

О НАХОДКЕ БРАХИОПОДЫ В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГРАНАТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОДАХ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

К. С. Иванов, Г. Н. Бороздина, Е. В. Бурлаков, Ю. В. Ерохин, Д. А. Клейменов, Л. И. Мизенс, В. Н. Смирнов

On the finding of brachiopod in metamorphic garnet-bearing rocks on the Middle Urals

K. S. Ivanov, G. N. Borozdina, E. V. Burlakov, Yu. V. Erokhin, D. A. Kleimenov, L. I. Mizens, V. N. Smirnov

The authors provide paleontological and mineralogical description of the finding of the brachiopod of *Atrypinae* gen. et sp. indet. of the Silurian (Llandovery) – Late Devonian (Frasnian) age in a well-formed garnet-almandine crystal. Field geologist D. L. Suslov was the one who found the brachiopod in high-aluminous gneisses in Verkhovolsky garnet mine, which is a part of the Evgenie-Maximilianovsky (Palkinsky) mineral mines located in the southeastern part of the Verkhisetsky granite batholite, on the territory of the historical-landscape park "Istoki Iseti". The Verkhovolsky garnet mine is located on the southern slope of Pup Mountain, about 6 km west of Ekaterinburg city, on the eastern slope of the Middle Urals. The stock of the Ural Geological Museum stores the sample containing the brachiopod imprint, its measures are $3 \times 2.2 \times 1.6$ cm and it looks like a parallel aggregate of several garnet-almandine crystals. Main habitus forms of the garnet individuals are rhombododecahedron $d\{110\}$ and tetragontrioctahedron $n\{211\}$, the latter forming thin facets of the rhombododecahedron edges. The shell imprint is not in the garnet crystals, but in the base of the sample, among the fine-grained light-brown mass, whose thickness is not more than 2–3 mm. The fine-grained mass previously probably was a carbonate matrix of the brachiopod, and during the growth of the garnet at the border of two heterogeneous media (carbonate and silicate), a local metasomatic process of substituting the garnet aggregate for the primary (carbonate) substance manifested. The article also contains a brief geological sketch of the place of the finding and an overview of information about other similar findings. Chemical U-Th-Pb-dating allowed to determine the age of monazite inclusions in garnet (344 million years).

Keywords: brachiopod; metamorphic rocks; garnet; granites.

Приводится палеонтологическое и минералогическое описание находки отпечатка брахиоподы *Atrypinae* gen. et sp. indet. силурийско (ландовери)-позднедевонского (фран) возраста в хорошо образованном кристалле граната-альмандин. Находка брахиоподы была сделана полевым геологом Д. Л. Сусловым в высокоглиноземистых гнейсах в Верхоловской гранатовой копи, входящей в состав Евгение-Максимильяновских (Палкинских) минеральных копей, расположенных в юго-восточной части Верхисетского гранитного батолита, на территории историко-ландшафтного парка «Истоки Исети». Верхоловская гранатовая копь расположена на южном склоне горы Пуп, примерно в 6 км западнее города Екатеринбурга, на восточном склоне Среднего Урала. Образец, содержащий отпечаток брахиоподы, хранится в фондах Уральского геологического музея, имеет размеры $3 \times 2,2 \times 1,6$ см и представляет собой параллельный сросток нескольких кристаллов граната-альмандин. Основными габитусными формами индивидов граната являются ромбододекаэдр $d\{110\}$ и тетрагонтриоктаэдр $n\{211\}$, причем последний образует тонкие грани на ребрах ромбододекаэдра. Отпечаток раковины находится не в кристаллах граната, а в основании образца, среди тонкозернистой светло-коричневой массы, мощность которой не более 2–3 мм. Тонкозернистая масса, вполне вероятно, ранее представляла собой карбонатную матрицу брахиоподы, и во время роста граната на границе двух разнородных сред (карбонатной и силикатной) реализовался локальный метасоматический процесс замещения первичного (карбонатного) вещества агрегатом граната. В статье приводится также краткий геологический очерк места находки и обзор сведений о других подобных находках. Методом химического U-Th-Pb-датирования установлен возраст включений монашита в гранате (344 млн лет).

Ключевые слова: брахиопода; метаморфические породы; гранат; граниты.

Посвящается памяти геолога Дмитрия Леонидовича Сулова

Об авторе находки Д. Л. Суслове

Необходимо рассказать об авторе этой находки Дмитрии Леонидовиче Сулове. Он родился 17 октября 1949 г. в г. Реж Свердловской области, вскоре семья ветерана Великой Отечественной войны переехала в г. Свердловск. Со школьных лет Дмитрий увлекался геологией, с любовью собирал и систематизировал минералы и горные породы. Этому его обучали в юношеской геологической партии «Глобус» во Дворце пионеров и школьников. После окончания школы Дмитрий поступил в Миасский геологоразведочный техникум, который окончил в 1969 г. После распределения уехал в Хабаровский край, там же отслужил в армии (1969–1971). Затем вернулся к родителям на Урал и поступил на работу в Уральскую геологическую экспедицию, в которой проработал до самой своей преждевременной кончины в 2013 г. В 1980 г. Дмитрий Леонидович заочно окончил Свердловский горный институт.

Талантливый геолог, настоящий товарищ, верный друг и опытный полевик, Дмитрий Леонидович обладал невероятным



Дмитрий Леонидович Сулов

чутьем на поиски руд и редких минералов. О таких говорят, что он фартовый с рождения. Но не только внутреннее чутье, а большей частью знания и опыт помогли Дмитрию Леонидовичу в его больших и маленьких открытиях, которым он радовался с детской непосредственностью. Дмитрий Леонидович был невероятно ответственным специалистом, поэтому ему поручались самые сложные участки работ при геолого-съёмочных работах. Последняя должность Дмитрия Леонидовича в Уральской геолого-съёмочной экспедиции – ведущий геолог Мурзинской геолого-поисковой партии.

С ранних лет Дмитрий Леонидович писал стихи, принимал участие в «Поэтических марафонах» 2006–2011 гг., издал 3 сборника стихов. Его лирический герой сочетает в себе философствующего, раздумчивого, романтического, влюбленного в жизнь и природу, бесшабашного и веселого человека. Сам о себе он написал:

«У моей судьбы каприз:
Бутерброд мой махом вниз.
Ну а я мужик веселый,
Подниму его я с полу».

Задача этой статьи – не дать уйти памяти об этом хорошем человеке и геологе и еще раз показать, что поиски фауны в метаморфических породах хотя и требуют большого умения, удачи, огромных затрат сил, но все же возможны.

Введение

Находки фауны в глубокометаморфизованных породах в мире известны, но они единичны и всегда привлекают большое внимание геологов [1–9, 10–13 и др.]. Например, интересна статья В. Бухера [13], которая являлась сводкой всех известных на тот момент местонахождений фауны в метаморфических породах. Автор приводит изображения и описания условий нахождения и степени сохранности раковин и скелетов, открытых различными исследователями в породах, обладающих высокой степенью метаморфизма. Так в Вермонте (США) в кварц-биотит-мусковитовых сланцах с ортоклазом, олигоклазом и силлиманитом обнаружен отпечаток *Spirifer murchisoni*. Раковина сохранила форму, ребра, следы прикрепления игл, линии роста и другие мелкие детали скульптуры. В подобных слюдястых сланцах девона обнаружены стебли и чашечки морских лилий. В Северных Аппалачах (США, Нью-Гемпшир) в слоях мрамора обнаружены силурийские кораллы, а во вмещающих кварц-хлорит-серицитовых сланцах и гнейсах найдено два отпечатка раковин *Spirifer*. Один из отпечатков обнаружен в метаморфизованной конкреции доломита, залегающей в слюдясто-силлиманитовых сланцах. Другой отпечаток *Spirifer* обнаружен в гнейсах, состоящих (%) из кварца (65), андезин-лабрадора (12), граната (8) и биотита (13), а также других минералов (2) [13].

Этим перечень не заканчивается, так, несколько находок сделано в Альпах и других регионах. Всех исследователей удивляло, что перекристаллизация пород не затрагивала раковины и скелеты организмов и они сохраняли форму и мельчайшие детали скульптуры. Как писал по этому поводу еще в 1890 г. известный исследователь геологии Альп Томас Г. Бонни: «Трудно понять, как белемнит мог сохранить свою форму в то время, как внутри породы произошли молекулярные изменения большой силы» [12].

Органические остатки в метаморфизованных породах восточного склона Урала обнаружены в нескольких местах. По-видимому, первая находка принадлежит Р. Мурчисону [6]. В Миасском районе между Ильменами и Уралтау в сахаровидных известняках, залегающих в кварц-хлоритовых сланцах, были обнаружены криноидеи. По Р. Мурчисону, породы, в которых обнаружена фауна, обладают такой же высокой степенью метаморфизма, как и те, которые он наблюдал вместе с А. Седжвиком в Австрийских Альпах. Также в Миасском районе в тальково-хлоритовых сланцах найдены отпечатки брахиопод *Lingula* sp. indet., *Leptaena* (?) sp. indet., *Schellwienella* sp. indet., *Camarotoechia* sp. indet., *Stromatoporidae* (?) [8]. В Баймакском районе в линзе оруденельных карбонатных пород найдены кораллы *Columnaria vulgaris* Soshk., *Favosites (Pachypora) cervicornis* Blainv., *Stromatopora*, *Amphipora* [11]. Позднее в этих же породах было обнаружено [3] ядро пелециподы *Modiomorpha* cf. *mytiloides* Hall., характерной для живетского яруса. На Северном и Среднем Урале в крупнозернистой магнетитовой руде были обнаружены коралл *Favosites* [7] и гастропода [10]. Этим находки фаунистических остатков в метаморфизованных породах на Урале не ограничиваются. Так, известны описания радиолярий в гранатосодержащих кварцитах, сделанные в 1947 г. Е. А. Кузнецовым и др.

Большое внимание поискам фауны в метаморфических породах Урала уделила д-р геол.-минерал. наук Н. П. Малахова [4, 5 и др.]. К сожалению, большинство описанных ею «фаунистических находок» оказалось (по мнению подавляющего большинства уральских геологов) артефактами или ошибками в интерпретации реально наблюдаемых текстур и других особенностей строения пород, поэтому интерес к фауне в метаморфитах на

Урале был надолго потерян. Фактически он возобновился лишь в 1980-х гг., после начала широкого применения в стратиграфии бескарбонатных толщ Урала конодонтов [1, 2, 9 и др.].

Описываемая в данной статье находка отпечатка брахиоподы в метаморфических породах на Среднем Урале сделана Д. Л. Сусловым в начале 1990-х гг., т. е. уже достаточно давно. Но, по-видимому, она оставалась неизвестной широкой геологической общественности. Во всяком случае, не удалось найти ни одного упоминания о ней в литературе (за исключением очень краткой (менее 100 слов) и неточной информации в газете «Вечерний Свердловск» от 21 июля 1995 г., помещенной под заголовком «Массив помолодел»), причем даже той, которая посвящена именно вопросам возраста этих метаморфических пород [14, 15 и др.].

Краткий геологический очерк

Находка брахиоподы была сделана в высокоглиноземистых гнейсах в Верховловской гранатовой копи, входящей в состав Евгение-Максимилиановских (Палкинских) минеральных копей, расположенных в юго-восточной части Верхисетского гранитного батолита, на территории историко-ландшафтного парка «Истоки Исети» (рис. 1). Минералогия Евгение-Максимилиановских копей, где с конца XIX в. добывались коллекционные камни – гранат, прозрачный зелено-коричневатый эпидот (пушкинит), титанит, апатит и др., – подробно описана А. Н. Карножицким [16]. Минеральные копи приурочены к крупным ксенолитам метаморфических пород, расположенным среди гранитов и гранодиоритов. Метаморфические породы трактуются иногда и как «провесы кровли гранитного массива» [17]. Разнообразие минералогии вызвано присутствием среди ксенолитов различных горных пород – кварцевых диоритов, диоритов, габбро, метапироксенитов, роговиков и скарнов – и неоднократным метаморфизмом. Верховловская копь широко известна любителям камня благодаря скоплению в сланцах крупных кристаллов и сростков пироп-альмадинового граната. Наличие в составе ксеногенных блоков гранат-ставролит-силлиманит-биотитовых кристаллических сланцев и гранатовых гнейсов впервые отмечено И. Н. Бушляковым и И. Д. Соболевым [17], позднее исследование этих пород и условий их формирования продолжено Е. А. Зиньковой [18] и С. В. Прибавкиным с соавторами [19]. Детально состав минералов и метаморфическая история исследованы П. С. Козловым с соавторами [15]. Изучение состава и параметров метаморфизма этих высокоглиноземистых гнейсов позволило отнести их [15] к глубоко полиметаморфизованным островодужным комплексам, подобным Сысертскому, расположенному на юге Среднего Урала (подробнее см. [20, 21 и др.]). Ими [15] также было высказано предположение о более древнем (чем девонский) возрасте сланцев.

Высокоглиноземистые гнейсы обычно имеют неравномерно-полосчатую и гнейсовидную текстуру, связанную с планпараллельной ориентировкой чешуек биотита и неоднородным количественным распределением минералов. Преобладает порфиروبластовая структура, обусловленная крупными (до 2–3 см) кристаллами граната среди тонкозернистой лепидогранобластовой основной массы. Главными породообразующими минералами гнейсов являются полизональный гранат, биотит, силлиманит, кварц, основной плагиоклаз; среди второстепенных отмечаются ставролит, мусковит, кианит, эпидот, циркон, хлорит (детальнее см. [15 и др.]).

Реконструкция протолита гнейсов предполагает их образование по карбонатсодержащим глиноземистым грауваккам или пелит-алевролитовым аргиллитам [14]. Впоследствии осадки претерпели метаморфические преобразования. По химическому составу минералов и последовательности образования минеральных парагенезисов выделены ранний региональный метаморфизм кианит-силлиманитового типа (5,2–4,3 кбар, 660–606 °С) и более поздний наложенный контактовый метаморфизм (3,2–2,2 кбар, 605–566 °С) [15]. Результаты U–Pb (SHRIMP-II) исследований цирконов [14] выявили два возрастных этапа в истории формирования высокоглиноземистых гнейсов. Первый этап (372 ± 2 млн лет) соответствует возрасту метаморфизма амфиболитовой фации и

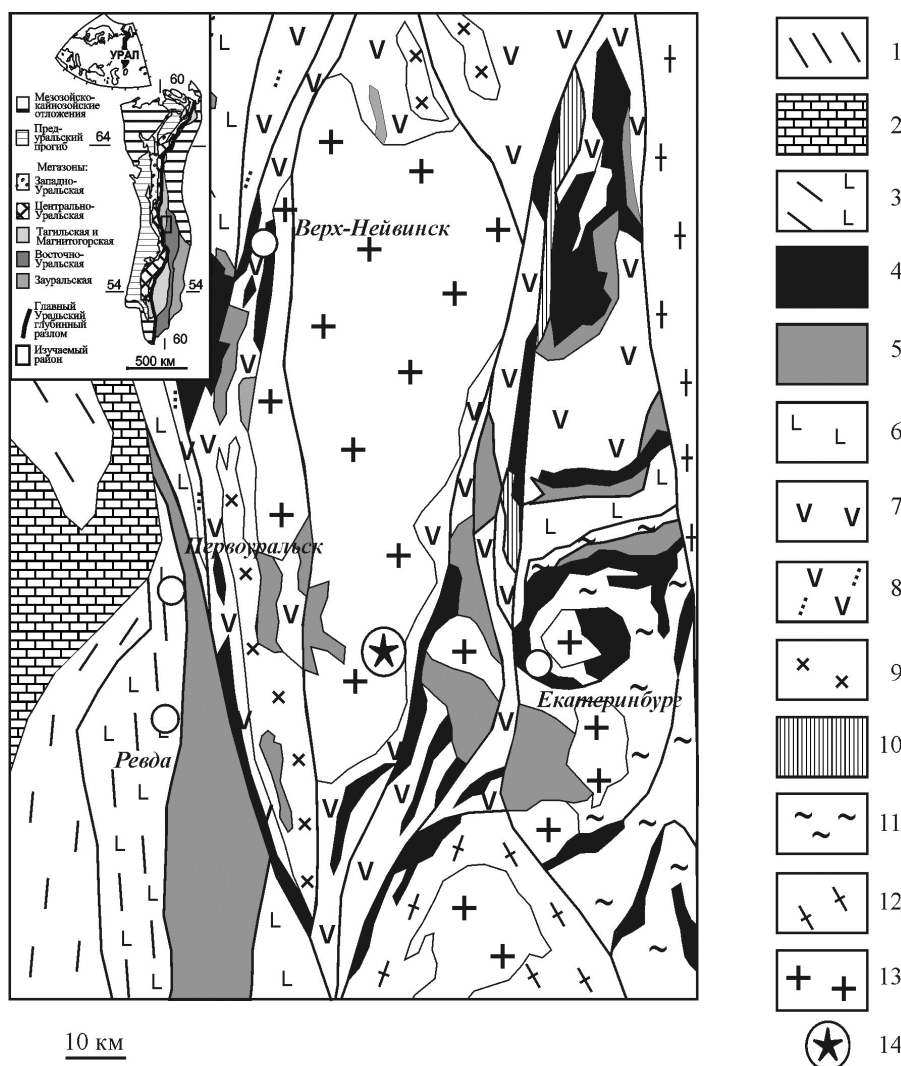


Рисунок 1. Обзорная геологическая схема района расположения исследуемого участка (составлена [15] на основе Государственной геологической карты листа О-40-41 под ред. В. В. Шалагинова, 1997 г.). 1–3 – комплексы окраины Восточно-Европейской платформы: 1 – позднерифейские и вендские филлиты, алевролиты, песчаники, редко – зеленые сланцы по базальтам; 2 – преимущественно карбонатные силурийско-каменноугольные толщи; 3 – ордовикские зеленосланцевые metabазальт-терригенные толщи; 4–11 – палеозойские комплексы Тагильской и Восточно-Уральской мегазон: 4 – альпинотипные ультрамафиты; 5 – габбровые и перидотит-габбровые интрузии; 6 – позднеордовикско-силурийские вулканы Тагильской мегазоны; 7–9 – девонские палеостроудужные комплексы: 7 – вулканогенные толщи; 8 – вулканогенно-осадочные и осадочные толщи; 9 – габбро-диорит-гранитовые серии; 10 – раннекаменноугольные терригенные толщи; 11 – меланжевый комплекс: тектонические блоки и пластины metabазальтов, метадолеритов, метагаббро, серпентинитов и углеродистых сланцев; 12 – амфиболит-гнейсовые комплексы; 13 – каменноугольно-пермские гранодиориты и граниты; 14 – район расположения Верховловской копи.

связан с внедрением тоналит-трондьемитовых серий в окраино-континентальной обстановке. На втором этапе 307 ± 3 млн лет гнейсы претерпели контактовый метаморфизм в момент их захвата плутонами адамеллит-гранитного состава, формировавшимися на ранних эпизодах коллизионного магматизма.

Отметим, что Верхисетский батолит, занимающий обширную территорию (80×30 км) в непосредственной близости от г. Екатеринбург (верховья рек Нейва и Исеть), расположен в пределах Верхисетско-Туринской структурной зоны, которая протягивается параллельно главной вулканогенной зоне Среднего Урала – Тагильской, непосредственно к востоку от нее [20, 22, 23 и др.]. Верхисетский батолит является одним из наиболее крупных и сложных по строению гранитоидных массивов Урала. В пределах этого массива выделяется целый ряд естественных ассоциаций пород, отличающихся по составу, относительному возрасту и степени деформаций, что делает его одним из ключевых объектов при изучении характера эволюции орогенного гранитоидного магматизма Уральского подвижного пояса.

Гранитоиды Верхисетского массива прорывают вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи, образовавшиеся в

возрастном интервале от силура до среднего девона включительно, что свидетельствует о формировании батолита на относительно поздних этапах развития Урала. Результаты U–Pb–SIMS-датирования гранитоидов [24 и др.] свидетельствуют о том, что в составе Верхисетского батолита присутствуют несколько возрастных групп пород, сформировавшихся на разных этапах развития Уральского подвижного пояса. Наиболее ранними породами этого батолита являются кварцевые диориты, слагающие небольшой по размерам блок в его юго-западной части. U–Pb-возраст этих пород 396 ± 5 млн лет свидетельствует о том, что по времени образования они близки девонским вулканогенным и вулканогенно-осадочным толщам островодужного типа, широко развитым в обрамлении Верхисетского батолита, что позволяет считать кварцевые диориты комагматами островодужных вулканитов.

Следующая по времени образования ассоциация пород представлена тоналитами и трондьемитами западно-верхисетского комплекса, которые слагают западную и южную части батолита (Таватуйский и большую часть Чусовского плутона). Возраст этих пород, оцениваемый по результатам U–Pb-датирования в 382–367 млн лет, свидетельствует о том, что их внедрение про-

а

б



Рисунок 2. Фотографии образца с отпечатком брахиоподы с разных ракурсов (фото П. В. Шалаева, ИГГ УрО РАН). Образец подарен Уральскому геологическому музею УГГУ автором находки Д. Л. Сусловым. В настоящее время хранится в отделе общей и исторической геологии и палеонтологии, инвентарный номер 70547.

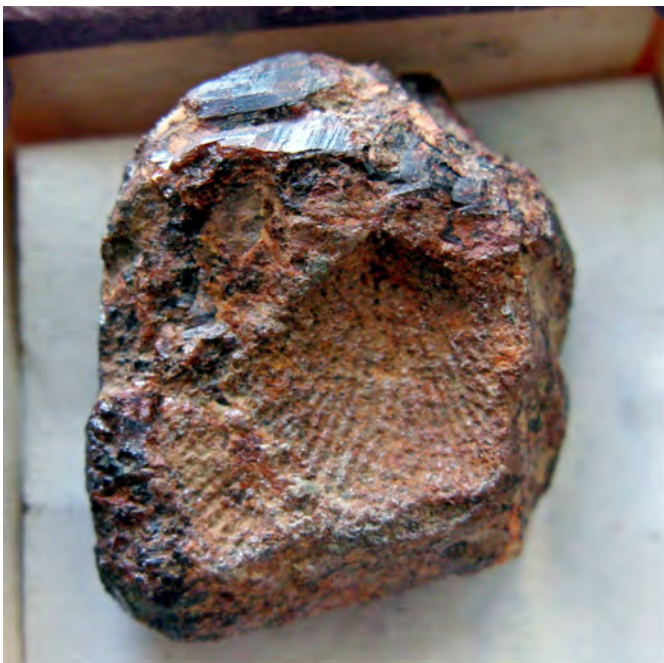


Рисунок 3. Фотография образца с отпечатком брахиоподы (фото В. А. Волосатова, ИГГ УрО РАН).

изошло сразу после завершения процессов девонского островного вулканизма и до начала континентальной коллизии, протекавшей на Среднем Урале с башкирского яруса среднего карбона. Установленная ранее близость этих пород по вещественному составу гранитоидов молодых активных окраин континентов позволяет считать, что их формирование происходило в геодинамической обстановке окраинно-континентального типа.

Преобладающая часть гранитоидов Верхисетского батолита сформировалась на протяжении относительного короткого промежутка времени – от 315 до 300 млн лет назад, который соответствует коллизионной стадии развития Уральского подвижного пояса. Вывод гранитоидов на близповерхностный уровень

произошел на границе перми и триаса, около 250 млн лет назад. Более подробно вещественный состав и геологическая история батолита описаны в работах [24–27 и др.].

Палеонтологическое описание

Первоначальное определение брахиоподы в 1990-х гг. было сделано одним из ведущих уральских палеонтологов М. Г. Брейвелем, работавшим на кафедре палеонтологии СГИ, а потом долгое время начальником палеонтолого-стратиграфической партии УКСЭ, и его дочерью Н. М. Брейвель [28–30 и др.]. В своем заключении Марти Густавович и Наталья Мартиевна написали, что это «отпечаток брюшной створки брахиоподы семейства *Atrypidae* (S-D)».

Ниже приводится более развернутое описание, выполненное Л. И. Мизенс¹ 6 марта 2017 г.

Atrypinae gen. et sp. indet (рис. 2, 3).

Материал. Неполный отпечаток спинной (?) створки брахиоподы (рис. 2, а) на кристалле граната (рис. 2, б).

Описание. Створка среднего размера, слабо вытянутая в ширину, умеренно вздутая. В примакушечной части намечается обособленная узкая ложбинка. В передней половине створки присутствует слабо заметное возвышение. Поверхность створки покрыта тонкими округлыми, сильно дихотомирующими радиальными ребрами, которые пересекают часто расположенные концентрические линии. Слева в передней части образца имеется неполный отпечаток шлейфа, являющийся продолжением скульптуры на створке. Всего у переднего края створки сохранилось около 30 ребер, на шлейфе – 14; количество концентрических линий достигает 11 на расстоянии 5 мм длины.

Размеры, мм: длина – 12,3; ширина > 12,5; толщина – 3,5; длина шлейфа – 4,5.

Сравнение и замечания. Форма описанной створки, наличие бороздки в ее примакушечной части и пологого возвышения на переднем крае, а также атрипидный характер скульптуры и наличие шлейфа позволяют относить рассматриваемый образец к представителям подсемейства *Atrypinae* Gill, 1871 [37]. Неполная сохранность образца не позволяет сделать более точное определение.

Распространение. Подсемейство *Atrypinae* повсеместно известно в силурийских (ландовери)–верхнедевонских (фран) отложениях мира.

¹ Л. И. Мизенс – канд. геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник ИГГ УрО РАН, одна из лучших в мире специалистов по брахиподам силура и девона вообще и атрипидам в частности; автор более 10 монографий на эту тему [31–36] и многих статей (прим. редакции).

Местонахождение. Средний Урал, в 6 км западнее западной окраины г. Екатеринбурга (в 2,89 км по прямой северо-западнее железнодорожной станции Палкино), копь Верхоловская, в 750 м на северо-восток от южной вершины г. Пуп. Образец подарен Уральскому геологическому музею УГУ (ныне хранится в отделе общей и исторической геологии и палеонтологии) нашедшим этот отпечаток брахиоподы сотрудником Уралгеолкома геологом-съемщиком Д. Л. Суловым, инвентарный № 908 (70547), дата поступления 5.07.1995 г.

Таким образом, два (точнее, даже три) высококвалифицированных палеонтолога независимо подтвердили валидность данной находки, в чем, впрочем, каждый и сам легко может убедиться, посмотрев **рис. 2, 3**.

Минералогическое описание

Образец, содержащий отпечаток брахиоподы размером $3 \times 2,2 \times 1,6$ см, представляет собой параллельный сросток нескольких кристаллов граната-альмандина (**рис. 2, б**). Основными габитусными формами индивидов граната являются ромбододекаэдр $d\{110\}$ и тетрагонтриоктаэдр $p\{211\}$, причем последний образует тонкие грани на ребрах ромбододекаэдра. Отблеск от граней блестящий. Окраска альмандина – темно-бордовая, в сколах – темно-красная. Гранат непрозрачный, сильно трещиноват. Отпечаток раковины находится в основании образца, на относительно ровной поверхности. Сам отпечаток находится не в кристаллах граната, а в тонкозернистой светло-коричневой массе, мощность которой не более 2–3 мм. Граница между кристаллами альмандина и тонкозернистой массой четкая, что особенно видно по излому, у граната он раковистый, а у массы – неровный. Поверхность отпечатка неровная, кавернозная, а ребра раковины представлены мелкими, размером до 0,5 мм ориентированными бесцветными кристаллами граната. Интересно, что отблеск от мелких кристаллов в ребрах полностью совпадает с отблеском от граней крупных индивидов альмандина. Из этого следует, что вся тонкозернистая масса представляет собой агрегат граната, хотя, возможно, и не альмандина, а гроссуляра. Кроме кристаллов граната, на поверхности отпечатка раковины отмечаются и мелкие, хорошо окристаллизованные удлиненные зерна черного рудного минерала (возможно, рутила).

Таким образом, визуальное исследование каменного материала говорит о природном строении изученного образца без каких-либо следов механической обработки. В целом тонкозернистая масса, в которой находится отпечаток, особенно по присутствию в ней пустот и хорошо образованных кристаллов, напоминает метасоматическую породу. Вполне вероятно, что в данном случае на границе двух разнородных сред, карбонатной и силикатной, реализовался локальный метасоматический процесс замещения первичного (карбонатного) вещества агрегатов граната. Пустоты в пределах отпечатка возникли из-за того, что структурно «рыхлый» тригональный карбонат замещался более «плотным» кубическим гранатом. Собственно пустоты и обеспечили при ударе молотком разлом кристаллов вдоль отпечатка раковины.

Th–U–Pb-возраст включений монацита в гранате

При изучении полированных шлифов альмандина из Верхоловской гранатовой копи в периферийной части кристаллов были обнаружены мельчайшие включения округлых зерен монацита размером от 5 до 10 мкм. Включения, по всей видимости, являются сингенетичными и одновозрастными гранату, так как подобных зерен не отмечалось в центральной части индивидов альмандина и непосредственно на контакте с вмещающими гнейсами. Химический состав монацита, масс. %: P_2O_5 – 30,65; ThO_2 – 0,14; UO_2 – 1,41; SiO_2 – 0,10; Y_2O_3 – 0,08; Ce_2O_3 – 31,30; La_2O_3 – 14,66; Nd_2O_3 – 14,85; Pr_2O_3 – 3,49; Sm_2O_3 – 2,08; Gd_2O_3 – 0,83; PbO – 0,07; CaO – 0,38; сумма – 100,03. Он получен на микроанализаторе CAMECA SX 100 (ИГГ УрО РАН, аналитик В. В. Хиллер). По химическому составу монацит относится к цериевой разновидности, и для него характерно необычное повышенное содержание урана при практически фоновых количествах тория. Рассчитанный химический возраст включений монацита (по [38]) дает 344 млн лет; примерно в это же время формировались

и кристаллы граната. Интересно, что в работе [14] установлен кристалл акцессорного циркона с похожей датировкой в $339 \pm 4,7$ млн лет, но, видимо, поскольку он был один, его не отнесли ни к одному из двух возрастных этапов в истории формирования высокоглиноземистых гнейсов. По всей видимости, эта история была более сложная и как минимум состояла из трех возрастных этапов. Полученная авторами датировка в 344 млн лет (нижний карбон, визе) показывает, что брахиопода имела более древний возраст, так как раковина обрастает гранатом. Это хорошо соответствует приведенному выше возрасту, основанному на палеонтологическом определении брахиоподы.

ЛИТЕРАТУРА

- Захаров О. А., Пучков В. Н. О тектонической природе Максютковского комплекса зоны Уралтау // Препринт докл. Президиуму УНЦ РАН. Уфа, 1994. 28 с.
- Иванов К. С., Пучков В. Н., Бабенко В. А. Находки конодонтов и граптолитов среди метаморфизованных толщ на Южном Урале // Доклады АН, 1990. Т. 310, № 3. С. 676–679.
- Иванов С. Н., Курицына Г. А., Ходалевиц Н. А. Новые данные о генезисе колчеданных месторождений Урала // Междунар. геол. конгресс. XXI сессия. Докл. сов. геологов, проблема 16. Генетические проблемы руд. М.: Госгеолтехиздат, 1960. С. 100–105.
- Малахова Н. П. Фауна в метаморфических породах Урала. Свердловск: ИГГ Уф АН СССР, 1967. 144 с.
- Малахова Н. П., Овчинников Л. Н. О находке органических остатков в гранитах Среднего Урала // Доклады АН. 1969. Т. 188, № 1. С. 177–179.
- Мурчисон Р., Вернейль Э., Кейзерлинг А. Геологическое описание Европейской России и хребта Уральского // Горный журнал. 1848. Ч. I. Кн. I. С. 1–81; 1848. Ч. II. Кн. IV. С. 1–113; 1848. Ч. III. Кн. VII. С. 1–81; 1848. Ч. IV. Кн. X. С. 1–169; 1848. Ч. V. Кн. XI–XII. С. 171–242.
- Овчинников Л. Н. Псевдоморфоза магнетита по кораллам // Природа. 1955. № 11. С. 113–114.
- Постоев К. И., Безруков Г. Н. Обнаружение остатков фауны брахиопод и криноидов в тальково-хлоритовых породах на Южном Урале // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 5. С. 92–95.
- Прямонос А. П., Степанов А. Е., Бороздина Г. Н. Новые данные о возрасте отложенных бедамельской серии в пределах Манитандырско-Пайпудинского блока (Приполярный Урал) // Уральский геологический журнал. 2000. № 3. С. 77–81.
- Штейнберг Д. С. Горные породы Урала. Сокровищница Уральских гор: справочник-путеводитель по Уральскому геологическому музею. Свердловск: Свердлов. кн. изд-во, 1957. 191 с.
- Щеглова-Бородина О. Н. Определение фауны в серном колчедане Сибайского месторождения на Южном Урале // Тр. ГГИ Уф АН СССР. Вып. 24. С. 169–172.
- Bonney T. G. On the Crystalline Schists and their Relation to the Mesozoic Rocks in the Lepontine Alps // Quarterly Journal of the Geological Society. 1890. Vol. 46. Issue 1–4. P. 187–240.
- Bucher W. H. Fossils in metamorphic rocks: a review // Bull. Geol. Soc. Amer. 1953. Vol. 64, № 3. P. 275–300.
- Зинькова Е. А., Прибавкин С. В. Возраст цирконов из ксенолита метapelитов в гранитоидах Верхисетского массива (Средний Урал) как отражение этапов метаморфизма, связанных с гранитообразованием // Доклады АН. 2016. Т. 466, № 6. С. 699–703.
- Козлов П. С., Лиханов И. И., Петров Г. А. Полиметаморфизм ксенолитов высокоглиноземистых пород Верхисетского массива гранитоидов на Среднем Урале // Литосфера. 2008. № 5. С. 84–98.
- Карножицкий А. Н. Евгение-Максимовские минеральные копи и некоторые другие, новые или малоисследованные месторождения минералов в области Среднего Урала. Екатеринбург: УОЛЕ, 1896. 89 с.
- Бушляков И. Н., Соболев И. Д. Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Верхисетского массива. М.: Наука, 1976. 340 с.
- Зинькова Е. А. Ксенолиты и автолиты в гранитоидах Верх-Исетского батолита // Ежегодник-1997. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 1998. С. 86–91.
- Прибавкин С. В., Пушкарев Е. В., Авдеева А. П. Состав и условия формирования ксенолитов гранатовых гнейсов в гранитоидах Верхисетского массива // Ежегодник-2001. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2002. С. 120–126.
- Иванов К. С. Основные черты геологической истории (1.6–0.2 млрд лет) и строения Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 253 с.
- Echtler H. P., Ivanov K. S., Ronkin Yu. L. et al. The tectono-metamorphic evolution of gneiss complexes in the Middle Urals, Russia: a reappraisal // Tectonophysics. 1997. Vol. 276, № 1–4. P. 229–251.
- Иванов К. С., Смирнов В. Н., Ерохин Ю. В. Тектоника и магматизм коллизионной стадии (на примере Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 133 с.
- Смирнов В. Н., Ферштатер Г. Б., Иванов К. С. Схема тектоно-магматического районирования территории восточного склона Среднего Урала // Литосфера, 2003. № 2. С. 45–56.

24. Смирнов В. Н., Иванов К. С., Ларионов А. Н. Возраст и геодинамические условия формирования Верхисетского батолита, восточный склон Среднего Урала (по результатам U–Pb SIMS-датирования цирконов) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22, № 6. С. 26–44.

25. Смирнов В. Н., Зинькова Е. А. Магматический эпидот в гранитоидах Верхисетского массива (Средний Урал) // Доклады АН. 1993. Т. 329, № 3. С. 332–334.

26. Смирнов В. Н., Иванов К. С. Геодинамические условия формирования гранитоидов Верхисетского батолита (восточный склон Среднего Урала) // Доклады АН. 2013. Т. 451, № 1. С. 65–67.

27. Смирнов В. Н., Иванов К. С., Шокальский С. П., Падерин И. П. Результаты U–Pb-датирования цирконов из гранитоидов Верхисетского и Краснопольского массивов (восточный склон Среднего Урала) // Региональная геология и металлогения. 2011. № 48. С. 50–59.

28. Брейвель М. Г., Брейвель И. А., Богоявленская О. В., Ходалевиц А. Н., Шурыгина М. В., Янет Ф. Е. Кишечнополостные и брахиоподы живецких отложений восточного склона Урала. М.: Недра, 1972. 264 с.

29. Брейвель Н. М., Брейвель И. А. Фаменские и франские брахиоподы на восточном склоне Среднего Урала // Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала: сб. науч. трудов. Екатеринбург: Минприроды РФ, ОАО УГСЭ, 1999. С. 95–104.

30. Памяти Марти Густавовича Брейвеля // Литосфера. 2013. № 3. С. 156–158.

31. Мизенс Л. И. Нижнедевонские и эйфельские атрипиды восточного склона Урала. М.: Наука, 1984. 112 с.

32. Мизенс Л. И., Сапельников В. П. Ребристые силурийские и лоховские атрипиды восточного склона Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. 44 с.

33. Сапельников В. П., Мизенс Л. И. Гладкие силурийские атрипиды восточного склона Среднего и Северного Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. 53 с.

34. Сапельников В. П., Мизенс Л. И. Атлас руководящих видов силурийских брахиопод Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 274 с.

35. Сапельников В. П., Мизенс Л. И. Брахиоподы нижне- и среднедевонских отложений западного склона Среднего Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 275 с.

36. Sapelnikov V. P., Bogoyavlenskaya O. V., Mizens L. I., Shuysky V. P. Silurian and Early Devonian benthic communities of the Ural-Tien Shan region // Boucot A. J., Lawson J. D. (eds.). Paleocommunities – a case study from the Silurian and Lower Devonian // World and Regional Geology. 1999. P. 510–544.

37. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H. Brachiopoda. Revised // Geol. Soc. Amer., Inc., Univ. Kansas. Boulder, Colorado and Lawrence, Kansas, 2002. Vol. 4. P. 921–1688.

38. Montel J.-M., Foret S., Veschambre M., Nicolle C., Provost A. Electron microprobe dating of monazite // Chem. Geol. 1996. Vol. 131. P. 37–53.

REFERENCES

1. Zakharov O. A., Puchkov V. N. 1994, *O tektonicheskoy prirode Maksyutovskogo kompleksa zony Uraltau* [On the tectonic nature of the Maksyutovsky complex in the Uraltau zone]. *Preprint dokl. Prezidiumu UNTs RAN* [Preprint of the reports to the Presidium of the UC RAS], Ufa, 28 p.

2. Ivanov K. S., Puchkov V. N., Babenko V. A. 1990, *Nakhodki konodontov i graptolitov sredi metamorfizovannykh tolshch na Yuzhnom Urale* [Finds of conodonts and graptolites among metamorphosed strata in the Southern Urals]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 310, no. 3, pp. 676–679.

3. Ivanov S. N., Kuritsyna G. A., Khodalevich N. A. 1960, *Novye dannye o genezise kolchedannykh mestorozhdeniy Urala* [New data on the genesis of pyrite deposits in the Urals] *Mezhdunar. geol. kongress. XXI sessiya. Dokl. sov. geologov* [Intern. Geol. Congress. XXI session. Reports of Soviet geologists], Moscow, pp. 100–105.

4. Malakhova N. P. 1967, *Fauna v metamorficheskikh porodakh Urala* [Fauna in metamorphic rocks of the Urals], Sverdlovsk, 144 p.

5. Malakhova N. P., Ovchinnikov L. N. 1969, *O nakhodke organicheskikh ostatkov v granitakh Srednego Urala* [On the discovery of organic remains in the granites of the Middle Urals]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 188, no. 1, pp. 177–179.

6. Murchison R., Verneyl' E., Keyzerling A. 1848, *Geologicheskoe opisaniye Evropeyskoy Rossii i khrebtu Ural'skogo* [Geological description of European Russia and the ridge of the Urals]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], pt. 1, vol. 1, pp. 1–81; pt. 2, vol. 4, pp. 1–113; pt. 3, vol. 7, pp. 1–81; pt. 4, vol. 10, pp. 1–169; 1848. pt. 5, vol. 11–12, pp. 171–242.

7. Ovchinnikov L. N. 1955, *Pseudomorfoza magnetita po korallam* [Magnetite pseudomorph of coral]. *Priroda* [Nature], no. 11, pp. 113–114.

8. Postoev K. I., Bezrukov G. N. 1961, *Obnaruzheniye ostatkov fauny brachiopod i krinoidey v tal'kovo-khloritovykh porodakh na Yuzhnom Urale* [Detection of remains of brachiopod fauna and crinoids in talc-chlorite rocks in the Southern Urals]. *Izv. AN SSSR. Ser. geol.* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geological series], no. 5, pp. 92–95.

9. Pryamonosov A. P., Stepanov A. E., Borozdina G. N. 2000, *Novye dannye o vozraste otlozheniy bedamel'skoy seriy v predelakh Manitandyrsko-Paypudynskogo bloka (Pripolyarnyy Ural)* [New data on the age of depositions of the Bedamel series within the Manitandyr-Paipudinsky block (Subpolar Urals)]. *Ural'skiy geologicheskii zhurnal* [Uralian Geological Journal], no. 3, pp. 77–81.

10. Shteynberg D. S. 1957, *Gornye porody Urala. Sokrovishchnitsa Ural'skikh gor: spravochnik-putevoditel' po Ural'skomu geologicheskomu muzeyu* [Rocks of the Urals. Treasury of the Ural Mountains: Ural Geological Museum guide], Sverdlovsk, 191 p.

11. Shcheglova-Borodina O. N. 1956, *Opreделение fauny v sernom kolchedane*

Sibayskogo mestorozhdeniya na Yuzhnom Urale [Determination of fauna in sulfur pyrite of the Sibai deposit in the Southern Urals]. *Tr. GGI UF AN SSSR* [Proceedings of the Mining Geological Institute of Ufa, USSR Academy of Sciences], no. 24, pp. 169–172.

12. Bonney T. G. 1890, *On the Crystalline Schists and their Relation to the Mesozoic Rocks in the Lepontine Alps*. *Quarterly Journal of the Geological Society*, vol. 46, no. 1–4, pp. 187–240.

13. Bucher W. H. 1953, *Fossils in metamorphic rocks: a review*. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 64, no. 3, pp. 275–300.

14. Zin'kova E. A., Pribavkin S. V. 2016, *Vozrast tsirkonov iz ksenolita metapelitov v granitoidakh Verkhisetskogo massiva (Sredniy Ural) kak otrazheniye etapov metamorfizma, svyazannykh s granitobrazovaniem* [Age of zircons from xenolith metapelites in granitoids of the Upper Massif (Middle Urals) as a reflection of the stages of metamorphism associated with granite formation]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 466, no. 6. pp. 699–703.

15. Kozlov P. S., Likhonov I. I., Petrov G. A. 2008, *Polimetamorfizm ksenolitov vysokoglinozemistykh porod Verkhisetskogo massiva granitoidov na Srednem Urale* [Polymetamorphism of xenoliths of high-alumina rocks of the Verkhisetsky Massif of granitoids in the Middle Urals]. *Litosfera* [Litosfera], no. 5, pp. 84–98.

16. Karnozhitskiy A. N. 1896, *Evgenie-Maksimilianovskie mineral'nye kopi i nekotorye drugie, novye ili maloissledovannyye mestorozhdeniya mineralov v oblasti Srednego Urala* [Evgenie-Maximilianovskiy mineral mines and some other, new or little explored deposits of minerals in the Middle Urals], Ekaterinburg, 89 p.

17. Bushlyakov I. N., Sobolev I. D. 1976, *Petrologiya, mineralogiya i geokhimiya granitoidov Verkhisetskogo massiva* [Petrology, mineralogy and geochemistry of granitoids of the Verkhisetsky Massif], Moscow, 340 p.

18. Zin'kova E. A. 1998, *Ksenolity i avtolity v granitoidakh Verkh-Isetskogo batolita* [Xenoliths and autoliths in the granitoids of the Verkh-Isetsky batholite]. *Ezhegodnik-1997. In-t geologii i geokhimii UrO RAN* [Yearbook-1997. Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS], Ekaterinburg, pp. 86–91.

19. Pribavkin S. V., Pushkarev E. V., Avdeeva A. P. 2002, *Sostav i usloviya formirovaniya ksenolitov granatovykh gneysov v granitoidakh Verkhisetskogo massiva* [Composition and conditions for the formation of xenoliths of garnet gneisses in the granitoids of the Verkhisetsky Massif]. *Ezhegodnik-2001. In-t geologii i geokhimii UrO RAN* [Yearbook-2001. Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS], Ekaterinburg, pp. 120–126.

20. Ivanov K. S. 1998, *Osnovnyye cherty geologicheskoy istorii (1.6–0.2 mlrd let) i stroeniya Urala* [The main features of geological history (1.6–0.2 billion years) and the structure of the Urals], Ekaterinburg, 253 p.

21. Echlter H. P., Ivanov K. S., Ronkin Yu. L. et al. 1997, *The tectono-metamorphic evolution of gneiss complexes in the Middle Urals, Russia: a reappraisal*. *Tectonophysics*, vol. 276, no. 1–4, pp. 229–251.

22. Ivanov K. S., Smirnov V. N., Erokhin Yu. V. 2000, *Tektonika i magmatizm kollizionnoy stadii (na primere Srednego Urala)* [Tectonics and magmatism of the collision stage (on the example of the Middle Urals)], Ekaterinburg, 133 p.

23. Smirnov V. N., Fershtater G. B., Ivanov K. S. 2003, *Skhema tektono-magmaticheskogo rayonirovaniya territorii vostochnogo sklona Srednego Urala* [Scheme of tectonic-magmatic zoning of the territory of the eastern slope of the Middle Urals]. *Litosfera* [Litosfera], no. 2, pp. 45–56.

24. Smirnov V. N., Ivanov K. S., Lariонов A. N. 2014, *Vozrast i geodinamicheskie usloviya formirovaniya Verkhisetskogo batolita, vostochnyy sklon Srednego Urala (po rezul'tatam U–Pb SIMS-datirovaniya tsirkonov)* [Age and geodynamic conditions of the formation of the Upper Batholith, the eastern slope of the Middle Urals (according to the results of U–Pb SIMS-dating of zircons)]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya* [Stratigraphy and Geological Correlation], vol. 22, no. 6, pp. 26–44.

25. Smirnov V. N., Zin'kova E. A. 1993, *Magmaticheskyy epidot v granitoidakh Verkhisetskogo massiva (Sredniy Ural)* [Magmatic epidote in the granitoids of the Verkhisetsky Massif (Middle Urals)]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 329, no. 3, pp. 332–334.

26. Smirnov V. N., Ivanov K. S. 2013, *Geodinamicheskie usloviya formirovaniya granitoidov Verkhisetskogo batolita (vostochnyy sklon Srednego Urala)* [Geodynamic conditions for the formation of granitoids of the Verkhisetsky batholite (eastern slope of the Middle Urals)]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 451, no. 1, pp. 65–67.

27. Smirnov V. N., Ivanov K. S., Shokal'skiy S. P., Paderin I. P. 2011, *Rezul'taty U–Pb-datirovaniya tsirkonov iz granitoidov Verkhisetskogo i Krasnopol'skogo massivov (vostochnyy sklon Srednego Urala)* [Results of U–Pb-dating of zircons from granitoids of the Upper and Krasnopol'sky massifs (eastern slope of the Middle Urals)]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional geology and metallogeny], no. 48, pp. 50–59.

28. Breyvel' M. G., Breyvel' I. A., Bogoyavlenskaya O. V., Khodalevich A. N., Shurygina M. V., Yanet F. E. 1972, *Kishechnopolostnye i brachiopody zhivetskikh otlozheniy vostochnogo sklona Urala* [The intestinal and brachiopods of the living deposits of the eastern slope of the Urals]. Moscow, 264 p.

29. Breyvel' N. M., Breyvel' I. A. 1999, *Famenskie i franskiye brachiopody na vostochnom sklone Srednego Urala* [Famennian and French brachiopods on the eastern slope of the Middle Urals]. *Problemy stratigrafii i paleontologii Urala: sb. nauch. trudov* [Problems of stratigraphy and paleontology of the Urals: coll. sci. works], Ekaterinburg, pp. 95–104.

30. 2013, *Pamyati Marti Gustavovicha Breyveliya* [In memory of Marty Gustavovich Bravel]. *Litosfera* [Litosfera], no. 3, pp. 156–158.

31. Mizens L. I. 1984, *Nizhnedevonskie i eyfel'skie atripidy vostochnogo sklona Urala* [Lower Devonian and Eifelian atrypids of the eastern slope of the Urals],

Moscow, 112 p.

32. Mizens L. I., Sapel'nikov V. P. 1982, *Rebristye siluriyskie i lokhkovskie atripidy vostochnogo sklona Urala* [Ribbed Silurian and Lochian atrypids of the eastern slope of the Urals], Sverdlovsk, 44 p.
33. Sapel'nikov V. P., Mizens L. I. 1982, *Gladkie siluriyskie atripidy vostochnogo sklona Srednego i Severnogo Urala* [Smooth Silurian atrypids of the eastern slope of the Middle and Northern Urals]. Sverdlovsk, 53 p.
34. Sapel'nikov V. P., Mizens L. I. 1981, *Atlas rukovodyashchikh vidov siluriyskikh brakhiopod Urala* [Atlas of the leading species of the Silurian brachiopods of the Urals], Sverdlovsk, 274 p.

35. Sapel'nikov V. P., Mizens L. I. 2000, *Brakhiopody nizhne- i srednedevonskikh otlozheniy zapadnogo sklona Srednego Urala* [Brachiopods of the Lower and Middle Devonian deposits of the western slope of the Middle Urals], Ekaterinburg, 275 p.
36. Sapel'nikov V. P., Bogoyavlenskaya O. V., Mizens L. I., Shuysky V. P. 1999, Silurian and Early Devonian benthic communities of the Ural-Tien Shan region. World and Regional Geology, pp. 510–544.
37. 2002, Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H. Brachiopoda. Revised. Geol. Soc. Amer., Inc., Univ. Kansas. Boulder, vol. 4, pp. 921–1688.
38. Montel J.-M., Foret S., Veschambre M., Nicolle C., Provost A. 1996, Electron microprobe dating of monazite. Chem. Geol. vol. 131, pp. 37–53.

Кирилл Святославич Иванов,

Ivanovks55@ya.ru

Юрий Викторович Ерохин,

erokhin-yu@yandex.ru

Лариса Ивановна Мизенс,

MizensAG@igg.uran.ru

Владимир Николаевич Смирнов,

Smirnov@igg.uran.ru

Институт геологии и геохимии

им. А. Н. Заварицкого УрО РАН

Россия, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Галина Николаевна Бороздина,

borozdina.gn@yandex.ru

ОАО «Уральская геологосъемочная экспедиция»

Россия, Екатеринбург, ул. Вайнера, 55

Евгений Владимирович Бурлаков,

bevgeny2@mail.ru

Дмитрий Алексеевич Клейменов,

dmitry_kleimenov@mail.ru

Уральский государственный горный университет

Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Kirill Svyatoslavich Ivanov,

Ivanovks55@ya.ru

Yuriy Viktorovich Erokhin,

erokhin-yu@yandex.ru

Larisa Ivanovna Mizens,

MizensAG@igg.uran.ru

Vladimir Nikolaevich Smirnov,

Smirnov@igg.uran.ru

Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry

of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Ekaterinburg, Russia

Galina Nikolaevna Borozdina,

borozdina.gn@yandex.ru

JSC "Ural Geological Survey Expedition"

Ekaterinburg, Russia

Evgeniy Vladimirovich Burlakov,

bevgeny2@mail.ru

Dmitriy Alekseevich Kleimenov,

dmitry_kleimenov@mail.ru

Ural State Mining University

Ekaterinburg, Russia