

ВОЗРАСТ И ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВНЕЙШИХ КОМПЛЕКСОВ ЗОНЫ ЗЮРАТКУЛЬСКОГО РАЗЛОМА (ЮЖНЫЙ УРАЛ) – ПОКАЗАТЕЛЬ ИХ ВОЗМОЖНОЙ ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОБЩНОСТИ

© 2015 г. А. И. Степанов, Ю. Л. Ронкин

На Южном Урале комплексы магматических – израндит-клинопироксенитовый (гора Карандаш) и кусинско-копанский габбро-норитовый – и метаморфических – тараташский (и александровский) гнейсо-мигматитовый дорифейского возраста, приуроченные к зоне Зюраткульского глубинного разлома [31], являются комплексами пород, определяющими раннедокембрийский период геологической эволюции Урала. Однако их изученность, в частности ранний период развития, явно недостаточна. И если генетические черты магматических комплексов в определенной степени наметились [6, 16, 27, 28], то для пород тараташского гнейсо-мигматитового комплекса “... до сих пор не существует единой обоснованной точки зрения о механизме образования ... и возможном субстрате...” [15], “...говорить о существовании ... других его возрастных (...петрологических) аналогов среди уральских метаморфических комплексов пока нет основания” [10]. Такой взгляд привел к идее решения этой проблемы путем сопоставления петрохимических особенностей комплексов на основе их геохронологии.

Тараташский гнейсо-мигматитовый комплекс метаморфических пород дорифейского возраста, структурно входящий в состав Башкирского мегантиклинория и считающийся выступом фундамента Русской платформы [8, 29 и др.], изучался довольно подробно уральскими исследователями начиная с 1950-х – 1960-х гг. и особенно успешно с конца 1970-х гг. [13, 14, 18, 29, 30], определивших современную степень геологической изученности. Предполагается, что в комплексе пород, претерпевших несколько стадий метаморфических преобразований в условиях гранулитовой фации (наиболее ранней) с последующим диафторезом в условиях амфиболитовой и двух разных стадий зеленосланцевой фаций [13], определяются три основные группы пород: двупироксеновые кристаллические сланцы, гнейсы и мигматиты (кварц-полевошпатовые породы), которые образовались по осадочным и вулканогенным породам основного, среднего и кислого состава [29].

Сопоставление петрохимических характеристик тараташского комплекса с другими древнейшими комплексами зоны Зюраткульского разлома осно-

вывается на некоторых общих для рассматриваемых комплексов принципиальных положениях.

Геологические особенности. *Геохронология. Изотопный возраст.* Все рассматриваемые комплексы пород имеют одинаковый первичный изотопный возраст в области значения $3.5 \pm n$ млрд лет (n – отклонения в пределах 0.21–0.038 млрд лет, обусловлены различиями методик изотопного анализа). Принципиально эволюция всех комплексов Зюраткульского разлома согласовывается со схемой этапности процессов, отмеченных в кусинском массиве [25].

Израндит-клинопироксенитовый комплекс горы Карандаш. Первые же результаты геохронологических исследований калий-аргоновым методом показали очень большой возраст клинопироксенитов комплекса – 3300 ± 100 (и 4200 ± 150) млн лет [16]. Позже **U–Pb-методом по циркону из клинопироксенита** получено значение 3512 ± 38 млн лет [32], тем самым подтверждена первая калий-аргоновая дата.

Кусинско-копанский габбро-норитовый комплекс. Изотопный возраст пород комплекса основан главным образом на результатах применения калий-аргонового метода [5, 7, 25]. Помимо датирования пород и минералов бессистемным, “точечным” методом проводились также методические геолого-геохронологические работы по кварцшпату шахты “Центральная” Южно-Кусинского месторождения ильменит-магнетитовых руд, в результате которых было установлено [25]:

– первичными породами являются оливиновые габбро-нориты, которые подверглись неравномерно проявившимся в пределах массива многократным изохимическим преобразованиям и формированием разновидностей габбро по общей схеме: оливиновый габбронорит – жедрит-антофиллит-куммингтонитовая порода – плагиоклаз-амфиболовое (с зеленой роговой обманкой) габбро – габбро-амфиболит – амфиболит – магнетит-ильменитовая руда, при этих процессах менялся и состав плагиоклаза габброидов от № 75–65 до № 40–30; резких переходов между породными разновидностями нет;

– выяснилась четкая зависимость искажений калий-аргоновых значений от влияния процессов изохимических преобразований первичных пород, из-

менения состава плагиоклаза и процессов окончательного формирования рудных тел;

– первичные неизменные оливиновые габбро-нориты по сосуществующим пироксену и плагиоклазу кусинского массива имеют возраст 3.28–3.2 млрд лет, по пироксену медведевского массива 3.28–3.35 млрд лет [25].

Rb–Sr-, U–Th–Pb- и Sm–Nd-данные [9, 31] не подтвердили первичного возраста по разным причинам, но уточнили K–Ar-значение времени формирования рудных тел [25] магнетит-ильменитового состава. Возраст первичных габбро-норитов **U–Th–Pb-методами также не был обнаружен** с единственной попытки: трудность нахождения цирконов в мафит-ультрамафитовых породах известна, и поэтому, конечно, легче найти циркон, сформировавшийся при поздних процессах. Сложность и неопределенность метасоматических процессов не позволили успешно применить **Rb–Sr-метод. Изохрона, рассчитанная по результатам изотопного анализа Sm–Nd в габбро-норитах (по породе в целом) с целью определения их первичного возраста [31], не достигла этой цели и в лучшем случае указывает на время окончания формирования ильменитовых руд.**

Таким образом, эволюция кусинского габбро-норитового комплекса в целом наиболее полно охарактеризована K–Ar-методом [25] и первичный возраст оливинового габбро-норита принимается равным 3.3–3.2 млрд лет.

Тараташский комплекс. Ранние данные калий-аргонового, альфа-свинцового, уран-торий-свинцового и рубидий-стронциевого методов [12] определили в основном уровень “древности” пород и общий возрастной уровень метаморфических процессов. Рубидий-стронциевые данные являются модельными и характеризуют возраст более молодых гнейсов. Из результатов калий-аргонового метода (более 50 определений) наиболее достоверным является только значение возраста мусковита (содержание калия 7.95%) из милонитизированного пегматита – 1799 млн лет, вероятней всего характеризующий время образования этого минерала.

Современные изотопно-геохронологические данные [22–24], полученные U–Pb SHRIMP-II, U–Pb ID-TIMS методами датирования по циркону, U–Pb LA ICP-MS по монациту, Sm–Nd и Rb–Sr изохронными методами позволили уточнить время образования “первичной” породы двупироксеновых кристаллических сланцев – 3504 ± 210 млн лет – и время проявления метаморфических преобразований.

Таким образом, наиболее вероятный первичный возраст всех комплексов 3.5–3.3 млрд лет.

Изотопная геохимия. Sm–Nd изотопными соотношениями (ϵ_{Nd}) доказано [22–24], что в составе пород тараташского комплекса существенную роль играет мантийная компонента.

Петрогенезис. Израндит-пироксенитовый комплекс горы Карандаш и кусинский оливин-габброноритовый комплекс с большой вероятностью относятся к мантийным образованиям [16, 27].

Изохимизм метаморфических процессов. Доказанный изохимизм главных (гранулитовая фация) метаморфических процессов тараташского комплекса [29, 30] является одним из условий для петрохимической корреляции пород наиболее ранней гранулитовой фации Тараташа (пироксениты, двупироксеновые кристаллические сланцы и их амфиболиты), не измененных процессами диафореза и гранитизации, с неизмененными мафитами Зюраткульской зоны.

Общность территории распространения комплексов. Все комплексы тяготеют к зоне Зюраткульского разлома и располагаются полосой очень малой площади (около $(95–100) \times (2–2.5)$ км²). А если учесть характер, направление и расстояние позднего тараташского надвига [5], то можно предположить, что 3.5 млрд лет назад современные структуры были едины, включая комплекс кристаллических мафит-ультрамафитовых пород (в настоящем пироксениты и двупироксеновые кристаллосланцы) Тараташа.

Сопоставление петрохимических характеристик магматических пород израндит-клинопироксенитового и габбро-норитового комплексов с аналогичными характеристиками метаморфических пород тараташского комплекса проведено с применением методики графического построения петрохимических зависимостей на известных и информативных петрохимических диаграммах. Для этого использованы опубликованные данные о химическом составе негранитизированных пород [2, 12–15, 18, 19, 29, 30 и др.] и авторские данные (составы клинопироксенитов и габброноритов).

В результате на дискриминационных диаграммах Al_2O_3 –MgO (рис. 1а) и FeO–MgO (рис. 1б) выявлены поразительно четкие петрохимические закономерности:

а) положение составов тараташских метаморфитов гранулитовой фации (см. рис. 1а) – двупироксеновых кристаллических сланцев, наиболее древних и наименее подверженных последующим метаморфическим процессам (амфиболитовой и зеленосланцевой фаций), полностью и точно совпадает с составом неизменных оливиновых габброноритов кусинского комплекса, по которым был определен первичный возраст [25];

б) по уровню содержаний MgO на диаграмме Al_2O_3 –MgO каждой группе магматических пород израндит-пироксенитового и габбро-норитового комплексов соответствует определенная группа амфиболитов тараташского комплекса:

– составам тараташских пироксенитов (“А”) и магнезиальных клинопироксенитов израндит-клинопироксенитового комплекса соответствуют составы амфиболитов “С1”;

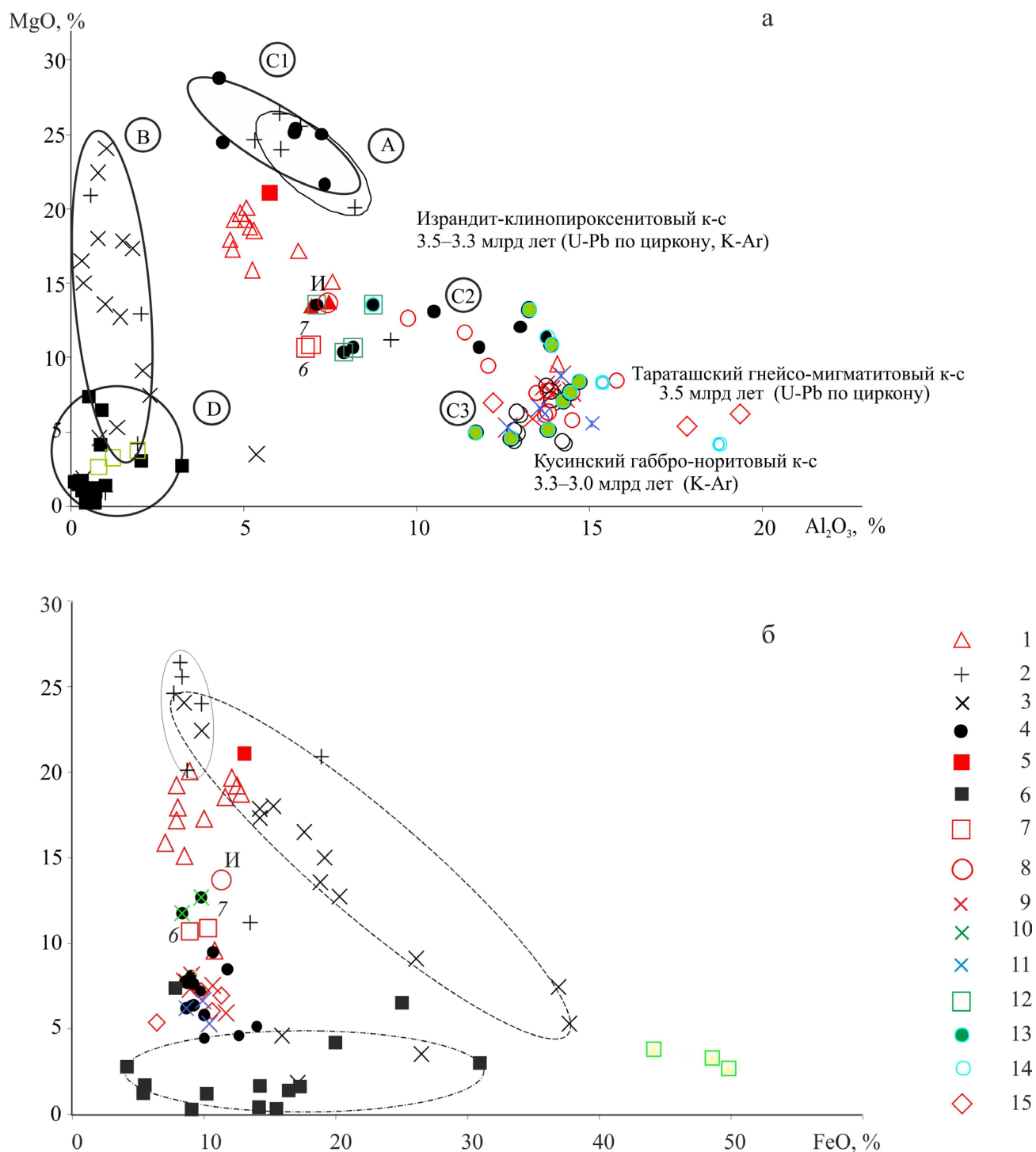


Рис. 1. Дискриминационные диаграммы составов пород израндит-клинопироксенового (массив горы Карандаш), габбро-норитового (кусинско-копанские массивы) комплексов и негранитизированных базитовых разностей пород тараташского комплекса в координатах Al₂O₃–MgO (а) и FeO–MgO (б).

1 – оливиновый клинопироксенит горы Карандаш [28]; 2 – пироксенит [18]; 3 – пироксенит магнетитовый [18]; 4 – амфиболит бесполовошпатовый [18]; 5 – пироксенит ([3], Кусинский массив); 6 – кварцит магнетитовый (Панков, 1968); 7 – клинопироксенит [16]; 8 – израндит [16]; 9 – двупироксеновый кристаллосланец [15]; 10 – двупироксеновый кристаллосланец [13]; 11 – двупироксеновый кристаллосланец [30]; 12 – эвлизит [13]; 13 – амфиболит плагиоклазовый [13]; 14 – амфиболит бесполовошпатовый [13]; 15 – оливиновый габбро-норит (Медведевский массив, обр. А.И. Степанова); И – израндит [16]; б – оливиновый клинопироксенит [16]; 7 – плагиоклаз-оливиновый клинопироксенит (обр. Ю.Л. Ронкина).

Группы пород: А – пироксениты, В – пироксениты магнетитовые, С1, С2, С3 – амфиболиты, D – кварциты магнетитовые.

Таблица 1. Петрохимические характеристики пород израндит-клинопироксенитового, кусинского габбро-норитового и тараташского гнейсо-гранитного комплексов

Породы	Mg/Si	Al/Si	Ca/Si	Al/Mg
Мантия				
Пироксенитовая серия *	<1.046	>0.112	>0.123	>0.107
Израндит-клинопироксенитовый комплекс тип I	0.55–0.59	0.11–0.14	0.42–0.44	0.22–0.26
Гора Карандаш**				
тип II	0.31–0.50	0.17–0.39	0.44–0.49	0.34–1.28
тип III	0.40–0.60	0.11–0.13	0.32–0.51	0.22–0.29
Медведевский массив				
Габбро-нориты	0.14–0.22	0.34–0.40	0.30–0.31	1.54–2.91
Тараташский комплекс ***				
Двупироксеновые кристаллические сланцы	0.267–0.166	0.154–0.178	0.200–0.284	0.640–0.946
Амфиболиты (биминеральные)	0.136–0.239	0.148–0.170	0.208–0.279	0.663–1.252
Пироксениты	0.144–0.855	0.007–0.117	0.012–0.135	0.011–0.326
Амфиболиты бесполовошпатовые	0.324–0.843	0.060–0.186	0.055–0.303	0.071–0.473
Магнетитовые пироксениты	0.058–0.564	0.005–0.064	0.001–0.126	0.005–0.609
Магнетитовые кварциты	0.001–0.223	0.001–0.036	0.010–0.045	0.024–0.571

Примечание. Полу жирным выделены петрохимические значения, отличные от мантийных; * [2], ** условные (по Eu) разновидности пород клинопироксенитового комплекса [27], *** значения, рассчитанные по опубликованным данным (см. также рис. 1).

– составам среднемагнезиальных разностей клинопироксенитов, соответствующих израндиту (рис. 1а: точка “И”) и датированным образцам клинопироксенита (точки 6, 7), подобны составы амфиболитов “С2”; оливиновым габбро-норитам кусинской группы подобны амфиболиты “С3” (см. рис. 1а) с наиболее низким содержаниями MgO, т.е. вероятный процесс дифференциации первичной магмы от теоретического пиrolита (MgO 39%) [21] до конкретного комплекса ряда: пироксенит – оливиновый клинопироксенит – израндит – габбро-норит, отражается в составе тараташских метаморфитов и, в частности, амфиболитов;

в) магнетитовые кварциты (см. рис. 1а, D), магнетитовые пироксениты (B) и эвлизиты образуют резко индивидуальное поле составов – возможно, это отдельная, иного первичного состава и генезиса группа пород;

г) на диаграмме FeO–MgO (см. рис. 1б), позволяющей предположить степень влияния содержания FeO (как процесс “оруденения”) на характер зависимости, также уверенно отмечается своеобразие составов магнетитовых разностей: здесь магнетитовые кварциты более определенно образуют совершенно отдельную группу пород; магнетитовые двупироксеновые кристаллосланцы отчетливо показывают изменение состава породы в зависимости от содержания FeO, от степени “оруденения”: процесс рудообразования был более поздним и захватил уже сформированные двупироксеновые кристаллические сланцы; кроме того, первичные неизмененные разности пород всех комплексов характеризуются довольно узким интервалом содержания FeO (около 8–12%);

д) при сравнении по петрохимическим характеристикам магматических (израндит-клинопироксенитовый и габбро-норитовый) и метаморфических (тараташский) комплексов с мантийной пироксенитовой серией [2] можно отметить су-

ществование двух разных (табл. 1) генетических групп: одна – двупироксеновые кристаллические сланцы (и биминеральные амфиболиты), имеющая мантийные характеристики, и другая – магнетитовые кварциты и магнетитовые пироксениты, резко отличающаяся от первой. Помимо этого отмечается своеобразная “переходная” группа пироксенитов (и бесполовошпатовых амфиболитов), петрохимические характеристики которых лишь частично согласуются с мантийными. Возможно, что на положение некоторых фигуративных точек составов габбро-норитов и кристаллических сланцев влияют процессы гранитизации. Это, вероятно, и отмечает изотопная геохимия Sm–Nd [24].

Таким образом, изотопные данные об одинаковом первичном возрасте пород (3.3–3.5 млрд лет), исключительно аналогичный набор петрохимических и минералогических [1] характеристик габбро-норитов кусинского комплекса и двупироксеновых кристаллических сланцев тараташского гнейсо-мигматитового комплекса показывают, что последние наиболее вероятно представляют собой аналог кусинских оливиновых габбро-норитов. Магнетитовые кварциты, заметно отличающиеся от двупироксеновых кристаллических сланцев, вероятно, представляют иную самостоятельную петрогенетическую группу пород. Возможно, что пироксениты тараташского, кусинского габбро-норитового и израндит-клинопироксенитового комплексов входили в состав единой высокомагнезиальной “протопороды”, но более поздние, в том числе рудоформирующие процессы, способствуя контаминации, сместили петрохимические характеристики пироксенитов тараташского комплекса (см. табл. 1). Кроме того, единство петрохимических характеристик габбро-норитов кусинского комплекса (возраст 3.3–3.2 млрд лет) и двупироксеновых кристаллических сланцев тараташского комплекса (возраст 3.5 млрд лет) косвенно (и

уверенно) указывает на архейский возраст образования первичных оливиновых габбро-норитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белковский А.И.* О формационной принадлежности тараташских двупироксеновых кристаллосланцев // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения: мат-лы III Междунар. конф. Т. 1. 2009. С. 83–85.
2. *Глебовицкий В.А., Никитина Л.П., Гончаров А.Г., Боровко Н.В., Сироткин А.Н.* Деpletированное и обогащенное вещество в верхней мантии Шпицбергена (данные мантийных ксенолитов) // Докл. АН. 2011. Т. 439, № 3. С. 389–393.
3. *Гревцов Г.А., Фоминых В.Г.* Метасоматиты медведевского титаномагнетитового месторождения на Южном Урале // Метасоматизм и рудообразование / Тр. ИГГ УНЦ АН СССР. Свердловск, 1974. Вып. 108. С. 151–158.
4. *Дунаев В.А., Степанов А.И., Панова М.В.* Возраст пород кусинско-копанской интрузии и время их метаморфизма (Южный Урал) // Геолого-радиологическая интерпретация несходящихся значений возраста. (Труды XVI сессии). Отдельные отиски. М.: Наука, 1973. С. 238–247.
5. *Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В.* Надвиговые структуры Башкирского антиклинория и Предуральского прогиба // Шарьяжное строение Урала и других складчатых областей. Уфа, 1986. С. 32–44.
6. *Кориневский В.Г., Котляров В.А.* Минералогия оливин-пироксенита (израндита) Урала // Литосфера. 2009. № 4. С. 27–40.
7. *Краснобаев А.А., Гревцов Г.А., Фоминых В.Г., Степанов А.И., Панова М.В., Подлесова Р.Г.* О многоэтапности формирования титаномагнетитового оруденения в кусинских габброидах // Определение абсолютного возраста рудных месторождений и молодых магматических пород. (XVIII сессия). М.: Наука, 1976. С. 202–208.
8. *Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Бушарина С. Бережная Н.Г., Нехорошева А.Г.* Цирконология железистых кварцитов тараташского комплекса на Южном Урале // Докл. АН. 2011. Т. 437, № 6. С. 1–5.
9. *Краснобаев А.А., Феритатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро П.* Цирконовый возраст габбро и гранитоидов кусинско-копанского комплекса (Южный Урал) // Ежегодник-2005. ИГГ УрО РАН. 2006. С. 300–303.
10. *Краснобаев А.А., Чередниченко Н.В.* Цирконовый архей Урала // Докл. АН. 2005. Т. 400, № 4. С. 510–514.
11. *Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Романюк Т.В., Крупенин М.Т., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Серегина Е.С., Цельмович В.А.* Первые результаты U-Pb LA-ICP-MS- изотопного датирования обломочных цирконов из базальных уровней стратогипа рифея // Докл. АН. 2013. Т. 451, № 3. С. 308–313.
12. *Ленных В.И., Краснобаев А.А.* Абсолютный возраст метаморфических пород // Петрология и железорудные месторождения тараташского комплекса. Вып. VIII. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1968. С. 69–76.
13. *Ленных В.И., Панков Ю.Д., Петров В.И.* Петрология и метаморфизм мигматитового комплекса // Петрология и железорудные месторождения тараташского комплекса. Вып. VIII. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1968. С. 3–45.
14. *Ленных В.И., Петров В.И.* Эвлизиты, магнетит-гиперстеновые породы и магнетитовые кварциты Южного Урала // Петрология и железорудные месторождения тараташского комплекса. Вып. VIII. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1968. С. 119–136.
15. *Липчанская Л.Н.* Мигматиты тараташского комплекса (Южный Урал) // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 2010. № 1. С. 19–27.
16. *Овчинников Л.Н., Дунаев В.А.* Израндит – древнейшая горная порода Урала // Тр. XVIII сессии Комиссии по опр. абс. возр. геол. форм. М.: Наука, 1967. С. 16–18.
17. *Овчинников Л.Н., Дунаев В.А.* О древнейшей горной породе Урала // Глубинное строение Урала. М.: Наука, 1968. С. 200–209.
18. *Панков Ю.Д.* Геология, петрография и генезис месторождений магнетитовых кварцитов. // Петрология и железорудные месторождения тараташского комплекса. Вып. VIII. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1968. С. 87–118.
19. *Пыстин А.М.* Александровский гнейсо-амфиболитовый комплекс // Вулканизм, метаморфизм и железистые кварциты обрамления тараташского комплекса. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 3–32.
20. *Пыстин А.М., Пыстина Ю.И.* Термодинамическая и геохронологическая история метаморфизма доордовикских образований Приполярного Урала // Геология и полез. ископаемые Западного Урала. Пермь, 2007. С. 14–18.
21. *Рингвуд А.Э., Мак-Грегор И.Д., Бойд Ф.Р.* Петрографический состав верхней мантии // Петрология верхней мантии. М.: Мир, 1968. С. 272–277.
22. *Ронкин Ю.Л., Сидерн С., Маслов А.В., Матуков Д.И., Крамм У., Лепихина О.П.* Первая находка древнейших на Урале цирконов с возрастом 3.5 млрд лет: U-Pb (SHRIMP-II) и Sm-Nd (TIMS) изотопные подтверждения // Геология и полез. ископаемые Западного Урала. Пермь, 2007. С. 6–9.
23. *Ронкин Ю.Л., Сидерн С., Лепихина О.П.* Изотопная геология древнейших образований Южного Урала // Литосфера. 2012. № 5. С. 50–76.
24. *Ронкин Ю.Л., Сидерн С., Маслов А.В., Матуков Д.И., Крамм У., Лепихина О.П.* Древнейшие (3.5 млрд лет) цирконы Урала: U-Pb (SHRIMP-II) и T_{DM} ограничения // Докл. АН. Т. 415, № 5. 2007. С. 651–657.
25. *Степанов А.И.* Калий-аргоновая датировка эволюции габброидов Кусинского массива (Южный Урал) // XIV чтения памяти А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 294–297.
26. *Степанов А.И.* Статистический аспект калий-аргоновой датирования габброидов Кусинско-копанской интрузии (Южный Урал) // Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 157. 2010. С. 297–302.
27. *Степанов А.И.* Что такое израндит // Процессы рудообразования и прикладная геохимия. К 100-летию Л.Н. Овчинникова. М.: ИМГРЭ, 2013. С. 197–211.
28. *Степанов А.И., Ронкин Ю.Л.* Особенности петрохимии израндит-клинопироксенитового комплек-

- са массива г. Карандаш // Ежегодник-2013. Тр. ИГГ УрО РАН, Вып. 161. 2014. 214–218.
29. *Ферштатер Г.Б.* Изохимическая мигматизация и генезис кварц-полевошпатовых пород тараташского метаморфического комплекса (Южный Урал) // Геохимия. № 3. 1977. С. 411–421.
30. *Ферштатер Г.Б., Бушляков И.Н., Драпека Т.Г.* Петрология тараташских гранулитов // Петрология и железорудные месторождения тараташского комплекса. Вып. VIII. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 46–68.
31. *Холоднов В.В., Ронкин Ю.Л., Ферштатер Г.Б., Прибавкин С.В., Бородин Н.С., Лепихина О.П., Попова О.Ю.* Новые изотопные **Sm-Nd** данные о возрасте Кусинского габбрового массива Южный Урал) // Ежегодник-2005. ИГГ УрО РАН, 2006. С. 331–334
32. *Ronkin Y.L., Sindern S., Stepanov A.I., Korinevsky V.G., Maslov V.A.* The oldest magmatism of the Urals // Геохронометрические изотопные системы, методы их изучения, геохронология геологических процессов: Тр. 5-й Рос. конф. по изот. геохронол. М.: ИГЕМ РАН, 2012. С. 18–20.