

УДК 550.93; 549; 552

DOI: 10.35597/2313-545X-2020-6-2-5

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ИЛЬМЕНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ЗАПОВЕДНИКЕ В ПЕРИОД 2010–2020 гг.

Е.В. Медведева¹, А.А. Краснобаев², П.М. Вализер¹, Н.М. Глебова¹, А.Б. Немов¹,
С.В. Чередниченко¹

¹Южно-Уральский федеральный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Ильменский государственный заповедник, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; mev_62@inbox.ru

²Институт геологии и геохимии УрО РАН, ул. Академика Вонсовского 15, г. Екатеринбург, 620016 Россия

В статье представлены основные результаты изотопно-геохронологических и минералого-геохимических исследований на территории Ильменского государственного заповедника за 2010–2020 гг. Приведена сводная схема возрастных датировок различных типов пород Ильменогорского полиметаморфического комплекса. Показаны текстурно-структурные особенности милонитов и основные направления метасоматических процессов в породах комплекса.

Илл. 2. Табл. 2. Библ. 30.

Ключевые слова: Ильменские горы, Ильмено-Вишневогорский полиметаморфический комплекс, геохронология, минералогия, метаморфические породы.

GEOLOGICAL STUDY IN THE ILMENY STATE RESERVE DURING 2010–2020

E.V. Medvedeva¹, A.A. Krasnobaev², P.M. Valizer¹, N.M. Glebova¹, A.B. Nemov¹,
S.V. Cherednichenko¹

¹South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Ilmeny State Reserve, Miass, Chelyabinsk oblast, 456317 Russia; mev_62@inbox.ru

²Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, ul. Akademika Vonsovskogo 15, Yekaterinburg, 620016 Russia

The paper presents the main results of isotopic-geochronological and mineralogical-geochemical studies at the territory of the Ilmeny State Reserve over 2010–2020. A summarized age scheme is given for various rock types of the Ilmenogorsk polymetamorphic complex. The textural-structural features of milonites and main directions of metasomatic processes in the rocks of the complex are shown.

Figures 2. Table 2. References 30.

Key words: Ilmeny Mountains, Ilmeny-Vishnevogorsky polymetamorphic complex, geochronology, mineralogy, metamorphic rock.

Введение

За последнее десятилетие геологические исследования на территории Ильменского государственного заповедника проводились по изотопно-геохронологическому (определение возрастной

эволюции орто- и паропород Ильменогорского полиметаморфического комплекса) и минералого-геохимическому (изучение особенностей минерального состава пород и его связь с геологическими процессами) направлениям.

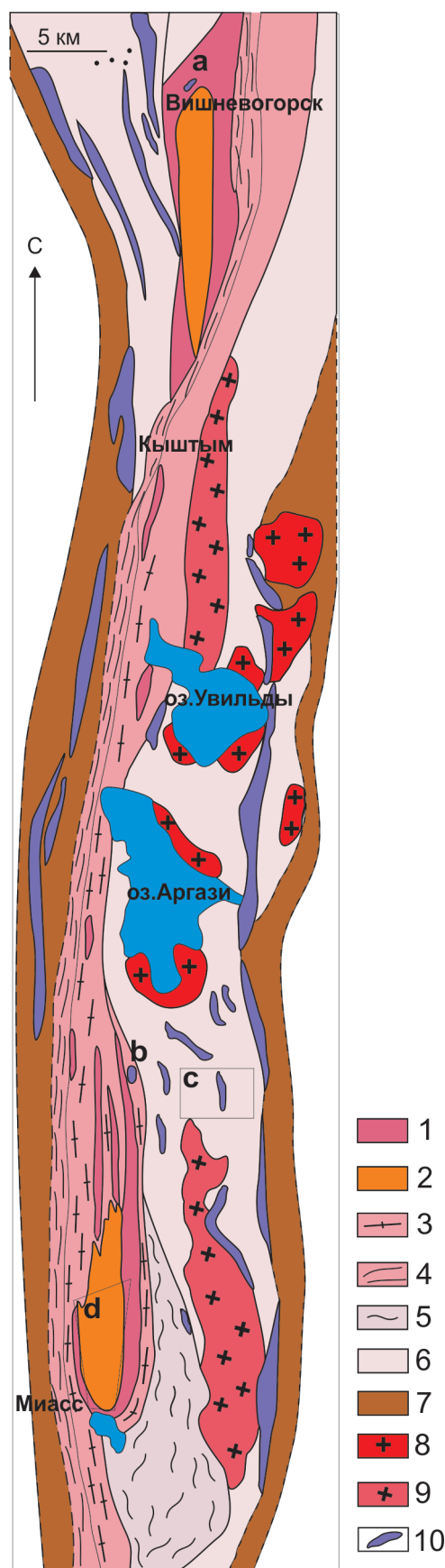
Территория Ильменского государственного заповедника располагается в южном сегменте Ильмено-Вишневогорского полиметаморфического комплекса (ИВПК) (рис. 1). Стратифицированные образования представлены: 1) селянkinской амфиболито-гнейсовой серией, сложенной породами фундамента платформы с наиболее древними возрастными датировками (1.8–2.2 млрд лет) (Краснобаев и др., 2001); 2) ильменской гнейсово-амфиболитовой серией, имеющей гетерогенный субстрат и широкий диапазон датировок от 900 до 600 млн лет (Краснобаев, Давыдов, 2000); и 3) сайтовской гнейсово-кварцито-сланцевой серией, соответствующей комплексу пород утоненной континентальной окраины, не имеющей изотопных датировок. Магматогенные образования, абсолютный возраст которых варьирует от раннего протерозоя до ранней перми, представлены породами мафит-ультрамафитовой и сиенит-карбонатитовой ассоциациями, а также сложно построенными гранитоидными массивами, сопровождающимися

Рис. 1. Схема геологического строения Ильмено-Вишневогорского полиметаморфического комплекса (Русин и др., 2006).

1 – селянkinская амфиболито-гнейсовая серия, архей-ранний протерозой; 2 – миаскиты, средний ордовик; 3 – милониты гранитоидного и сиенитового состава, средняя пермь–нижний триас; 4 – милониты Кыштымского сбросо-сдвига; 5 – плагиогнейсы и мигматиты; 6 – сайтовская кварцито-сланцевая серия; 7 – вулканогенно-осадочный зеленосланцевый комплекс Западно-Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской зон; 8 – Увильдинский монцонит-гранитоидный комплекс; 9 – Кисегачский гранито-гнейсовый комплекс, поздняя пермь; 10 – метультрамафиты. а – Булдымский массив, б – Няшевский массив, в – участки Уразбаево и Липовая Курья, г – Ильменогорский массив.

Fig. 1 Schematic geological map of the Ilmeny-Vishnevogorsk polymetamorphic complex after (Rusin et al., 2006).

1 – Archean to Early Proterozoic Selyankino Group: amphibolite-gneiss rocks; 2 – Middle Ordovician miaskites; 3 – Middle Permian–Lower Triassic granitic and syenitic blastomylonites; 4 – mylonites of the Kyshtym shear-thrust; 5 – plagioshales and migmatites; 6 – Saitovo Sequence: metaterigenous rocks; 7 – volcanosedimentary greenschist complexes of the West Magnitogorsk and Aramil-Sukhteli zones; 8 – Uvildy monzogranitic complex; 9 – gneissic granites of the Kisegach complex; 10 – metaultramafic rocks. a – Buldym massif, б – Nyashevo massif, в – Urazbaevo and Lipovaya Kurya areas, г – Ilmenogorsky miaskite block.



широким развитием дайковой фации. Уникальное минеральное разнообразие комплексу обеспечивает развитие пегматитовых тел, в том числе древних (гранитных), связанных с породами фундамента платформы, а также связанных с формированием щелочно-карбонатитовой ассоциации (сиенитовые, миаскитовые и др. щелочные пегматиты) и постмиаскитовых (гранитные редкометалльные и амазонитовые). Степень метаморфизма варьирует от высокотемпературной амфиболитовой фации до эпидот-амфиболитовой, однако, в породах селянkinской серии сохранились реликты минеральных ассоциаций гранулитового метаморфизма (Ленных и др., 1986; Медведева, 2008).

Тектоническая структура ИВПК определяется развитием региональной меридиональной сдвиговой зоны, с формированием которой связано образование зон милонитизации, мигматизации и широкое распространение метасоматических процессов. Совокупность этих процессов значительно осложняет понимание геологического строения Ильменогорского сегмента ИВПК.

Результаты изотопно-геохронологических исследований

Селянkinская серия. Для пород селянkinской серии получено несколько возрастных кластеров: гнейсы – 2081 ± 15 и 426 ± 13 млн лет (Краснобаев и др., 2001), амфиболиты – 2099 ± 30 и 280 ± 16 млн лет (Краснобаев и др., 2011; табл. 1). В породах селянkinской серии обнаружено тело метагаббро (Вализер и др., 2019), для большинства кристаллов циркона из которого установлен возрастной кластер с конкордантной датировкой 1731.6 ± 9.3 млн лет, которая определяет минимальный возраст метагаббро и фиксирует время магматической активизации. Соотношение Th/U (0.82–1.4) в зонах этих датировок свидетельствует о магматическом генезисе кристаллов циркона. В этой же выборке для краевой части одного из кристаллов получена раннепермская датировка 267 млн лет.

На западном берегу оз. Ишкуль среди пород селянkinской серии залегает тело метакарбонатно-силикатных пород (кальцифиров), характеризующееся специфическими минеральными ассоциациями, позволяющими сделать вывод о полиметаморфической природе этих образований (Вализер и др., 2019). Характер распределения РЗЭ указывает на первично осадочную природу кальцифира. Возрастные датировки образуют три кластера: 1780–

1720, 400–340 и 290–280 млн лет (табл. 1). Протерозойские датировки фиксируют возраст субстрата метапелитов, метамафитов и кальцифира, а морфологические особенности кристаллов циркона позволяют предположить влияние на них гранулитового метаморфизма. Силурийская датировка цирконов из гнейсов, а также предположительно омоложенный девон-карбонный кластер для кальцифира хронологически близки ко времени формирования щелочных миаскитовых массивов. Раннепермские датировки отражают коллизионные события в блоке пород фундамента платформы.

Мафит-ультрамафитовая ассоциация. Порода мафит-ультрамафитовой ассоциации образуют изометричные массивы (Няшевский, Булдымский) размером до первых километров, расположенные среди милонитизированных гнейсов, и более мелкие (размером от первых до десятков метров) изометричные будинированные тела (участки Уразбаево, Липовая Курья и др.), расположенные среди кварцито-сланцевого матрикса сайтовской серии.

Для гипербазитов Булдымского массива (БМ) получено несколько возрастных кластеров (Краснобаев и др., 2015): верхнепротерозойский, включающий две метки – 1350 ± 13 и 1120 ± 22 млн лет, соответствующие возрасту протолита; венд-кембрийский (563 ± 13 млн лет), фиксирующий преобразования, связанные с «апплифтингом» массива; и палеозойские – силурийский (432 ± 1.5 млн лет), девонский (391 ± 7.6 млн лет) и пермский (269 ± 6 млн лет) (табл. 1), свидетельствующие о синхронных преобразованиях в породах ультраосновного ряда и сиенит-карбонатитовой ассоциации.

Для Няшевского массива (НМ) выявлено три этапа эволюции (Краснобаев и др., 2016): нижнепротерозойский (1892 ± 23 млн лет), отвечающий за минимальный возраст мантийного субстрата, преобразованного в нижней коре (мигматизация в кристаллах); силурийский (443 ± 12 млн лет), соответствующий континентальному рифтогенезу, фиксирующему магматическое преобразование цирконов; и нижнепермский (275 млн лет) (табл. 1), фиксирующий сдвиговые деформации и снижение концентраций Th в цирконе.

Для пород мафит-ультрамафитовой ассоциации, расположенных среди метатерригенных пород сайтовской серии, определен возраст серпентинитов и гранатовых амфиболитов участка Липовая Курья (ЛК) и гранатовых и корунд-гранатоизитовых амфиболитов участка Уразбаево (У). Для серпентинитов были получены три кластера:

Таблица 1

Возрастные датировки циркона (U/Pb SHRIMP) из пород Ильмено-Вишневогорского полиметаморфического комплекса (млн лет)

Table 1

Ages (U/Pb SHRIMP) of zircons from rocks of the Ilmeny-Vishnevogorsky polymetamorphic complex (Ma)

Породы	P ₃ -T ₂	C ₁ -P ₂	D ₁	S-O	V-€	PR ₁ -PR ₂
Сиенит-карбонатитовая ассоциация						
Миаскиты и пегматиты	251 ± 6 240.2 ± 5 240	260		420–380		
Мафит-ультрамафитовая ассоциация						
Породы основного состава – амфиболиты и метагаббро		301 ± 10 279 ± 5		443 ± 7.3 435 ± 12	526 ± 19 527 ± 8.5 543 ± 7.1	662 ± 14
Породы ультраосновного состава – серпентинизированные дуниты и гарцбургиты		306 ± 7 275 269 ± 6	391 ± 7.6	420 ± 7 443 ± 12 432 ± 1.5	563 ± 13	1648 ± 43 1892 ± 23 1120 ± 22 1350 ± 13
Селяннинская серия						
Породы основного состава – амфиболиты и метагаббро		267				1731.6 ± 9.3
Кальцифир		290–280 340		400		1780–1720
Породы основного состава – амфиболиты и метагаббро		280 ± 16				2099 ± 30
Гнейсы				426 ± 13		2081 ± 15

нижнепротерозойский (1648 ± 43 млн лет), соответствующий возрасту протолита; нижнесилурийский (420 ± 7 млн лет), фиксирующий термальное событие, связанное с образованием нефелиновых сиенитов; и верхнекарбонный (306 ± 7 млн лет), вероятно, связанный с началом коллизионных процессов. Для гранатовых амфиболитов зафиксировано два этапа: верхнепротерозойский (662 ± 14 млн лет) – время эндогенного образования цирконов и неопротерозойский (543 ± 7.1 млн лет) – время преобразований, сопряженных с декомпрессионным подъемом мантийного блока.

Минеральный состав гранатовых амфиболитов (Amph (Prg, KPrg, Tcher, Hbl) + Grt(Pyr_{9–11}Alm_{34–39}Gros_{50–55}) + Zo + Czo + Hc + An + Ilm + Cm ± Ky) (аббревиатуры минералов даны в соответствии с рекомендациями (Whitney, Evans, 2010)) участка Уразбаево свидетельствует о высокотемпературных полициклических метаморфических и метасоматических преобразованиях (Русин и др., 2012). Возрастные кластеры, полученные для этих пород, указывают на полихронные процессы, этапами которых являются 526 ± 19 и 527 ± 8.5 млн лет (граница вендакембрия, соответствующая внедрению ультрамафитов), 443 ± 7.3 и 435 ± 12 млн лет (нижнесилурийский этап, отражающий высокотемпературные

метасоматические процессы при формировании пород сиенит-карбонатитовой ассоциации), и 301 ± 10 (верхнекарбонная) и 279 ± 5 (нижнепротерозойская) млн лет (датировки коллизионных событий).

Сиенит-карбонатитовая ассоциация. Для миаскитов Ильменогорского массива проанализированы выборки цирконов из биотитовых миаскитов главной фации и биотит-амфиболовых и амфиболовых миаскитов фации эндоконтакта (Краснобаев и др., 2016). Цирконы миаскитов характеризуются гетерогенным строением, которое связано с замещением ранних генераций поздними, что приводит к появлению частично преобразованных и новообразованных зерен. Характер распределения РЗЭ в цирконах, повышенные содержания U и Th и морфологические особенности индивидов определяют метасоматическую природу циркона. Возрастные интервалы 420–380 и 260–240 млн лет, отвечающие образованию и преобразованию цирконов, установлены практически во всех их разновидностях.

Изучены цирконы из миаскитовой (251 ± 6 млн лет) и полевошпатовой (240.2 ± 5 млн лет) зон пегматита копи № 7 (Краснобаев и др., 2014). Морфогеохимическое сходство цирконов миаскитов и миаскитовых пегматитов предполагает единство

источника миаскитового и пегматитового расплава. Время образования пегматитов соответствует формированию постколлизийной региональной сдвиговой структуры (Р–Т), что свидетельствует о метаморфогенном происхождении пегматитового расплава. Возрастной разрыв в формировании пегматитов (10–11 млн лет) соответствует длительно-сти их метаморфической эволюции.

Таким образом, накопленный массив данных абсолютного датирования позволяет сделать следующие выводы. Протерозойские датировки пород селянkinской серии фиксируют этап формирования пород фундамента платформы, включая нижнепротерозойскую магматическую активизацию, начало которой маркируется базальтоидным вулканизмом (2099 ± 30 млн лет амфиболиты селянkinской серии; табл. 1), а его завершению, вероятно, соответствуют внедрение пород основного состава (1731.6 ± 9.3 млн лет метагаббро) в метапелитовый матрикс селянkinской серии. Максимальный возраст, полученный для гнейсов селянkinской серии (2081 ± 15 млн лет) соответствует метаморфизму амфиболитовой фации и сопровождающей его плагиомигматизации. Гранулитовый метаморфизм, предположительно, имеет более древние датировки – 2600 млн лет (Краснобаев, 1986). Нижнепротерозойские датировки кальцифира 1780–1720 млн лет соответствуют возрасту осадочного карбонатного субстрата.

Нижнепротерозойские датировки для пород мафит-ультрамафитовой ассоциации 1892 ± 23 (НМ) и 1648 ± 43 (ЛК) млн лет характеризуют возраст протолита ультрамафитов. Верхнепротерозойские датировки 1350 ± 13 и 1120 ± 22 млн лет (БМ) могут маркировать ранний этап среднерифейского континентального рифтогенеза (Пучков, 2010).

Венд-кембрийский кластер возрастов отчетливо зафиксирован в породах мафит-ультрамафитовой ассоциации (табл. 1): 563 ± 13 (серпентинизированные дуниты БМ), 543 ± 7.1 (амфиболиты ЛК), 526 ± 19 и 527 ± 8.5 (амфиболиты У) млн лет. Он соответствует времени внедрения блоков пород мафит-ультрамафитовой ассоциации в кору континентального типа.

Нижнепалеозойские датировки, вероятно, маркируют этап рифтогенеза переходного типа от континентального к океаническому. Они отчетливо фиксируются во всех породах ИВПК благодаря силюрийскому термальному событию, повлекшему формирование пород сиенит-карбонатитовой ассоциации (420–380 млн лет – формирование миаски-

тов). В породах селянkinской серии это 426 ± 13 (гнейсы) и 400 (кальцифир) млн лет. В породах мафит-ультрамафитовой ассоциации: 432 ± 1.5 (серпентинизированные дуниты БМ), 443 ± 12 (серпентиниты НМ), 420 ± 7 (серпентиниты ЛК), 443 ± 7.3 и 435 ± 12 (амфиболиты У) млн лет.

Верхнекарбоновые и нижнепермские датировки коллизийных событий также сохранились во всех изученных породах, включая породы селянkinской серии (280 ± 16 млн лет для амфиболитов, 340 и 290–280 млн лет для кальцифира). Более поздние верхнепермские-триасовые датировки проявляются только в породах сиенит-карбонатитовой ассоциации (миаскитах и связанных с ними пегматитов), что косвенно свидетельствует о ремобилизации щелочного расплава и метаморфогенном образовании пегматитов в результате формирования региональной постколлизийной сдвиговой зоны.

Результаты минералого-геохимических исследований

Изучение особенностей минерального состава пород, последовательности преобразований и смены минеральных ассоциаций, а также особенностей характера распределения РЗЭ и РЭ в породах ИВПК были направлены на реконструкцию геологической истории ильменогорского сегмента. Для пород селянkinской серии получены данные о реликтах гранулитового метаморфизма (Ленных и др., 1986; Медведева, 2008) и отчетливо проявленных свидетельствах метаморфизма амфиболитовой фации. В этих породах также проявлены процессы милонитизации (Русин и др., 2006; Медведева и др., 2013), связанные с формированием постколлизийной сдвиговой зоной и сопровождаемые развитием многообразных метасоматических преобразований.

Процессам милонитизации подвержены все типы пород комплекса (от гнейсов селянkinской серии до миаскитов), иногда они обнаруживаются и в пегматитовых телах. Среди милонитизированных пород ИВПК выделяются протомилониты, милониты и ультрамилониты. Среди миаскитов чаще обнаруживаются протомилониты и милониты, которые характеризуются порфирокластовой структурой и полосчатой текстурой. Порфирокласты сложены полевыми шпатами или нефелином, часто они имеют сигмоидную форму (рис. 2а), в них проявлены деформационные трещины и микросдвиги (рис. 2б). В этих породах также

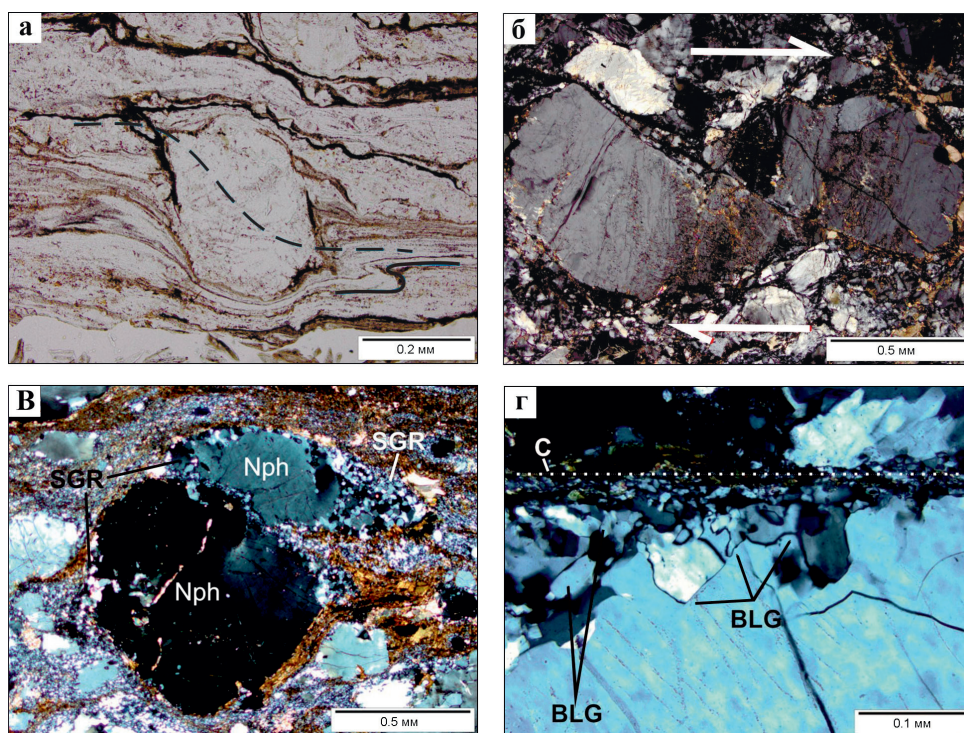


Рис. 2. Текстурно-структурные особенности милонитизированных пород:

а – сигмовидный порфирокласт калиевого полевого шпата, николи параллельны; б – микродвижки и динамическая рекристаллизация, николи скрещены; в – рекристаллизация субзернового вращения; г – рекристаллизация нуклеации.

Fig. 2. Textural-structural features of mylonites:

а – sigmoid porphyroblast of K-feldspar, parallel nicols; б – micros shears and dynamical recrystallization, crossed nicols; в – recrystallization of subgrain rotation; г – recrystallization nucleation.

развивается динамическая перекристаллизация (рис. 2в, г) с дальнейшим преобразованием матрикса и образованием новых минералов (Кирмасов, 2011). В милонитах увеличивается роль пластических деформаций и, соответственно, увеличивается объем перекристаллизованного матрикса. Эти общие текстурно-структурные признаки динамометаморфических процессов характерны для основных типов пород ИВПК. Такие процессы часто сопровождаются метасоматическими преобразованиями, что ведет к изменению состава пород, и часто – к ложной визуальной диагностике.

В пределах Няшевского массива, сложенного породами мафит-ультрамафитовой ассоциации, обнаружены апогаббровые и аподиоритовые метасоматиты (Медведева и др., 2015), а среди Ильменогорского миаскитового массива – породы основного (сандыиты) и монцонитового состава (Немов и др., 2017) и милонит основного состава (Медведева и др., 2018).

Няшевский массив сложен серпентинитами и обрамлен с запада серповидным телом амфибо-

литов. Его внутреннее строение осложняется тектоническими нарушениями и широким развитием тел пегматоидного облика, в том числе и гранитных пегматитов. Среди серпентинитов отмечены линейные тела «диоритов» и «гастингситовых сиенитов» (Постоев, 1949). «Гастингситовые сиениты» по химическому составу соответствуют габброидам. Породы диоритового и габброидного состава по текстурно-структурным особенностям относятся к классу тектонитов – милонитов и протомилонитов. Они состоят преимущественно из крупных трещиноватых, деформированных, разбитых на обломки зерен полевых шпатов (порфиро-класт), и более мелких зерен матрикса, где кроме признаков деформационных процессов проявлена рекристаллизация. Все минералы имеют деформационные признаки: волнистое погасание, изогнутые плоскости двойникования плагиоклазов, мозаичное погасание и червеобразное удлинение зерен кварца, завальцовывание чешуек биотита по краям порфирокластов. Более поздние хрупкие деформации выражены многочисленными микро- и

мезотрещинами в индивидах минералов и залечены опаловидным агрегатом. Минеральный состав (об. %): породы габброидного состава – ортоклаз 40–60, биотит 10–15, амфибол 5–10, плагиоклаз 5–10, пироксен 2–3, кварц 2–3, акцессорные 3–4; породы диоритового состава – плагиоклаз 40–50, ортоклаз 20–30, кварц 5–10, биотит 5–10, амфибол 2–3, акцессорные минералы 1–2. Состав минералов приведен в табл. 2.

Изучение минерального состава позволило сделать вывод о том, что породы диоритового состава являются аподиоритовыми милонитами, сохранившими реликты магматических структур, что свидетельствует об их первичной магматической дайковой природе. Минералы группы слюд образуют несколько генераций и обнаруживают последовательные замещения (табл. 2): флогопит → мусковит, аннит → хлорит. Породы габброидного состава являются милонитами, в них развиты метасоматические процессы (табл. 2) и присутствуют пегматоидные жилы. В них обнаружено несколько генераций ортоклаза, а кальциевые амфиболы характеризуются последовательной сменой ми-

неральных видов: магнезиогастингсит (реликты в диопсиде) → ферропаргасит → актинолит. Магнезиальные амфиболы (куммингтонит и жедрит) образуются на финальной стадии формирования пород, образуя оторочки вокруг биотита или мелкие индивиды в милонитовом матриксе. Биотит (Bt) имеет неоднородный состав: по ламелям множества индивидов развивается оптически различимая разновидность (Bt₃), характеризующаяся меньшим количеством Al и K, но большим – Mg.

Пироксены представлены двумя минеральными видами: диопсидом и энстатитом. Диопсид является продуктом метасоматического процесса и, сохраняя реликты первичного магнезиогастингсита, подвергается позже амфиболизации с образованием феррочермакита и актинолита. Минералы группы энстатита образуют две генерации. Магнезиальный алюмоэнстатит (Al₂O₃ – до 12 мас. %, MgO – до 31–32 мас. %) (En₁) присутствует в милонитизированных метасоматитах основного состава, где образуется под влиянием флюида высокого давления, обогащенного Al и Mg, что возможно на глубинном уровне сдвиговой зоны. Минералы

Минеральный состав пород Ильменогорского полиметаморфического комплекса

Таблица 2

Mineral composition of rocks of the Ilmenogorsk polymetamorphic complex

Table 2

Породы диоритового состава	Породы основного состава
Pl: (An ₂₄₋₂₈), (An ₁₀₋₁₅) в матриксе (An ₅₋₈)	Pl: An ₁₅₋₂₁ и An ₁₈₋₂₅
Kfs: (Or ₈₇₋₉₄ , Ab ₆₋₁₃) ± BaO 1.0–2.5 мас. %	Kfs ₁ Or ₈₄ , Ab ₁₅ – Kfs ₁ + BaO 3.42 мас. % + Na ₂ O 1.51 мас. % порфироокласты Kfs ₂ – Or ₉₅ , Ab ₅ + BaO 0.13 мас. % и Na ₂ O 0.45 мас. % матрикс Kfs ₃ – Or ₉₀ , Ab ₁₀ + BaO 0.34 мас. % и Na ₂ O 1.1
Bt ₁ – Si _{2.75} Al _{1.44} Ti _{0.26} , f 55.4 (TiO ₂ 4.48 мас. %) Bt ₂ – Si _{2.86} Al _{1.47} Ti _{0.15} , f 38.7 (TiO ₂ 2.67 мас. %) Bt ₂ замещается Му (Al ^{IV} до 1.0 к. ф., Al ^{VI} до 1.5 к. ф.), реже пикнохлорит-рипидолитом (Si ^{IV} _{2.79} , f 0.41) и магнетитом	Bt ₂ – Si ^{IV} _{2.81} Al _{1.22} Ti _{0.15} , f 37.5 (TiO ₂ 0.15 мас. %) □
Amph: магнезиальный жедрит (Si ^{+IV} _{6.78} Al ^{+VI} _{0.65} , f 2.0), магнезиокуммингтонит (Si ^{+IV} _{7.40} Al ^{+VI} _{0.76} , f 0.19)	Amph: магнезиогастингсит (Si ^{+IV} _{6.12} Al ^{+VI} _{1.39} , f 51.9), ферропаргасит (Si ^{+IV} _{6.82} Al ^{+VI} ₀ , f 43.0), актинолит (Si ^{+IV} _{7.52} Al ^{+VI} _{0.18} , f 31.2), магнезиальный жедрит (Si ^{+IV} _{6.30} Al ^{+VI} _{1.1} Mg _{6.56} , f 3.7)
	Диопсид (Di _{91.0-95.5} Aeg _{4.5-9.0}), алюмоэнстатит (En ₁) (Na _{0-0.001} Ca _{0.05} Mg _{1.41-1.64} Al _{0.3-0.5} [Si _{1.68-1.84} Al _{0.16-0.32} O ₆]) и магнезиальный энстатит (En ₂) (Ca _{0.05} Mg _{1.93} Al _{0.05} [Si ₂ O ₆])
Акцессорные минералы	
Апатит, циркон, титанит	Апатит, титанит, монацит, ильменит

Примечание. Сокращения минералов по (Whitney, Evans, 2010).

Note. Abbreviations of minerals after (Whitney, Evans, 2010).

такого состава характерны для хондритовых метеоритов и глубинных пород Луны (Назаров и др., 2011). Высокомагнезиальный энстатит (En_2), обнаруженный в пегматоидных жилах в центральной части тела пород основного состава, формируется позже, за счет привноса Mg из вмещающих серпентинитов. Для апогабброидных милонитов характерны высокие концентрации $\Sigma\text{PЗЭ}$ от 222 до 532 г/т, сопоставимые с концентрациями PЗЭ в породах сиенит-карбонатитовой ассоциации. Минеральные парагенезисы в метасоматитах основного состава свидетельствуют об активном влиянии флюида, инициирующего мобильность таких компонентов как Al, Ti, K, Ba и ЛРЗЭ и позволяющего сформировать среди серпентинитов (содержащих Al_2O_3 до 2 мас. % и TiO_2 – 0.17 мас. %) линейные тела основного состава (Al_2O_3 до 16 мас. %, TiO_2 до 2.8 мас. %) с высоким содержанием ЛРЗЭ, приуроченные к зонам повышенной проницаемости.

В пределах центрального тела Ильменогорского миаскитового массива (ИММ) в поле развития амфиболовых и амфибол-биотитовых миаскитов обнаружены породы мафитового и монцонитового состава. Породы мафитового состава соответствуют понятию «сандийит» (Заварицкий, 1939) и по химическому составу эти породы могут быть отнесены к щелочным мафитам. Эти породы в миаскитовом массиве образуют линейные и будинообразные тела сложной морфологии, иногда зональные, мощностью от 0.1–0.5 до 0.5–10.0 м. Наибольшее развитие этих пород отмечено среди амфиболовых миаскитов у западного контакта массива. Тела пород монцонитового состава обнаружены в зоне эндоконтакта среди средне-мелкозернистых амфибол-биотитовых миаскитов, где они образуют узкие, субсогласные линзы мощностью до 0.5 м, простирающиеся в север-северо-восточном направлении. Вмещающие миаскиты интенсивно милонитизированы. Породы характеризуются мелко-среднезернистой структурой и пятнисто-полосчатой текстурой. Микроскопически структура пород гранобластовая или нематогранобластовая, фрагментарно порфирокластовая.

Среди щелочных мафитов ИММ по минеральному составу выделяются две разновидности: амфибол-пироксеновые (об. %: эгирин-диопсид – 60–70, тарамит – 25–35, ортоклаз – 10–15, плагиоклаз – 0–5, нефелин – 0–5, акцессорные титанит, апатит, кальцит и незначительные количества ильменита, циркона и алланита – 3–5) и биотит-амфиболовые (об. %: тарамит – 25–35, биотит – 15–25, ортоклаз –

микроклин – 20–30, альбит – 15–20, нефелин – 0–5, акцессорные титанит, кальцит, апатит, единичные зерна циркона, алланит и ильменит – до 5–10).

Основную ткань породы составляет агрегат полевых шпатов, амфиболов и (или) пироксенов, среди которых расположены зерна титанита и апатита. Пойкилобласты тарамита (иногда биотита) содержат включения катаклазированных зерен титанита, реже ортоклаз-микроклина.

Полевые шпаты представлены ортоклазом (0.1–0.4 мм) или ортоклаз-микроклином, иногда пелитизированными, характерны микропертиты и мезопертиты. Отличительная черта ортоклаз-микроклинов щелочных мафитов – вариативность концентраций Ba от 0.26 до 1.5 мас. %. Альбит образует мелкие полигональные зерна (0.06–0.1 мм) и составляет оторочки ортоклаза. Тарамит ($\text{Si}^{\text{IV}}_{6.13-6.2}\text{Al}^{\text{VI}}_{0.07-0.18}\text{Na}(\text{B})_{0.76}\text{Na}(\text{A})_{0.51-0.88}\text{K}(\text{A})_{0.4-0.44}$, f 68–76) и пироксен ($\text{Jad}_{6-19}\text{Aeg}_{11-40}\text{Di}_{54-70}$) образуют ситовидные зерна размером 0.2–0.6 мм. Титанит присутствует в виде включений в ситовидных индивидах тарамита и эгирин-диопсида, а также образует каймы обрастания вокруг индивидов тарамита. Для титанита в этих породах характерна оптическая зональность. От биотит-амфиболовых к пироксен-амфиболовым щелочным мафитам состав амфибола изменяется от тарамита к магнезиогастингситу ($\text{Si}^{\text{IV}}_{5.76}\text{Al}^{\text{VI}}_{0.15}$, f 67), часть индивидов имеет составы, попадающие в область между видами тарамит-гастингсит. Изменение состава амфиболов обусловлено увеличением концентраций Mg и Ca ($\text{Ca}_{(\text{B})}$ 1.24–1.53 к. ф.). В анните из щелочных мафитов отмечены широкие вариации Al (1.0–1.4 к.ф.), Ti (0.08–0.13 к. ф.) и железистости (f 58–65). Титанит из щелочных мафитов имеет более широкие вариации концентраций Al (от 0.07 до 0.23 к. ф.), чем титанит вмещающих апомиаскитовых милонитов. Кальцит примечателен повышенными содержаниями SrO – до 0.63 мас. %. В пироксен-амфиболовых щелочных мафитах обнаружены минералы группы банальсит-стро-нальсит в виде микровключений в нефелине с составом $\text{Ba}_{0.33-0.54}\text{Sr}_{0.34-0.49}\text{Ca}_{0.5}\text{Na}_{2.03}\text{K}_{0.04-0.06}\text{Al}_{3.77-3.87}\text{Si}_{4.17-4.18}\text{O}_{16}$.

Породы монцонитового состава (минеральный состав, об. %: ортоклаз-микроклин – 40–50, амфиболы – 25–30, биотит – 15–20, плагиоклаз – 15–10, акцессорные титанит, игольчатый апатит, циркон, кальцит и единичные зерна магнетита – до 3) характеризуются мелкозернистой структурой и шлировидной, полосчатой текстурой. Микроскопиче-

ская структура матрикса породы лепидогетерогранобластовая со шпировидными скоплениями амфибола, фрагментарно порфирокластовая. Порода является протомилонитом. Порфирокласты микроклина и амфиболов – роговой обманки и гастингсита – составляют до 40% объема породы, они погружены в динамически перекристаллизованный мелкозернистый матрикс. Вокруг порфирокласт заметны тени давления, крупные порфирокласты полевого шпата частично перекристаллизованы, в них хорошо выражены С–S-плоскости милонитизации. Альбитизация проявлена слабо. Ортоклаз-микроклин содержит BaO от 0.31 до 1.28 мас. %. Состав амфиболов в породах монцонитового состава изменяется от магнезиальной роговой обманки к магнезиогастингситу. Характеризуются низкими содержаниями алюминия Al^{VI} от 0 до 0.31 к.ф., высокими Ca – от 1.7 до 2.0 к.ф., преобладанием Na над K. Железистость роговых обманок варьирует от 46 до 59 %, гастингсита – от 54 до 58 %. Слюды имеют устойчивый состав, соответствующий промежуточной позиции между аннитом и флогопитом с содержанием $Ti_{0.11-0.17}$, $Mg_{1.25-1.52}$, $Al^{VI}_{1.18-1.2}$ и низкими показателями f 46–55 %.

Химический состав щелочных мафитов широко варьирует и соответствует области ийолитов–нефелиновых сиенитов, а по минеральному составу они могут быть отнесены к группе лейкократовых и мезократовых щелочных пород группы малиньита–ийолита–уртита (Петрографический..., 2008). Породы монцонитового состава характеризуются пониженным содержанием K_2O , Na_2O , Al_2O_3 и повышенным – CaO, MgO по сравнению с вмещающими их милонитизированными миаскитами. Общая тенденция изменений состава пород при переходе милонитизированный миаскит → щелочные мафиты или милонитизированный миаскит → породы монцонитового состава отмечена в уменьшении содержаний SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , а также увеличении TiO_2 , MgO, CaO и суммарного Fe. Сумма щелочей снижается от вмещающих милонитизированных миаскитов (14.00–14.62 мас. %) к щелочным мафитам (10.96–13.50 мас. %) и к породам монцонитового состава (9.39 мас. %). Для милонитизированных миаскитов характерно преобладание K_2O над Na_2O , а в щелочных мафитах и породах монцонитового состава – Na_2O над K_2O . Для исследованных пород характерны высокие концентрации РЗЭ. Характер распределения отражает преобладание ЛРЗЭ над ТРЗЭ (La/Lu милонитизированные миаскиты: амфиболовые – 151.25–528.82,

гранат-амфиболовые – 255.29; щелочные мафиты: биотит-амфиболовые – 203.72–332.10, пироксен-амфиболовые – 406.67–440.44; породы монцонитового состава – 355.60–402.63). Максимальные концентрации РЗЭ зафиксированы в щелочных мафитах, а минимальные – в милонитизированных миаскитах. В монцонитах концентрации легких и средних РЗЭ близки к их содержаниям в щелочных мафитах.

ИММ сложен породами, которые были тектонизированы и метаморфизованы в условиях амфиболитовой фации метаморфизма (Trouw et al., 2010). Деструктивные процессы и процессы преобразования в них проходили с участием флюида при существенном влиянии щелочей и F, что значительно расширяет параметры РТ-условий минеральных преобразований. Изучение геохимических и кристалломорфологических особенностей цирконов из миаскитов (Краснобаев и др., 2016) позволяет сделать вывод о метасоматической природе уральских миаскитов. При этом исследованные породы характеризуются отчетливыми деформационными признаками, и их можно отнести к классу милонитов или протомилонитов.

По химическому составу сандыиты соответствуют группе малиньита-уртита (Петрографический..., 2008) и имеют постепенные переходы с вмещающими их апомиаскитовыми милонитами. При процессах милонитизации в породах возникают структуры пластичных деформаций, которые свидетельствуют о преобразованиях пород в условиях нижней коры. Д.С. Белянкиным (1910) отмечено, что миаскиты повсеместно обладают гнейсовидностью и являются кристаллическими сланцами. Химический состав основных породообразующих минералов апомиаскитовых милонитов, сандыитов и пород монцонитового состава имеет специфические особенности. Вариативность состава ортоклаз-микроклина и микроклина в этих породах фиксирует увеличение количеств Ba от 0.03–0.06 мас. % в апомиаскитовых милонитах до 1.52 мас. % в сандыитах и до 1.28 мас. % в породах монцонитового состава. Изменение состава амфибола в сандыитах от тарамита к магнезиогастингситу фиксирует снижение Si и увеличение Al^{VI} (0.07–0.11 к. ф.), Ti (0.05–0.14 к. е.), Ca (1.78–1.81 к. ф.). Слюды меняют состав от аннита к флогопиту, характеризуясь преимущественно промежуточными составами. В сандыитах и апомиаскитовых милонитах присутствует титанит со значительными колебаниями в составе Al_2O_3 : 1.81–

6.09 мас. % из сандыитов и 2.9–5.18 мас. % из апомиаскитовых милонитов. Широкие вариации Al в составе титанита связаны с влиянием флюида и соотношением в нем H_2O/HF , что свидетельствует о перераспределении Ti при метасоматических процессах, которое также отражается в обрастании титанитом индивидов амфибола. Высокоглиноземистый титанит может образовываться не только в метаморфических породах ультравысоких давлений, но и в метаморфических породах умеренных и низких давлений при повышенной активности F, и часто такой титанит является вторичным минералом (Тарарин и др., 2011).

Петрогеохимические особенности пород подчеркивают изменения минерального состава, связанные с метасоматическими преобразованиями. От апомиаскитовых милонитов к сандыитам и породам монцонитового состава фиксируется снижение концентраций Al, Si, K, Na и увеличение – Ti, Ca, Mg, Fe, PЗЭ и РЭ. Характер распределения и высокие содержания PЗЭ и РЭ в сандыитах свидетельствуют об их мобильности и значительной роли корового вещества при формировании пород. Мобильность этих компонентов возрастает при активном влиянии флюида, увеличении в нем концентрации щелочей и F. Флюидная переработка объясняет высокое содержание в сандыитах акцессорных минералов-концентраторов PЗЭ, таких как ортит и титанит, и широкие вариации Al в этих минералах, что указывает на высокую щелочность среды и вероятное присутствие во флюиде F. Присутствие в сандыитах минералов группы банальсит-стрональсита свидетельствует о широком диапазоне температур при развитии метасоматических процессов. Отличия в минеральном и химическом составе сандыитов и пород монцонитового состава объясняется разным исходным составом протолита. Для пород монцонитового состава исходным материалом, вероятно, были диориты, переработанные флюидом, сопровождающим динамотермальные процессы. Изменение апомиаскитовых милонитов до сандыитов обеспечивалось повышенной проницаемостью и деформационными особенностями пород при сходных процессах.

В результате проведенных исследований выявлены минералого-геохимические признаки наложенных метасоматических изменений, связанных с определенными этапами геологического развития ИПВК. Процессы метасоматических преобразований в породах комплекса проявлены во всех типах пород, включая породы протерозойского фунда-

мента платформы (метакарбонатно-силикатные породы селянkinской толщи). Неоднородность строения массивов ортопород сиенит-карбонатитовой (ИММ) и мафит-ультрамафитовой (Няшевский массив, участок Уразбаево) ассоциаций свидетельствуют о неоднократной переработке пород комплекса, включая мигматизацию.

Процессы метасоматоза и метаморфизма в породах южного сегмента ИВПК полициклически и сопровождают породы комплекса от палеозоя до мезозоя. Поздние преобразования связаны со сдвиговой тектоникой (270–240 млн лет), свидетельства которой проявлены в формировании зон милонитизации (Медведева и др., 2013).

Однако, несмотря на значительное количество собранного и изученного материала протерозойская и нижнепалеозойская геологическая история ИВПК – этого сложно построенного фрагмента Южного Урала – раскрыта не полностью. Значительное влияние на ИВПК оказали коллизионные и постколлизионные события, повлекшие за собой интенсивную переработку пород комплекса и связанные с ней процессы перераспределения вещества. Изучение процессов сдвиговой тектоники и связанных с ней преобразований возможно откроет закономерности локализации PЗЭ и РЭ в подобных структурах.

Коллектив геологического отдела Ильменского государственного заповедника искренне благодарен Анатолию Ивановичу Русину за многолетнее сотрудничество и доброжелательное отношение к нашим «предположениям-заблуждениям».

Литература

- Вализер П.М., Краснобаев А.А., Медведева Е.В., Немов А.Б. (2019) Возраст ортопород Центральной щелочной полосы (Ильмено-Вишневогорский комплекс, Южный Урал). Металлогения древних и современных океанов-2019. Четверть века достижений в изучении субмаринных месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 262–266.
- Вализер П.М., Чердниченко С.В., Краснобаев А.А. (2019) Минералогия, геохимия и возраст метакарбонатно-силикатных пород ильменогорского комплекса Литосфера, 19(1), 92–110.
- Заварицкий А.Н. (1939) Геологический и петрографический очерк Ильменского минералогического заповедника и его копей. М., Гл. упр. по заповедн. 196 с.
- Кирмасов А.Б. (2011) Основы структурного анализа. М., Научный мир, 368 с.
- Кобяшев Ю.С., Никандров С.Н., Вализер П.М. (2000) Минералы Ильменских гор. Миасс, ИГЗ УрО РАН, 119 с.

- Краснобаев А.А.** (1986) Циркон как индикатор геологических процессов. М., Наука, 146 с.
- Краснобаев А.А., Шулькин Е.П., Давыдов В.А., Чередниченко С.В.** (2001) Цирконология Селянkinского блока Ильменских гор. *Доклады Академии наук*, **379**(6), 807–811.
- Краснобаев А.А., Давыдов В.А.** (2000) Возраст и происхождение ильменогорской толщи по данным цирконологии. *Доклады Академии наук*, **372**(1), 89–94.
- Краснобаев А.А., Вализер П.М., Анфилов В.Н., Медведева Е.В., Бушарина С.В., Мурдасова Н.М.** (2016) Цирконология серпентинитов Няшевского массива (Южный Урал). *Доклады Академии наук*, **471**(6), 703–707.
- Краснобаев А.А., Вализер П.М., Анфилов В.Н., Немов А.Б., Бушарина С.В.** (2014) Цирконология пегматитов Ильменских гор (Южный Урал). *Доклады Академии наук*, **457**(4), 455–459.
- Краснобаев А.А., Вализер П.М., Бушарина С.В., Медведева Е.В.** (2016) Цирконология миаскитов Ильменских гор (Южный Урал). *Геохимия*, **9**, 797–813.
- Краснобаев А.А., Вализер П.М., Русин А.И., Бушарина С.В., Медведева Е.В.** (2015) Цирконология гипербазитов Булдымского массива (Ильмено-Вишневогорский комплекс, Южный Урал). *Доклады Академии наук*, **467**(1), 63–69.
- Краснобаев А.А., Вализер П.М., Русин А.И., Бушарина С.В., Медведева Е.В., Родионов Н.В.** (2011) Цирконология амфиболитов селянkinской толщи Ильменских гор (Южный Урал). *Доклады Академии наук*, **441**(5), 661–665.
- Краснобаев А.А., Шулькин Е.П., Давыдов В.А., Чередниченко С.В.** (2001) Цирконология Селянkinского блока Ильменских гор. *Доклады Академии наук*, **379**(6), 807–811.
- Ленных В.И., Рассказова А.Д., Петров В.И.** (1986) Гранулитовый метаморфизм в Ильменских и Вишневых горах. VII Всесоюзное петрографическое совещание. Новосибирск, **3**, 98–100.
- Макагонов Е.П., Котляров В.А.** (2017) Карбонаты R₃Э, Ba, Sr и Na в миаскитах Ильменогорского массива (Южный Урал). *Минералогия*, **3**(2), 22–29.
- Медведева Е.В.** (2008) Гранат метаморфических пород Ильменских гор. Дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-мин. наук. Миасс, ИГЗ УрО РАН, 223 с.
- Медведева Е.В., Немов А.Б., Котляров В.А.** (2013) Милонитизированные породы ильменогорского комплекса (Южный Урал). *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН*, (11), 7–10.
- Медведева Е.В., Немов А.Б., Котляров В.А.** (2015) Метасоматиты основного и среднего состава из Няшевского серпентинитового массива (Ильменские горы, Южный Урал). *Литосфера*, **6**, 53–68.
- Назаров М.А., Аранович Л.Я., Демидова С.И., Нтафлос Т., Брадштеттер Ф.** (2011) Алумоэнстатиты лунных метеоритов и глубинные породы луны. *Петрология*, **19**(1), 14–26.
- Немов А.Б., Медведева Е.В., Котляров В.А.** (2017) Сандыиты и породы монцонитового состава Ильменогорского миаскитового массива (Южный Урал). *Литосфера*, **3**, 87–101.
- Никандров С.Н., Рассомахин М.А., Нишанбаев Т.П.** Список минералов Ильменских гор. (2017). *Минералогия*, **3**(1), 52–60.
- Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования (2008). СПб., ВСЕГЕИ, 200 с.
- Постоев К.И.** (1949) Ультраосновные и основные горные породы Ильменского государственного заповедника. Т. 4. Фонды ИГЗ. Челябинск, 192 с.
- Пучков В.Н.** (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа, ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Русин А.И., Вализер П.М., Краснобаев А.А., Банева Н.Н., Медведева Е.В., Дубинина Е.В.** (2012) Природа гранат-анортит-клинопироксен-амфиболовых пород ильменогорского комплекса (Южный Урал). *Литосфера*, (1), 91–109.
- Русин А.И., Краснобаев А.А., Вализер П.М.** (2006) Геология Ильменских гор: ситуация, проблемы Геология и минералогия Ильменогорского комплекса: ситуация и проблемы. Миасс, ИГЗ УрО РАН, 181 с.
- Тарарин И.А., Бадрединов З.Г., Чубаров В.М., Шарова О.И.** (2011) Гротит гранат-слюдистых кристаллических сланцев шихтинской свиты Срединно-Камчатского массива. *Доклады Академии наук*, **438**(6), 809–812.
- Trouw R.A.J., Passchier C.W., Wiersma D.J.** (2010) Atlas of mylonites and related microstructures. Springer, 322 p.
- Whitney D.L., Evans B.W.** (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, **95**, 185–187.

References

- Kirmasov A.B.** (2011) [Fundamental principles of structural analysis]. Moscow, Nauchnyy mir, 368 p. (in Russian)
- Krasnobaev A.A.** (1986) [Zircon as an indicator of geological processes]. Moscow, Nauka, 146 p. (in Russian)
- Krasnobaev A.A., Valizer P.M., Anfilogov V.N., Medvedeva E.V., Busharina S.V., Murdasova N.M.** (2016) [Zirconology of serpentinites from Nyashevo massif (Southern Urals)]. *Doklady Akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*, **471**, 1298–1302.
- Krasnobaev A.A., Valizer P.M., Anfilogov V.N., Nemov A.B., Busharina S.V.** (2014) [Zirconology of pegmatites of the Ilmeny Mountains]. *Doklady Akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*, **457**, 960–964. (in Russian)
- Krasnobaev A.A., Valizer P.M., Busharina S.V., Medvedeva E.V.** (2016) [Zirconology of miaskites of the Ilmeny Mountains, South Urals]. *Geochemistry International*, **54**, 765–780. (in Russian)

- Krasnobaev A.A., Valizer P.M., Rusin A.I., Busharina S.V., Medvedeva E.V.** (2015) [Zirconology of ultrabasic rocks of the Buldym massif (Il'meno-Vishnevogorskii Vomplex, Southern Urals)]. *Doklady Akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*, **461**, 235–241. (in Russian)
- Krasnobaev A.A., Valizer P.M., Rusin A.I., Busharina S.V., Medvedeva E.V., Rodionov N.V.** (2011) [Zirconology of amphibolites of the Selyankinskaya series of the Il'meny Mountains (Southern Urals)]. *Doklady Akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*, **441**, 1683–1687. (in Russian)
- Krasnobaev A.A., Davydov V.A.** (2000) [Age and origin of the Ilmenogorskaya series according to zirconology]. *Doklady Akademii nauk [Doklady Academy of Sciences]*, **372**(1), 89–94. (in Russian)
- Krasnobaev A.A., Shchul'kin E.P., Davydov V.A., Cherednichenko S.V.** (2001) [Zirconology of the Selyankino block in the Il'meny Mountains]. *Doklady Akademii nauk [Doklady Academy of Sciences]*, **379**(6), 807–811. (in Russian)
- Lennykh V.I., Rasskazova A.D., Petrov V.I.** (1986) [Granulite metamorphism of the Il'meny and Vishnevy mountains]. *VII Vsesoyuznoe petrograficheskoe soveshchanie [VII All-Union Petrographic Meeting]*. Novosibirsk, 3, 98–100. (in Russian)
- Medvedeva E.V.** (2008) [Garnet metamorphic rocks of the Ilmeny Mountains]. PhD Thesis. Miass, IGZ UrO RAN, 223 p. (in Russian)
- Medvedeva E.V., Nemov A.B., Kotlyarov A.V.** (2013) [Mylonite rocks from the Ilmenogorsky complex (Southern Urals)]. *Vestnik IG Komi NTs UO RAN [Bulletin of the Institute of Geology, Komi Science Center UB RAS]*, (11), 7–10. (in Russian)
- Medvedeva E.V., Nemov A.B., Kotlyarov V.A.** (2015) [Metasomatites of intermediate and mafic composition from the Nyashevo massif (Ilmeny Mountains, South Urals)]. *Litosfera [Lithosphere]*, **6**, 53–68. (in Russian)
- Nazarov M.A., Aranovich L.YA., Demidova S.I., Ntafllos T., Bradstetter F.** (2011) Aluminous enstatite of lunar meteorites and deep-seated lunar rocks. *Petrology*, **19**, 13–25.
- Nemov A.B., Medvedeva E.V., Kotlyarov V.A.** (2017) [Sandyites and rocks of monzonite composition of the Ilmenogorsky miaskite massif (Southern Urals)]. *Litosfera [Lithosphere]*, **3**, 87–101. (in Russian)
- [Petrographic code of Russia. Igneous, metamorphic, metasomatic, and impact formations] (2008). St. Petersburg, VSEGEI, 200 p. (in Russian)
- Postoev K.I.** (1949) [Ultramafic and basic rocks of the Ilmeny State Reserve. Vol. 4. IGZ Funds]. Chelyabiz., 192 p. (in Russian)
- Puchkov V.N.** (2010) [The Geology of the Urals and Cisurals (actual questions of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DizaynPoligrafServis, 280 p. (in Russian)
- Rusin A.I., Valizer P.M., Krasnobaev A.A., Baneva N.N., Medvedeva E.V., Dubinina E.V.** (2012) [Origin of garnet-anorthite-clinopyroxene-amphibole rocks of the Ilmenogorsky complex (Southern Urals)]. *Litosfera [Lithosphere]*, (1), 91–109. (in Russian)
- Rusin A.I., Krasnobaev A.A., Valizer P.M.** (2006) [Geology of the Ilmeny Mountains: situation and problems]. *Geologiya i mineralogiya Ilmenogorskogo kompleksa: situatsiya i problemy [Geology and mineralogy of the Ilmenogorsky complex: situation and problems]*. Miass, IGZ UrO RAN, 3–9. (in Russian)
- Tarin I.A., Badredinov Z.G., Chubarov V.M., Sharova O.I.** (2011) [Grothite of garnet-like crystalline shales of the Shikhta formation of the Mid-Kamchatka massif]. *Doklady Akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*, **438**, 879–882.
- Trouw R.A.J., Passchier C.W., Wiersma D.J.** (2010) Atlas of mylonites and related microstructures. Springer, 322 p.
- Valizer P.M., Krasnobaev A.A., Medvedeva E.V., Nemov A.B.** (2019) [Age of orthorock from Central Alkaline Band (Il'meno-vishnevogorsky complex, Southern Ural)]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov-2019. Chetvert veka dostizheniy v izuchenii submarinnykh mestorozhdeniy [Metallogeny of ancient and modern oceans-2019. Twenty five years of study of submarine deposits]*. Miass, IMin UrO RAN, 262–266. (in Russian)
- Valizer P.M., Cherednichenko S.V., Krasnobaev A.A.** (2019) [Mineralogy, geochemistry and age of metacarbonate-silicate rocks of the Ilmenogorsky complex]. *Litosfera [Lithosphere]*, **19**(1), 92–110. (in Russian)
- Whitney D.L., Evans B.W.** (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, **95**, 185–187.
- Zavaritskiy A.N.** (1939) [Geological and petrographic sketch of the Ilmeny Mineralogical Reserve and its mines]. Moscow, Glavnoe upravlenie po zapovednikam, 196 p. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 1 июля 2020 г.