

О ВОЗРАСТЕ ОРТОКЛАЗ-НЕФЕЛИНОВЫХ ТЫЛАИТОВ НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО ДУНИТ-КЛИНОПИРОКСЕНИТОВОГО МАССИВА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

© 2020 г. Е. В. Пушкарёв

В работе приведены первые данные по изотопному датированию ортоклаз-нефелиновых тылаитов Нижнетагильского дунит-клинопироксенитового массива Платиноносного пояса Урала. Определение возраста выполнено Rb-Sr методом по валовым пробам ортоклаз-нефелиновых и битовнитовых тылаитов и связанных с ними клинопироксенитов $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом по флюгипиту из ортоклаз-нефелиновых тылаитов. Полученный раннедевонский возраст 402 млн лет сопоставим с возрастными оценками аналогичных пород, изученных ранее в Кытлымском массиве на Северном Урале, и показывает, что тылаиты завершают своим становлением формирование дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов в Платиноносном поясе Урала.

Платиноносный пояс Урала (ППУ) – крупнейшая в мире цепь дунит-клинопироксенит-габбровых массивов, протянувшаяся вдоль 60 меридиана более чем на 900 км, – является полихронным образованием, о чем свидетельствуют многочисленные изотопно-геохронологические данные, полученные за последнюю четверть века и охватывающие временной интервал более 2 млрд лет. Обзор геохронологических данных по Платиноносному поясу приведен в монографии Г.А. Петрова [Петров, 2019], хотя к настоящему времени появились и новые данные, дополняющие общую картину становления ППУ. Несмотря на большой интерес к расшифровке последовательности формирования комплексов и массивов пояса, следует констатировать, что эта проблема еще далека от решения. Многие массивы и породы до сих пор не имеют надежных возрастных определений. Поэтому можно предположить, что еще долго работы по изотопному датированию пород ППУ будут привлекать интерес геологов и обсуждаться.

Нижнетагильский дунит-клинопироксенитовый массив ППУ на Среднем Урале является одним из классических и наиболее хорошо изученных благодаря связанным с ним коренным и россыпным платиновым месторождениям [Малахов, Малахова, 1970; Иванов, 1997; Шмелев, Филиппова, 2010; Anikina et al., 2014]. Он образует в плане вытянутое в субмеридиональном направлении грушевидное тело протяженностью около 14 км, при ширине выходов до 6 км (рис. 1). Центральное ядро массива сложено дунитами, площадь выходов которых по разным оценкам составляет от 27 до 29 км². Дуниты окружены непрерывной каймой оливиновых клинопироксенитов переменной мощности от 100 до 2000 м. В северо-восточной части массива (реки Чауж и Зотиха) среди клинопироксенитов залегает тело протяженностью около 1 км и мощностью до полукилометра меланократовых порфировидных тылаитов, которые по минераль-

ному и химическому составу подразделяются на битовнитовые и ортоклаз-нефелиновые тылаиты [Ферштатер, Пушкарёв, 1992; Пушкарёв, 2018]. Недостаточная обнаженность не позволяет наблюдать контакты между тылаитами и вмещающими клинопироксенитами.

Преобладание в составе Нижнетагильского массива ультраосновных пород затрудняет его датирование Sm-Nd, Rb-Sr и другими изотопными методами. Модельный T_{RD} возраст лауринов из платиноносных хромититов массива оценивается как 871 ± 53 млн лет [Tessalina et al., 2015], но он, скорее всего, свидетельствует о процессах в мантии, из которой впоследствии выплавлялись родоначальные магмы дунит-клинопироксенитовых комплексов. Большинство данных по возрасту ультраосновных пород получено при U-Pb изотопном датировании цирконов, извлеченных из дунитов [Малич и др., 2009; Ферштатер и др., 2009; Ферштатер, 2013]. Эти возрастные определения охватывают почти 2-миллиардный интервал времени. Однако природа самих цирконов, многие из которых содержат включения кварца и полевых шпатов, вызывает много вопросов, как и их генетическая связь с дунитами. Поэтому предположение, что большая часть этих цирконов является заимствованными из вмещающих пород, выглядит вполне правдоподобно, а значит, их возраст не отражает время формирования ультраосновных массивов. Более надежными выглядят данные по датированию цирконов из экзоконтактовых метаморфических пород – кытлымитов, амфиболитов и, связанных с ними, палингенных гранитов, образование которых связывают с внедрением горячих ультраосновных масс. Так, возраст цирконов из кытлымитов в восточном обрамлении Нижнетагильского массива соответствует позднему сиλουру 425 млн лет [Иванов, Наставко, 2014].

Битовнитовые и ортоклаз-нефелиновые тылаиты, которые залегают в северо-восточной части массива среди клинопироксенитов [Пушка-

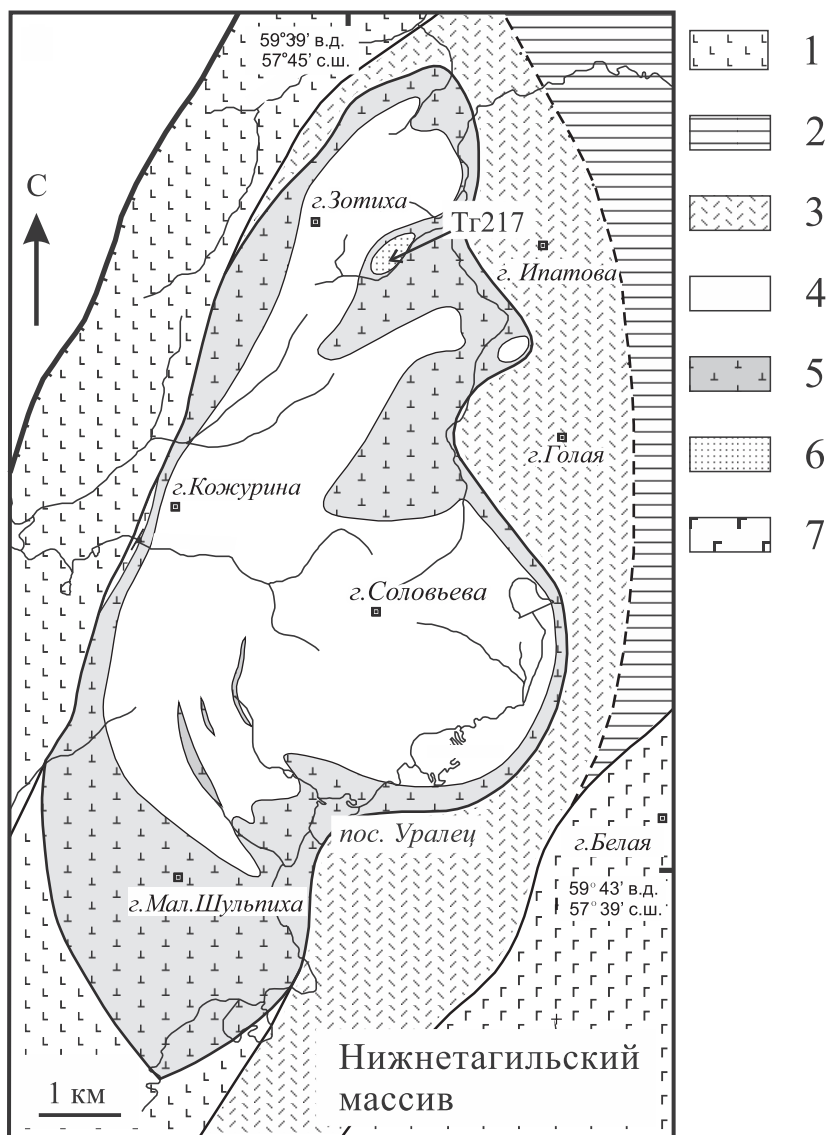


Рис. 1. Упрощенная схема геологического строения Нижнетагильского дунит-клинопироксенитового массива [Шмелев, Филиппова, 2010], с положением пробы Тг217 для аргон-аргонового датирования.

1 – ордовикские вулканогенные породы и сланцы; 2 – амфиболиты, гнейсы, кристаллические сланцы; 3 – роговики, гранулиты и диафориты по ним (кытлымиты); 4 – дуниты; 5 – клинопироксениты; 6 – тылаиты битовнитовые и ортоклаз-нефелиновые, нерасчлененные; 7 – габбро.

рев, 2018], с точки зрения их петрохимических особенностей должны завершать становление ультраосновной серии дунит-клинопироксенит. Эти породы, обладая высокой магнезиальностью ($MgO = 11-15\%$, $Mg\# = 0.72-0.77$), характеризуются повышенными содержаниями стронция и рубидия ($Sr = 650-900$ г/т, $Rb = 5-50$ г/т), а нефелин-ортоклазовые разности содержат еще и K_2O – до 2.5% (табл. 1). Эти факторы являются благоприятными для проведения изотопного датирования изохронным Rb-Sr методом. Кроме того, ортоклаз-нефелиновые тылаиты содержат флогопит, который можно использовать для определения возраста пород K-Ar и Ar-Ar изотопными методами. Флогопит об-

разует сростания с полевыми шпатами в основной массе тылаитов, а также мелкие включения по зонам роста в идиоморфных порфировидных кристаллах клинопироксена. В проходящем свете под микроскопом флогопит имеет красновато-оранжевый цвет. Его железистость варьирует от 0.19 до 0.25. Включения флогопита в центральных зонах вкрапленников клинопироксена имеют более низкую железистость и высокие содержания фтора до 1.4%, а в краевых зонах клинопироксена и в основной массе – более высокую железистость и более низкие содержания фтора 0.5–0.6%. Флогопит для определения возраста был выделен под бинолутой методом ручной сепарации.

Таблица 1. Состав оливиновых клинопироксенитов (1, 2), ортоклаз-нефелиновых (3) и битовнитовых (4–6) тылаитов Нижнетагильского массива, мас. %, и величина изотопных отношений $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

№ п/п	1	2	3	4	5	6
Проба	Tr203	Tr205	Tr207	Tr208	Tr212	Tr215
SiO ₂	43.90	43.50	45.30	45.16	42.37	44.32
TiO ₂	0.52	0.33	0.58	0.40	0.75	0.58
Al ₂ O ₃	4.26	3.66	9.21	5.69	7.07	5.52
Fe ₂ O ₃	7.59	5.03	5.16	3.24	6.71	5.30
FeO	5.77	6.82	6.66	8.79	6.21	6.89
MnO	0.18	0.19	0.18	0.18	0.21	0.17
MgO	20.61	25.14	16.37	22.23	18.81	19.61
CaO	15.22	12.88	11.66	11.75	15.11	15.25
Na ₂ O	0.36	0.17	1.31	0.83	0.71	0.87
K ₂ O	0.10	0.05	2.31	0.33	0.25	0.50
P ₂ O ₅	0.14	0.11	0.33	0.14	0.38	0.16
ппп	1.43	2.00	1.07	0.96	0.75	0.78
Сумма	100.08	99.88	100.14	99.70	99.33	99.95
Fe/(Fe + Mg)	0.25	0.20	0.28	0.23	0.26	0.25
Rb, г/т	3	<3	51	8	7	8
Sr, г/т	244	97	844	711	929	421
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0.0179	0.0096	0.1634	0.0195	0.0172	0.0545
погр-ть, %	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.703945	0.703890	0.704757	0.703879	0.703887	0.704052
погр-ть, %	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

Примечание. Анализы на петрогенные компоненты и содержания Rb и Sr выполнены в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН (Екатеринбург), рентгенофлуоресцентным методом на СРМ-35. Определение изотопных отношений $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ проводилось методом изотопного разбавления с последующим определением на масс-спектрометре Тритон (ГЕОХИ РАН, Москва).

Для определения возраста Rb-Sr изотопным методом была подготовлена выборка из двух проб оливиновых клинопироксенитов, трех проб битовнитовых тылаитов и одной пробы ортоклаз-нефелинового тылаита (см. табл. 1). Определение концентраций рубидия и стронция выполнены методом изотопного разбавления с использованием трассера ($^{85}\text{Rb} + ^{84}\text{Sr}$) в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ГЕОХИ РАН (Москва, руководитель Ю.А. Костицын). Разложение образцов проводилось в смеси кислот ($\text{HF} + \text{HNO}_3$) при атмосферном давлении. Разделение Rb и Sr выполнено на хроматографических колонках по стандартной методике. Определение изотопных отношений проводилось на масс-спектрометре «Тритон». Результаты определения изотопных отношений $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ приведены в табл. 1. Представительные составы флогопитов из пробы Tr217 приведены в табл. 2. Определения $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраста методом ступенчатого прогрева осуществлено в изотопной лаборатории ИГМ СО РАН (Новосибирск) на масс-спектрометре Noble gas 5400 фирмы «Микромасс» и на многоколлекторном масс-спектрометре Argus фирмы GV-Instruments (Англия) по методике, описанной ранее [Травин и др., 2009].

Результаты определения изотопного отношения $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ были выполнены со значительной лабо-

раторной ошибкой (табл. 1), из-за чего рассчитанный возраст пород на корреляционной диаграмме $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - ^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ также имеет значительную погрешность 405 ± 110 млн лет и слишком низкое среднеквадратичное отклонение 0.19 (рис. 2).

Вероятно, это связано с низкими содержаниями рубидия и стронция в клинопироксенитах. Помимо этого, группа клинопироксениты-битовнитовые тылаиты имеют очень низкие $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ отношения и слабую растяжку по этой координате. Использовать эти данные для оценки возраста стоит с крайней осторожностью. По-видимому, для последующих исследований надо изучать Rb-Sr изотопную систему в валовом составе породы и породообразующих минералах из нее. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование флогопита позволило получить уверенное плато с 80% выделенного ^{39}Ar , соответствующее раннедевонскому возрасту 402 ± 5 млн. лет (рис. 3).

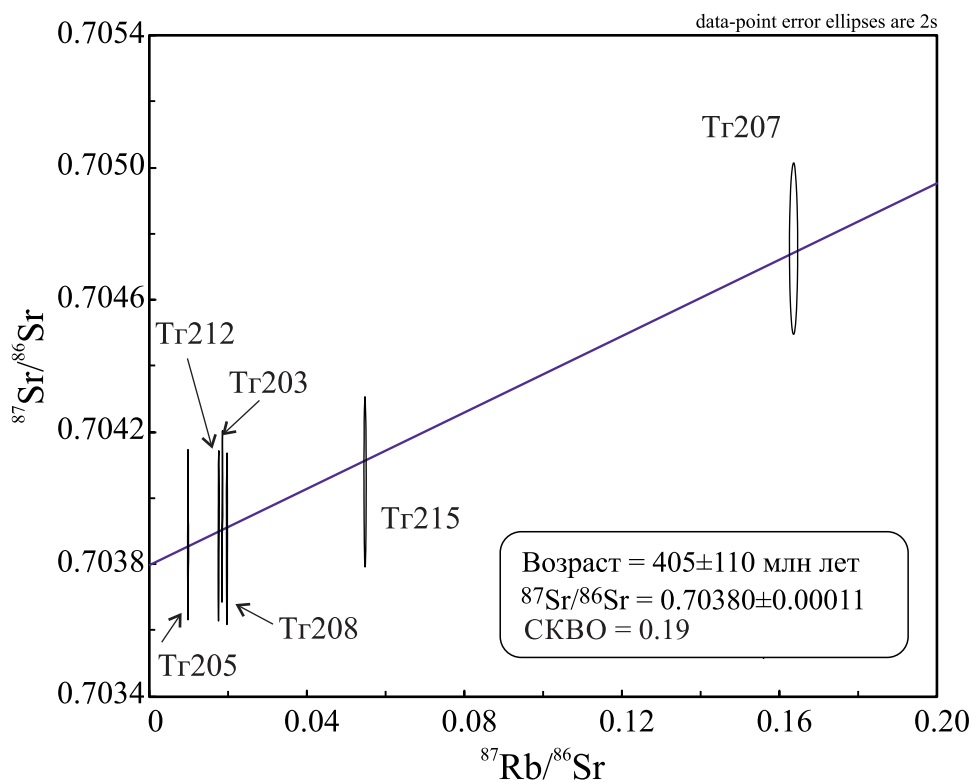
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучение Rb-Sr изотопной системы в шести валовых пробах оливиновых клинопироксенитов, битовнитовых и ортоклаз-нефелиновых тылаитов Нижнетагильского массива позволило построить корреляционную диаграмму в координатах $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - ^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ с очень высокой ошибкой рассчитанного возраста 405 ± 110 млн лет и слишком низ-

Таблица. 2. Состав флогопита из ортоклаз-нефелинового тылаита Нижнетагильского массива, проба Tr217, мас. %

№ анализа	17-1	17-3	18-2	20-1	22-1	16-1	19-1
SiO ₂	37.12	36.78	37.09	37.48	37.16	37.15	36.70
TiO ₂	5.32	5.31	5.23	4.93	4.58	4.51	4.66
Al ₂ O ₃	15.49	15.47	15.52	15.75	15.57	15.41	15.60
Cr ₂ O ₃	0.14	0.19	0.07	0.05	0.03	0.03	0.24
FeO*	8.60	9.05	9.61	7.89	8.93	9.02	9.49
MnO	0.08	0.09	0.13	0	0.10	0.01	0.08
MgO	17.24	17.04	16.68	18.09	17.69	17.63	17.30
Na ₂ O	0.15	0.12	0.20	0.16	0.23	0.18	0.19
K ₂ O	10.18	10.16	10.09	10.23	10.06	10.2	9.91
NiO	0	0.11	0	0.07	0.02	0.10	0.16
Сумма	94.32	94.33	94.63	94.65	94.37	94.24	94.32
Fe/(Fe + Mg)	0.22	0.23	0.24	0.19	0.22	0.22	0.23

Примечание. Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе Cameca SX100 в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН.
 * Все железо в виде FeO.

**Рис. 2.** Корреляционная $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ диаграмм для оливиновых клинопироксенов, битовнитовых и ортоклаз-нефелиновых тылаитов Нижнетагильского массива.

ким среднеквадратичным отклонением 0.19. Это уже второй случай, когда Rb-Sr изотопная система по валовым пробам клинопироксенов и тылаитов Платиноносного пояса Урала не дает возможности получить надежный результат [Пушкарев и др., 2003]. Можно предположить, что нарушение Rb-Sr изотопной системы связано с более поздним проявлением щелочного метасоматоза и образова-

нием флогопита, калишпата и нефелина [Krause et al., 2013]. Однако мы видим, что флогопит присутствует и в виде первичных, синмагматических включений в клинопироксене, и обладает признаками высокотемпературного образования – высокий TiO₂ (см. табл. 2). Близость возрастных определений, полученных Sm-Nd и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методами по породообразующим минералам и флогопиту из ор-

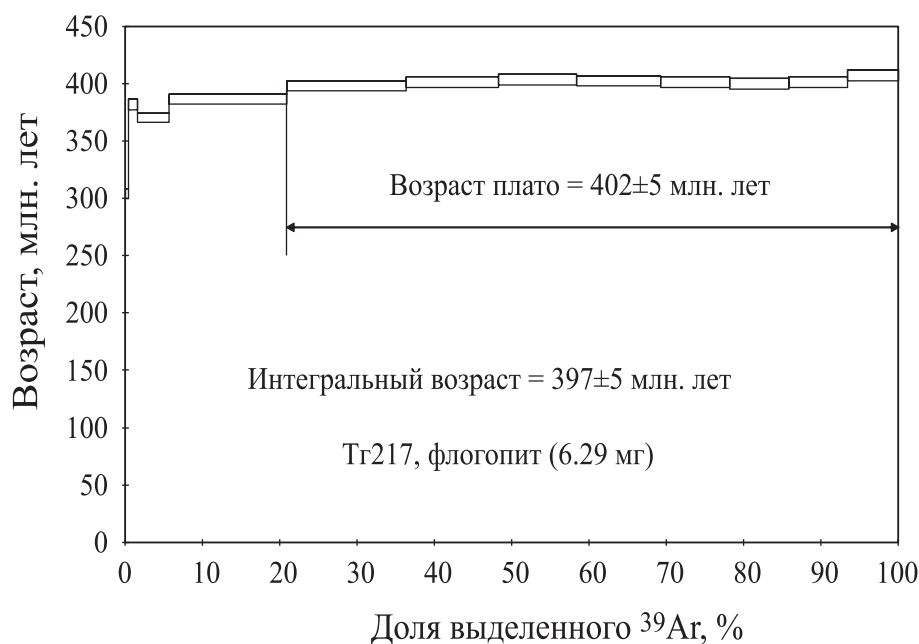


Рис. 3. Возрастной $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ спектр флогопита из ортоклаз-нефелиновых тылаитов Нижнетагильского массива, проба Тг217.

токлаз-нефелиновых тылаитов Кытлымского массива [Пушкарев и др., 2014] свидетельствует о том, что проявления такого высокотемпературного метасоматоза не сильно оторвано по времени от кристаллизации самой породы и, скорее всего, является аутометасоматическим процессом на субсолидусном этапе эволюции, т. е. результатом реакции твердых фаз породы с собственным остаточным флюидом. Полученный по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопии раннедевонский возраст (402 ± 5 млн лет) ортоклаз-нефелиновых тылаитов Нижнетагильского массива несколько моложе Sm-Nd и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировок аналогичных пород в Кытлымском массиве. Близкий возраст 405 млн лет был получен аргон-аргоновым методом для жильных горнблендитов, входящих в молодую клинопироксенит-габбро-горнблендитовую серию, завершающую своим становлением ультраосновной магматизм в Платиноносном поясе Урала [Пушкарев и др., 2020]. Повидимому, и ортоклаз-нефелиновые тылаиты формируются на заключительных стадиях магматизма, но отражают более «сухие» условия формирования, по сравнению с таковыми для горнблендитов. Таким образом, получено еще одно независимое подтверждение, что формирование ультраосновных дунит-клинопироксенит-тылаитовых серий (массивов) в Платиноносном поясе Урала завершается в раннем девоне.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 2/р АААА-А18-118052590029-6. Аналитические данные получены в Центре коллективного пользования ИГГ УрО РАН «Геоаналитик». Опре-

деление аргон-аргонового возраста флогопита выполнено в рамках договора 2018 г. на проведение НИР «Определение абсолютного возраста амфиболов и флогопитов из пород габбро-гипербазитовых комплексов Урала на основе $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования методом ступенчатого прогрева» с ИГМ СО РАН (Новосибирск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иванов К.С., Наставко Е.В. Новые данные о возрасте тагильского комплекса Платиноносного пояса Урала // Литосфера. 2014. № 6. С. 77–87.
- Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997. 327 с.
- Малахов И.А., Малахова Л.В. Нижне-Тагильский пироксенит-дунитовый массив и вмещающие его породы // Тр. ИГГ. Вып. 83. Свердловск: УФАН СССР, 1970. 166 с.
- Малич К.Н., Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л. Архейский U-Pb изотопный возраст циркона дунитов Нижне-Тагильского массива (Платиноносный пояс Урала) // Докл. АН. 2009. Т. 427, № 1. С. 101–105.
- Петров Г.А. Докембрийские комплексы фундамента палеозойской островодужной системы на Среднем Урале. М.: Русайнс, 2019. 276 с.
- Пушкарев Е.В. Тылаиты в массивах Платиноносного пояса Урала как интрузивные аналоги анкармитов // Ежегодник-2017. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 165. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. С. 162–171.
- Пушкарев Е.В., Готтман И.А., Травин А.В., Юдин Д.С. Время завершения ультраосновного магматизма в Платиноносном поясе Урала // Докл. РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 490, № 2. С. 45–50.

- Пушкарёв Е.В., Ронкин Ю.Л., Юдин Д.С., Травин А.В., Лепихина О.П. Время формирования нефелиновых тылаитов в Платиноносном поясе Урала: изотопные Sm–Nd, Rb–Sr, U–Pb, 40Ar–39Ar и K–Ar датировки и их ограничения // Докл. АН. 2014. Т. 455, № 2. С. 205–209.
- Пушкарёв Е.В., Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро П., Скэрроу Дж. Изотопный Rb–Sr возраст псевдолейцитовых тылаитов Платиноносного пояса Урала // Докл. АН. 2003. Т. 388, № 3. С. 373–377.
- Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г. и др. Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. 2009. № 11. С. 1181–1199.
- Ферштатер Г.Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.
- Ферштатер Г.Б., Краснобаев А.А., Беа Ф., Монтеро П., Бородин Н.С. Интрузивный магматизм ранних стадий развития Уральского эпикейанического орогена: U–Pb геохронология (LA ICPMS, NORDSIM, SHRIMP-II), геохимия, закономерности эволюции // Геохимия. 2009. № 2. С. 150–170.
- Ферштатер Г.Б., Пушкарёв Е.В. Нефелинсодержащие тылаиты в дунит-клинопироксенит-габбровой ассоциации Платиноносного пояса Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1992. № 4. С. 74–84.
- Шмелев В.Р., Филиппова С.Д. Структура и механизм формирования Нижнетагильского дунит-клинопироксенитового массива (Средний Урал) // Геотектоника. 2010. № 4. С. 65–86.
- Anikina E.V., Malitch K.N., Pushkarev E.V., Shmelev V.R. The Nizhny Tagil and Volkovsky massifs of the Uralian Platinum Belt, and related deposits. Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2014. 48 p.
- Krause J., Harlov D.E., Pushkarev E.V., Bruegmann G.E. Apatite and clinopyroxene as tracers for metasomatic processes in nepheline clinopyroxenites of Uralian-Alaskan-type complexes in the Ural Mountains, Russian Federation // Geochim. Cosmochim. Acta. 2013. V. 121. P. 503–521.
- Tessalina S.G., Malitch K.N., Auge T., Puchkov V.N., Belousova E., McInnes B.I.A. Origin of the Nizhny Tagil clinopyroxenite–dunite massif, Uralian Platinum Belt, Russia: Insights from PGE and Os isotope systematics. Journal of Petrology, 2015, 56, 12, 2297–2318.