

**РАНЕСИЛУРИЙСКИЙ ВОЗРАСТ ДАЕК ПЛАГИОГРАНИТА ИЗ
БАЖЕНОВСКОГО ОФИОЛИТОВОГО КОМПЛЕКСА, СРЕДНИЙ УРАЛ
(ПО ДАННЫМ Th-U-Pb-ДАТИРОВАНИЯ МОНАЦИТА)**

Ю. В. Ерохин, В. В. Хиллер, К. С. Иванов

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

Поступила в редакцию 9 июля 2018 г.

Аннотация: *получены первые данные о времени внедрения даек плагиогранита в ультрабазиты Баженовского офиолитового комплекса (Средний Урал). В плагиогранитах установлен акцессорный монацит и выполнено его микрозондовое исследование химического состава. Методом химического Th-U-Pb датирования определен возраст его кристаллизации, составляющий от 419 до 447 млн лет, средневзвешенное значение 429 ± 29 млн лет и изохрона 428 ± 33 млн лет (СКВО = 0,48). Образование даек плагиогранита происходило в раннесилурийское время и связано со становлением Рефтинского габбро-гранитного массива.*

Ключевые слова: *химическое датирование, монацит, плагиограниты, Баженовский офиолитовый комплекс, Рефтинский габбро-гранитный массив, Средний Урал.*

**EARLY SILURIAN AGE OF DIKES OF PLAGIOGRANITE FROM
THE BAZHENOVSKIY OPHIOLITE COMPLEX, MIDDLE URALS
(ACCORDING TO Th-U-Pb DATING OF MONAZITE)**

Abstract: *the first data on the time of the intrusion of plagiogranite dikes in the ultrabasic rocks of the Bazhenovskiy ophiolite complex (Middle Urals) are obtained. Accessory monazite is found in the plagiogranites and its microprobe study of the chemical composition is performed. The age is determined by the chemical Th-U-Pb dating method. The monazite age is from 419 to 447 Ma, a weighted average of 429 ± 29 Ma and isochrone of 428 ± 33 Ma (MSWD = 0,48). The formation of plagiogranite dikes occurred in the early Silurian period and is associated with the formation of the Reftinskiy gabbro-granite massif.*

Key words: *chemical dating, monazite, plagiogranites, Bazhenovskiy ophiolite complex, Reftinskiy gabbro-granite massif, Middle Urals.*

Введение

Урал является одним из признанных мировых эталонов складчатых поясов с полным циклом развития, где решались многие принципиальные вопросы палеогеодинамики [1–5 и мн. др.]. Поэтому получаемые здесь принципиально новые данные имеют существенное значение и для других регионов. Одним из наименее изученных вопросов здесь пока остается возраст офиолитовых комплексов, особенно их нижних, габбро-ультрабазитовых частей, а также времени и механизмов трансформации этих мантийных фрагментов в состав новообразованной континентальной коры, что сопровождалось в Баженовском комплексе формированием крупнейшего в Мире месторождения хризотил-асбеста [6]. В настоящей работе мы попытались оценить время «запечатывания» офиолитовых аллохтонов на восточном склоне Среднего Урала.

Объект исследования

Баженовский офиолитовый комплекс является самым южным в Асбестовско-Алапаевском поясе ультраосновных массивов и располагается в пределах восточной части Среднего Урала (в 80 км северо-восточнее г. Екатеринбурга – рис. 1). Геологическое строение комплекса описано в [6, 8 и др.]. Баженовский габбро-ультрабазитовый массив на западе контактирует с Адуйским гранитным, Малышевским лейкогранитным и Лесозаводским габбро-диоритовым массивами, а также с тектонизированными фрагментами вулканогенно-осадочных толщ ордовика и девона. С юга и юга-запада блок офиолитов граничит с Каменским гранитным и частично с Рефтинским габбро-гранитным массивами, а с востока – также с Рефтинским и Некрасовским габбро-гранитным массивами. С севера Баженовский офиолитовый комплекс обрамляется разнообразными вулканогенными и вулканогенно-осадочными толщами каменноуголь-

ного и девонского возраста. Ультрабазитовый массив прорван различными дайками габброидов, диоритов и гранитоидов, причем возраст последних, по данным К-Аг-датирования, варьирует от 325 до 250 млн лет [6], т.е. кислые дайки внедрялись в ультрабазиты в результате становления более поздних Каменского и Адуйского гранитных массивов. Присутствие даек Рефтинского габбро-гранитного комплекса иногда предполагалось, но не было доказано и подтверждено абсолютным датированием.

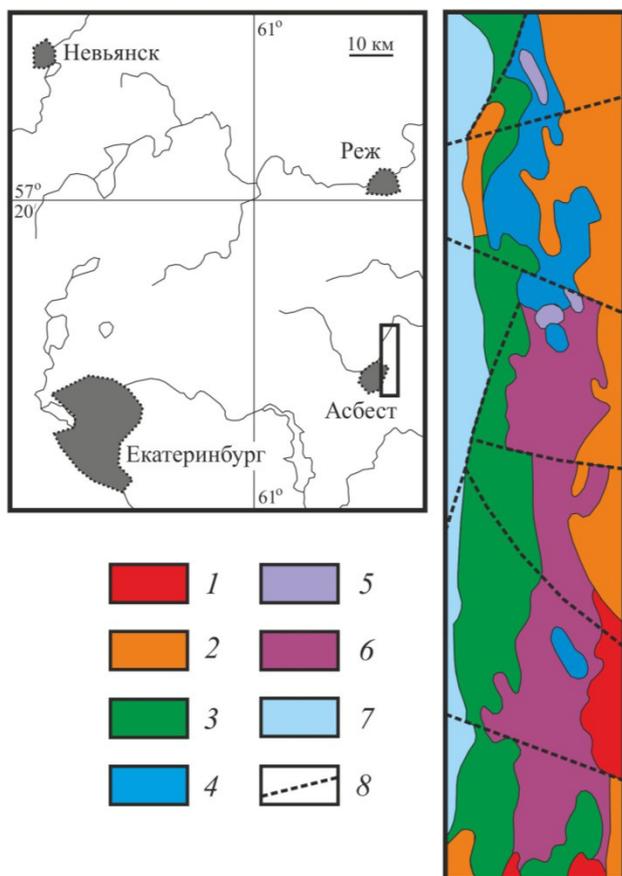


Рис. 1. Расположение и геологическая карта Баженовского офиолитового комплекса (по [7] с авторскими дополнениями). Условные обозначения: 1 – гранодиориты, адамеллиты Каменского комплекса (С₁₋₂), 2 – тоналиты, габбро-диориты и плагиограниты Рефтинского комплекса (S₂-D₁), 3 – габбро-нориты Асбестовского комплекса (S₁), 4 – клинопироксениты и вебстериты, 5 – верлиты и лерцолиты, 6 – гарцбургиты Баженовского комплекса (O₂₋₃), 7 – базальты и кремнисто-базальтовые образования (O₃-S₁), 8 – разрывные нарушения.

Метод исследования

Количественный анализ химического состава монацита и расчет его возраста выполнен на электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA SX 100 (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург). Условия измерения: ускоряющее напряжение 15 кВ, сила тока 200 нА, диаметр пучка электронов 2 мкм. Время измерения интенсивности на пике для Th – 180 с, U – 100 с и Pb – 500 с (240 с на одном и одновременно 260 с на другом спектрометрах), для Y и Si по 20 с, для остальных элементов 10 с;

на фоне – в два раза меньше. Стандартные образцы: ThO₂, UO₂, Pb₂P₂O₇, диопсид, синтетические фосфаты РЗЭ. Пределы обнаружения Th, U и Pb в монаците 290, 350 и 64 г/т, соответственно. Теоретическое и практическое обоснование метода химического датирования с помощью рентгеноспектрального микрозондового анализа приведено в [9, 10 и др.], в том числе и нами [11, 12 и др.]. Основное условие применения данного метода состоит в том, что в процессе эволюции минерал не должен терять радиогенный свинец (т.е. Th-U-Pb система была закрытой), и весь свинец в минерале образован лишь за счет распада тория и урана; это можно проверить аналитически [10].

Результаты исследования

Нами изучалась крупная дайка плагиогранита (мощностью до 4 м) из восточного борта Северного карьера Баженовского месторождения хризотил-асбеста (юго-восточная часть карьера, 5-ый уступ снизу; координаты отбора пробы с GPS-приемника – 57°05'27,3" с.ш.; 61°50'94,6" в.д.). Химический состав жильной породы следующий (в вес. %): SiO₂ 69,47; TiO₂ 0,30; Al₂O₃ 14,30; Fe₂O₃ 1,59; FeO 2,16; MnO 0,09; MgO 1,37; CaO 2,93; Na₂O 5,42; K₂O 0,44; P₂O₅ 0,07; п.п.п. 0,96; сумма 99,12 (ИГГ УрО РАН, СРМ-18, аналитики Н. П. Горбунова, Г. С. Неупокоева). На классификационных диаграммах данный анализ попадает в поле плагиогранитов и трондземитов. По окружающей офиолитовой ассоциации и крайне низкому содержанию калия (менее 0,5 % K₂O) мы отнесли жильную породу к плагиогранитам. В результате низкоградного метаморфизма пренит-пумпеллитовой фации эти дайки плагиогранита были преобразованы в кварц-плагиоклазовые породы с ферротремолитом, стильпномеланом и хлоритом [13 и др.]. Именно в этих жильных породах нами обнаружен аксессуарный монацит, который и был изучен методом химического датирования.

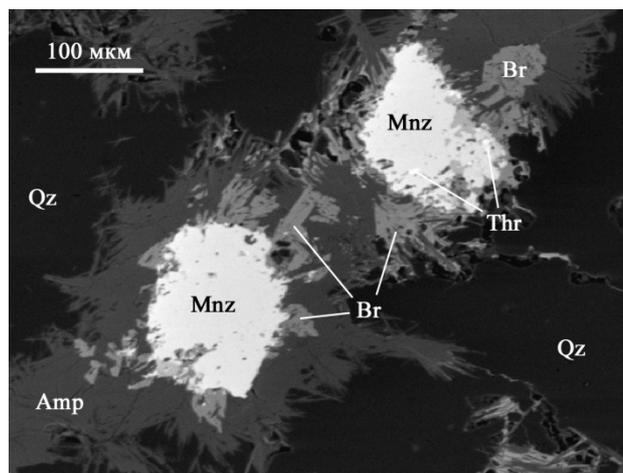


Рис. 2. Монацит, обрастает бруккитом, в матрице метаморфизованного плагиогранита. Условные обозначения: Mnz – монацит, Br – бруккит, Thr – торит, Amp – амфибол (ферротремолит), Qz – кварц. Обр. 1389/78. Фото в BSE-режиме, микроанализатор CAMECA SX 100 (аналитик В. В. Хиллер).

Монацит слагает относительно крупные изометричные зерна, размером до 250 мкм, содержащие включения обводненного торита (ThSiO_4) и крустификационно-обрастающие брукитом $((\text{Ca}, \text{Th}, \text{Ce})\text{PO}_4 \times \text{H}_2\text{O})$ (рис. 2). В свою очередь эти минералы образуют радиально-лучистым агрегатом стильпномелана и сноповидного ферротремолита. Судя по взаимоотношениям минералов, монацит является реликтовым магматическим фосфатом. По химическому составу монацит (табл. 1) относится к цериевой разновидности и характеризуется невысоким содержанием примеси тория (ThO_2 до 4 мас. %). Каких-либо вторичных изменений в монаците не установлено.

Средневзвешенный возраст монацита, рассчитанный по 15 единичным измерениям, составляет 429 ± 29 млн лет, СКВО = 0,046 (рис. 3а). При построении зависимости $\text{PbO}-\text{ThO}_2^*$ все точки анализов попадают на одну прямую (или изохрону по [10]), которая пересекает начало координат, что говорит об отсутствии привноса или выноса свинца в процессе эволюции данного минерала. Расчёт возраста по углу наклона изохроны даёт датировку 428 ± 33 млн лет, СКВО = 0,48 (рис. 3б). Таким образом, внедрение даек плагиогранитов в гипербазитовое тело Баженовского комплекса происходило в нижнем силуре.

Таблица 1

Химический состав (мас. %) монацита из плагиогранита

№	1	2	3	4	5	6	7	8
P_2O_5	29,52	29,50	29,28	29,60	29,60	29,30	29,29	29,50
ThO_2	2,89	2,73	3,73	2,77	2,76	3,56	3,82	3,46
UO_2	0,21	0,18	0,17	0,21	0,20	0,16	0,20	0,17
SiO_2	0,74	0,70	0,83	0,61	0,65	0,82	0,82	0,76
Ce_2O_3	27,12	27,45	27,17	27,32	27,59	26,94	27,06	27,17
La_2O_3	11,81	11,83	11,40	12,01	11,92	11,26	11,26	11,52
Pr_2O_3	3,27	3,18	3,17	3,29	3,21	3,10	3,15	3,18
Nd_2O_3	14,82	14,52	14,53	14,71	14,60	14,40	14,47	14,50
Sm_2O_3	2,98	2,79	2,99	2,85	2,84	2,97	2,98	2,81
Gd_2O_3	2,31	2,27	2,29	2,19	2,22	2,22	2,31	2,21
Dy_2O_3	0,83	0,84	0,76	0,81	0,86	0,70	0,76	0,74
Y_2O_3	3,10	3,01	2,91	3,21	3,07	2,88	3,01	2,97
PbO	0,06	0,06	0,08	0,07	0,06	0,08	0,08	0,07
CaO	0,27	0,23	0,20	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23
Сумма	99,93	99,28	99,50	99,87	99,82	98,61	99,43	99,30

Примечание: анализы сделаны на микроанализаторе CAMECA SX 100 (ИГГ УрО РАН, аналитик В. В. Хиллер).

Продолжение табл. 1

№	9	10	11	12	13	14	15
P_2O_5	28,86	29,34	29,48	29,55	29,35	29,78	29,50
ThO_2	3,32	3,42	3,45	2,98	3,64	2,75	3,07
UO_2	0,18	0,18	0,22	0,19	0,21	0,20	0,20
SiO_2	1,39	0,83	0,77	0,76	0,80	0,64	0,76
Ce_2O_3	26,53	27,08	26,97	27,42	26,81	27,10	27,47
La_2O_3	11,44	11,56	11,61	11,97	11,43	11,82	11,87
Pr_2O_3	3,15	3,10	3,34	3,17	2,88	3,35	3,21
Nd_2O_3	14,37	14,81	14,68	14,69	14,44	15,03	14,80
Sm_2O_3	3,02	2,84	2,90	3,03	3,00	3,01	2,92
Gd_2O_3	2,17	2,12	2,15	2,19	2,55	2,31	2,01
Dy_2O_3	0,71	0,72	0,76	0,85	0,86	0,85	0,71
Y_2O_3	2,83	2,93	3,01	2,97	3,21	3,22	2,73
PbO	0,07	0,07	0,07	0,06	0,08	0,06	0,07
CaO	0,22	0,25	0,21	0,24	0,24	0,23	0,22
Сумма	98,25	99,26	99,63	100,07	99,51	100,35	99,54

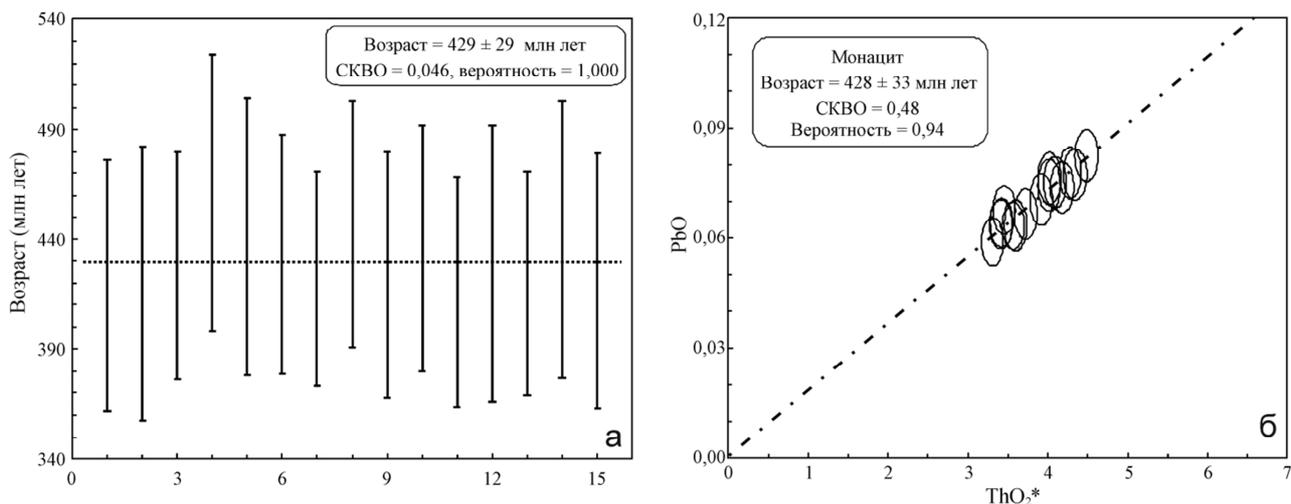


Рис. 3. Вариации значений возраста монацита, рассчитанные по единичным точкам с величиной их средневзвешенного возраста (а) и по совокупности точек диаграммы ThO₂*-PbO (б). Здесь ThO₂* = (ThO₂+UO₂^{экв}), где UO₂^{экв} – содержание урана, пересчитанное в эквивалентное содержание тория, способное произвести то же количество Pb за время жизни системы при равенстве U-Pb и Th-Pb-значений возраста.

Обсуждение результатов

Возраст Асбестовско-Алапаевского офиолитового пояса восточного сектора Среднего Урала, который включает крупные габбро-ультрабазитовые массивы (Алапаевский, Режевской, Баженовский и др.), до сих пор не определен однозначно. До начала 70-х годов возраст этих массивов (понимавшийся тогда, как возраст магматического внедрения) определялся как раннекаменноугольный [14 и др.]. При проведении геолого-съемочных работ на Баженовском офиолитовом комплексе в 1963–1970 гг. был определен возраст пироксенитов (с применением весьма неоднозначного метода оптического двупреломления пироксена [15]), полученная «датировка» 380–400 млн лет позволила очень ориентировочно отнести массив к границе силура и девона. Последующие геолого-съемочные работы Б. А. Шнейдера, Л. Д. Булыкина и других, изучавших и взаимоотношения ультрабазитов с вмещающими вулканогенно-осадочными породами, предположительно «удревнили» возраст Баженовского комплекса до раннего силура [6]. В 1995 году были опубликованы результаты Rb-Sr-датирования родингитов и даек диоритов, секущих ультрабазиты, и получена цифра 949 ± 180 млн лет [16]. Но эта интересная заметка Б.А. Шкуропата с коллегами может рассматриваться лишь как предварительная, поскольку в ней, к сожалению, не приведены ни места отбора проб, ни их петрографическая и геохимическая характеристики (упоминается лишь низкое содержание рубидия и стронция). Кроме того, не указаны погрешности изотопных измерений, равно как не приведена и таблица с самими измерениями.

В последнее время возраст офиолитового пояса оценивается как вендский на основании Sm-Nd датирования пород Алапаевского массива [17], что не принимается многими исследователями. Так, в работах [2, 4, 5, 18 и др.] для всего Асбестовско-Алапаевского пояса ультраосновных массивов делается вывод

о том, что он является фрагментом фундамента девонской островной дуги. Более точный возраст получен по конодонтам из яшм среди базальтов Глинского комплекса (Режевской район), который датируется ранним эйфелем [4]. Таким образом, налицо явное противоречие между полученными (пока еще не очень представительными) датировками габбро-ультрабазитовых массивов и достаточно уверенными палеонтологическими определениями в обрамляющих их вулканических базальтоидных комплексах. Хотя практически всеми исследователями признается, что они составляют единую офиолитовую триаду.

Полученный нами возраст жильных плагиогранитов хорошо сопоставляется с возрастом рядом расположенного Рефтинского габбро-плагиогранитного комплекса, становление которого оценивается в пределах 435–430 млн лет [19 и др.]. С высокой долей вероятности можно утверждать, что дайки плагиогранитов были сгенерированы Рефтинской интрузией. Время метаморфических преобразований этих даек определено нами ранее [20] как нижнепермское – 269 ± 8 млн лет (K-Ar датирование, ИГГ УрО РАН, аналитик Б. А. Калеганов).

Заключение

Таким образом, нами в жильных плагиогранитах, секущих ультрабазиты Баженовского офиолитового комплекса, обнаружен и изучен монацит. По результатам химического датирования данного минерала установлен раннесилурийский возраст этих жильных пород. Полученные новые данные свидетельствуют, что к раннесилурийскому времени Баженовский офиолитовый комплекс (как, по всей видимости, и весь Асбестовско-Алапаевский пояс габбро-ультрабазитовых массивов) не только полностью сформировался как магматическое и уже остывшее образование, но и был выведен на уровень средней-верхней коры. Впоследствии он был интродуцирован кислыми дайками –

апофизами от сформировавшейся рядом Рефтинской габбро-плагиогранитной интрузии. Таким образом, возраст магматической эволюции Баженовского офиолитового комплекса может быть лишь древнее раннесилурийского, а контакты с вмещающими девонскими вулканитами, по всей видимости, везде являются тектоническими.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комплексной программы УрО РАН (проект № 18-5-5-32).

Авторы выражают глубокую благодарность рецензенту за ценные замечания по улучшению данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тектоника Урала / А. В. Пейве [и др.]. – М.: Наука, 1977. – 119 с.
2. Коротеев, В. А. Среднепалеозойский вулканизм восточной зоны Урала / В. А. Коротеев, Т. В. Дианова, Л. Я. Кабанова. – М.: Наука, 1979. – 132 с.
3. Формирование земной коры Урала / С. Н. Иванов [и др.]. – М.: Наука, 1986. – 248 с.
4. Иванов, К. С. Основные черты геологической истории (1,6–0,2 млрд лет) и строения Урала / К. С. Иванов. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 252 с.
5. Пучков, В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении) / В. Н. Пучков. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
6. Баженовское месторождение хризотил-асбеста / К. К. Золотов [и др.]. – М.: Недра, 1985. – 271 с.
7. Минералогия родингитов Баженовского месторождения хризотил-асбеста. – Екатеринбург, УГГГА, 1996. – 96 с.
8. Татаринов, П. М. Материалы к познанию месторождения хризотил-асбеста Баженовского района на Урале / П. М. Татаринов. – Труды Геолкома, 1928. – Вып. 185. – 90 с.
9. Electron microprobe dating of monazite / J.-M. Montel [et al.] // Chem. Geol. – 1996. – V. 131. – P. 37–53.
10. Suzuki, K. Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrain, Northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime / K. Suzuki, M. Adachi // Geochim. Jour. – 1991. – V. 25. – P. 357–376.
11. Изотопное и химическое U-Pb-датирование гранитоидов Западно-Сибирского мегабассейна / К. С. Иванов [и др.] // Доклады АН, 2010. – Т. 433. – № 5. – С. 671–674.
12. Th-U-Pb-возраст редкометалльных гранитных пегматитов в восточном экзоконтакте Адуйского массива (Средний Урал) / В. В. Хиллер [и др.] // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. – Сер.: Геология. – 2015. – № 4. – С. 61–65.
13. Ерохин, Ю. В. Минералогия родингитов Баженовского месторождения (Средний Урал) / Ю. В. Ерохин. – Минералогический альманах, 2017. – Т. 22. – Вып. 3. – 136 с.
14. Пронин, А. А. Краткий очерк геологического строения Режевского района / А. А. Пронин // Труды Горно-геологического института. – Свердловск: УФАН СССР, 1948. – С. 45–62.
15. Кузнецов, Е. А. Метод сравнительной дисперсии двупреломления / Е. А. Кузнецов. – М.: Недра, 1964. – 156 с.
16. Шкуронат, Б. А. Эволюция альпипотипных ультрабазитов по результатам изотопно-геохимического изучения их дайковых комплексов / Б. А. Шкуронат, В. А. Борисова, Л. В. Губеева // Ежегодник – 1994. – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1995. – С. 73–78.
17. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Лист О-41 – Екатеринбург. Объяснительная записка. – СПб: Картофабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 492 с.
18. Коровко, А. В. Корреляция среднепалеозойских вулкано-генных комплексов востока Среднего Урала / А. В. Коровко, К. С. Иванов, В. Н. Смирнов // Тезисы докладов VI Уральского петрографического совещания. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1997. – Ч. 2. – С. 26–29.
19. Результаты изотопного датирования пород Рефтинского габбро-диорит-тоналитового комплекса, восточная зона Среднего Урала / В. Н. Смирнов [и др.] // Литосфера, 2014. – Т. 14. – № 5. – С. 3–18.
20. Ерохин, Ю. В. О стильномелане Баженовского офиолитового комплекса (Средний Урал) / Ю. В. Ерохин, Е. С. Шагалов // Ежегодник – 2003 Института геологии и геохимии. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. – С. 243–247.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

Ерохин Юрий Викторович, ведущий научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук

E-mail: erokhin-yu@yandex.ru

Тел.: 8-950-1942752

Хиллер Вера Витальевна, старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук

E-mail: hilvervit@mail.ru

Тел.: 8-908-9174231

Иванов Кирилл Святославич, зав. лабораторией Региональной геологии и геотектоники, доктор геолого-минералогических наук

E-mail: ivanovks@igg.uran.ru; Тел.: (343)2879053

Institute of Geology and Geochemistry, RAS Ural Branch, Yekaterinburg

Erokhin Yu. V., leading research worker, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

E-mail: erokhin-yu@yandex.ru; Tel.: 8-950-1942752

Khiller V. V., senior research worker, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

E-mail: hilvervit@mail.ru

Tel.: 8-908-9174231

Ivanov K. S., Head of the Laboratory of Regional Geology and Geotectonics, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences

E-mail: ivanovks@igg.uran.ru

Tel.: (343)2879053