиоклазит (обр. Y-200/1)								
1.1	0	5.29	96	27	399.6 ± 7.5	0.515	0.0639	0.0584
1.2	5.1	1.49	26	4	398 ± 20	0.54	0.0637	0.062
2.1	0	12.2	225	77	395.7 ± 5.3	0.455	0.0633	0.0521
3.1	0.35	19.2	347	242	400.7 ± 4.6	0.49	0.06413	0.0554
4.1	0.35	20.3	370	249	396.4 ± 4.2	0.459	0.06342	0.0525
5.1	0.32	27.6	505	460	395.9 ± 3.9	0.426	0.06333	0.0488
5.2	0	28.5	521	479	398.6 ± 3.8	0.491	0.06379	0.0558
6.1	0	19.2	353	260	398.6 ± 4.4	0.48	0.06378	0.0546
7.1	1.18	9.17	167	50	394.3 ± 6.3	0.522	0.0631	0.06
8.1	0	12.3	224	118	399.5 ± 5.2	0.492	0.06393	0.0558

Примечание. Pb_c – обыкновенный свинец, Pb^* – радиогенный свинец; погрешности калибровки относительно стандартов 0.37%; (1) поправка на нерадиогенный свинец по ^{204}Pb . Номер точки измерения включает: первая цифра – номер зерна, вторая (после точки) – номер замера (кратера).

Notes. Pb_c – non radiogenic lead, Pb^* – radiogenic lead; calibration errors related to standard – 0.37%; (1) non radiogenic lead correction carrying out using ^{204}Pb . Point number consists of: first character – grain number, second (after point) – measurement (crater) number.

повышенным содержанием гафния, железа, лантана по сравнению с цирконом из бескорундовых пород рудопроявления Юго-Западное-IV. Подобные вариации примесей в цирконе описаны в корундовых и бескорундовых альбититах из жил в лерцолитах в Западных Пиренеях [27].

Изученные цирконы отличаются крайне низким содержанием урана, тория и свинца. Химический состав этого минерала определен на микроанализаторе “CAMECA SX 100” в ИГГ УрО РАН (Екатеринбург).

Датирование цирконов выполнено U-Pb методом на SHRIMP-II (ВСЕГЕИ) по стандартной методике. Возраст циркона из амфиболовых плагиоклазитов рудопроявления Юго-Западное-IV – 398 ± 3 млн лет (рис. 5, 6, табл. 1), а циркона из флогопит-амфиболовых плагиоклазитов, вмещающих корундовую минерализацию, составил 404.4 ± 2.8 млн лет (рис. 7, 8, см. табл. 1). Возрастной зональности в цирконах не выявлено.

ПЕТРОГЕНЕЗИС ПЛАГИОКЛАЗИТОВ

Плагиоклазиты, локализованные внутри ультрамафитов, могут образоваться в результате следующих процессов: 1) дифференциации габбрового рас-

плава; 2) “десиляции” плагиогранитов-тоналитов собского комплекса при внедрении в ультрамафиты; 3) метаморфической дифференциации (локального метасоматоза), проявленной в ультрамафитах.

Изотопный возраст габброидов кершорского комплекса массива Рай-Из определен по цирконам [18] как 418 ± 2 млн лет (см. рис. 1). Для габброидов характерны невысокие содержания РЗЭ, содержания стронция не превышают 450 г/т, отмечается устойчивый дефицит легких РЗЭ. Плагиоклазиты, исследованные в настоящей работе, обогащены легкими РЗЭ ($\text{LaN}/\text{YbN} = 0.8\text{--}5.8$ в бескорундовых и $\text{LaN}/\text{YbN} = 11.2\text{--}32.6$ в корундсодержащих), а также стронцием (см. выше). Все это исключает возможность формирования плагиоклазитов как дифференциатов габбрового расплава.

Плагиограниты и тоналиты собского комплекса [9, 23 и др.] также не являются источником для плагиоклазитов, несмотря на близкие возраста [14 и др.]. Как видно на рис. 2, исследованные плагиоклазиты, при близких содержаниях кремнекислоты, заметно обогащены щелочами по сравнению с породами собского комплекса, что вряд ли возможно при внедрении плагиогранитов в ультрамафиты. Сравнение распределения редких и редкоземель-

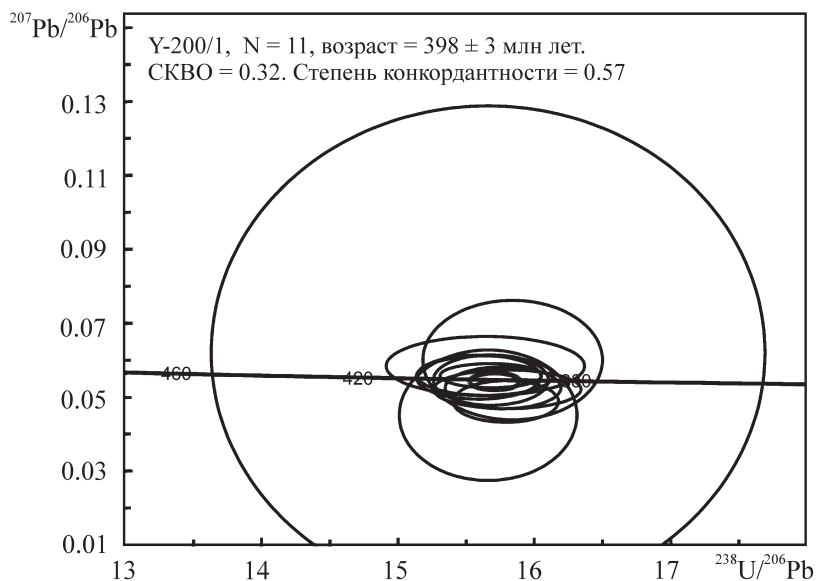


Рис. 6. Изотопные U-Pb-диаграммы с конкордией для цирконов из амфиболового плагиоклазита; обр. Y-200/1.

Fig. 6. Izotopic U-Pb concordia diagram for zircons from amphibole-plagioclase rock; sample Y-200/1.

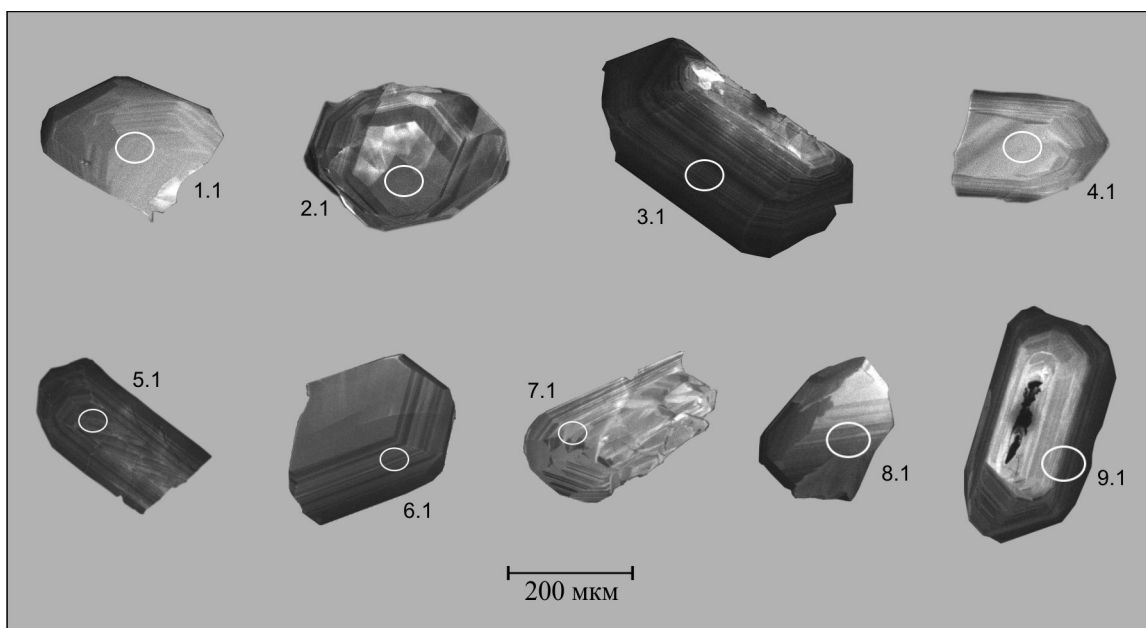


Рис. 7. Катодолюминесцентное изображение кристаллов цирконов с номерами точек измерений (см. табл. 1); обр. Y-292/2.

Fig. 7. Cathodoluminescence image of zircon grains with measurement point numbers (see. table. 1); sample Y-292/2.

ных элементов в породах собского комплекса и изученных плагиоклазитах (см. рис. 3) также свидетельствуют об их различной природе.

Таким образом, плагиоклазиты Рай-Иза сформировались, по всей видимости, в результате флюидной проработки ультрамафитов и метаморфической дифференциации (локального метасоматоза), что привело к образованию метаультрамафитов, хро-

мовых руд и плагиоклазитового мобилизата в зонах разгрузки. Высокохромистое хромовое оруденение месторождений Центральное и Западное, а также рудопроявлений Юго-Западного и Енгайского рудных полей массива Рай-Из, локализованы в породах метаморфизованного дунит-гарцбургитового комплекса, представленных так называемыми “вторичными гарцбургитами”/метаультрамафитами – амфибол-

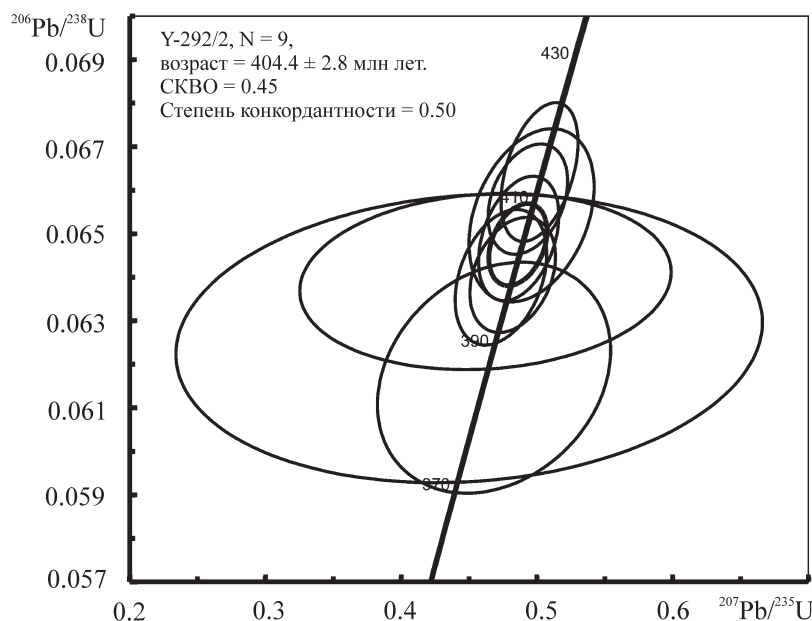


Рис. 8. Изотопные U-Pb-диаграммы с конкордией для цирконов из флогопит-амфиболовых плагиоклазитов массива Рай-Из. Обр. Y-292/2.

Fig. 8. Isotopic U-Pb concordia diagram for zircons from amphibole-plagioclase rock of Rai-Iz massif; sample Y-292/2.

энстатит-оливиновыми породами и пегматоидными дунитами. Метаморфиты, вмещающие хромовое оруденение, заметно обеднены алюминием, кальцием, титаном, при одном и том же содержании кремнезема (нормативного пироксена), по сравнению с дунитами и гарцбургитами, претерпевшими лишь петельчатую серпентинизацию и сохранившимися в северо-восточной и восточной частях массива.

С нашей точки зрения, локализация хромового оруденения месторождения Центральное и др. происходила в процессе метаморфизма ультрамафитов и сопровождалась образованием жильной серии плагиоклазовых пород. Плагиоклазиты в ходе процесса концентрировали алюминий, кальций, щелочи, кремнезем, редкие земли; хромовая руда и околорудные дуниты — хром, железо и магний.

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Анализ значения полученных результатов для региональной геологии и геодинамики невозможен без учета сведений по геологии вмещающих комплексов. Причем наиболее значимы именно полярно-уральские данные (а не проводимые иногда сверхдлинные корреляции, например, с югом Урала), поскольку на Урале отмечается возрастное “скольжение” геодинамических событий, в частности, их омоложение в северных частях региона [8 и др.].

Отметим, что изотопные определения возраста для обеих точек опробования показали практически совпадающие значения (в пределах наблюдаемых погрешностей) — 400 ± 3 млн лет, что при-

мерно отвечает границе раннего и среднего девона, т.е. границе эмса и эйфеля международной шкалы 2009 г. (397.5 ± 2.7 млн лет).

Ранее сообщалось, что Sm-Nd изохронным методом был определен возраст ультрамафитов (гарцбургита и дунита) массива Рай-Из, который составил 409 ± 26 млн лет [10]; таблицы с фактическими данными измерений в этой работе не приведены. Все вышеприведенные значения возраста пород совпадают (неразличимы в пределах аналитических погрешностей). Совпадение возрастов метаморфизованных гарцбургитов и кэршорского комплекса указывает на то, что в работе [10] было определено время проявления метаморфизма ультрамафитов, а не время их генерации, как это предполагалось авторами вышеупомянутой работы.

Также ранним-средним девоном датируется закрытие Sm-Nd изотопных систем офиолитовых ультрамафитов смежного к югу Войкарского массива — 387 ± 34 млн лет [29] в то время как возраст наименее измененных ультрамафитов этого массива составляет около 2 млрд лет [1, 3]. Из этого следует, что 387 ± 34 млн лет для Войкарского массива — это тоже скорее всего возраст метаморфизма ультрамафитов.

Я.Э. Юдовичем с коллегами [22] в метаморфитах Центрально-Уральского поднятия севера Урала Rb-Sr методом было выявлено три возрастных рубежа метаморфизма (млн лет): позднерифейский (928 ± 16), раннедевонский ($(395-397) \pm (8-12)$) и позднепермский (255 ± 16). По всей видимости, первый из них связан с рифтовым метаморфизмом растяжения [17],

а позднепермско-раннетриасовый рубеж отвечает этапу ограниченного пост-коллизийного субширотного растяжения Урала [7]. Пик этого растяжения приходится на границу перми и триаса (250 млн); именно в это время на Урале начали формироваться угленосные грабены, а в Западной Сибири – рифты.

Раннедевонский этап метаморфизма (400 млн лет), субсинхронный с метаморфизмом ультрамафитов и возрастом плагиоклазитов, выявлен Э.Я. Юдовичем с коллегами [22] как в двуслюдяных гранатсодержащих сланцах няртинского комплекса (397 ± 8 млн лет), так и в залегающей выше щекурьянской “свите” – фенгит-содержащих кальцитовых мраморах и сланцах (395 ± 12 млн лет). Данные по континентальным перерывам в осадконакоплении на Урале [19 и др.] показывают наличие трех наиболее крупных перерывов – предордовикского, предэйфельского и предмезозойского, в первом приближении совпадающих с отмеченными выше метаморфическими этапами.

С учетом приведенных ранее и других данных геодинамическую историю формирования габбро-ультрамафитовых комплексов региона можно представить в следующей последовательности:

1. Формирование мафит-ультрамафитовых комплексов как коры океанического типа в зоне тыловодужного спрединга (восточнее Главного Уральского разлома (ГУР) в современных координатах) в раннем палеозое, вероятно, в конце среднего ордовика–начале силура (в этой же зоне оказываются мантийные блоки с возрастом около 2 млрд лет).

2. Субдукция в зоне ГУР в конце раннего – позднем силуре и постепенное сужение “океана”, находившегося западнее ГУР и к востоку от Восточно-Европейского кратона.

3. Прогрессирующее сокращение субокеанического бассейна в раннем девоне, погружение в зону субдукции ГУР кластических толщ подножия Восточно-Европейского палеоконтинента и появление гранитоидных расплавов вследствие флюидной переработки в надсубдукционном клине. Начало коллизии, воздымание, предэйфельский перерыв, метаморфизм ультрамафитов и палеозойских стратифицированных толщ Центрально-Уральского поднятия, включающих переработанные блоки кристаллического фундамента палеоконтинента.

4. Полное замыкание осадочного бассейна, девон-пермская коллизия в транспрессионной обстановке, приводящая к появлению на дневной поверхности HP-LT метаморфических пород.

5. Постколлизийное растяжение в позднепермско-раннетриасовое время.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленные в южной и юго-западной частях массива Рай-Из тела плагиоклазитов располагаются субсогласно Центральной зоне метаморфизма и

полосе распространения месторождений и рудопроявлений хромитов. Плагиоклазиты локализованы как правило в дунит-пегматитах.

Образование плагиоклазитов внутри разреза хромитоносных ультрамафитов массива Рай-Из, по нашему мнению, является следствием метаморфической дифференциации (локального метасоматоза) в результате флюидной проработки ультрамафитов, приводящей к формированию метаультрамафитов, хромовых руд и плагиоклазитового мобилизата в зонах разгрузки.

На границе силура и девона и в раннем девоне в области распространения рассматриваемых ультрамафит-мафитовых комплексов на фоне начинающейся мощной коллизии произошла глубокая метаморфическая переработка ультрамафитов большей части массива Рай-Из с формированием хромового оруденения высокохромистого типа и обособлением жильной серии существенно плагиоклазовых пород с корундовой (рубиновой) минерализацией.

Авторы благодарят А.П. Прямоноснова и Л.А. Карстен – за содействие исследованиям и обсуждение статьи, а также рецензента за высказанные замечания.

Исследования выполнены в рамках Программы “Арктика” Президиума РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батанова В.Г., Брюгманн Г., Савельева Г.Н., Соболев А.В. (2009) Использование Re-Os изотопной системы для датирования мантийных процессов, на примере офиолитовых комплексов. *Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения: мат-лы 3-й Международной конф. Т. 1.* Екатеринбург. ИГГ УрО РАН, 77-80.
2. Брянчанинова Н.И., Макеев А.Б., Зубкова Н.В., Филиппов В.Н. (2004) Натрий-стронциевая слюда – $\text{Na}_{0.50}\text{Sr}_{0.25}\text{Al}_2(\text{Na}_{0.25-0.75})[\text{Al}_{1.25}\text{Si}_{2.75}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ из Рубинового Лога. *Докл. АН.* **395**(1), 101-107.
3. Вахрушева Н.В. (2007) Несерпентинизированные гарцбургиты и вебстериты Войкаро-Сыньинского массива: минералогия, геохимия, Sm-Nd возраст *Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей: мат-лы 2-й Международной конф.* Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 293-296.
4. Ефимов А.А. (2003) Генезис жильных плагиоклазитов черноисточинского ареала в Тагильском массиве (Платиноносный пояс Урала): десиликация плагиогранитного протолита в габбро. *Литосфера.* (3), 41-62.
5. Ефимов А.А., Потапова Т.А. (2002) Жильная плагиоклазитовая серия Качканарского массива (Урал) – продукт десиликации плагиогранитного штокверка. *Региональная геология и металлогения.* (15), 45-57.
6. Заварицкий А.Н. (1932) Перидотитовый массив Рай-Из на Полярном Урале. М.; Л.: Госнаучтехиздат, 221 с.

7. Иванов К.С. (1998) Основные черты геологической истории (1.6–0.2 млрд лет) и строения Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 252 с.
8. Иванов К.С. (2001) Оценка палеоскоростей субдукции и коллизии при формировании Урала. *Докл. АН.* **377**(2), 231–235.
9. Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В. (2014) Палеозойская эволюция Полярного Урала: Войкарский бассейн с корой океанического типа существовал не менее 65 млн лет. *Бюл. МОИП. Отд. геол.* **89**(5), 56–70.
10. Ронкин Ю.Л., Прямоносков А.П., Телегина Т.В., Лепихина О.П. (2000) Дунит-гарцбургитовый и дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплексы Полярного Урала: REE и Sr-Nd ограничения. *Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. Тезисы докл. I Российской конференции по изотопной геохронологии. Москва, ИГЕМ РАН. М.:ГЕОС*, 302–305.
11. Сорокин Ю.П., Перевозчиков Б.В. (1973) Рубин (алмазный шпат) из слюдитов гипербазитового массива Рай-Из (Полярный Урал). *Записки ВМО.* **102**(6), 692–696.
12. Строение, эволюция и минерогения гипербазитового массива Рай-Из (1990). Свердловск: УрО АН СССР, 228 с.
13. Тектоника Урала (объяснительная записка к тектонической карте Урала масштаба 1 : 1 000 000). А.В. Пейве, С.Н. Иванов, В.М. Нечеухин, А.С. Перфильев, В.Н. Пучков (1977) М.: Наука, 120 с.
14. Удодатина О.В., Кузнецов Н.Б. (2007) Собский плагиогранитный комплекс Полярного Урала. *Бюл. МОИП. Отд. геол.* **82**(3), 49–59.
15. Ферштатер Г.Б. (2013) Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 368 с.
16. Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Бородин Н.С., Монтеро М.П. (1998) Анатексис базитов в зоне палеосубдукции и происхождение анортозит-плагиогранитной серии Платиноносного пояса Урала. *Геохимия.* (8), 768–781.
17. Формирование земной коры Урала. С.Н. Иванов, В.Н. Пучков, К.С. Иванов и др. (1986) М.: Наука, 248 с.
18. Шмелев В.Р., Мон Ф.-Ц. (2013) Природа и возраст базитов офиолитового массива Рай-Из (Полярный Урал). *Докл. АН.* **451**(2), с. 211–215.
19. Шуб В.С. (1983) Континентальные перерывы в до-мезозойской истории Урала. *Вопросы геологической корреляции и металлогении Урала.* М.: Геол. фонд РСФСР, 120–129.
20. Щербакова С.В. (1976) О двух типах рубиновой минерализации в ультраосновном массиве Рай-Из на Полярном Урале. *Труды ВСЕГЕИ.* **210**, 111–119.
21. Щербакова С.В., Сутурин А.Н. (1990) Геохимия и минералогия метасоматитов с рубином (массив Рай-Из, Полярный Урал). *Геохимические поиски самоцветов.* Новосибирск: Наука, 167–198.
22. Юдович Я.Э., Андреичев В.Л., Мерц А.В., Кетрис М.П. (1995) Новые данные о возрасте метаморфизма доуралид Приполярного Урала. *Магматические и метаморфические комплексы Севера Урала. Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН СССР. Вып. 87*, 52–67.
23. Язева Р.Г., Бочкарев В.В. (1984) Войкарский вулканоплутонический пояс (Полярный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР, 159 с.
24. Ishimaru S., Arai S., Miura M., Shmelev V.R., Pushkarev E. (2015) Ruby-bearing feldspathic dike in peridotite from Ray-Iz ophiolite, the Polar Urals: Implications for mantle metasomatism and origin of ruby. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences.* **110**, 76–81.
25. Makeyev A.B. (2006) Typomorphic features of Cr-spinel and mineralogical prospecting guides for Cr ore mineralization. *Russian Journal of Earth Sciences.* (8), ES3002, doi:10.2205/2006ES000196.
26. Monchoux P. (1970) Les lherzolites pyrénéennes: contribution à l'étude de leur minéralogie, de leur genèse et de leur transformations. Thèse de doctorat Toulouse. France: Univ. Paul Sabatier, 112 p.
27. Monchoux P., Fontan F., De Parseval Ph., Martin R.F., Wang R.Ch. (2006) Igneous albitite dikes in orogenic lherzolites, Western Pyrénées, France: A possible source for corundum and alkali feldspar xenocrysts in basaltic terranes. I. Mineralogical associations. *Canad. Mineral.* **44**, 817–842.
28. Pin C., Monchoux P., Paquette J.-L., Azambre B., Wang R.Ch., Martin R.F. (2006) Igneous albitite dikes in orogenic lherzolites, Western Pyrénées, France: a possible source for corundum and alkali feldspar xenocrysts in basaltic terranes. II. Geochemical and petrogenetic considerations. *Canad. Mineral.* **44**, 843–856.
29. Sharma M., Wasserburg G.J., Papanastassiou D.A. et al. (1995) High $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ in extremely depleted mantle rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.* **135**, 101–114.
30. Sun S.-s., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the oceanic basins. Geol. Soc. London Spec. Publ.*, **42**, 313–345.

Plagioclases from chromite-bearing ultramafic rocks of the Rai-Iz massif

N. V. Vakhrusheva^{*,***}, K. S. Ivanov^{*}, A. E. Stepanov^{*},
S. P. Shokalsky^{**}, A. N. Azanov^{***}, V.V. Hiller^{*}, P.B. Shiryayev^{****}

*Institute of Geology and Geochemistry Urals Branche of RAS
Russian Geological Research Institute
Uralian State Mining University*

The corundum-bearing and without-corundum plagioclases from chromite-bearing ultramafic rocks of Rai-Iz massif were studied. Chemical composition of the rock-forming minerals and rock geochemical characteristics was determined. The U-Pb zircon dating (using SHRIMP-II microprobe) of plagioclases yielded an age of 398 ± 3 and 404.4 ± 2.8 Ma – Lower-Middle Devonian boundary. At that time on the background of powerful collision it occurred a deep metamorphic processing of Rai-Iz ultramafic rocks resulting in forming of high-chromium chromite ore and separation of vein-series represented by substantially plagioclase rocks with corundum (ruby) mineralization.

Key-words: *ultramafic rocks, plagioclases, Polar Urals, zircons, U-Pb dating, age, Paleozoic.*

REFERENCES

1. Batanova V.G., Bryugmann G., Savel'eva G.N., Sobolev A.V. (2009) The use of Re-Os isotopic system for dating the mantle processes on the example of ophiolite complexes. "Ul'trabazit-bazitovye komplekсы slachchatykh oblastej i svyazannye s nimi mestorozhdenija" *Trudy 3 Mezhdunarodnoj konf. V. 1* ["Mafic-ultramafic complexes of folded regions and related fields": Proc. 3rd International Conf. V. 1]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 77-80. (In Russian)
2. Brjanchaninova N.I., Makeev A.B., Zubkova N.V., Philippov V.N. (2004) Sodium strontium mica – $\text{Na}_{0.50}\text{Sr}_{0.25}\text{Al}_2(\text{Na}_{0.25-0.75})[\text{Al}_{1.25}\text{Si}_{2.75}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ from the Ruby Log. *Dokl. Akad. Nauk*, **395**(1), 101-107. (In Russian)
3. Vakhrusheva N.V. (2007) Non-serpentinised harzburgites and websterites Voikar-Syn'ja massif: mineralogy, geochemistry, Sm-Nd age. "Ul'trabazit-bazitovye komplekсы slachchatykh oblastej": materialy 2 Mezhdunarodnoj konf. ["Ultrabazite-mafic complexes of folded regions": Materials of the 2nd International Conf]. Irkutsk, Irkutsk State Technical University, 293-296. (In Russian)
4. Efimov A.A. (2003) Genesis of vein plagioclases Chernostochinsk array in the Tagil massif (Urals Platinum Belt): the desilication of plagiogranite protolith in gabbro. *Litosfera*, (3), 41-62. (In Russian)
5. Efimov A.A., Potapova T.A. (2002) Vein plagioklazite series Kachkanar massif (Urals) – desilication product of plagiogranite stockwork. *Regional'naja geologija i metallogenija*, (15), 45-57. (In Russian)
6. Zavaritskij A.N. (1932) *Peridotitovyj massiv Raj-Iz na Poljarnom Urale* [Peridotite Rai-Iz massif in the Polar Urals]. Moscow; Leningrad: Gosnauchtehizdat Publ., 221 p. (In Russian)
7. Ivanov K.S. (1998) *Osnovnye cherty geologicheskoy istorii (1,6–0,2 mlrd let) i stroenija Urala* [The main features of geological history (1.6–0.2 Ga) and the structure of the Urals]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 252 p. (In Russian)
8. Ivanov K.S. (2001) Evaluation of subduction and collision paleo-witness in the formation of the Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **377**(2), 231-235. (In Russian)
9. Kuznetsov N.B., Romanyuk T.V. (2014) Evolution of Paleozoic Polar Urals: Voykarsky pool with oceanic crust existed for at least 65 million years. *Bull. MOIP. Otd. Geol.*, **89**(5), 56-70. (In Russian)
10. Ronkin Yu.L., Prjamonosov A.P., Telegina T.V., Lepihina O.P. (2000) Dunite-harzburgite and dunite-wehrlite-clinopyroxenite-gabbro complexes of the Polar Urals. REE and Sr-Nd restrictions. "Izotopnoe datirovanie geologicheskikh protsessov: novye metody i rezul'taty". Tezisy dokladov 1-i Rossijskoj konferentsii po izotopnoi geokhronologii ["Isotopic dating of geological processes, new methods and results. Abstracts. I Russian Conference on Isotope Geochronology]. Moscow: IGGEM RAN; GEOS, 302-305. (In Russian)
11. Sorokin Yu.P., Perevozchikov B.V. (1973) Rubin (diamond spar) of glimmerites ultramafic massif Rai-Iz (Polar Urals). *Zapiski VMO*, **102**(6), 692-696. (In Russian)
12. *Stroenie, evolyutsija i mineragenija giperbazitovogo massiva Raj-Iz* (1990) [The structure, evolution and Mineralogeny of Rai-Iz ultramafic massif]. Sverdlovsk: UrO AN SSSR Publ., 228 p. (In Russian)
13. *Tektonika Urala (ob'jasnitel'naja zapiska k tektonicheskoj karte Urala masshtaba 1 : 1 000 000)* Pejve A.V., Ivanov S.N., Necheuhin V.M., Perfil'ev A.S., Puchkov V.N. (1977) [Tectonics of the Urals (explanatory note to the Urals tectonic map scale of 1 : 1 000 000)]. Moscow: Nauka Publ., 120 p. (In Russian)
14. Udoratina O.V., Kuznetsov N.B. (2007) Sob plagiogranite complex of the Polar Urals. *Bull. MOIP. Otd. Geol.*, **82**(3), 49-59. (In Russian)
15. Fershtater G.B. (2013) *Paleozojskij intruzivnyj magmatizm Srednego i Juzhnogo Urala* [Paleozoic intrusive magmatism of Middle and Southern Urals]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ, 368 p. (In Russian)
16. Fershtater G.B., Bea F., Borodina N.S., Montero M.P. (1998) Anatexis of basites in paleosubduction zones and the origin of anorthosite-plagiogranite series in the area of Urals Platinum Belt. *Geohimija*, (8), 768-781. (In Russian)
17. *Formirovanie zemnoj kory Urala*. Ivanov S.N., Puchkov V.N. (1977) [Formation of the Earth's crust of the Urals]. Moscow: Nauka Publ., 120 p. (In Russian)

- ov V.N., Ivanov K.S., Samarkin G.I., Semenov I.V., Pumpjanskii A.M., Dymkin A.M., Poltavets Yu. A., Rusin A.I., Krasnobaev A.A. (1986) [Crust formation of the Urals]. Moscow: Nauka, 248 p. (In Russian)
18. Shmelev V.R., Mon F.-K. (2013) Nature and age mafic ophiolite Rai-Iz massif (Polar Urals). *Dokl. Akad. Nauk*, **451**(2), 211-215. (In Russian)
 19. Shub V.S. (1983) Continental breaks in pre-Mesozoic history of the Urals. *Voprosy geologicheskoy korrelyatsii i metallogenii Urala* [Questions geological correlation and metallogeny of the Urals]. Moscow: Geol. fond RSFSR, 120-129. (In Russian)
 20. Shcherbakova S.V. (1976) On two types of ruby mineralization in the Rai-Iz ultramafic massif Polar Urals. *Trudy VSEGEI*, **210**, 111-119. (In Russian)
 21. Shcherbakova S.V., Suturin A.N. (1990) Geohimija i mineralogija metasomatitov s rubinom (massiv Raj-Iz, Poljarnyj Ural). *Geohimicheskie poiski samotsvetov* [Geochemical exploration gems]. Novosibirsk: Nauka, 167-198. (In Russian)
 22. Yudovich Ja.E., Andreichev V.L., Merts A.V., Ketris M.P. (1995) New data on the age of pre-uralid metamorphism Polar Urals. Igneous and metamorphic complexes of the North Urals. *Tr. IG Komi NTs UrO RAN SSSR*, (87), 52-67. (In Russian)
 23. Jazeva R.G., Bochkarev V.V. (1984) *Vojkarskij vulkano-plutonicheskij pojas (Poljarnyj Ural)* [Voykarsky volcano-plutonic belt (Polar Urals)]. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 159 p. (In Russian)
 24. Ishimaru S., Arai S., Miura M., Shmelev V.R., Pushkarev E. (2015) Ruby-bearing feldspathic dike in peridotite from Ray-Iz ophiolite, the Polar Urals: Implications for mantle metasomatism and origin of ruby. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. **110**, 76-81.
 25. Makeyev A.B. (2006) Typomorphic features of Cr-spinel and mineralogical prospecting guides for Cr ore mineralization. *Russian Journal of Earth Sciences*. (8), ES3002, doi:10.2205/2006ES000196.
 26. Monchoux P. (1970) Les lherzolites pyrénéennes: contribution à l'étude de leur minéralogie, de leur genèse et de leur transformations. Thèse de doctorat Toulouse. France: Univ. Paul Sabatier, 112 p.
 27. Monchoux P., Fontan F., De Parseval Ph., Martin R.F., Wang R.Ch. (2006) Igneous albitite dikes in orogenic lherzolites, Western Pyrénées, France: A possible source for corundum and alkali feldspar xenocrysts in basaltic terranes. I. Mineralogical associations. *Canad. Mineral.* **44**, 817-842.
 28. Pin C., Monchoux P., Paquette J.-L., Azambre B., Wang R.Ch., Martin R.F. (2006) Igneous albitite dikes in orogenic lherzolites, Western Pyrénées, France: a possible source for corundum and alkali feldspar xenocrysts in basaltic terranes. II. Geochemical and petrogenetic considerations. *Canad. Mineral.* **44**, 843-856.
 29. Sharma M., Wasserburg G.J., Papanastassiou D.A. et al. (1995) High $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ in extremely depleted mantle rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.* **135**, 101-114.
 30. Sun S.-s., McDonough W.F. (1989) Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the oceanic basins. Geol. Soc. London Spec. Publ.*, **42**, 313-345.