

ПЕРВАЯ НАХОДКА ГРИНОКИТА В ПОРОДАХ ШАТАКСКОГО КОМПЛЕКСА (БАШКИРСКИЙ МЕГАНТИКЛИНОРИЙ)

© **С.И. Высоцкий**,
младший научный сотрудник,
Институт геологии,
Уфимский федеральный
исследовательский центр РАН,
ул. Карла Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа,
Российская Федерация

© **С.Г. Ковалев**,
доктор геолого-минералогических наук,
ВРИО директора,
Институт геологии,
Уфимский федеральный
исследовательский центр РАН,
ул. К. Маркса, 16/2,
450077, г. Уфа,
Российская Федерация,
e-mail: kovalev@ufaras.ru

В статье приводятся материалы по первой находке гринокита (CdS) – редкого сульфида в вулканогенно-осадочных отложениях Шатакского комплекса. Комплекс представляет собой стратифицированную вулканогенно-осадочную ассоциацию, залегающую в основании среднерифейского разреза Башкирского мегантиклинория. Осадочные породы комплекса слагают около 75% его объема и представлены преимущественно грубозернистыми разностями: конгломератами и песчаниками. Магматические породы Шатакского комплекса представлены пикритами, базальтами и риолитами.

Изученная сульфидная минерализация в породах Шатакского комплекса присутствует на разных горизонтах разрезов и в различных типах пород. Здесь установлены: пирит, галенит, халькопирит, борнит, халькозин, молибденит и бетехтинит. Гринокит был обнаружен в терригенных породах кузьелгинской подсвиты в экзоконтактовой зоне с базальтами, где он приурочен к кварцевым зернам, образуя «россыпь» мелких кристаллов слабоограненной (дипирамидальной) и изометричной формы.

Предлагается модель образования сульфидной минерализации в вулканогенно-осадочных породах Шатакского комплекса, которая заключается в следующем. Среднерифейский рифтогенез в пределах западного склона Южного Урала выразился в формировании серии грабенообразных структур (Шатакский комплекс) с максимальным развитием интрузивного магматизма и вулканизма. Процессы дифференциации в промежуточных очагах и контаминациях в их верхних частях привели к образованию магм, различающихся, как по основности (пикриты, базальты, риолиты), так и по геохимическим характеристикам (обогащенность Se, As, Cd, Cu и др.). Осадки и осадочные породы верхних горизонтов коры пронизывались потоками флюидов, содержащих «избыточные» количества ряда элементов, что привело к формированию геохимических аномалий в породах рамы. При последующем гидротермальном метаморфизме сформировалась сульфидная минерализация, концентрировавшаяся в наиболее проницаемых зонах – на контактах различных типов пород либо литологических разновидностей.

Ключевые слова: Шатакский комплекс, конгломераты, базальты, пикриты, риолиты, сульфидная минерализация, гринокит, геохимическая специализация, кадмий, рифтогенез

© S.I. Vysotsky, S.G. Kovalev

FIRST FINDING OF GRINOKITE IN THE ROCKS OF THE SHATAK COMPLEX (BASHKIR MEGANTICLINORIUM)

Institute of Geology,
Federal Ufa Research Centre,
Russian Academy of Sciences,
16/2, ulitsa K. Marksa,
450077, Ufa, Russian Federation,
e-mail: kovalev@ufaras.ru

The article contains data on the first finding of grinokite (CdS), a rare sulphide mineral, in volcano-sedimentary rocks occurred at the base of the Middle Riphean section of the Bashkir Meganticlinorium. Sedimentary rocks of the complex make up about 75% of its volume and are represented mainly by coarse-grained varieties: conglomerates and sandstones. Magmatic rocks of the Shatak complex are represented by picrites, basalts and rhyolites.

Sulphide mineralization studied in the rocks of the Shatak complex is present at different horizons of the sections and in different types of rocks. Minerals identified here include pyrite, galena, chalcopyrite, bornite, chalcocine, molybdenite and betekhtenite. Grinokite was found in terrigenous rocks of the Kuzelga Subformation in the exocontact zone with basalts, where it is confined to quartz grains forming small "scattered" crystals with slightly-curved (dipyramidal) and isometric shapes.

The following model is proposed for the formation of sulphide mineralization in volcano-sedimentary rocks of the Shatak complex. Middle Riphean rifting on the western slope of the Southern Urals manifested itself in the formation of a series of graben-like structures (the Shatak complex) with the maximum development of intrusive magmatism and volcanism. The processes of differentiation in the intermediate foci and contaminations in their upper parts resulted in the formation of magmas that differed both by basicity (picrites, basalts, rhyolites) and geochemical characteristics (enrichment with Se, As, Cd, Cu and other elements). Sediments and sedimentary rocks of the upper horizons of the crust were permeated by fluid flows containing «excess» amounts of some elements. This resulted in the formation of geochemical anomalies in the rocks of the frame. During the subsequent hydrothermal metamorphism, sulphide mineralization was formed concentrating in the most permeable zones – on the contacts of various rock types or lithological varieties.

Key words: Shatak complex, conglomerates, basalts, picrites, rhyolites, sulphide mineralization, grinokite, geochemical specialization, cadmium, rifting

Гриноки́т – сульфид кадмия (CdS), относится к группе редких минералов, не образующих значительных скоплений. Минерал кристаллизуется в гексагональной сингонии, а его кристаллическая структура идентична строению вюртцита (ZnS), с которым он образует ряд смесимости. Обычно гринокит образует землистые массы, порошкообразные налеты, тонкие корки и пленки. Иногда

встречается в виде небольших короткостолбчатых или пирамидальных кристаллов от канареечно-желтой до оранжевой и темно-красной окраски. Как правило, гринокит образуется как вторичный минерал в сульфидных цинковых рудах, где ассоциирует с вюртцитом и сфалеритом. Среди других сопутствующих минералов: пренит, галенит, халькопирит, смитсонит, цеолиты.

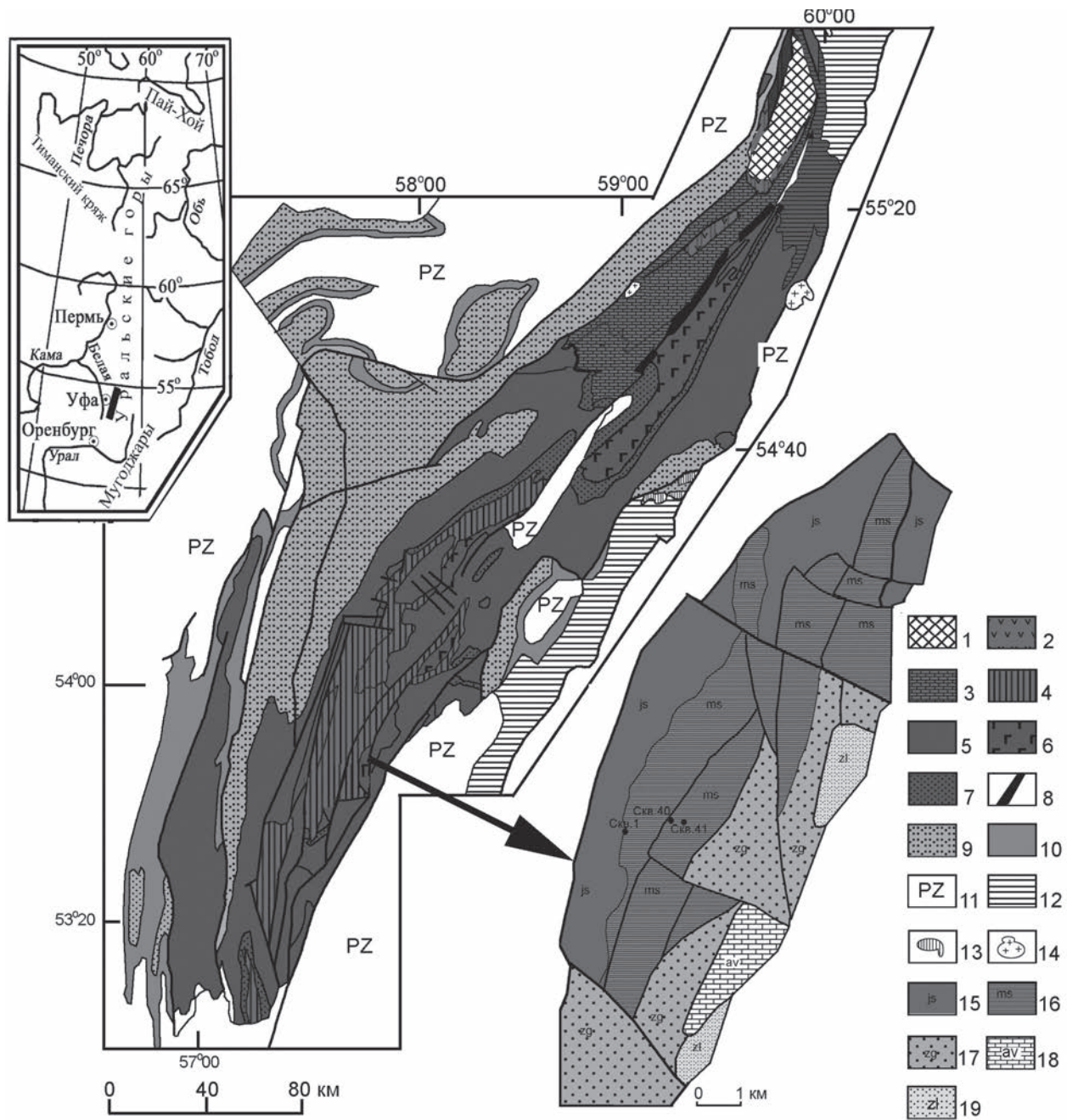


Рис. 1. Геологическая схема западного склона Южного Урала и Шатакского комплекса. 1–14 – схема (1 – тараташский метаморфический комплекс, 2 – айская свита, 3 – саткинская и бакальская свиты нерасчлененные, 4 – большеинзерская, суранская и юшинская свиты нерасчлененные, 5 – терригенные отложения среднего рифея нерасчлененные, 6 – вулканогенно-осадочные образования среднего рифея, 7 – зигальгинская свита, 8 – Кусинско-Копанский комплекс среднего рифея, 9 – верхнерифейские отложения нерасчлененные, 10 – вендские отложения нерасчлененные, 11 – палеозойские отложения, 12 – метаморфические комплексы, 13 – ультраосновные породы, 14 – гранитоиды); 15–19 – врезка (15 – юшинская свита, 16 – машакская свита, 17 – зигальгинская свита, 18 – авзянская свита, 19 – зильмердакская свита).

минералов включает амфибол актинолит-тремолитового ряда, хлорит (пеннин-клинохлор), эпидот, серицит, титанит, лейкоксен и гематит.

Риолиты, встречающиеся в верхней части кузельгинской подсвиты, это светло-серые породы с порфиroidной флюидальной и шпирово-такситовой структурой. Их

основная масса сложена мелкозернистым кварц-полевошпатовым агрегатом, а в порфировидных выделениях присутствует кислый-средний плагиоклаз (андезин-олигоклаз). Темноцветные минералы представлены биотитом и хлоритом (пеннин-клинохлор). В качестве аксессуаров установлены апатит, алланит, монацит, титанит и эпидот.

Также в пределах комплекса встречаются силлы и штокообразные тела с рвущими стратифицированные толщи контактами сложенные габбро и габбро-долеритами. Практически все магматические породы претерпели интенсивный зеленокаменный метаморфизм с развитием локальных зон окварцевания и серицитизации.

3. Сульфидная минерализация

При минералогическом изучении пород Шатакского комплекса были установлены и описаны самородные элементы, железоокисная, сульфидная, селенидная, теллуридная и редкоземельная минерализация [3].

Сульфидная минерализация в породах Шатакского комплекса присутствует на разных горизонтах разрезов и в различных типах пород (рис. 2, а). В частности, здесь установлены: пирит (S – 50,23–53,14; S – 45,02–46,78; Co – 0,46–0,52; Ni – 0,17–0,23; As – 3,65–4,49 мас. %), галенит (S – 12,16; Pb – 84,81; Se – 2,99 мас. %), халькопирит (S – 34,12–35,44; Cu – 34,04–35,45; Fe –

29,42–30,85; Co – 0,39; Au – 0,85 мас. %), борнит (S – 25,49–26,88; Cu – 62,01–63,41; Fe – 10,53–11,33; Ag – 0,5 мас. %), халькозин (S – 18,4–23,28; Cu – 71,31–75,37; Fe – 5,41–6,23 мас. %), молибденит (S – 40,77; Mo – 58,75; Fe – 0,4 мас. %) и бетехтинит (Fe – 3,93; Pb – 26,12; Cu – 47,22; S – 22,5 мас. %).

Гринокит был обнаружен в терригенных породах кузьелгинской подсыты в экзоконтактовой зоне с базальтами. Экзоконтактовые породы имеют зеленовато-серую окраску, обусловленную наличием хлорита, содержат обломки черных алевросланцев размером до 5 см по удлинению, имеющих слабоокатанную, частично остроугольную форму, а также обломки кварца и кварцитов с различной степенью окатанности. Цемент породы представлен серицит-хлорит-кварцевым тонкозернистым агрегатом с редкими выделениями эпидота неправильной формы. Сульфидная минерализация, распространенная, как в экзо-, так и в эндоконтакте, в зоне мощностью около 40 см представлена ассоциацией халькопирит + борнит + халькозин.

Гринокит приурочен к кварцевым зернам, образуя «россыпь» мелких кристаллов слабоограненной (дипирамидальной) и изометричной формы (см. рис. 2, б).

Химический состав минерала близок к теоретическому (табл.), а в качестве примесей в нем установлены цинк и селен.

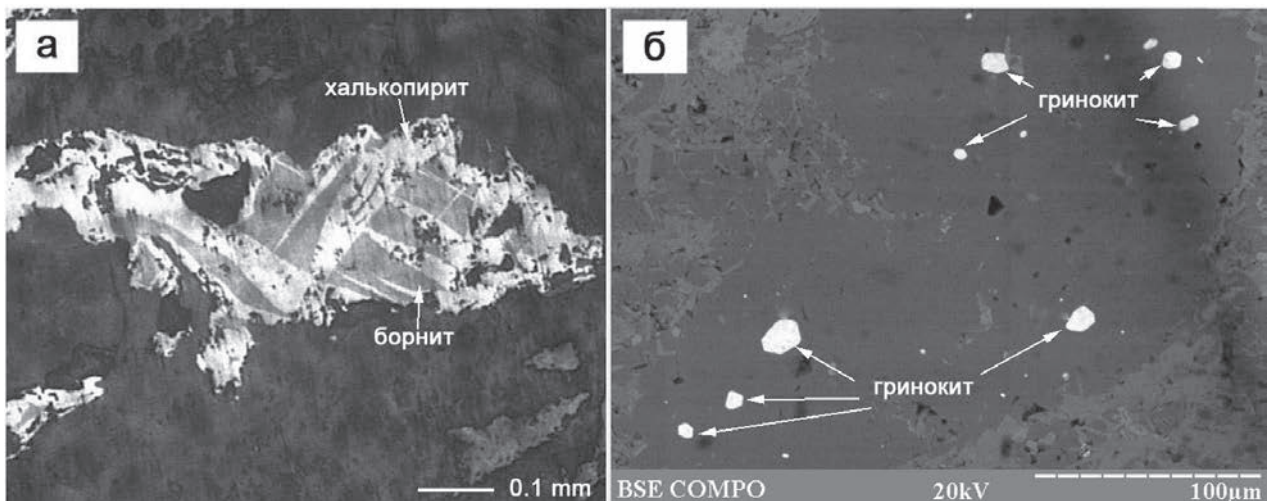


Рис. 2. Микрофотографии сульфидов из пород Шатакского комплекса

ТАБЛИЦА – Химический состав гринокита из пород Шатакского комплекса (мас. %)

№ п/п	S	Cd	Zn	Se	Сумма	Формула
1	21,84	75,31	1,97	0,0	99,12	$(\text{Cd}_{0,97}\text{Zn}_{0,04})_{1,01}\text{S}_{0,99}$
2	21,96	77,32	0,0	0,27	99,55	$\text{Cd}_1(\text{S}_{0,995}\text{Se}_{0,005})_1$
3	22,18	77,77	0,0	0,0	99,95	CdS
4	21,82	77,30	0,0	0,0	99,12	CdS

4. Обсуждение результатов

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что в изученных породах присутствует необычная для охарактеризованных отложений ассоциация сульфидов, одним из членов которой является гринокит. Для объяснения описанной ситуации необходимо рассмотреть геохимическую специализацию вулканогенно-осадочных образований Шатакского комплекса.

Среднее содержание кадмия в осадочных породах составляет 0,8 г/т [4], в то время как рассчитанное среднее содержание Cd для осадочных пород Шатакского комплекса равно 0,06 г/т, т. е. количество кадмия в шатакских терригенных породах оказывается ниже среднего содержания этого элемента в осадочных породах в более чем 10 раз. Для базальтоидов Шатакского комплекса $\text{Cd}_{\text{сред}} = 0,29$ г/т, что превышает среднее содержание кадмия в магматических породах – 0,16 г/т [4] почти в 2 раза.

На рис. 3 изображена бинарная диаграмма, характеризующая содержание в породах Zn и Cd, основных минералообразующих элементов для рассматриваемого минерала.

Анализ распределения точек содержаний позволяет сделать следующие выводы:

– увеличение количества кадмия и цинка в магматических породах, направленное от пикритов к базальтам свидетельствует о том, что накопление этих элементов обусловлено дифференциацией расплава;

– резко пониженное количество кадмия в осадочных породах по сравнению с его содержанием в среднем составе осадочных пород, с одной стороны, и наличие собственных минеральных фаз (гринокита) – с дру-

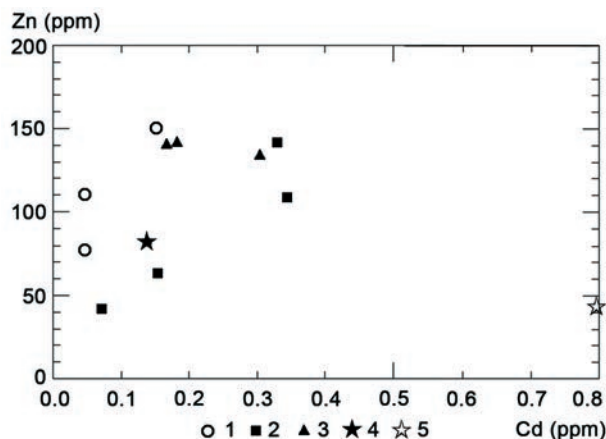


Рис. 3. Диаграмма Zn–Cd для магматических и осадочных пород Шатакского комплекса.

1 – осадочные породы; 2 – пикриты; 3 – базальты; 4 – среднее содержание в магматических породах; 5 – среднее содержание в осадочных породах. 4, 5 – по [4].

гой, свидетельствует об образовании сульфида кадмия в результате воздействия на осадочные породы рамы магматизма.

Упрощенная модель образования сульфидной минерализации в вулканогенно-осадочных породах Шатакского комплекса, учитывающая геодинамические режимы развития Южного Урала может быть представлена в следующем виде. Начало среднерифейского рифтогенеза в пределах западного склона Южного Урала выразилось в формировании серии грабенообразных структур (шатакской и машакской) с максимальным развитием интрузивного магматизма и локально проявленного вулканизма с наличием эффузивных и пирокластических фаций. Процессы дифференциации в промежуточных очагах [5] и контаминация в их верхних частях, способствовали образованию магм, различающихся, как по основности (пикриты, базальты,

риолиты), так и по геохимическим характеристикам (в нашем случае обогащенность Cd, Cu и др. по сравнению с мантийным субстратом). При этом осадки, формирующиеся в рифтогенных депрессиях и осадочные породы рамы пронизывались потоками флюидов, которые содержали «избыточные» количества ряда элементов, что привело к формированию геохимических аномалий в породах верхних частей земной коры, в частности, повышенному количеству кадмия. Последующий метаморфизм, который, вероятнее всего, реализовывался в два этапа (первый – гид-

ротермальный, при образовании вулканогенно-осадочной ассоциации (син-эпигенетический) и второй – стрессовый, связанный с «вендской коллизией» [6]), привел к формированию сульфидной минерализации, которая концентрировалась в наиболее проницаемых зонах – на контактах различных петротипов пород либо литологических разновидностей. Оценка термобарических параметров метаморфизма, рассчитанная по химическому составу светлых слюд (мусковита) свидетельствует, что максимальная температура составляла ~ 460°C, а давление достигало 8 кбар.

ЛИТЕРАТУРА

1. Minerals of the system ZnS–CdS from fumaroles of the Kudriavy volcano, Iturup island, Kuriles, Russia / I.V. Chaplygin, N.N. Mozgova, A. V. Mokhov, E.V. Koporulina, H.J. Bernhardt, I. A. Bryzgalov // The Canadian Mineralogist. 2007. Vol. 45. P. 709–722.

2. Токсичные элементы в колчеданообразующих системах / В.В. Масленников, Н.Р. Аюпова, С.П. Масленникова, Г.А. Третьяков, И.Ю. Мелекесцева, Н.П. Сафина, Е.В. Белогуб, Р.Р. Ларж, Л.В. Данюшевский, А.С. Целуйко, А.Г. Гладков, Ю.Д. Крайнев. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 340 с.

3. Геохимическая специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского

мегантиклинория / С.Г. Ковалев, И.В. Высоцкий, В.Н. Пучков, А.В. Маслов, Э.З. Гареев. Уфа: ДизайнПресс, 2013. 268 с.

4. Григорьев Н.А. О кларковом содержании химических элементов в верхней части континентальной коры // Литосфера. 2002. № 1. С. 61–71.

5. Условия образования магматических пород при плюмовом процессе (на примере западного склона Южного Урала) / С.Г. Ковалев, В.Н. Пучков, С.И. Высоцкий, С.С. Ковалев // Доклады Академии наук. 2017. Т. 475. № 2. С. 171–175.

6. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: Дизайн-ПолиграфСервис, 2010. 280 с.

REFERENCES

1. Chaplygin I.V., Mozgova N.N., Mokhov A.V., Koporulina E.V., Bernhardt H.J., Bryzgalov I.A. Minerals of the system ZnS–CdS from fumaroles of the Kudriavy volcano, Iturup island, Kuriles, Russia. The Canadian Mineralogist, 2007, vol. 45, pp. 709–722.

2. Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Maslennikova S.P., Tretyakov G.A., Melekestseva I.Yu., Safina N.P., Belogub E.V., Larzh R.R., Danyushevskiy L.V., Tseluyko A.S., Gladkov A.G., Kraynev Yu.D. Toksichnye elementy v kolchedanoobrazuyushchikh sistemakh [Toxic elements in pyrite-forming systems]. Ekaterinburg, UrO RAN, 2014, 340 p. (In Russian).

3. Kovalev S.G., Vysotsky I.V., Puchkov V.N., Maslov A.V., Gareev E.Z. Geokhimicheskaya spetsializatsiya strukturno-veshchestvennykh kompleksov Bashkirskogo megantiklinoriya. [Geochemical specialization of structural and compositional complexes of the Bashkir Meganticlinorium]. Ufa, DizaynPress, 2013, 268 p. (In Russian).

4. Grigoryev N.A. O klarkovom sodержanii khimicheskikh elementov v verkhney chasti kontinentalnoy kory [On abundance of chemical elements in the upper continental crust]. Litosfera – Lithosphere, 2002, no. 1, pp. 6–171. (In Russian).

5. Kovalev S.G., Puchkov V.N., Vysotsky S.I., Kovalev S.S. Usloviya obrazovaniya magmaticheskikh porod pri plyumovom protsesse (na primere zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala) [Conditions of formation of igneous rocks in plume magmatism at the example of the western slope of the Southern Urals]. Doklady Earth Sciences, 2017, vol. 475, no 2, pp. 171–175. (In Russian).

6. Puchkov V.N. Geologiya Urala i Priuralya (aktualnyie voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and Ural Region (topical problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, Dizayn-PoligrafServis, 2010, 280 p. (In Russian).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-45-020045.