

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ЕНГАНЕПЭ-МАНИТАНЫРДСКОГО РАЙОНА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)



Т. П. Майорова^{1,2}, К. С. Устюгова²

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
mayorova@geo.komisc.ru

²Сыктывкарский госуниверситет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар
zelenika@list.ru

Приведены результаты минералого-геохимических и изотопных исследований руд золотосульфидных проявлений Верхненийяуское-2 (Полярная зона) и Нияхойское-2, зон сульфидизации участка Двойной (хребет Манитанырд) и хребта Енганепэ на Полярном Урале методами рентгеновской микротомографии, электронной микроскопии, рентгеноспектрального (микрозондового), изотопного и ICP-MS-анализов. Установлены размеры, характер распределения и состав золотин в рудах Полярной зоны месторождения Верхненийяуское-2, изотопный состав серы сульфидов основных золоторудных объектов и вмещающих их пород Нияю-Нияхойского рудного узла и хребта Енганепэ. Рассмотрен вопрос об источниках серы сульфидов и некоторых параметрах рудообразования.

Ключевые слова: *месторождения золота, зоны сульфидизации, минералогия и геохимия золота, изотопия серы, Полярный Урал.*

MINERALOGICAL AND ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF GOLD ORE OCCURRENCES IN ENGANEPE-MANITANYRD AREA (POLAR URALS)

T. P. Mayorova^{1,2}, K. S. Ustyugova²

¹Institute of Geology, Komi Science Centre, UB RAS, Syktывkar

²Syktывkar State University named after P. Sorokin, Syktывkar

We present the results of mineralogical, geochemical and isotopic studies of gold-sulphide ore occurrences Verkhneniyayuskoe-2 (Polar zone) and Niyakhoyskoe-2, zones of sulphidation of Dvoynoy area (Manitanyrd Ridge) and Enganepe Ridge in Polar Urals by X-ray microtomography, electron microscopy, X-ray (microprobe), isotopic and ICP-MS-analyses. We determined size, distribution character and composition of gold particles in the ore deposits of Polar Zone Verkhneniyayuskoe-2, isotope composition of sulfur of sulfides in major gold ore objects and their host rocks of Niyayu-Niyakhoysky ore unit and Enganepe Ridge. We considered a question of the sources of sulfur of the sulphides and some parameters of mineralization.

Keywords: *gold deposits, sulphidization zones, mineralogy and geochemistry of gold, sulfur isotopy, Polar Urals.*

Введение

В Енганепэ-Манитанырдском районе Полярного Урала выделяют Нияю-Нияхойский рудный узел, занимающий центральную часть хребта Манитанырд, и золотосодержащие минерализованные зоны в южной части хребта Енганепэ. В Манитанырдском

районе сосредоточены месторождения и проявления золото-кварц-сульфидного типа — Верхненийяуское-1 и -2, Нияхойское-1 и -2 и мелкие рудопоявления (в том числе участок Двойной). Наиболее хорошо изученным является месторождение Верхненийяуское-2 [3], однако и здесь в

2010 г. выявлена новая рудная зона — Полярная, до настоящего времени слабо изученная. На хребте Енганепэ за период 2008—2012 гг. ЗАО «Голд Минералс» установлены минерализованные зоны с самородным золотом [6, 9]. При доизучении золотоносности минерализованных зон и вмещаю-

щих пород Енганепэ-Манитаньрдского района и основных золотопроявлений получены новые данные о минеральном составе руд, золоте, изотопии серы сульфидов, уровне содержания благородных металлов.

Материалы и методы исследования

Объектами нашего исследования являлись различные по природе золотоносные проявления Няю-Няхойского рудного узла – руды Полярной зоны месторождения Верхняяюское-2, зоны сульфидизации участка Двойной (руч. Извилистый) и хребта Енганепэ (участок Правый Изъявож), а также сульфиды всех перечисленных проявлений.

При выполнении работы использовались методы рентгеновской микротомографии, электронной микроскопии, рентгеноспектрального (микронзондового), изотопного и ICP-MS-анализов.

Микротомографические исследования выполнялись в Казанском (Приволжском) федеральном университете на промышленной микротомографической установке v|tome|x s 240 (GE Phoenix X-ray) при напряжении от 110 до 220 kV и силе тока от 200 до 550 mA с пространственным разрешением 68 мкм. Для воссоздания объёмных моделей образцов рентгеновские проекции обрабатывались в ПО datos|x reconstruction. Для визуализации и анализа данных по элементам объёмного изображения использовались ПО VG Studio MAX 2.1 и Avizo Fire 7.1. Электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ проводились в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН на электронном сканирующем микроскопе JSM-6400 с энергетическим рентгеновским спектрометром фирмы Link и в Университете Мишкольца на электронном сканирующем микроскопе фирмы ZEISS. ICP-MS-анализ на благородные металлы выполнен в ЦЛ ВСЕГЕИ, изотопный анализ серы – в лаборатории стабильных изотопов ЦКП ДВГИ ДВО РАН на изотопном масс-спектрометре Finnigan MAT 253 (Thermo-Finnigan, Bremen, Germany) с использованием двойной системы напуска по методике В. А. Гриненко [1].

Результаты и обсуждение

На месторождении Верхняяюское-2 наименее изучена выделенная сравнительно недавно Полярная зона

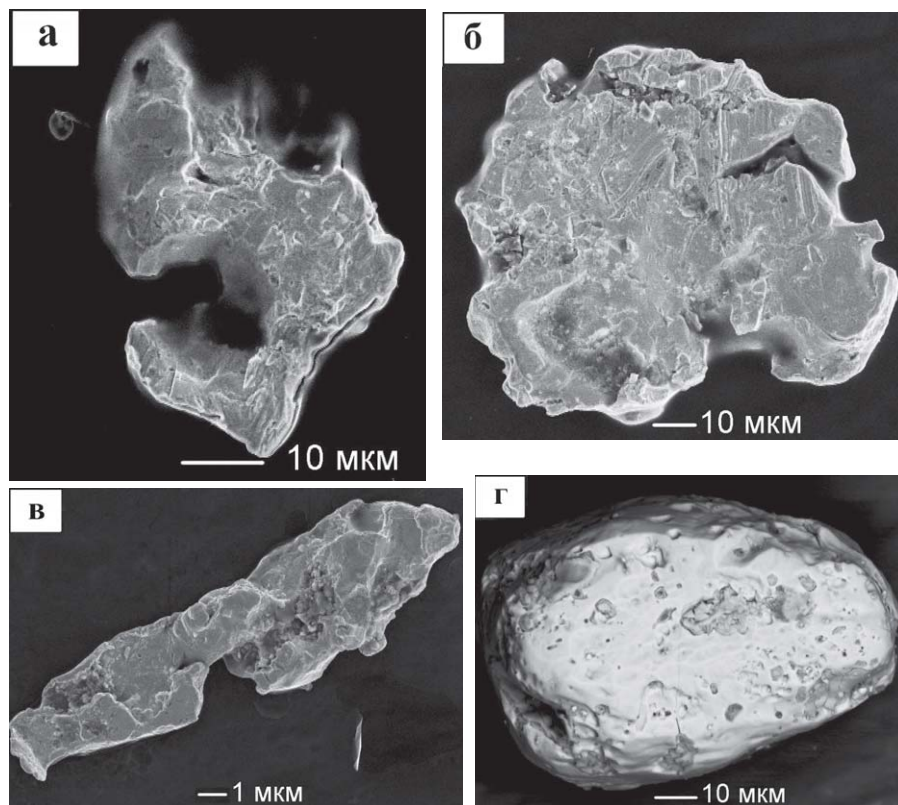


Рис. 1. Морфология золотин: а – крючковатые; б – пластинчатые, в – стержневидные, г – каплевидные

Fig. 1. Morphology of gold particles: a – hamular; б – laminar, в – rod-like, г – drop-like

[2]. Руды этой зоны имеют преимущественно пиритовый состав с подчиненным количеством арсенопирита. Проанализированные нами золотинки (11 знаков), выделенные из рудных протокочек, относятся к тонкому классу крупности. Их размеры близки к 0.1 мм и меньше. Морфология золотин довольно разнообразна, но преобладают пластинчатые выделения с неровными изрезанными краями (рис. 1).

Часто на поверхности золотин наблюдаются многочисленные отпечатки с квадратными сечениями, по-видимому, от минералов кубической формы размером 200–300 нм, на отдельных участках фиксируются признаки коррозии. При микронзондовых исследованиях в золотилах установлены различные включения (рис. 2). Это микровключения породообразующих минералов – серицита и хлорита, реже альбита. Из рудных минералов в виде микровключений часто отмечается сфалерит (рис. 2, а), который образует в том числе и сростки с золотом по его краям. Размер выделений сфалерита около 2 мкм. Из-за малых размеров включе-

ний сфалерита корректно определить его состав без элементов матрицы (золота и серебра) не удастся, но в нем не

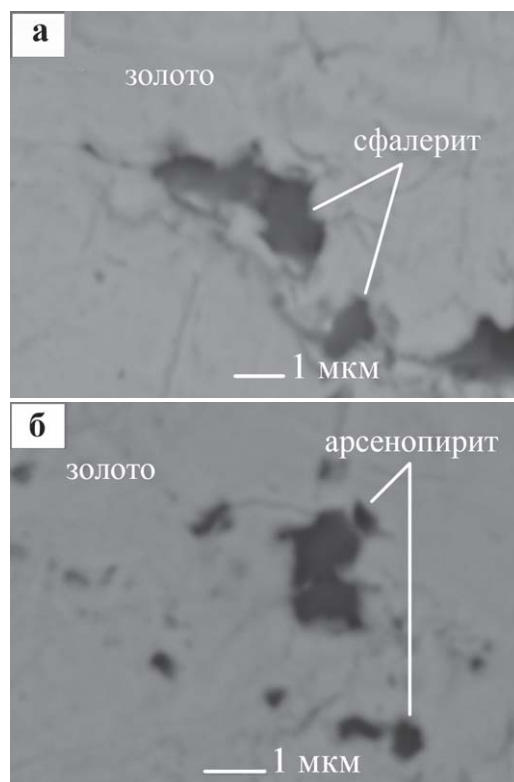


Рис. 2. Субмикронные включения сфалерита (а) и арсенопирита (б) в золоте

Fig. 2. Submicron inclusions of sphalerite (a) and arsenopyrite (б) in gold

обнаружено примеси железа, которая характерна для этого минерала других зон месторождения [3]. В нескольких золотилах установлены микровключения арсенопирита (рис. 2, б).

По данным микрозондового анализа свободных частиц золота, в Полярной зоне (рис. 1) преобладает умеренно высокопробное золото 800—900 ‰ (78 %), небольшая доля приходится на высокопробное 900—1000 ‰ (18 %) и незначительно количество золота средней пробы 700—800 ‰ (4 %). В большинстве случаев установлено понижение пробности золота к краю зерен (рис. 3). Основной примесью в золоте является серебро, периодически отмечается ртуть (ч. в. 10 %) с содержанием около 1 мас. %, примесь меди не установлена. По сравнению с другими участками в пределах Полярной зоны золото месторождения Верхнеиняуское-2 (рис. 4) отличается узким интервалом вариаций пробности и по этому признаку может быть сопоставлено с золотом-II халькопирит-галенит-сфалеритовой стадии минералообразования [3].

По данным электронно-микроскопического и микрозондового анализов, золото присутствует в виде микровключений в пирите и арсенопирите (рис. 5), их размер колеблется от 408 нм до 5—10 мкм, редкие выделения достигают 20 мкм. В одном случае обнаружено наноразмерное выделение золота, приуроченное к включению слюды, вероятно серицита в пирите (рис. 5, а). Исследования проводились на сколах арсенопирит-пиритовой руды. В арсенопирите по составу выделяются 2 группы золотинок, встречающиеся примерно в равных количествах: первая имеет высокую пробность (900—1000 ‰), вторая — среднюю пробность (700—800 ‰). Кроме серебра, других примесей в золоте не обнаружено. Сопоставление состава золота показывает, что, вероятно, в арсенопирит-пиритовых рудах Полярной зоны, так же как и в основной рудной залежи месторождения Верхнеиняуское-2, присутствует золото двух стадий минералообразования: золото-I ранней пирит-арсенопиритовой стадии в пирите и арсенопирите (субмикронное, высокопробное и умеренно высокопробное) и золото-II поздней халькопирит-галенит-сфалеритовой стадии (более крупное, высокопробное и умеренно высокопробное, спорадически с примесью ртути). Вместе с тем более круп-

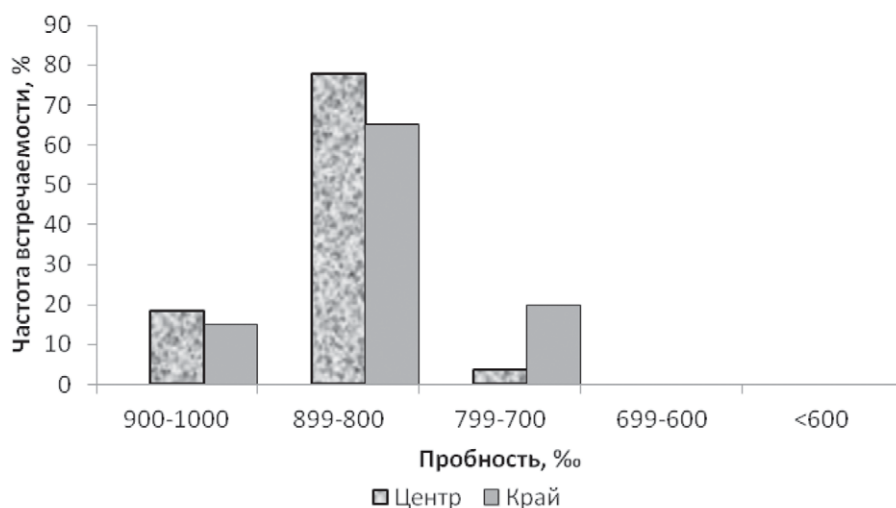


Рис. 3. Распределения пробности золота Полярной зоны

Fig. 3. Distribution of gold fineness of the Polar area

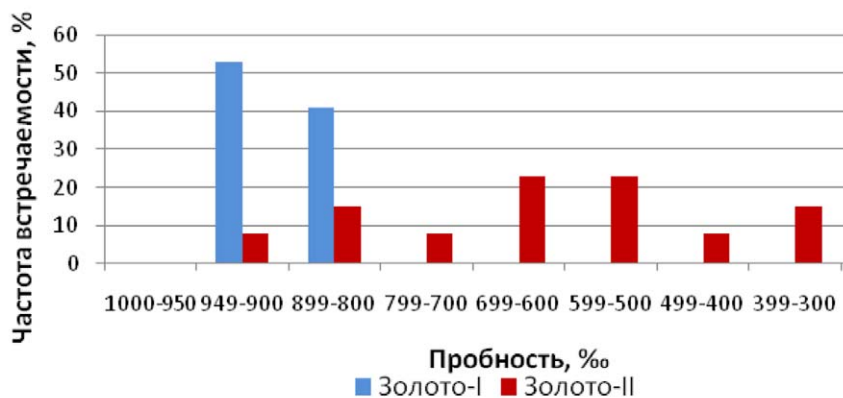


Рис. 4. Распределение пробности золота месторождения Верхнеиняуское-2 [3]

Fig. 4. Distribution of fineness of gold deposits of Verhneniyayuskoe-2 deposit [3]

ного золота (более 0.1 мм) пониженной пробности (менее 700 ‰) и с постоянной примесью ртути, характерного для поздней стадии минералообразования месторождения Верхнеиняуского-2, нашими исследованиями пока не обнаружено. Это может быть обусловлено, с одной стороны, недостаточной изученностью минерального состава руд и золота Полярной зоны, а с другой стороны — слабым проявлением на этом участке поздней стадии минералообразования.

Исследования образцов арсенопирит-пиритовой руды Полярной зоны методом рентгеновской микротомографии [4] позволило не только получить трехмерные проекции распределения золота (рис. 6), но и подсчитать количество частиц золота и их объем. В образце руды (рис. 6, а) обнаружено 5517 частиц золота. Соотношение включений золота к общему объему образца — 0.54 %. Средний объем одной частицы — 0.024 мм³, минимальный объем — 0.0018 мм³, максимальный объем —

2.33 мм³, суммарный объем — 132.59 мм³. Общий объем образца — 24711.02 мм³.

При условии, что частицы золота являются сферическими и их линейные размеры равны диаметру сферы, размеры частиц были рассчитаны по формуле $D = (6V/\pi)^{1/3}$, где D — диаметр, V — объем частицы золота. Расчеты показали, что минимальный размер частицы золота — 0.15 мм, максимальный размер — 1.64 мм (в среднем 0.26 мм). Преобладает мелкое золото фракций 0.1—0.25 мм (63 %) и 0.25—0.5 мм (30 %), более крупные золотины, размером более 0.5 мм, немногочисленны (рис. 7).

Анализ результатов по гранулометрии золота, полученных на настоящий момент традиционными гравиметрическими и электронно-микроскопическими методами и методом рентгеновской микротомографии, показывает их относительную сопоставимость. Однако выбранное нами разрешение при проведении исследований

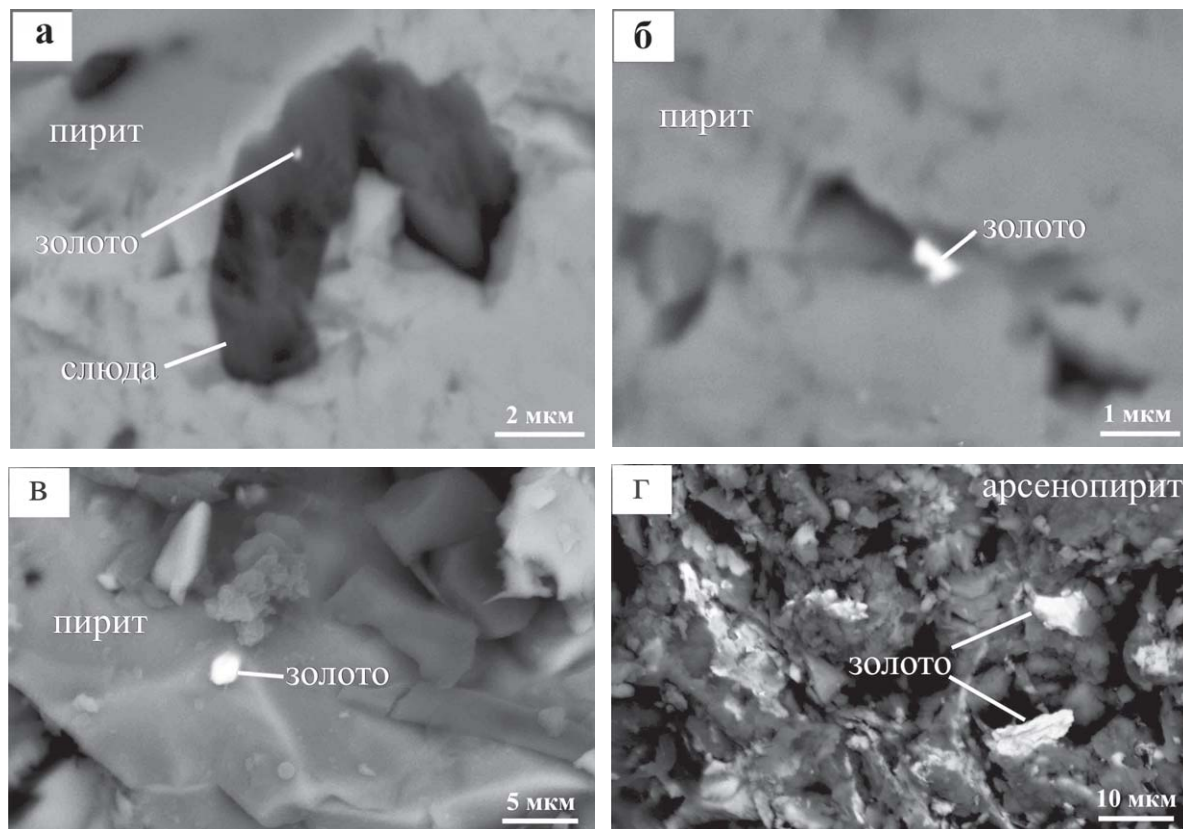


Рис. 5. Субмикронные и микронные выделения золота в пирите (а, б, в) и арсенопирите (г)

Fig. 5. Submicron and micron gold particles in pyrite (а, б, в) and arsenopyrite (г)

недостаточно для фиксации частиц менее 0.1 мм, и для использования данных по объему и количеству частиц золота в руде необходима постановка специальных методических работ.

Для оценки уровня содержания золота и элементов платиновой группы (ЭПГ – Ru, Rh, Ir, Pt, Pd) в минерализованной зоне южной части хребта Енганепэ и участка Двойной (руч. Изви-

листый, Манитанырд) выполнен ICP-MS-анализ пород этих зон. Во всех пробах содержания Ru и Rh, а в половине проб и Ir, ниже чувствительности метода (<0.002 ppm), но в значимых количествах присутствуют Pd, Pt и Au (см. таблицу). Содержание Pd колеблется от 10 до 44 мг/т, Pt – от 7 до 14 мг/т, Au – от 7 до 14 мг/т. Несколько повышенные содержания золота отмечаются в габ-

бро-долеритах участка Двойной и метаэффузиве с примесью пирокластики участка Правый Изъявож (Енганепэ), но в целом метаэффузивные и пирокластические породы слабо различаются между собой.

Полученные содержания золота и палладия, нормированные по земной коре [8], хотя и превышают их кларк почти на порядок (рис. 8), но не явля-

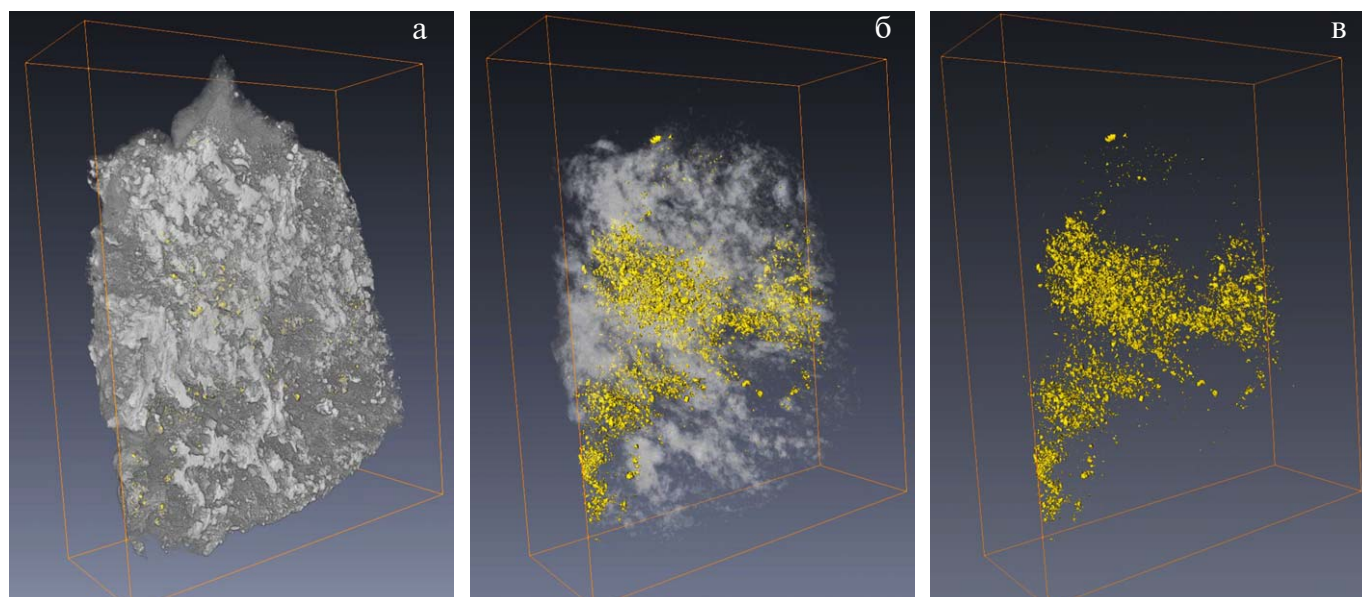


Рис. 6. Трехмерная визуализация пластинки арсенопирит-пиритовой руды (а) и распределение в ней золота (б, в). Разрешение 68 мкм

Fig. 6. Three-dimensional visualization of plate of arsenopyrite-pyrite ore (а) and distribution of gold in it (б, в). Resolution 68 μm

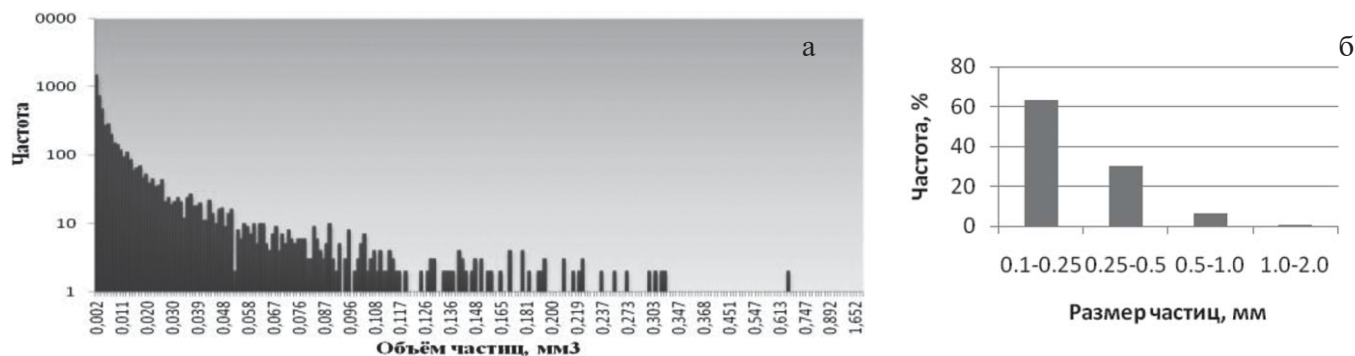


Рис. 7. Распределение частиц золота по объему (а) и размерам (б) в образце арсенопирит-пиритовой руды

Fig. 7. Distribution of gold particles by volume (a) and size (b) in the sample of pyrite-arsenopyrite ore

ются промышленными. Содержания Ir и Pt находятся на уровне кларковых.

Изучение изотопии серы сульфидов золотопроявлений Нияю-Нияхойского района и хребта Енганепэ показывает, что в Полярной зоне месторождения Верхненаяюское-2 с преимущественно золотопиритовыми рудами изотопный состав серы сульфидов (пирит, арсенопирит) лежит в узких пределах вариаций $\delta^{34}\text{S}$ от -1.6 до 2.1 ‰, при этом пирит отличается несколько более облегченной серой (среднее -1.7 ‰), чем арсенопирит (-2.1 ‰). По сравнению с северной и южной зонами этого месторождения вариации $\delta^{34}\text{S}$ пирита Полярной зоны лежат в тех же пределах, а арсенопирит имеет несколько более облегченный состав серы.

На рудопроявлении Нияхойское-2 преобладает золотоарсенопиритовый тип руд с небольшим количеством пирита. В сульфидах этого рудопроявления (арсенопирит, пирит) изотопный состав серы варьирует от -3.9 до -4.7 ‰, причем арсенопирит и пирит по этому признаку не отличаются. По сравнению с месторождением Верхненаяюское-2 в сульфидах рудопроявления Нияхойское-2 наблюдается некоторое облегчение изотопного состава серы. По изотопному составу серы сульфиды рудопроявления Нияхойское-2 занимают среднее положение между Верхненаяюским-2 ($\delta^{34}\text{S} -0.5 \dots -2.6$ ‰) и Верхненаяюским-1 (-7.5 ‰). Таким образом, данные по изотопному составу серы сульфидов основных золоторудных проявлений Нияю-Нияхойского рудного узла еще раз подтверждают их образование в единой гидротермальной системе и наличие зональности.

На всей площади Нияю-Нияхойского рудного района и хребта Енганепэ, включая золотоносную минерализованную зону руч. Правый Изъянов, в вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах верхнего ри-

фея-венда широко развита рассеянная пиритовая минерализация. Изотопный состав серы пирита из туфопесчанника участка Двойной (руч. Извилистый), расположенного севернее рудопроявления Нияхойское-2, в наибольшей степени обогащен легким изотопом ($\delta^{34}\text{S} -10.7$ ‰) из всех полученных нами значений. В метаэффузивах и туфопесчанниках бедамельской серии позднего рифея золотоносной минерализованной зоны хребта Енганепэ изотопный состав серы

вкрапленного пирита варьирует в узких пределах от -7.6 до -8.7 ‰ и сопоставим с пиритом глубокого горизонта проявления Верхненаяюское-1 Нияю-Нияхойского рудного узла.

Таким образом, в Нияю-Нияхойском рудном районе и на хребте Енганепэ изотопный состав серы сульфидов как золоторудных проявлений, так и вмещающих пород характеризуется преобладанием легкого изотопа и отрицательными значениями $\delta^{34}\text{S}$. Вместе с тем если в сульфидах вмещающих по-

Содержание благородных металлов в породах минерализованных зон (ppm)

Noble metal content in rocks of mineralized zones (ppm)

№ пробы	Местонахождение / порода	Pd	Ir	Pt	Au
ПК-42/08	Уч-к Двойной, габбро-долерит	0.032	0.0033	0.011	0.013
51033	Енганепэ, тр. 51, инт. 54.7–64.8 м, туф	0.025	<0.002	0.0087	0.0084
51396	Енганепэ, тр. 51, инт. 421.2–425.6 м, метаэффузив с примесью пирокластиков	0.01	<0.002	0.0037	0.014
51401	Енганепэ, тр. 51, инт. 421.2–425.6 м, метаэффузив	0.044	0.0033	0.0079	0.0065

Примечание. Анализы выполнены методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) в ЦЛ ВСЕГЕИ.

Note. Analyses were made by ICP-MS method in lab of Russian Geological Research institute.

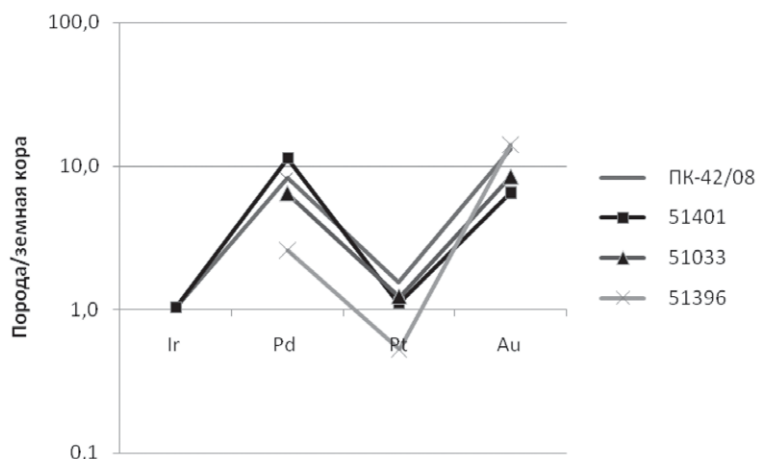


Рис. 8. Распределение благородных металлов в породах минерализованных зон

Fig. 8. Distribution of precious metals in the rocks of mineralized zones



род сильно облегченный состав серы указывает на участие в их образовании источника осадочного происхождения, то в сульфидах золоторудных объектов преобладает сера, по изотопному составу близкая к метеоритному составу [5, 7], что предполагает участие в продуктивном минералообразовании магматической составляющей.

Выводы

1. В арсенопирит-пиритовых рудах Полярной зоны золото присутствует в виде выделений размером около 0.1 мкм, которое можно выделить гравитационными методами, и в виде микровключений в пирите и арсенопирите размерами от 408 нм до 5–10 мкм, редко до 20 мкм. Сопоставление состава золота показывает, что, вероятно, в арсенопирит-пиритовых рудах Полярной зоны, так же, как и в основной рудной залежи месторождения Верхнеиняюское-2, присутствует золото двух стадий минералообразования: золото-I ранней пирит-арсенопиритовой стадии в пирите и арсенопирите (субмикронное, высокопробное и умеренно высокопробное) и золото-II поздней халькопирит-галенит-сфалеритовой стадии (более крупное, высокопробное и умеренно высокопробное, спорадически с примесью ртути). Вместе с тем более крупного золота (более 0.1 мм) пониженной пробности (менее 700 ‰) и постоянной примесью ртути, характерного для поздней стадии минералообразования месторождения Верхнеиняюское-2, нашими исследованиями пока не обнаружено. Это может быть обусловлено, с одной стороны, недостаточной изученностью минерального состава руд и золота Полярной зоны, а с другой стороны – слабым проявлением на этом участке поздней стадии минералообразования.

2. Методом рентгеновской микротомографии получены данные по распределению частиц золота по объему, количеству и относительному содержанию в образце арсенопирит-пиритовой руды. Анализ результатов по гранулометрии золота, полученных на настоящий момент традиционными гравиметрическими и электронно-микроскопическими методами и методом рентгеновской микротомографии, показывает их относительную сопоставимость. Однако выбранное нами разрешение при проведении исследований недостаточно для фиксации частиц менее 0.1 мм, и для ис-

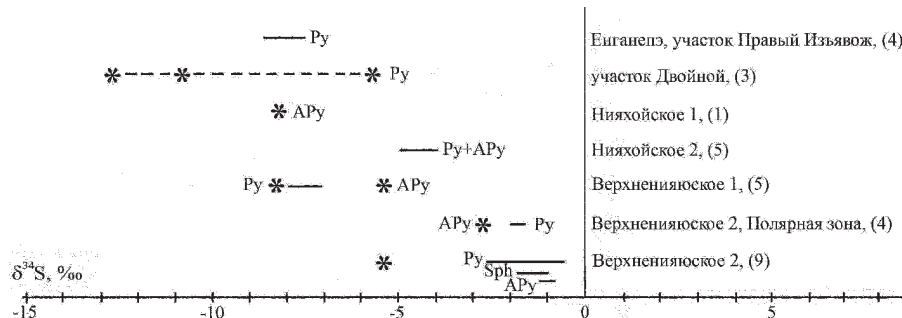


Рис. 9. Вариации изотопного состава серы сульфидов золоторудных проявлений и минерализованных зон Енганепэ-Манитаньрдского района (APy – арсенопирит, Py – пирит, Sph – сфалерит; цифра в скобках – количество проанализированных проб)

Fig. 9. Variations of isotopic composition of sulfur in sulphides from gold deposits and mineralized zones of Enganepe-Manitanyrd area (APy – arsenopyrite, Py – pyrite, Sph – sphalerite; figure in brackets number of analyzed samples)

пользования данных по объему и количеству частиц золота в руде необходима постановка специальных методических работ.

3. В породах минерализованных зон хребтов Енганепэ и Манитаньрд (метаэффузивах, туфах, габбро-долеритах) содержания золота и палладия на порядок превышают кларк, Ir и Pt находятся на уровне кларка.

4. В Нияю-Нияхойском рудном районе и на хребте Енганепэ изотопный состав серы сульфидов как золоторудных проявлений, так и вмещающих пород характеризуется преобладанием легкого изотопа и отрицательными значениями $\delta^{34}\text{S}$. Вместе с тем если в сульфидах вмещающих пород сильно облегченный состав серы может указывать на участие в их образовании источника осадочного происхождения, то в сульфидах золоторудных объектов преобладает сера, по изотопной характеристике близкая к метеоритному составу, что предполагает участие в продуктивном минералообразовании магматической составляющей.

Авторы выражают ЦКП «Геонаука» благодарность за качественно проведенные аналитические работы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Правительства РК № 13-05-98820 p_север_a.

Литература

1. Гриненко В. А. Приготовление двуокиси серы для изотопного анализа // Журн. неорганической химии. 1962. № 7. С. 2578–2582.
2. Краснов А. Н., Шубин А. Г. Особенности типоморфизма золота из россыпей и рудопоявлений западного склона Полярного Урала // Самоходное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образо-

вания месторождений, задачи прикладных исследований: Материалы Всероссийской конференции (с международным участием), посвященной 100-летию Н. В. Петровской. Москва: ИГЕМ РАН, 2010. Т. I. С. 290–291.

3. Кузнецов С. К., Майорова Т. П., Сокерина Н. В., Филиппов В. Н. Золоторудная минерализация Верхнеиняюского месторождения на Полярном Урале // Записки РМО. 2011. Ч. CXXX. № 4. С. 58–71.

4. Майорова Т. П., Стаценко Е. О., Трифионов А. А., Нестеренко Г. В. Рентгеновская микротомография и автоэмиссионная электронная микроскопия – новые возможности изучения высокодисперсных золотых руд // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 11. С. 34–38.

5. Омото Х., Рай Р. О. Изотопы серы и углерода // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М.: Мир, 1982. 622 с.

6. Устюгова К. С., Ефанова Л. И., Майорова Т. П. Предпосылки коренной золотоносности кряжа Енганепэ (Полярный Урал) // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. Т. III. С. 161–164.

7. Фор Г. Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989. 590 с.

8. McDonough W. F. and Sun S.-S. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. V. 120. P. 223–253.

9. Ustyugova K. E. Typomorphic features of gold on the Enganepe Ridge (Polar Urals) // The 6th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the conference IGM, IPPG SB RAS&NSU. Novosibirsk, 2012. С. 131–132.

References

1. Grinenko V. A. *Prigotovlenie dvoukisi sery dlya izotopnogo analiza* (Preparation of sulphur dioxide for isotope analysis). *Zhurnal neorganicheskoi khimii*, 1962, No. 7, pp. 2578—2582.
2. Krasnov A. N., Shubin A. G. *Oso-bennosti tipomorfizma zolota iz rossypei i rudoproyavlenii zapadnogo sklona Polyarnogo Urala* (Features of typomorphism of gold from placers and ore shows of western slope of the Polar Urals). *Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nykh assotsiatsii, usloviya obrazovaniya mestorozhdenii, zadachi prikladnykh issledovaniy*. Proceedings of conference. Moscow, IGM RAN, 2010, V.I, pp. 290—291.
3. Kuznetsov S. K., Mayorova T. P., Sokerina N. V., Filippov V. N. *Zolotorudnaya mineralizatsiya Verkhneniyayuskogo mestorozhdeniya na Polyarnom Urale* (Gold mineralization of Verkhneniyayuskoe deposit in the Polar Urals). *Zapiski RMO*, 2011, Ch. CXXXX, No. 4, pp. 58—71.
4. Mayorova T. P., Statsenko E. O., Trifonov A. A., Nesterenko G. V. *Rentgenovskaya mikrotomografiya i avtoemissionnaya elektronnaya mikroskopiya - novye vozmozhnosti izucheniya vysokodispersnykh zolotykh rud* (X-ray microtomography and autoemission electron microscopy — new possibilities of study of high disperse gold ores). *Vestnik of Institute of geology, Komi SC UB RAS*. Syktyvkar, Geoprint, 2013, No. 11, pp. 34—38.
5. Omoto H., Rai R.O. *Izotopy sery i ugleroda* (Isotopes of sulphur and carbon). *Geokhimiya gidrotermal'nykh rudnykh mestorozhdenii*. Moscow, Mir, 1982, 622 pp.
6. Ustyugova K. S., Efanova L. I., Mayorova T. P. *Predposylki korennoi zolotonosnosti kryazha Enganepe (Polyarnyi Ural)* (Backgrounds of bedrock gold mineralization of Enganepe Ridge (Polar Urals). *Geologiya i mineralnye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii*: Proceedings. V. III. Syktyvkar, Institute of geology, Komi SC UB RAS, 2014, pp. 161—164.
7. For G. *Osnovy izotopnoi geologii* (Basics of isotope geology). Moscow, Mir, 1989, 590 pp.
8. McDonough W. F. and Sun S.-S. The composition of the Earth. *Chemical Geology*. 1995. V. 120, pp. 223—253.
9. Ustyugova K. Typomorphic features of gold on the Enganepe Ridge (Polar Urals). The 6th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the conference IGM, IPPG SB RAS&NSU. Novosibirsk, 2012, pp. 131—132.

Рецензент

К. Г.-М. Н. Е. И. Сорока

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИГНИМБРИТОВ И ПЕМЗОВЫХ ТУФОВ МУТНОВСКО-ГОРЕЛОВСКОЙ ГРУППЫ ВУЛКАНОВ (КАМЧАТКА)



О. М. Топчиева¹, С. В. Москалева¹, А. Е. Сухарев²

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
topchieva2011@mail.ru; svemos@rambled.ru

² Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

В работе рассмотрена минералогия, петрография пемзовых туфов и игнимбритов Мутновско-Гореловской группы вулканов. Проведенные петрографические и минералогические исследования показали, что пемзовые туфы сформировались в результате деятельности вулкана Горелый, а также способствовали оценке степени вулканической опасности, возникающей в ходе подобных извержений.

Ключевые слова: горы Тарбаганья, Пемзовая; вулканы Горелый, Мутновский; Камчатка.

PETROGRAPHIC FEATURES OF IGNIMBRITES AND PUMICE TUFFS MUTNOVSKAYA-GORELOVSKAYA GROUP VOLCANOES OF KAMCHATKA

O. M. Topchieva¹, S. V. Moskalova¹, A. E. Sukharev²

¹ Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

² Institute of Geology of Komi Science Center of UB RAS, Syktyvkar

The paper considers the mineralogy, petrography pumice tuffs and ignimbrites Mutnovsko-Gorelovskaya group of volcanoes. Carried out mineralogical and petrographic studies have shown that the pumice tuffs were formed as a result of the Gorely volcano, as well as contribute to the evaluation of the degree of volcanic hazards arising during such eruptions.

Keywords: mountains Tarbaganaya, Pemzovaya; volcanoes Gorely, Mutnovsky; Kamchatka.

Введение

Цель исследования – выявление геологической приуроченности пемзовых туфов района гор Пемзовая и Тарбаганья к вулканитам вулкана Горелый. Также вероятно, что пемзовые гряды образовались как два самостоятельных покрова вследствие трещинного извержения.

Существуют различные точки зрения авторов на формирование пемзовых туфов района гор Пемзовая и Тарбаганья. Одни исследователи считают, что туфы относятся к производным породам вулкана Мутновский [5–7], другие сопоставляют их с пемзовыми отложениями, которые распространены вокруг кальдеры вулкана Горелый [4], третьи считают, что эти горки – следы

самостоятельных трещинных извержений [11].

Задача исследования – определить петрографические, минералогические и структурно-текстурные особенности пемзовых туфов района гор Пемзовая и Тарбаганья, выявить и сравнить их общие характеристики с пемзовыми отложениями и игнимбритами вулкана Горелый.

Нами были отобраны и проанализированы пемзы, игнимбриты, а также пемзовые туфы, слагающие горы Пемзовая и Тарбаганья.

Исследованные пемзовые отложения и игнимбриты расположены в юго-восточной части полуострова Камчатка (рис. 1).

Рассматриваемые в данной работе пирокластические отложения,

представленные игнимбритами и пемзами, относятся к кальдерному комплексу вулкана Горелый. Шарпоров и др. [11] относили игнимбриты к трещинным извержениям, но большинство исследователей полагают, что они сформировались в период возникновения кальдеры вулкана Горелый вследствие обрушения кровли крупного магматического очага, внедренного в земную кору, как реакция на его опустошение серией грандиозных извержений газонасыщенной дацит-андезитовой магмы. Порожденные ими пемзопавы и высокоподвижные пирокластические потоки сформировали многослойный покров пемзовых туфов и главным образом игнимбритов [2, 6–8, 10].

Методика исследования

Состав минералов определялся в аналитических центрах Института геологии Коми НЦ УрО РАН и ИВиС ДВО РАН на сканирующих электронных микроскопах VEGA 3 TESCAN. Режим съемки — ускоряющее напряжение катода 20 кВ. Ошибка анализа не превышает 2–5 отн. %.

Для минералогических расчетов использовались программа Petro-Explorer, версии 3.1.1.2, созданная Е. В. Кориневским (Институт минералогии УрО РАН) [13].

Результаты исследований

Породы гор Тарбаганья и Пемзовая представлены пемзовыми туфами риодацитового состава. Пемзовые туфы состоят из обломков кристаллокластов, стекла (витрокластов) и литокластов. Характерна обломочная лито-, кристалло-, витрокластическая структура [3]. Цементирующим материалом служит разложенное вулканическое стекло, имеющее выраженную пузыристую текстуру. Количество обломков кристаллокластов в породе 25–35 %. Среди них резко преобладают плагиоклазы (85–90 %), в подчиненном количестве отмечаются ортопироксен (6–10 %) и клинопироксен (1–5 %) (см. таблицу). Размеры кристаллокластов варьируются от 0.2 до 1.5 мм [9].

Плагиоклаз относится по составу к андезину ($An_{38.68}Ab_{61.26}Or_{3.06}$) — лаборатору ($An_{38.68}Ab_{61.26}Or_{3.06}$) (рис. 2; рис. 4, а). Наряду с плагиоклазами присутствуют щелочные полевые шпаты, представленные анортклазом — санидином ($An_{9.19}Ab_{58.09}Or_{32.71}$).

Ортопироксен образует довольно крупные кристаллы шестоватой и таблитчатой формы, по составу соответству-

ет феррогиперстену ($Wo_{1-4}En_{60-69}Fs_{15-39}$) и пижониту ($Wo_{5-9}En_{56-63}Fs_{31-56}$). **Клинопироксен** представлен редкими вкрапленниками шестоватой формы, отвечающими по составу авгиту ($Wo_{39-41} \times En_{41-44}Fs_{14-18}$), наблюдается переходная форма от пижонита к авгиту ($Wo_{20} \times En_{48}Fs_{31}$) (рис. 3; 4, а, б).

Акцессорные минералы представлены преимущественно небольшими вкрапленниками размером 0.01–0.1 мм и редкими мелкими зернами в основной массе, которые по составу соответствуют **апатиту**, **титаномagnetиту**, **ильмениту**. **Титаномagnetит** имеет решетку (структура распада твердых растворов).

Помимо породообразующих минералов в породе присутствуют вторичные зерна хлорита, гидрослюда и кварца, которые заместили плагиоклазы, — это свидетельствует о том, что в районе гор Пемзовая и Тарбаганья была активная гидротермальная деятельность.

Основная масса представлена плагиоклазами и неоднородным девитрофицированным стеклом базальтового риолитового состава (54.64–84.52 вес. % SiO_2).

Литокласты в пемзовых туфах района гор Пемзовая и Тарбаганья представлены тремя видами: пемзами андезитового-риодацитового состава; ксеногенными обломками базальтов и

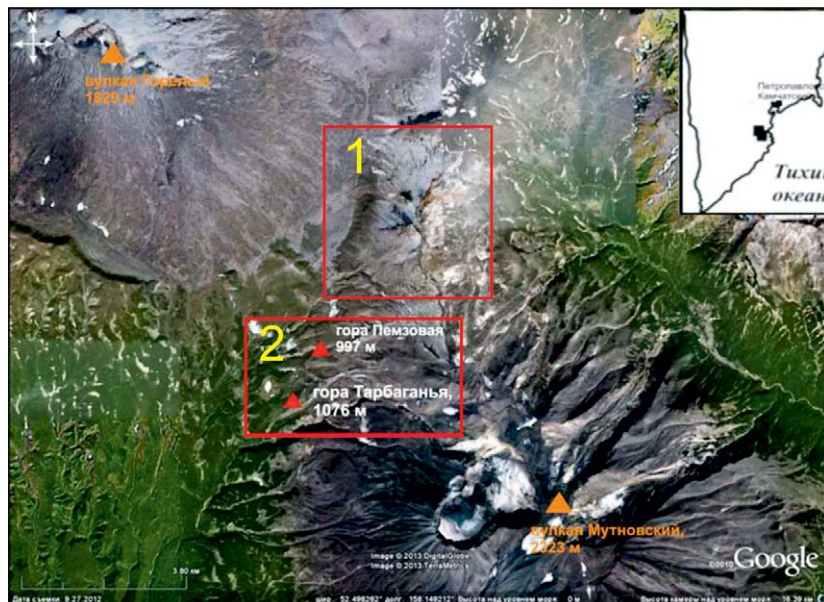


Рис. 1. Карта расположения вулканов Мутновский и Горелый, районы исследований показаны прямоугольной рамкой. Условные обозначения: 1 — места отбора игнимбритов и пемз вулкана Горелый, 2 — места отбора пемзовых туфов

Fig. 1. Map of location of Mutnovsky and Gorely volcanoes, areas of research are shown by rectangular frame. Legend: 1 — sites of picking ignimbrites and pumice of Gorely volcano, 2 — sites of picking pumice tufts

Химический состав проанализированных минералов

Chemical composition of the studied minerals

№ точки	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	En	Fs	Wo	An	Ab	Or
1.1	54.23	0.00	0.64	17.76	1.07	25.07	1.30	0.00	0.00	100.07	68.54	28.9	2.55	—	—	—
1.2	58.2	0.00	25.97	0.50	0.00	0.00	8.02	6.71	0.49	99.89	—	—	—	58.53	38.66	2.81
1.3	52.74	0.84	2.01	8.94	0.50	15.78	19.9	0.46	0.00	101.17	44.6	14.98	40.42	—	—	—
2.1	54.61	0.00	28.82	0.63	0.00	0.00	11.38	4.95	0.29	100.68	—	—	—	43.31	55.02	1.67
2.2	57.75	0.00	26.76	0.65	0.00	0.00	8.64	6.59	0.58	100.97	—	—	—	56.10	40.64	3.24
2.3	54.38	0.29	1.00	15.38	0.49	27.05	1.65	0.00	0.00	100.24	72.85	23.96	3.19	—	—	—
2.4	54.00	0.32	1.35	15.84	0.60	26.66	2.00	0.00	0.00	100.77	71.62	24.52	3.86	—	—	—
2.5	52.11	0.61	2.34	8.98	0.37	15.8	20.02	0.37	0.00	100.6	44.59	14.81	40.6	—	—	—
3.1	54.46	0.32	1.08	17.83	1.21	25.07	1.32	0.00	0.00	101.29	68.29	29.12	2.58	—	—	—
3.2	55.19	0.00	27.03	0.34	0.00	0.00	9.86	5.42	0.28	98.12	—	—	—	49.03	49.29	1.66
3.3	58.60	0.00	27.03	0.57	0.00	0.00	8.81	6.38	0.50	101.89	—	—	—	55.10	42.05	2.84
3.4	51.73	0.65	2.14	8.59	0.60	14.77	20.85	0.44	0.00	99.77	42.30	14.78	42.92	—	—	—

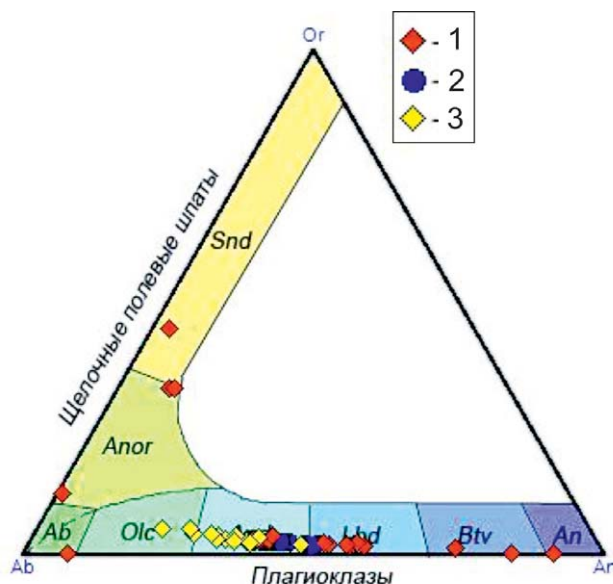


Рис. 2. Диаграмма An-Ab-Or для плагиоклазов исследованных пород. Условные обозначения: 1 – пемзовые туфы гор Тарбаганья и Пемзоя; 2 – пемзы вулкана Горелый; 3 – игнимбриты вулкана Горелый

Fig. 2. An-Ab-Or diagram for plagioclases of the studied rocks. Legend: 1 – pumice tufts of mountains Tarbaganya and Pemzovaya; 2 – pumices of Gorely volcano; 3 – ignimbrites of Gorely volcano

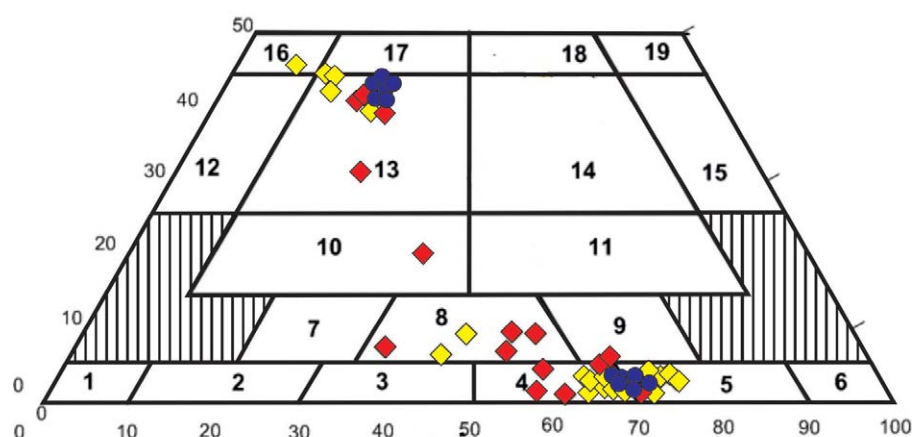


Рис. 3. Диаграмма En-Wo-Fs для пироксенов исследованных пород. Поля составов пироксенов [1]: 1 – энстатит, 2 – бронзит, 3 – гиперстен, 4 – феррогиперстен, 5 – эвлит, 6 – ферросилит, 7 – Mg-пижонит, 8 – пижонит, 9 – Fe-пижонит, 10 – субкальцевый авгит, 11 – субкальцевый ферроавгит, 12 – эндиопсид, 13 – авгит, 14 – ферроавгит, 15 – феррогеденбергит, 16 – диопсид, 17 – салит, 18 – ферросалит, 19 – геденбергит. Штриховкой на диаграмме показаны поля составов, не встречающихся у природных пироксенов. Условные обозначения см. на рис. 2

Fig. 3. En-Wo-Fs diagram for pyroxene of the studied rocks. Pyroxene composition fields according [1]: 1 – enstatite, 2 – bronzite, 3 – hypersthene, 4 – ferrohypersthene, 5 – eulite, 6 – ferrosilite, 7 – Mg-pigeonite, 8 – pigeonite, 9 – Fe-pigeonite, 10 – subcalcium augite, 11 – subcalcium ferroaugite, 12 – endiopsid, 13 – augite, 14 – ferroaugite, 15 – ferrohedenbergite, 16 – diopside, 17 – salite, 18 – ferrosalite, 19 – hedenbergite. Shaded area on the diagram shows the composition fields, which do not occur in nature pyroxenes. See legend on Fig. 2

дациандезитов с гиалопилотакситовой структурой и микролитами плагиоклаза размером 0.2–0.4 мм; гидротермально-измененными дацитами с халцедоновыми секретами размером 15–25 мм.

Игнимбриты вулкана Горелый представляют собой массивные темно-серые или красноватые породы дацитово-

го состава (67.25–68.05 вес. % SiO₂). Они так же, как и пемзовые туфы, состоят из обломков кристаллокластов, вулканического стекла (витрокластов) и литокластов. Структура породы обломочная лито-, кристалло-, витрокластическая. Доля вкрапленников до ~20 %.

Породообразующие минералы представлены плагиоклазами, орто-

пироксенами и клинопироксенами (см. таблицу). Размеры кристаллокластов варьируются от 0.1 до 3 мм.

Плагиоклаз образует кристаллы удлиненно-табличатой формы, относящиеся по составу к ряду олигоклаз – лабрадор (рис. 2; 4, в).

Ортопироксен отмечен в виде мелких кристаллов округлой или шестоватой формы, отвечающих по составу феррогиперстену (Wo₂₋₄En₆₆₋₆₉Fs₂₃₋₃₁), (Wo₇₋₉En₄₃₋₄₅Fs₄₅₋₄₉) и эвлиту (Wo₂₋₃×En₇₀₋₇₂Fs₂₃₋₂₇). **Клинопироксен** отмечен в виде редких вкрапленников шестоватой формы, отвечающих по составу авгиту (Wo₃₉₋₄₄En₃₅₋₄₄Fs₁₅₋₂₀) и диопсиду (Wo₄₅En₃₀Fs₂₄) (рис. 3; 4, в).

Акцессорные минералы представлены титаномagnetитом, ильменитом, апатитом, magnetитом и гематитом. **Титаномagnetит** имеет решетку (структура распада твердых растворов).

Игнимбриты были подвержены процессам гидротермальной деятельности – отмечены зерна хлорита, замещившие минералы плагиоклаза и щелочных полевых шпатов.

Основная масса сложена плагиоклазами и девитрофицированным стеклом дацитового-риолитового состава (66.76–90.09 вес. % SiO₂). Микроструктура основной массы гиалиновая.

Ксеногенные обломки (литокласты) представлены базальтами и андезибазальтами. Их количество колеблется от 5 до 20 % в породах, размеры варьируются от несколько миллиметров до 5 сантиметров.

Внемзах вулкана Горелый присутствуют кристаллы-вкрапленники, между которыми расположена стекловатая основная масса [3]. Породы почти не изменены вторичными процессами; имеются пустоты до 23 мм. Ксеногенные обломки отсутствуют.

Структура пород редкопорфировая, микроструктура основной массы гиалиновая, близкая к флюидальной. Кристаллокласты составляют ~1–5 % от общего объема породы. Размер их варьируется от 1 до 2 мм. Вкрапленники распределены в породах неравномерно, представлены плагиоклазом, орто- и клинопироксенами (см. таблицу).

Кристаллы плагиоклаза идиоморфны, изометричной или табличатой формы. Их минеральный состав аналогичен плагиоклазам из пород гор Тарбаганья и Пемзоя – это андезин (47–37 % мол. An), лабрадор (An_{49,81}×Ab_{49,81}Or_{2,14}), переходные разновидности между андезином и лабрадором (An_{47,62}Ab_{50,31}Or_{2,07}) (рис. 2; 4, г).

Ортопироксен образует крупные кристаллы округлой формы, по составу отвечает феррогиперстену ($Wo_{2-3} \times En_{68-69}Fs_{28-29}$). Клинопироксен представлен редкими вкрапленниками таблитчатой формы, отвечающими по составу авгиту ($Wo_{41-42}En_{42-44}Fs_{14-15}$) (рис. 3; 4, г). В редких случаях кристаллы клинопироксена содержат микровключения сульфида — пирит.

Акцессорные минералы представлены небольшими вкрапленниками размером 0.01—0.3 мм и редкими мелкими зернами в основной массе, которые по составу соответствуют апатиту, титаномagnetиту, ильмениту.

Основная масса пемз вулкана Горелый сложена нераскристаллизованным стеклом риодацитового состава (68.49—70.27 вес. % SiO_2) и редкими, очень мелкими кристаллами рудных минералов.

Обсуждение результатов

Проведенные петрографические исследования пород показали, что пемзовые туфы района гор Пемзвая и Тарбаганья схожи с пирокластическими отложениями вулкана Горелый. Пемзовые туфы и игнимбриты имеют похожую структуру — обломочную лито-, кристалло-, витрокластическую. Набор кристаллов-вкрапленников также схож (плагииоклазы, щелочные полевые шпаты, орто- и клинопироксены).

Пемзовые туфы и игнимбриты имеют ксеногенные обломки, пемзы вулкана Горелый состоят лишь из стекла и минералов-вкрапленников, имеют порфировую структуру. Поэтому можно предположить, что породы гор Пемзвая и Тарбаганья схожи именно с игнимбритами вулкана Горелый и имеют схожий генезис.

Выводы

Исследованные кислые породы вулкана Горелый, пемзовые туфы гор Пемзвая и Тарбаганья имеют идентичный набор минералов-вкрапленников (плагииоклаз + ортопироксен + клинопироксен) и акцессорных минералов (ильменит, титаномagnetит, апатит). Наличие в породах кристаллов ильменита и феррогиперстена позволяет предположить, что их кристаллизация происходила в относительно восстановительных условиях.

Пемзовые туфы сложены из обломков горных пород — базальтов, андезитов и риодацитов. Порообразующие минералы представлены плагииок-

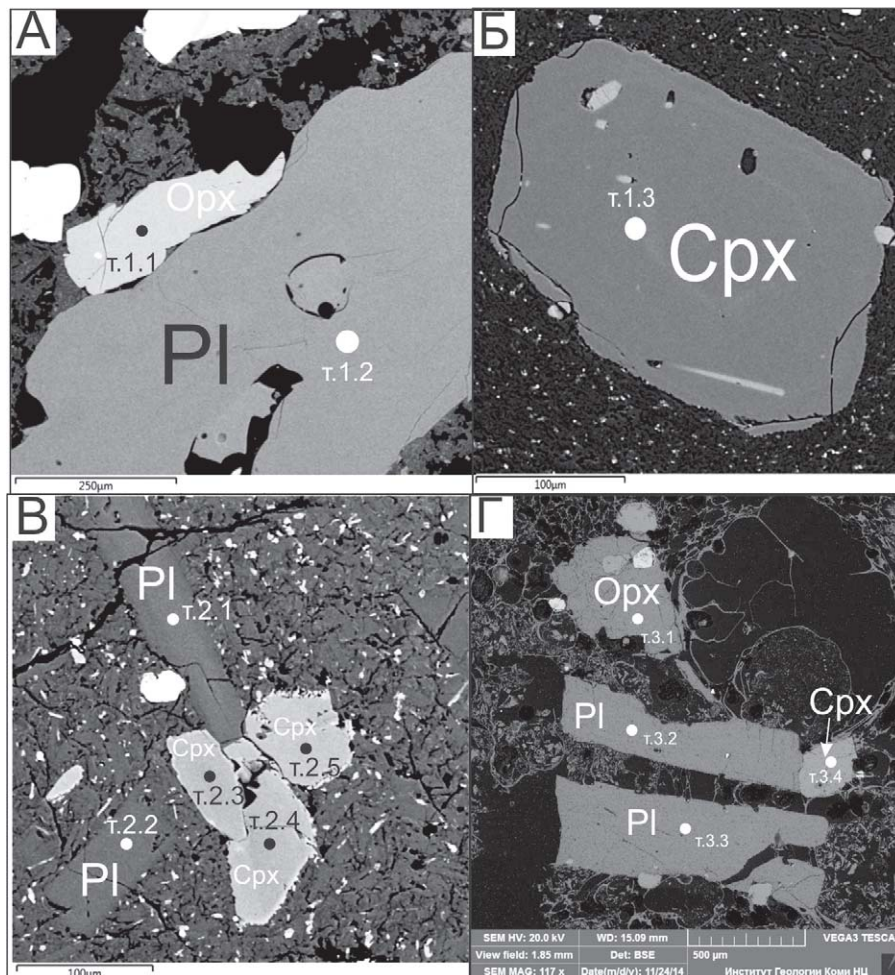


Рис. 4. Вкрапленники плагииоклаза, ортопироксена и клинопироксена в пемзовых туфах гор Пемзвая и Тарбаганья (а, б); игнимбритах (в) и пемзах (г) вулкана Горелый
Fig. 4. Plagioclase, orthopyroxene and clinopyroxene in pumice tufts and pumice of Pemzovaya and Tarbaganya mountains (a, b); ignimbrites (d) and pumices (r) of Gorely volcano

лазами (андезин — лабрадор), пироксенами (феррогиперстен — пижонит; авгит) и щелочными полевыми шпатами (анортотлаз — санидин).

Игнимбриты сложены очень кислым стеклом и различными обломками горных пород. Набор минералов-вкрапленников схож с пемзовыми туфами гор Пемзвая и Тарбаганья: плагииоклазы (олигоклаз — лабрадор), орто- (феррогиперстен — эвлит) и клинопироксены (авгит — диопсид).

Пемзы вулкана Горелый состоят из нераскристаллизованного кислого стекла и фенотристаллов. Ксеногенные обломки отсутствуют. Но минеральный состав схож с порообразующими минералами пемзовых туфов — это плагииоклазы ряда андезин — лабрадор и пироксены ряда феррогиперстен, авгит.

Пемзы, игнимбриты вулкана Горелый и пемзовые туфы гор Пемзвая и Тарбаганья имеют схожий минеральный состав и текстурно-структурные характеристики, что позволяет сделать вывод о том, что они принадлежат к

деятельности одного вулкана — вулкана Горелый.

Однако существует ряд вопросов в формировании пемзовых гор Пемзвая и Тарбаганья. Эти гряды имеют северо-восточное простирание и морфологически относятся к вулкану Мутновский. Именно по этой причине многие исследователи относят пемзовые горки к Мутновскому вулкану. Для решения данной проблемы потребуются дополнительные исследования.

За помощь в проведении исследований авторы выражают благодарность сотрудникам Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН М. Ю. Пузанкову, Г. П. Пономареву, Р. Л. Дуни-Барковскому, а также доктору геол.-мин. наук В. А. Петровскому за полезное обсуждение полученных результатов.

Исследования были проведены по программе научно-исследовательских работ, выполняемых в Камчатском государственном университете имени Витуса Беринга в рамках государственного заказа 2012 г. (регистрационный номер НИР: 5.3799.2011).



Литература

1. Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. М.: Мир, 1965. Т. 2. 405 с.
2. Кирсанов И. Т., Мелекесцев И. В. Вулкан Горелый // Действующие вулканы Камчатки. М: Наука, 1991. Т. 2. С. 292—315.
3. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.
4. Плечова А. А., Портнягин М. В., Пономарева В. В. и др. Петрохимическая характеристика пемз вулканического центра Горелый (Камчатка) как основа для их корреляции с тейфрой из колонок Северо-Западной Пацифики // Материалы XX Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Москва: ГЕОС, 2013. Т. 1. С. 249—253.
5. Маренина Т. Ю. Геолого-петрографический очерк Мутновского вулкана // Труды лаборатории вулканологии. Петропавловск-Камчатский, 1956. Вып. 12. С. 3—52.
6. Селянгин О. Б. К вулканам Мутновский и Горелый: Вулканологический и туристический путеводитель. Петропавловск-Камчатский: Новая Книга. 2009. 108 с.
7. Селянгин О. Б. Новое о вулкане Мутновском: строение, развитие, прогноз // Вулканология и сейсмология. 1993. № 1. С. 17—35.
8. Селянгин О. Б., Пономарева В. В. Строение и развитие Гореловского вулканического центра // Вулканология и сейсмология. 1999. № 2. С. 3—23.
9. Топчиева О. М., Мостовая Т. В. Петрографическая характеристика пород в районах гор Пемзовая и Тарбаганья Мутновско-Гореловской группы вулканов, Камчатка // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 23-й научной конференции. 25—27 ноября 2014 г. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2014. С. 123—129.
10. Чащин А. А., Мартынов Ю. А. Петрология пород вулканов Горелый и Мутновский (Южная Камчатка). Владивосток: Дальнаука, 2011. 270 с.
11. Шаронов В. Н., Симбирев И. Б., Третьяков Г. А. и др. Магматизм и гидротермальные системы Мутновского блока Южной Камчатки. Новосибирск: Наука, 1979. 152 с.
12. Шеймович В. С. Игнимбриты Камчатки М.: Недра, 1979. 179 с.
13. <http://petroexp.ox9.ru/>

References

1. Dir U. A., Haui R. A., Zusman J. *Porodoobrazuyushchie mineral* (Rock forming minerals). Moscow, Mir, V. 2, 1965, 405 pp.
2. Kirsanov I. T., Melekestsev I. V. *Vulkan Gorely* (Gorely volcano). *Deistvuyushchie vulkany Kamchatki*. V. 2, Moscow: Nauka, 1991, pp. 292—315.
3. *Petrograficheskii kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* (Petrographic code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations). Saint-Petersburg: VSEGEI, 2009, 200 pp.
4. Plechova A. A., Portnyagin M. V., Ponomareva V. V. et al. *Petrohimicheskaya harakteristika pemz vulkanicheskogo tsentra Gorelyi (Kamchatka) kak osnova dlya ih korrelyatsii s tefroi iz kolonok severo-zapadnoi Patsifiki* (Petrochemical characteristics of pumices of volcanic center Gorely (Kamchatka) as base for their correlation with tephra from north-western Pacifica). Proceedings of conference, 2013, V. 1, Moscow: GEOS, pp. 249—253.
5. Marenina T. Yu. *Geologo-petrograficheskii ocherk Mutnovskogo vulkana* (Geological and petrographic essay of Mutnovsky volcano). *Trudy laboratorii vulkanologii*, 1956, Ed. 12, Petropavlovsk-Kamchatskii, pp. 3—52.
6. Selyangin O. B. *K vulkanam Mutnovskii i Gorelyi: Vulkanologicheskii i turisticheskii putevoditel* (Volcanological and tourist guidebook to volcanoes Mutnovsky and Gorely). Petropavlovsk-Kamchatskii, Novaya Kniga, 2009, 108 pp.
7. Selyangin O. B. *Novoe o vulkane Mutnovskom: stroenie, razvitie, prognoz* (New data about Mutnovsky volcano: structure, development, prognosis). *Vulkanologiya i seismologiya*, 1993, No. 1, pp. 17—35.
8. Selyangin O. B., Ponomareva V. V. *Stroenie i razvitie Gorelovskogo vulkanicheskogo tsentra* (Structure and development of Gorely volcanic center). *Vulkanologiya i seismologiya*, 1999, No. 2, pp. 3—23.
9. Topchieva O. M., Mostovaya T. V. *Petrograficheskaya harakteristika porod v raionah gor Pemzovaya i Tarbaganya Mutnovsko-Gorelovskoi gruppy vulkanov, Kamchatka. Struktura, veschestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural'skogo segmenta* (Petrographic characteristics of rocks in areas of Pemzovaya and Tarbaganya mountains of Mutnovsky-Gorely volcanic group, Kamchatka. Structure, substance, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment). Proceedings of conference. 25—27 November 2014, Syktyvkar, Institute of Geology of Komi SC UB RAS, pp. 123—129.
10. Chaschin A. A., Martynov Yu. A. *Petrologiya porod vulkanov Gorelyi i Mutnovskii* (Yuzhnaya Kamchatka) (Petrology of rocks of Gorely and Mutnovsky volcanoes). Vladivostok, Dalnauka, 2011, 270 pp.
11. Sharapov V. N., Simbirev I. B., Tretyakov G. A. et al. *Magmatizm i gidrotermal'nye sistemy Mutnovskogo bloka Yuzhnoi Kamchatki* (Magmatism and hydrothermal systems fo Mutnovsky block of South Kamchatka). Novosibirsk, Nauka, 1979, 152 pp.
12. Sheimovich V. S. *Ignimbrity Kamchatki* (Kamchatka Ignimbrites). Moscow, Nedra, 1979, 179 pp.
13. <http://petroexp.ox9.ru/>

Рецензент

к. г.- м. н. Г. П. Пономарёв

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗСОДЕРЖАЩИХ ОТЛОЖЕНИЙ АСЫВВОЖСКОЙ СВИТЫ ($D_{2-3}AS$) ЮЖНОГО ТИМАНА



О. В. Гракова, Н. С. Уляшева

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
ovgrakova@geo.komisc.ru, nsulasheva@geo.komisc.ru

Показано, что образование алмазосодержащих отложений в асывовожской свите на Южном Тимане могло происходить за счет латерального переноса из коренных источников или относительно удаленных коллекторов и в результате перемыва нижележащих отложений.

Ключевые слова: алмазосодержащие отложения, терригенные породы, Южный Тиман.

PETROGRAPHIC COMPOSITION AND LITHOCHEMICAL CHARACTERISTIC OF DIAMOND-BEARING DEPOSIT OF ASYVVVOJ SERIES ($D_{2-3}AS$) OF SOUTH TIMAN

O. V. Grakova, N. S. Ulyasheva

Institute of Geology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar

In this study the formation of diamond deposits in Asyvvoj series in South Timan might occur due to lateral migration of indigenous sources, or relatively remote reservoirs and including as a result of rewashing the underlying sediments.

Keywords: diamond-bearing deposit, terrigenous rocks, South Timan.

Проблема алмазоносности Тимана находится в поле зрения исследователей уже около семидесяти лет. Проведенные за это время работы привели к открытию кимберлитовых трубок, в том числе с признаками алмазоносности, а также алмазопроявлений в девонских отложениях Тимана. На Южном Тимане алмазы были обнаружены в отложениях асывовожской свиты в 1988 году в результате геолого-поисковых работ, выполненных Вычегодской ГРЭ под руководством В. В. Терешко. Вопрос об условиях формирования, размещения и строения алмазопроявлений Тимана остается предметом дискуссий. В настоящее время в противовес традиционной гипотезе о рос-

сыпях и промежуточных коллекторах возникла новая гипотеза о коренных алмазных месторождениях туффизитового типа. Для сторонников россыпной природы алмазопроявлений остается нерешенным вопрос о возможных источниках сноса на Среднем Тимане, а для алмазосодержащих отложений Южного Тимана этот вопрос практически не рассматривался.

Изучение вещественного состава алмазосодержащих отложений является важным аспектом при определении условий образования этих пород и оценки перспектив выявления промышленно-значимых алмазоносных объектов.

Геологическая характеристика района исследования

На Южном Тимане алмазосодержащие отложения локализованы в северо-западной части Джеджимпарминской структуры (рис. 1). Они представлены терригенно-карбонатными образованиями асывовожской свиты ($D_{2-3}as$). Нами была вскрыта нижняя часть асывовожской свиты мощностью 5.5 м на восточной стенке щебеночного карьера Асывовож (рис. 2). Свита сложена разнозернистыми песчаниками с прослоями и линзами кварцевых гравелитов и глин. Песчаники кварцевые светло-серого, дымчатого, розовато-кремового цветов. Встречаются также про-



слои коричневатого-рыжего и темно-серого (почти черного) песчаника, что связано с ожелезнением и омарганцеванием пород. Породы асывовожской свиты залегают на песчаниках джеджимской свиты верхнего рифея. Джеджимская свита вскрывается по бортам щебеночного карьера и представлена отложениями нижней подсвиты с видимой мощностью около 25 м. Она состоит из переслаивающихся песчаников, алевропесчаников и аргиллитов.

Высказываются разные мнения относительно природы контакта джеджимской и асывовожской свит. Одни исследователи считают, что отложения асывовожской свиты контактируют с породами джеджимской сви-

ты по тектоническому нарушению [10]. По мнению других, в зоне контакта породы асывовожской свиты имеют магматическую проработку с развитием флюидизатно-эксплозивных образований [4, 5].

Идея о магматической проработке пород в зоне контакта, по-видимому, возникла в связи с наблюдаемыми фактами явного перемещения материала. Так, глинистое вещество в песчаниках асывовожской свиты не только залегает в виде прослоев и линз, но и выполняет полости тонких, секущих слоистость трещин. В девонских песчаниках встречаются тонкие прослои и «жилы» песчаного материала черного цвета. Черные песчаники залегают среди внешне совершен-

но не деформированных серых, серо-розовых и желтых песчаников. Но сами они смяты в мелкие асимметричные складки (рис. 3). Из этого факта следует, что вся толща песчаников смята в складки, однако в однородно сложенных пачках пород эти складки внешне не заметны и проявляются лишь благодаря наличию черных прослоев. Кровельные части черных прослоев имеют резкие контакты с вмещающими песчаниками. Нижние ограничения черных прослоев неровные, с «заливами», что, очевидно, связано с просачиванием растворов в условиях влияния гравитационных сил. Таким образом, черные песчаники являются вторичными образованиями. Их происхождение, скорее всего,

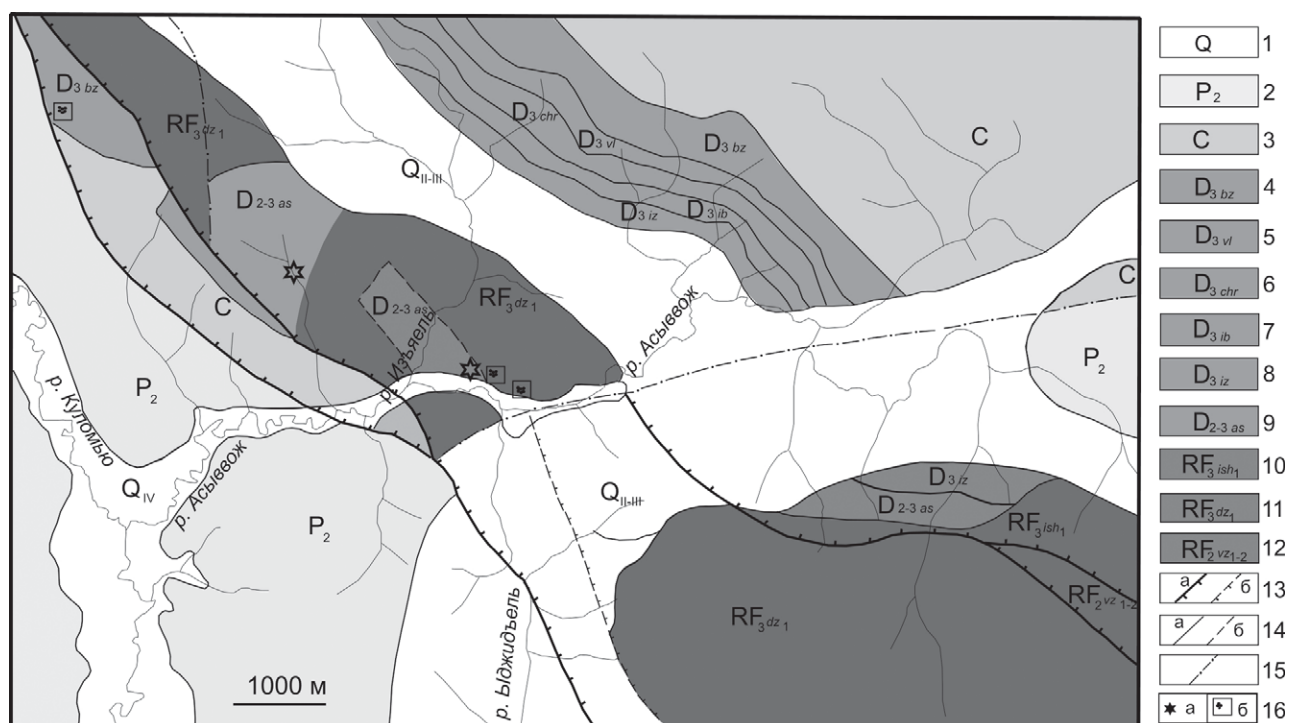


Рис. 1. Схематическая геологическая карта возвышенности Джеджимпарма. Условные обозначения: 1 — четвертичные отложения: суглинки с гравием и галькой (Q); 2 — пермские отложения: глины, известняки, доломиты и гипсы (P₂); 3 — отложения каменноугольной системы: известняки с прослоями глин, алевролитов и аргиллитов (C); 4–9 — отложения девонской системы: 4 — биязьяельская свита D₃bz (известняки с прослоями глин, доломиты), 5 — вильская свита D₃vl (известняки), 6 — шераельская свита D₃chr (доломиты с прослоями глин и песчаников), 7 — ыбская свита D₃ib (известняки с прослоями глин), 8 — изьяельская свита D₃iz (глины, алевролиты, песчаники и известняки), 9 — асывовожская свита D₂₋₃as (конгломераты и песчаники с линзами гравелитов, алевролитов и глин); 10–12 — отложения среднего и верхнего рифея: 10 — ышкемская свита RF₃ish₁ (доломиты и кварцевые песчаники), 11 — джеджимская свита RF₃dz₁ (кварцевые, кварц-полевошпатовые песчаники с прослоями алевролитов и аргиллитов), 12 — визингская свита RF₂vz₁₋₂ (кварцевые песчаники, алевролиты и аргиллиты); 13 — надвиги: а — достоверные, б — предполагаемые; 14 — границы между разновозрастными образованиями: а — достоверные, б — предполагаемые; 15 — предполагаемые разломы; 16 — полезные ископаемые: а — проявления алмазов, б — проявления минеральных красок

Fig. 1. Schematic geological map of the Dzhezdzhiparma Uplift. Legend: 1 — quaternary sediments: loam with gravel and pebbles (Q); 2 — permian sediments: clay, limestones, dolomites and gypsum (P₂); 3 — carboniferous sediments: limestones with interbedded clays, aleurolites and argillites (C); 4–9 — devonian sediments: 4 — biyaizyaelskaya suite D₃bz (limestones with interbedded clay, dolomites), 5 — vilskaya suite D₃vl (limestones), 6 — sheraelskaya suite D₃chr (dolomites interbedded with clays and sandstones), 7 — ybskaya suite D₃ib (limestones interbedded with clays), 8 — izyaelskaya suite D₃iz (clays, aleurolites, sandstones and limestones), 9 — asyvvozhskaya suite D₂₋₃as (conglomerates and sandstones with lenses of gravelites, aleurolites and clays); 10–12 — middle and Upper Riphean sediments: 10 — yshkemeskaya suite RF₃ish₁ (dolomites and quartz sandstones) 11 — dzhezdzhimskaya suite RF₃dz₁ (quartz, quartz-feldspar sandstones interbedded with siltstones and mudstones), 12 — vizingskaya suite RF₂vz₁₋₂ (quartz sandstones, siltstones and mudstones); 13 — thrusts: a — confirmed, b — estimated; 14 — boundaries between heteroaged formations: a — confirmed, b — estimated faults; 15 — estimated faults; 16 — mineral resources: a — diamond shows, b — mineral paints shows

связано с просачиванием по ослабленным зонам растворов, обогащенных марганцем. Повышенное содержание марганца в рассматриваемых породах подтверждено данными приближенно-количественного анализа (табл. 1).

Для изучения зоны контакта нами также был пройден шурф глубиной около 2 м. В нижней части шурфа вскрываются сильновыветрелые песчаники розового цвета с прослоями глин серого и черного цвета. Эти породы относятся к джеджимской свите. На высоте 1.4 м от дна карьера был установлен контакт джеджимской и асывовожской свит. В основании асывовожской свиты наблюдаются прослои и включения глинистого песчаника и глин серого цвета, а также включения темно-серого цвета (остатки углефицированных растений), которые выполняют «карман» (рис. 4). Общая мощность слоя составляет 0.4 м. Выше залегает средне- и мелкозернистый кварцевый песчаник серого и желтовато-серого цвета с прослоями гравелитов и глин. Гравий хорошо окатан. Состав гальки преимущественно кварцевый, в меньшей мере встречаются гальки, сложенные розовым кварцитом.

Вкрест простирания границы асывовожской и подстилающей ее джеджимской свит были отобраны пробы и выполнен приближенно-количественный спектральный анализ (табл. 1). В профиле коры выветривания (от пробы № 1 к пробе № 5) отмечается закономерное уменьшение содержания стронция и бария. По абсолютным содержаниям и отношениям Ba/Mn породы как джеджимской, так и асывовожской свиты на генетической диаграмме Я. Э. Юдовича [11] попадают в поле мелководных (шельфовых) песчаников и алевролитов. Выявленные закономерности в изменении содержаний стронция, бария и ванадия в зоне контакта между отложениями джеджимской и асывовожской свит подтверждают гипотезу о стратиграфическом характере контакта и об образовании глинистого материала в зоне гипергенеза.

Исследование зоны контакта показало, что породы асывовожской свиты залегают с угловым несогласием на рифейских песчаниках. Тектоническое нарушение, описанное многими исследователями, реально существует, однако проходит не по контакту свит, а расположено в области распространения пород джеджимской свиты. Поверхность подошвы отложений асывовож-



Рис. 2. Коренные выходы песчаников асывовожской свиты ($D_{2-3}as$) в карьере Асывовож на Южном Тимане

Fig. 2. Primary sandstone outcrops of asyvvozhskaya suite ($D_{2-3}as$) in Asyvvozh pit at South Timan



Рис. 3. Тонкие прослои и «жилы» песчанистого материала черного цвета в девонских песчаниках асывовожской свиты

Fig. 3. Thin interbeds and sandy black veins in Devonian sandstones of asyvvozhskaya suite

кой свиты неровная, с «карманами», заполненными грубыми терригенными осадками, обогащенными углефицированным древесным материалом.

Изучение отложений асывовожской свиты показало, что даже разрезы двух разных частей одного и того же обнажения плохо сопоставимы друг с другом. Это связано с изменением разности терригенного материала, с выклиниванием отдельных слоев, проявлением косой слоистости, смещением отдельных слоев вдоль трещин. Различают разрезы разрозненных обнажений даже в том случае, если они характеризуют один и тот же стратиграфи-

ческий уровень. Все это свидетельствует о динамичных условиях осадконакопления при образовании асывовожской свиты.

В составе свиты встречаются линзы каолиновых глин. Каолин присутствует также в корях выветривания по джеджимским песчаникам. Известно, что каолинит служит индикатором гумидных климатических фаций [12], что может свидетельствовать о кислых гумидных обстановках при формировании коры выветривания. Кора выветривания, послужившая исходным материалом для пород асывовожской свиты, отличается достаточно высокой зрело-

Таблица 1

Содержание элементов в отложениях джеджимской и асывовожской свит в зоне контакта по результатам приближенно-количественного спектрального анализа, г/т

Table 1

Element composition in dzhezhimskaya and asyvvzhskaya suites in the contact zone according to approximate quantitative spectral analysis, g/t

Элементы	1	2	3	4	5	6
Be	1.9	1.4	1.9	1.9	1.9	1.4
Mn	340	190	340	450	190	140
Pb	1900	8.1	8.1	14	8.1	11
Ga	6.1	4.5	8.1	11	2.6	—
Mo	1.4	1.4	1.4	1.4	1.9	1.4
V	26	14	26	34	4.5	4.5
Cu	26	19	6	34	14	26
Zn	45	81	81	45	45	—
Ti	1900	3400	3400	2500	1900	450
Ni	4.5	8.1	8.1	4.5	4.5	4.5
Zr	81	45	140	140	140	140
Cr	45	34	26	81	34	14
Sr	140	81	45	45	14	14
Ba	450	450	81	140	26	26
Y	26	—	—	26	26	26
La	45	45	45	45	45	45
Yb	—	45	26	26	26	26

Примечание. 1 — неизмененные песчаники джеджимской свиты, 2 — песчаник из зоны дезинтеграции, 3–5 — глинистый материал выветривания, 6 — песчаник асывовожской свиты.

Note. 1 — unaltered sandstones of dzhezhimskaya suite, 2 — sandstone from disintegration zone, 3–5 — weathering clay material, 6 — sandstone of asyvvzhskaya suite.

стью и пользуется региональным распространением. В пользу этого свидетельствует присутствие в песчаниках и гравелитах асывовожской свиты кластического материала кварцевого состава при незначительном содержании полевых шпатов и обломков пород и наличие отмеченных уже выше линз каолиновых глин. Высокая зрелость исходной коры объясняет также своеобразность акцессорной минерализации асывовожской свиты, в том числе её рассыпную алмазность и низкое содержание типичных парагенетических минералов — спутников алмазов.

Данные о геологическом строении джеджимской (в зоне контакта с асывовожской) и асывовожской свит с учетом имеющихся опубликованных и фондовых материалов приводят к выводу о том, что они были сформированы в континентальных и прибрежно-морских условиях, в обстановках теплого гумидного климата.

Петрографическая характеристика отложений

В зоне контакта в составе джеджимской свиты были изучены средне- и мелкозернистые олигомиктовые и мезомиктовые (по классификационной диаграмме песчаных пород минерально-петрокластического класса [9]) кварцевые песчаники со слюдисто-

глинистым цементом (рис. 5). Содержание обломочного материала в породах варьирует от 60 до 95 %. Текстура пород слоистая, что обусловлено сортировкой обломочного материала и присутствием прослоев черного цвета, обогащенных тяжелыми минералами, возможно ильмено-гематитового состава; структура — алевропсаммитовая, размеры терригенного материала 0.04–0.6 мм. Кластический материал представлен среднеокатанными и средне- и плохосортированными зернами, среди которых преобладает кварц (70–90 %). Кроме того, в песчаниках встречается плагиоклаз (3–15 %), калиевый полевой шпат (5–10 %), обломки глинистых пород (до 10 %), обломки кварцитов и кремния, а также акцессорные минералы: циркон, турмалин, анатаз, магнетит, ильменит, титанит, лейкоксен, рутил.

Кварц представлен хорошо окатанными и угловатыми чистыми зернами различной размерности. Местами минерал трещиноват и имеет пылевидные включения темного цвета. Погасание волнистое. Плагиоклаз встречается в виде угловатых зерен с сохранившейся таблитчатой формой. Заметны трещинки спайности и полисинтетические двойники. Судя по показателю преломления, плагиоклаз по составу близок к альбиту. Минерал

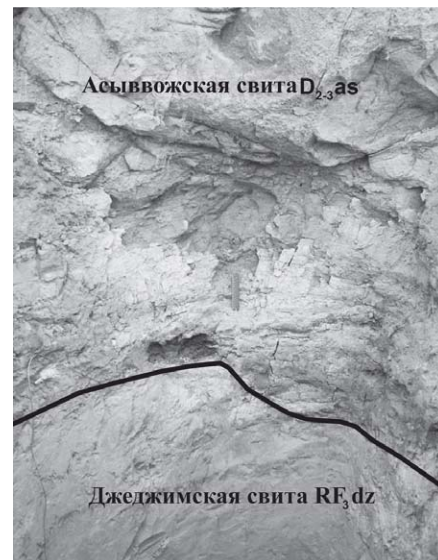


Рис. 4. Прослой глинистого песчаника темно-серого цвета с углефицированными остатками растений, выполняющими «карман». Контакт джеджимской и асывовожской свит (выделен линией черного цвета)

Fig. 4. Clay sandstone dark gray interbeds with coalified plant remains filling «pockets». Contact of dzhezhimskaya and asyvvzhskaya suites (marked with black line)

местами трещиноват и пелитизирован. Калиевый полевой шпат имеет овальные и угловатые зерна, часто замутнен и сильно трещиноват, содержит включения черного минерала. Наблюдается микроклиноватая решетка. По краям и трещинкам замещается глинистым цементом. Обломки глинистых пород хорошо- и среднеокатанные, имеют желтый и замутненный цвет. В скрещенных николях изотропны вследствие скрытой кристалличности или же интерферируют в ярких тонах за счет мелких чешуек слюды. Обломки кварцитов в проходящем свете — чистые, среднеокатанные. Лишь в скрещенных николях можно обнаружить, что они состоят из отдельных зерен кварца. Обломки кремней представлены угловатыми, слегка замутненными зернами. В скрещенных николях изредка видно, что они состоят из радиально-лучистого халцедона.

Цемент песчаников слюдисто-глинистый и кварцевый. Слюдисто-глинистый цемент желтовато-бурого цвета, открыто-поровый, сплошной, неравномерный, проникновения и замещения, корродирует зерна калиевого полевого шпата и плагиоклаза. Кварцевый цемент встречается редко, он прерывистый, контурный, регенерационный, развивается вокруг обломков кварца.

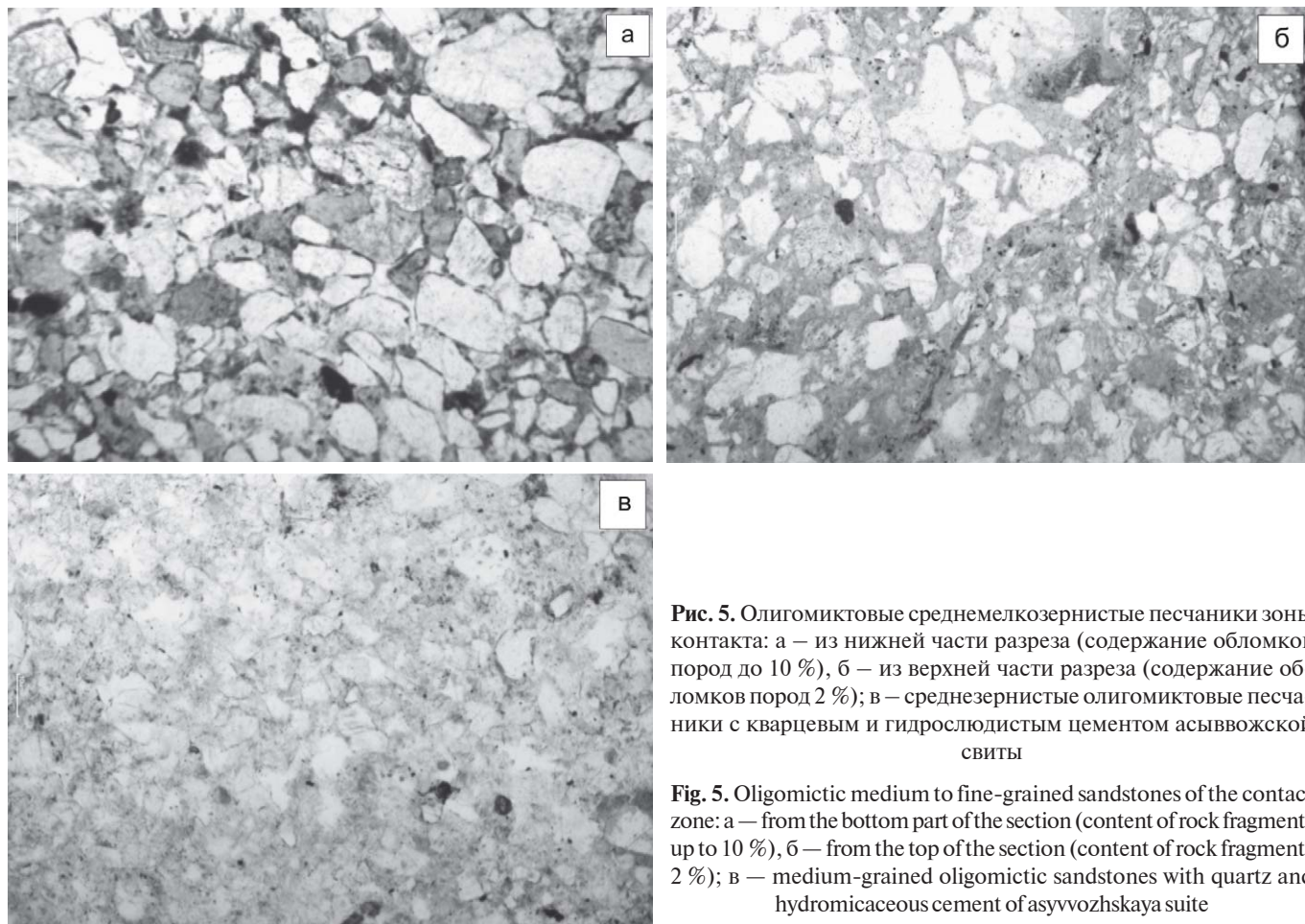


Рис. 5. Олигомиктовые среднелкозернистые песчаники зоны контакта: а — из нижней части разреза (содержание обломков пород до 10 %), б — из верхней части разреза (содержание обломков пород 2 %); в — среднелзернистые олигомиктовые песчаники с кварцевым и гидрослюдистым цементом асывовожской свиты

Fig. 5. Oligomictic medium to fine-grained sandstones of the contact zone: а — from the bottom part of the section (content of rock fragments up to 10 %), б — from the top of the section (content of rock fragments 2 %); в — medium-grained oligomictic sandstones with quartz and hydromicaceous cement of asyvvzhskaya suite

Снизу вверх по разрезу наблюдается уменьшение количества содержащий обломков калиевого полевого шпата и глинистых пород и увеличение содержания кварца.

В основании разреза асывовожской свиты преобладают мелко- и среднелзернистые олигомиктовые песчаники с кварцевым и гидрослюдистым цементом. Текстура пород однородная, структура псаммитовая. Кластический материал среднеокатан и среднесортирован, преобладающим минералом является кварц (80—90 %). Встречаются также зерна плагиоклаза (до 10 %), циркона, титанита, лейкоксена, ильменита, рутила и слюдино-кварцевых пород.

Кварц встречается в виде как хорошо окатанных, так и угловатых зерен. Наблюдаются две разновидности этого минерала. Одна представлена сильно загрязненным темным пылевидным веществом, трещиноватыми зернами, другая — чистыми обломками. Погасание облачное и волнистое. Обломки кварца регенерируются новообразованным мозаичным кварцем. *Плагиоклаз* (альбит) представлен угловатыми зернами. Часто в минерале наблюдаются трещинки спайности. Местами минерал пелитизирован. Об-

ломки *слюдино-кварцевых пород* хорошо окатанные, серого цвета, мутные за счет развития глинистого материала по трещинкам. В скрещенных полях различаются микроскопические чешуйки слюды и зерна кварца. Цемент гидрослюдистый, неполный поровый, по преимуществу несплошной, коррозионный. Кварцевый цемент неполный поровый, пятнистый, регенерационный.

В верхней части изученного нами разреза в среднелзернистых олигомиктовых песчаниках с кварцевым цементом содержание обломков достигает 95 %. Текстура пород однородная, структура псаммитовая. Содержания кварцевых обломков и плагиоклаза составляют соответственно 80—90 % и 5—8 %. Кроме того, в песчаниках имеются слюда, циркон и лейкоксен.

Кварц представлен угловатыми, редко хорошоокатанными сильно замутненными и чистыми зернами. *Плагиоклаз* (альбит) трещиноват, пелитизирован, угловат. В нем часто наблюдаются трещинки спайности. Цемент кварцевый, прерывистый контурный, островной регенерационный.

Петрографический состав пород асывовожской свиты позволяет отнести их к зрелым осадкам.

Литохимические особенности отложений

Литохимические особенности среднедевонских терригенных пород Южного Тимана были изучены по данным комплексного метода мокрой химии с рентгено-флуорисцентным анализом (аналитик С. Т. Неверов) (табл. 2).

На основе химической классификации Я. Э. Юдовича [13], было установлено, что породы джеджимской свиты в зоне контакта относятся к таксону «силиты» (ГМ < 0.30), где выделяются следующие классы: суперсилиты (ГМ 0.06—0.10), нормосилиты (ГМ 0.11—0.20), миосилиты (ГМ 0.21—0.30). В изученном разрезе джеджимской свиты снизу вверх отмечается постепенный переход от миосилитов к нормосилитам, это, по мнению Я. Э. Юдовича [13], может свидетельствовать о том, что песчаники становятся менее глинистыми либо менее полевошпатовыми, что подтверждается результатами петрографических исследований.

В составе асывовожской свиты отложения относятся к таксону «силиты» и «сиаллиты» (ГМ 0.30—0.55), включая следующие классы: суперсилиты, миосилиты, гипосиаллиты (ГМ 0.3—0.35 — пониженно-гидролизатные) и



Таблица 2

Химический состав пород асывовожской (Южный Тиман) и пижемской (Средний Тиман) свит, содержание компонентов в мас. %

Chemical composition of asyvvzhskaya (South Timan) and pizhemskaia (Middle Timan) suites, component composition in % wt.

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	миосилит	миосилит	нормосилит	нормосилит	нормосилит	нормосилит	суперсилит	гипосилит	нормосилит	суперсилит	суперсилит	нормосилит
SiO ₂	72.39	76.62	79.41	85.28	86.27	88.55	91.44	68.39	65.45	88.8	90.61	80.88
TiO ₂	0.74	0.83	0.36	0.31	0.42	0.34	0.32	0.89	0.89	0.22	0.33	0.61
Al ₂ O ₃	15.33	12.58	13.07	9.81	10.04	8.17	4.99	20.33	22.51	7.15	6.37	14.14
Fe ₂ O ₃	1.85	2.28	0.49	0.32	0.4	0.36	0.75	1.03	0.95	0.35	0.53	0.5
FeO	0.84	0.42	0.45	0.49	0.26	0.24	0.18	0.58	0.42	0.89	0.1	0.02
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.38	0.03	0.02	0.01	0.14	0.01
MgO	0.65	0.44	0.57	0.19	0.23	0.36	0	1.09	1.03	0.3	0.28	0.48
CaO	0.11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.24	0.32	0.1	0.1	0.1
Na ₂ O	0.21	0.18	0.13	0.11	0.06	0.05	0.06	0.09	0.1	0.05	0.04	0.07
K ₂ O	4.26	3.62	3.04	1.39	0.97	1.22	0.64	1.76	1.92	0.57	0.79	1.88
P ₂ O ₅	0.12	0.15	0.05	0.08	0.08	0.09	0.1	0.1	0.1	0.08	0.09	0.1
п.п.п.	3.5	2.78	2.32	2.01	1.27	0.61	1.13	5.56	6.38	1.6	0.73	1.22
Сумма	100.01	100.01	100	100.1	100.11	100.1	100.09	100.09	100.09	100.12	100.11	100.01
ГМ	0.26	0.21	0.18	0.13	0.13	0.1	0.07	0.33	0.38	0.1	0.08	0.19
Компонент	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	суперсилит	миосилит	нормосилит	нормосилит	миосилит	нормосилит	миосилит	гипосилит	нормосилит	суперсилит	миосилит	миосилит
SiO ₂	91.67	74.61	83.98	81.97	77.95	88.1	73.38	70.43	82.1	93.15	76.07	77.45
TiO ₂	0.29	0.93	0.41	0.63	0.8	0.27	0.79	0.96	0.42	0.1	0.65	0.67
Al ₂ O ₃	5.65	18.3	9.63	11.63	15.67	8.15	19.49	20.64	12.24	4.25	17.47	16.81
Fe ₂ O ₃	0.19	0.91	3.08	1.08	0.99	0.51	0.58	1.2	0.94	0.47	1.58	1.1
FeO	0.3	0.25	0.02	0.23	0.25	0.42	0.04	0.02	0.36	0.44	0.04	0.04
MnO	0.01	0.08	0.01	0.2	0.25	0.01	0.01	0.06	0.01	0.02	0.02	0.01
MgO	0.28	0.53	0.55	0.56	0.45	0.3	0.73	0.52	0.56	0.31	0.57	0.64
CaO	0.1	0.13	0.1	0.11	0.15	0.1	0.27	0.26	0.1	0.1	0.18	0.14
Na ₂ O	0.05	0.08	0.05	0.08	0.07	0.06	0.08	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05
K ₂ O	0.63	1.84	1.27	1.14	1.73	0.68	1.74	1.72	1.07	0.36	1.68	1.56
P ₂ O ₅	0.05	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.11	0.09	0.08
п.п.п.	0.89	2.49	0.93	2.3	1.86	1.44	2.85	4.05	2.08	0.74	1.61	1.47
Сумма	100.11	100.24	100.11	100	100.24	100.11	100.02	100	100.01	100.1	100.01	100.02
ГМ	0.07	0.27	0.16	0.17	0.23	0.11	0.28	0.32	0.17	0.06	0.26	0.24

Примечание. Литохимические модули пород рассчитываются по методике Я. Э. Юдовича [13].

Note. Lithochemical modules of the rocks are calculated according to Ya. E. Yudovich [13].

нормосилиты (ГМ 0.36–0.48 – нормально-гидролизатные).

По положению фигуративных точек составов пород на петрохимической диаграмме А. Г. Коссовской, М. И. Тучковой [5] отложения джеджимской свиты (1–6, 9–11) относятся к кварцевым, олигомиктовым и полимиктовым песчаникам; отложения асывовожской свиты (7, 8, 12) – к кварцевым и полимиктовым песчаникам.

Для более точной классификации пород, восстановления петрографического состава источников сноса, реконструкции физико-химических и геодинамических особенностей обстановок накопления нами были исследованы терригенные отложения асывовожской и джеджимской (в зоне контакта) свит на основе петрохимических модулей (отношений петрогенных оксидов). По значениям гидролизатного модуля (ГМ) – $(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / \text{SiO}_2$ [7, 13] в составе джеджимской свиты, расположенной на контакте с асывовожской свитой, присутствуют мономиктовые кварцевые песчаники (ГМ 0.06–0.1), олигомиктовые кварцевые песчаники и алевриты (ГМ 0.11–0.19), мезомиктовые и полимиктовые кварцевые песчаники и алевриты (ГМ 0.21–0.28); в асывовожской свите присутствуют мономиктовые кварцевые песчаники, мезомиктовые и полимиктовые кварцевые песчаники и алевриты (ГМ 0.21–0.28). Известно, что чем выше значение этого модуля, тем более сильное и глубокое выветривание претерпели исходные породы источников сноса и тем выше зрелость осадочной породы. В результате можно сделать вывод, что исходные породы асывовожской свиты (по видимому, в основном песчаники джеджимской свиты) претерпели сильное выветривание. Можно отметить достаточно высокую зрелость пород асывовожской свиты; при этом снизу вверх по разрезу осадки становятся более зрелыми.

дованы терригенные отложения асывовожской и джеджимской (в зоне контакта) свит на основе петрохимических модулей (отношений петрогенных оксидов). По значениям гидролизатного модуля (ГМ) – $(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / \text{SiO}_2$ [7, 13] в составе джеджимской свиты, расположенной на контакте с асывовожской свитой, присутствуют мономиктовые кварцевые песчаники (ГМ 0.06–0.1), олигомиктовые кварцевые песчаники и алевриты (ГМ 0.11–0.19), мезомиктовые и полимиктовые кварцевые песчаники и алевриты (ГМ 0.21–0.28); в асывовожской свите присутствуют мономиктовые кварцевые песчаники, мезомиктовые и полимиктовые кварцевые песчаники и алевриты (ГМ 0.21–0.28). Известно, что чем выше значение этого модуля, тем более сильное и глубокое выветривание претерпели исходные породы источников сноса и тем выше зрелость осадочной породы. В результате можно сделать вывод, что исходные породы асывовожской свиты (по видимому, в основном песчаники джеджимской свиты) претерпели сильное выветривание. Можно отметить достаточно высокую зрелость пород асывовожской свиты; при этом снизу вверх по разрезу осадки становятся более зрелыми.

вые песчаники, мезомиктовые и полимиктовые кварцевые песчаники и алевриты (ГМ 0.21–0.28). Известно, что чем выше значение этого модуля, тем более сильное и глубокое выветривание претерпели исходные породы источников сноса и тем выше зрелость осадочной породы. В результате можно сделать вывод, что исходные породы асывовожской свиты (по видимому, в основном песчаники джеджимской свиты) претерпели сильное выветривание. Можно отметить достаточно высокую зрелость пород асывовожской свиты; при этом снизу вверх по разрезу осадки становятся более зрелыми.

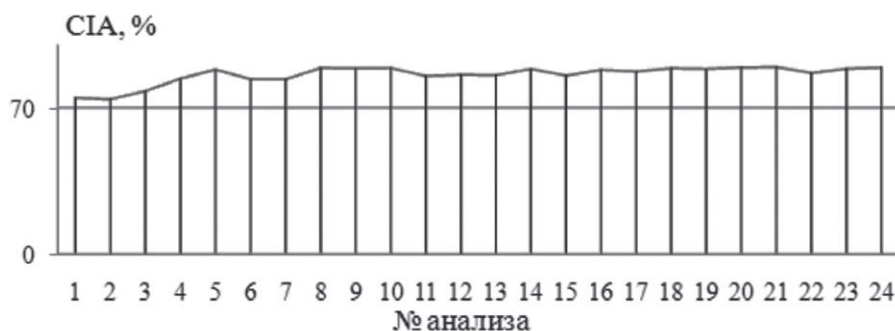


Рис. 6. Вариации медианных значений индекса CIA ($100 \times \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$) в терригенных отложениях джеджимской, асывовожской и пижемской свит (по [6, 15]): 1–7, 11–21 (в шурфе) – породы джеджимской свиты в зоне контакта, 8–10, 22–24 – отложения асывовожской свиты

Fig. 6. Variations of median CIA index values ($100 \times \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$) in terrigenous sediments of dzhedzhimskaya, asyvvozhskaya and pizhemskaia suites (according to [6, 15]): 1–7, 11–21 (in pit) – rocks of dzhedzhimskaya suite in the contact zone, 8–10, 22–24 – rocks of asyvvozhskaya suite

Выветривание пород на водосборах, особенно выветривание, происходящее в гумидном климате, существенным образом изменяет состав слагающих эти породы компонентов. При этом происходит вынос из пород наиболее растворимых (подвижных) элементов, и в корках выветривания накапливаются наиболее инертные окислы. В той или иной мере трансформированное процессами выветривания вещество поступает из областей размыва в конечные водоемы стока, где его зрелость, а также интенсивность процессов преобразования исходных пород в источниках сноса и, значит, косвенно климат на палеоводосборах могут быть оценены количественно по данным химического состава осадков [6].

Индекс химического выветривания CIA (Chemical Index of Alteration) [6, 14] в настоящее время широко используется как показатель климата в области размыва. Рассчитывается он по молекулярным количествам петрогенных окислов. Интенсивность химического выветривания в областях размыва напрямую коррелируется с палеоклиматом. Для осадочных образований гумидных климатических обстановок характерен вынос из полевых шпатов Ca, Na и K, что ведет к увеличению соотношения алюминия и щелочей в продуктах выветривания. В аридных и гляциальных обстановках в область аккумуляции, напротив, поступает слабо переработанный процессами выветривания на палеоводосборах материал. Представлен он в основном глинистыми минералами с относительно небольшими содержаниями алюминия и значительным количеством неизменных или слабо измененных полевых шпатов. Таким образом, невыветрелые породы харак-

теризуются значениями CIA порядка 50, тогда как сильно выветрелые разности имеют CIA до 100 единиц. Критерием для разграничения отложений, сформировавшихся в обстановках теплого и холодного климата, принято считать значение индекса CIA = 70 [6, 15].

На диаграмме вариаций медианных значений индекса CIA в терригенных отложениях асывовожской свиты (рис. 6) все значения исследуемых образцов близки к 70, т. е. находятся в «поле» сильно выветрелых пород. При этом на вопрос о возможных климатических обстановках однозначного ответа нет. Точки расположились у границы со значениями около 70 единиц. По данным О. П. Тельновой [8], в девоне господствовал теплый влажный климат тропической зоны. Следовательно, отложения асывовожской и пижемской свит являются продуктами размыва сильно выветрелых пород, сформированных в зоне гумидного климата. Зрелость осадков может быть связана в том числе с неоднократным их перемывом.

В отложениях асывовожской свиты присутствует древний плутогенный (глубинный) циркон (малакон), характерно малое количество обломков пород при резком преобладании обломков кварца. Все это указывает на то, что в петрофонде преобладали породы кислого состава, а «зрелость» материала указывает на процессы глубокого выветривания. С процессами глубокого выветривания связано также образование каолинита; на это же может указывать и присутствие калиевого полевого шпата (он более устойчив к выветриванию, чем плагиоклаз). Минералогическое описание отложений асывовожской свиты показало, что

они формировались при размыве сильно выветрелого гетерогенного субстрата [2]. Большинство размываемых пород относится к кислым магматическим и метаморфическим образованиям, определенную роль как источники размыва играли также основные и ультраосновные магматиты, в том числе повышенной щелочности, а также карбонатиты. Химический состав осадочных пород (в нашем случае существенно-кварцевых песчаников) может весьма резко отличаться от состава магматических пород, послуживших для них источником питания.

Результаты петрографических и литохимических исследований асывовожских песчаников в зоне контакта с рифейскими отложениями указывают на то, что в их составе содержатся продукты переотложения коры выветривания по подстилающим песчаникам джеджимской свиты.

Вывод

Геологическая позиция, а также литологические и петрографические особенности алмазосодержащих среднедевонских терригенных отложений Южного Тимана свидетельствуют об их осадочном образовании. В раннем палеозое в додевонское время в результате глубокой пенепленизации и интенсивного корообразования происходило переотложение, размыв и концентрирование алмазов и других полезных компонентов в благоприятных палеогеографических обстановках, в континентальных и прибрежно-морских условиях [1]. Базальные среднедевонские отложения Южного Тимана перекрыты старооскольским горизонтом живетского яруса со стратиграфическим перерывом, что может быть связано с нестабильной тектонической обстановкой осадконакопления в позднеэфельское время на Тимане.

Образование алмазосодержащих отложений в асывовожской свите на Южном Тимане могло происходить за счет латерального переноса из коренных источников или относительно удаленных коллекторов алмазов [2]. Приуроченность ископаемых россыпных проявлений алмазов к основанию терригенных образований, неровности нижнего контакта с подстилающими породами могут указывать на то, что аккумуляция алмазов происходила в результате процесса обогащения терригенных пород асывовожской свиты (ее базальных слоев), в том числе в результате перемыва нижележащих



отложений. В целом отмечается малая мощность продуктивных на алмазы отложений, невыдержанность мощностей и гранулометрического состава. Особенностью алмазоносных отложений также является наличие в них продуктов кор выветривания, зрелость осадков.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований РАН № 15-18-5-17.

Литература

1. Гракова О. В. Акцессорный ильменорит алмазодержащих среднедевонских пород Южного Тимана // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 10. С. 11–13.

2. Гракова О. В. Видовой состав, химические и типоморфные особенности акцессорных минералов девонских алмазодержащих отложений Южного и Среднего Тимана // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 3. С. 3–8.

3. Коссовская А. Г., Тучкова М. И. К проблеме минералогическо-петрохимической классификации и генезиса песчаных пород // Литология и полезные ископаемые. 1988. № 2. С. 8–24.

4. Макеев А. Б., Брянчинина Н. И. Новый взгляд на перспективы алмазоносности Южных районов Республики Коми // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. № 9. 1998. С. 7–11.

5. Макеев Б. А. Рентгеноструктурный анализ глин рифей-девонской межформационной зоны Деджипарминского поднятия (р. Асывовож, Южный Тиман) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 20-й науч. конф. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 39–43.

6. Маслов А. В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретация полученных данных: Учеб. пособие. Екатеринбург, 2005. 289 с.

7. Скляр Е. В. и др. Интерпретация геохимических данных: Учеб. пособие. М: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.

8. Тельнова О. П. Палинологическое обоснование стратиграфии и корреляция девонских отложений возвышенности Деджипарма (Южный Тиман) // Геология Европейского Севера России. Сыктывкар, 1999. Сб. 4. С. 5–11.

9. Шванов В. Н., Фролов В. Т., Сергеева Э. И. и др. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. СПб.: Недра, 1998. 352 с.

10. Щербakov Э. С. Условия залегания девонских отложений в карьере Асывовож (Южный Тиман) // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона: Материалы всероссийского совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2001. С. 47–48.

11. Юдович Я. Э. Курс геохимии осадочных пород (избранные главы): Учеб. пособие. Сыктывкар: СыктГУ, 2001. 284 с.

12. Юдович Я. Э., Кемпус М. П. Минеральные индикаторы литогенеза. Сыктывкар: Геопринт, 2008. 564 с.

13. Юдович Я. Э., Кемпус М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

14. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 71–717.

15. Visser J. N. J., Young G. M. Major element geochemistry and paleoclimatology of the Permo-Carboniferous glaciogene Dwyka Formation and postglacial mudrocks in Southern Africa // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol., 1990. V. 81. P. 49–57.

References

1. Grakova O. V. *Aktsessornyi ilmenorutil almaszoderzhashchih srednedevonskih porod Yuzhnogo Timana* (Accessory ilmenorutil in diamond-bearing Middle Devonian South Timan). Vestnik of Institute of Geology Komi SC UB RAS, 2011, No. 10, pp. 11–13.

2. Grakova O. V. *Vidovoi sostav, himicheskie i tipomorfnye osobennosti aktsessornykh mineralov devonskih almaszoderzhashchih otlozhenii Yuzhnogo i Srednego Timana* (Species composition, chemical and typomorphic features of accessory minerals of Devonian diamond-bearing deposits of South and Middle Timan). Vestnik of Institute of Geology Komi SC UB RAS, 2014, No. 3, pp. 3–8.

3. Kossovskaya A. G., Tuchkova M. I. *K probleme mineralogo-petrohimicheskoi klassifikatsii i genezisa peschanykh porod* (Mineralogical and petrochemical classification and genesis of sand rocks). *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1988, No. 2, pp. 8–24.

4. Makeev A. B., Bryanchinina N. I. *Novyi vzglyad na perspektivy alamazonosti Yuzhnykh raionov Respubliki Komi* (New approach to diamond deposits of southern districts of Komi Republic). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, No. 9, 1998, pp. 7–11.

5. Makeev B. A. *Rentgenostrukturnyi analiz glin rifei-devonskoi mezghformatsionnoi zony Dzhdzhimparminskogo podnyatiya* (r. Asyvvovzh, Yuzhnyi Timan) (X-Ray structural analysis of clays of Riphean-Devonian interformation zone of Dzhdzhimparma uplift). *Struktura, veschestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural'skogo segmenta*: Proceedings. Syktyvkar, Geoprint, 2011, pp. 39–43.

6. Maslov A. V. *Osadochnye poroda: metody izucheniya i interpretatsiya poluchennykh dannykh* (Sediments: methods of study and interpretation of data). Study book. Ekaterinburg, 2005, 289 pp.

7. Sklyarov E. V. et al. *Interpretatsiya geohimicheskikh dannykh* (Interpretation of geochemical data) Study book. Moscow, 2001, 288 pp.

8. Telnova O. P. *Palinologicheskoe obosnovanie stratigrafii i korrelyatsiya devonskikh otlozhenii vozvyshehnosti Dzhdzhimparma (Yuzhnyi Timan)* (Palinological confirmation of stratigraphy and correlation of Devonian rocks in Dzhdzhimparma uplift (South Timan)). *Geologiya Evropeiskogo Severa Rossii*. Syktyvkar, 1999, No. 4, pp. 5–11.

9. Shvanov V. N., Frolov V. T., Sergeeva E. I. et al. *Sistematika i klassifikatsiya osadochnykh porod i ih analogov* (Systematics and classification of sediments and their analogues). Saint-Petersburg, Nedra, 1998, 352 pp.

10. Scherbakov E. S. *Usloviya zaleganiya devonskikh otlozhenii v karere Asyvvovzh (Yuzhnyi Timan)* (Occurrence conditions of Devonian rocks in Asyvvovzh pit (South Timan)). *Almazы i alamazonosnost Timano-Uralskogo regiona*: Proceedings. Syktyvkar, Geoprint, 2001, pp. 47–48.

11. Yudovich Ya. E. *Kurs geohimii osadochnykh porod (izbrannye glavy)* (Treatise on geochemistry of sediments (selected chapters)). Study book. Syktyvkar, SyktGU, 2001, 284 pp.

12. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Mineralnye indikatory litogeneza* (Mineral indicators of lithogenesis). Syktyvkar, Geoprint, 2008, 564 pp.

13. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Osnovy litohimii* (Lithochemistry basics). Saint-Petersburg, Nauka, 2000, 479 pp.

14. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. 1982, V. 299, pp. 715–717.

15. Visser J. N. J., Young G. M. Major element geochemistry and paleoclimatology of the Permo-Carboniferous glaciogene Dwyka Formation and postglacial mudrocks in Southern Africa. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 1990, V. 81, pp. 49–57.

Рецензент

к. г.-м. н. Л. И. Ефанова

ПОГРАНИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ЛЛАНДОВЕРИ И ВЕНЛОКА В ОПОРНОМ РАЗРЕЗЕ СИЛУРА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГРЯДЫ ЧЕРНЫШЕВА



Т. М. Безносова, Л. В. Соколова

Институт геологии КомиНЦ УрО РАН, Сыктывкар
beznosova@geo.komisc.ru

В статье приводятся новые хемо- и биостратиграфические данные, характеризующие хронологию смены фаунистических комплексов в отложениях нижнего силура опорного разреза р. Шарью, и данные по палеонтологии и палеоэкологии, используемые для диагностики и корреляции стратиграфических границ.

Ключевые слова: брахиоподы, конодонты, лландовери — венлок, изотопы δC^{13} .

UPPER LLANDOVERY AND LOWER WENLOCK BOUNDARY OF THE CENTRAL PART OF CHERNYSHEV RIDGE

T. M. Beznosova, L. V. Sokolova

Institute of Geology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar

Research aimed at identifying changes in biota due to large-scale geological events, using isotope stratigraphy, changed understanding of the geological structure and the age strata, forming the regional stage of Lower Silurian in northern Urals and Chernyshev ridge and the level of the Llandovery-Wenlock boundary.

Key words: *brachiopods, conodonts, Llandovery — Wenlock, isotope δC^{13} .*

Введение

Изучение силурийских отложений на гряде Чернышева, в том числе опорного разреза силура, расположенного в центральной части гряды (р. Шарью обнажение 64), сопровождалось разными заключениями о возрасте толщ, слагающих разрез нижнего силура, и противоречивыми выводами о положении границ между стратиграфическими подразделениями [1, 2, 3, 15]. Это объясняется недостаточной изученностью разреза и фаунистических остатков и сложным тектоническим строением района исследований [19, 20].

Общая характеристика силурийского разреза в бассейне р. Шарью приведена в монографии А. И. Першиной [15]. Затем информация о разрезе была частично опубликована в монографиях Т. М. Безносовой [2, 3] и сборнике «Геологическое наследие Республики Коми (Россия)» [10]. Первые данные по таксономическому составу конодонтов из силурийского

разреза р. Шарью приведены в монографии С. В. Мельникова [11], который в отложениях маршрутинского и большей нижней части устьдурнаюского горизонта установил лландоверийский комплекс конодонтов с *Apsidognathus tuberculatus*, *Ozarkodina ex gr. hassi*, *Oz. kozhimica*, *Panderodus* sp., *Oulodus* sp., *Ozarkodina* sp.

В предлагаемой статье внимание обращено на описание и палеонтологическую характеристику пограничного интервала между отложениями лландовери и венлока. Датировка возраста этих отложений основана на прослеживании смены комплексов брахиопод и конодонтов, на определениях табулят (Н. А. Боринцева) и рыб (В. Н. Каратайте-Талима) в обнажениях, номера которых приведены по А. И. Першиной [15].

За основу расчленения отложений нижнего силура взята региональная стратиграфическая схема Урала, принятая на IV Уральском межведомственном стратиграфическом сове-

щении [14], в которую внесены уточнения возраста стратиграфических подразделений нижнего силура [6, 7]. Таким образом, к венлоку отнесены маршрутинский и устьдурнаюский горизонты, а граница лландовери и венлока установлена по контакту филиппельского и маршрутинского горизонтов. Определение уровня границы лландовери — венлок традиционно основывалось на определении кораллово-строматопоратовой фауны [16].

При этом не принималось во внимание, что отложения маршрутинского горизонта и нижней части устьдурнаюского горизонтов заключают конодонты *Apsidognathus*, распространение которых характерно для лландовери. По исчезновению этого лландоверийского рода определяется граница лландовери и венлока во многих разрезах мира [7, 24].

Все перечисленное позволило нам верхнюю часть устьдурнаюского горизонта, отвечающую биозоне *Spirinella*



nordensis, выделить в самостоятельное стратиграфическое подразделение — войвывский горизонт, а нижнюю толщу устьдурнаоского горизонта, заключающую органические остатки лlandoверийского возраста, включить в состав маршрутнинского горизонта [6].

Основой для предлагаемого биостратиграфического расчленения силурийского разреза р. Шарью послужили новые данные, полученные нами в последние годы, изменившие представление о геологическом строении и возрасте региональных горизонтов и положении границы между лlandoверии и венлоком [3, 7].

Результаты и обсуждение

Опорный разрез силура, расположенный в нижнем течении р. Шарью, представлен комплексом обнажений (обн. 64, 65, 66 и 67), вскрывающихся по правому и левому берегам (рис. 1), которые слагают карбонатно-терригенные породы с остатками разнообразной фауны (рис. 2).

В обн. 64 вскрывается разрез силура от среднелlandoверийских отложений с массовым скоплением окремненных раковин брахиопод *Borealis* sp. до границы с нижним девоном.

Мощность отложений, относимых нами к маршрутнинскому горизонту, составляет 138 м. В основании нижней толщи маршрутнинского горизонта (88.7 м) залегают известняки серые и коричневатые-серые, большей частью массивные, перекрывающиеся переслаиванием доломитов вторичных и известняков слоистых, массивных и комковатых, содержащих брахиоподы, *Fardenia flabellata*, гастроподы, строматопороидеи, табуляты, ругозы, единичные колонии строматопороидеи и остракоды. Наиболее древний лlandoверийский комплекс конодонтов с *Oulodus* cf. *jeannae* Schönlaub, *Ozarkodina waugoolaensis* Bischoff, *Panderodus* cf. *unicostatus* Branson et Mehl, *Oulodus* sp. и фрагментом платформенного элемента сем. *Pterospathodontidae* установлен в интер-

вале распространения брахиопод *Pr. inflata* нижней части биозоны *F. flabellata*. В лlandoверийских отложениях р. Шарью вид *Oul. cf. jeannae* определен впервые, он известен из отложений верхней половины лlandoверии о-ва Антикости Канады [28] и Карнийских Альп Австрии [26]. В Тимано-Североуральском регионе стратиграфическое распространение вида охватывает интервал от нижнего до верхнего лlandoверии. Вид *P. cf. unicostatus* характеризуется широким стратиграфическим распространением и известен в Тимано-Североуральском регионе от ордовика до нижнего девона [11, 17, 18].

По образцу с брахиоподами *F. flabellata*, *Leptaena* sp. определен лlandoверийский комплекс конодонтов *Oz. cf. waugoolaensis*, *Oz. kozhimica*, *Panderodus* cf. *recurvatus*, *P. cf. unicostatus*, с элементом сем. *Pterospathodontidae*. Эндемичный вид *Oz. kozhimica* в регионе известен из отложений верхнего лlandoверии и венлока [11].

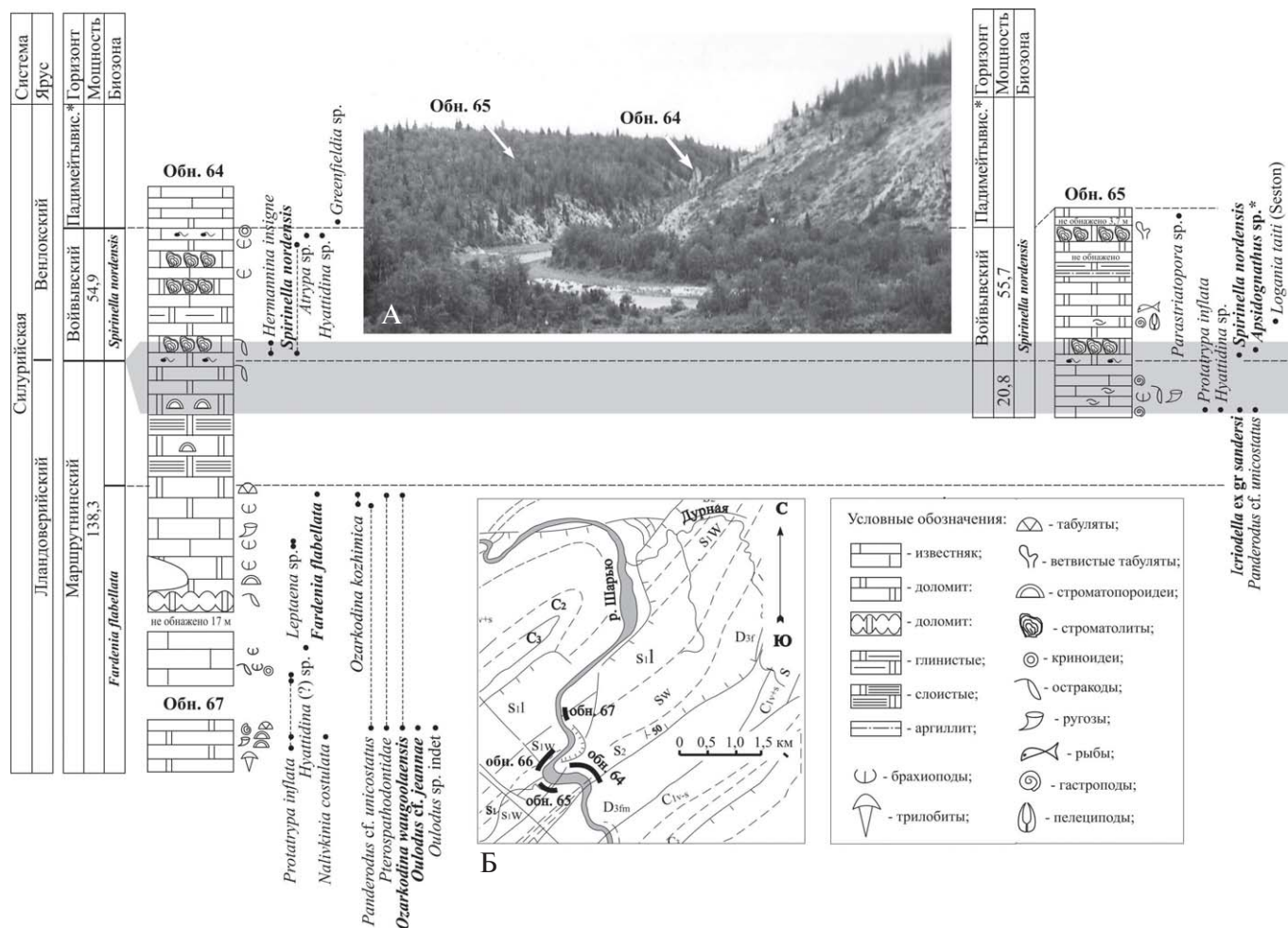


Рис. 1. Местоположение опорного разреза на гряде Чернышева: А — коренные выходы обнажений 64 и 65, р. Шарью (фото В. С. Цыганко), Б — карта-схема нижнего течения р. Шарью (по материалам производственников И. В. Деревянко и др., 1987; номера обнажений по: Першина, 1956, 1962)

Fig. 1. Location of reference section in Chernyshev Ridge: А — bedrock outcrops 64 and 65, Sharyu river (photo by V. S. Tsyganko), Б — map of lower stream of Sharyu river (by I. V. Derevyanko et al., 1987; numbers of outcrops by: Pershina, 1956, 1962)

Верхняя толща маршрутного горизонта (49.3 м), сложенная чередованием известняков и доломитов толсто плитчатых массивных строматопоровых и тонкослоистых, не содержит определяемых остатков фауны и рассматривается нами как пограничный интервал лландовери и венлока (рис. 1). Отложения с брахиоподами *Spirinella nordensis*, залегающие выше этого интервала (74.9 м), отнесены к войвывскому горизонту венлока.

Войвывский горизонт слагают известняки с детритом криноидей, пелеципод, остракод, ходами илоедов, прослоями строматолитов и брахиоподами *S. nordensis*, по появлению которых предложено проводить границу между лландоверийским и венлокским ярусами.

Пограничный интервал лландовери и венлока прослеживается и в обн. 65 на левом берегу р. Шарью (рис. 1). В этом обнажении верхняя часть маршрутного горизонта (20.8 м) представлена известняками биокластовыми переслаивающимися с прослоями брахиопод *Pr. inflata* Beznosova, *Hyattidina* sp., а также ругоз, гастропод, остракод и конодонтов *Icriodella* ex gr. *sandersi*, *P. unicosatus* Branson et Mehl. Стратиграфическое распространение рода *Icriodella* охватывает интервал от среднего ордовика до лландовери [27]. В то же время вид *I. sandersi* установлен в пограничном интервале лландовери и венлока Великобритании, где он определен в составе смешанного лландоверийско-венлокского комплекса [25]. Брахиоподы *Pr. inflata* были впервые описаны из этого же разреза и за пределами его не известны до настоящего времени. Представители рода *Hyattidina* распространены в венлоке и лудлове [12].

К войвывскому горизонту отнесены доломиты толсто плитчатые с прослоями аргиллитов, глинистые с брахиоподами *Spirinella nordensis*, конодонтами рода *Apsidognathus*, со строматолитами, остатками рыб *Logania taiti* (Seston), гастроподами, пелециподами. В кровле горизонта определены табуляты рода *Parastriatopora*.

Итак, в обнажении 65 интервал мощностью около 25 м заключает комплекс лландоверийско-венлокской фауны. В этом же интервале выявлено изотопное отклонение с резким увеличением значений δC^{13} от -4.6 до $+0.3$, характерное для нижнего венлока [23]. Ранневенлокский позитивный экскурс δC^{13} ранее был отмечен в южной части гряды Чернышева [21].

Впервые интервал, заключающий лландоверийские конодонты и бентосную фауну венлокского возраста, был установлен в разрезе Безымянный на гряде Чернова, он же прослеживается и в разрезах на западном склоне Приполярного Урала в бассейне р. Кожым. Формирование этого интервала, вероятно, связано с перерывом в осадконакоплении на рубеже лландовери и венлока, размывом и переотложением [7, 8, 22].

Отличительной чертой комплексов брахиопод лландовери и венлока является принадлежность их раковин к разным морфологическим и экологическим типам. Зональный вид маршрутного горизонта лландовери *F. flabellata* относится к понтонному экологическому типу и второму бентосному комплексу А. Буко [9], обитавшим на мягких иловых грунтах. Этот вид, распространенный в отложениях маршрутного горизонта на западном склоне Приполярного Урала (р. Кожым, обн. 202, 212; р. Щугор, обн. 10), в скв. 1-Лодма (гл. 4735—4742.2 м), обнаружен совместно с конодонтами *Apsidognathus* sp. Скопления отдельных уплощенных целых створок раковин *F. flabellata* характерны для углубленных участков дна с низкой энергией вод (рис. 3, фиг. 2).

Зональный вид войвывского горизонта *S. nordensis* принадлежит к якорному экотипу и третьему бентосному комплексу. Этот вид распространен в отложениях венлока на гряде Чернышева (в обн. 217-Адак, 246-Уса, 64-Шарью), на гряде Чернова (руч. Безымянный), на западном склоне Приполярного Урала (Кожым-217, Щугор-10) и о-ве Долгий. Захоронения раковин *S. nordensis* приурочены к прослоям пятнистых комковатых известняков, заключающих неокатанные обломки раковинной фауны. Возможно, такой тип осадка способствовал лучшему закреплению раковин на грунте. Морфологические особенности этих раковин свидетельствуют о возможности их адаптации к различным условиям существования [5].

Выводы

Интервал со смешанной лландоверийско-венлокской фауной, ранее установленный в разрезах гряды Чернова и западного склона Приполярного Урала, впервые прослежен и на гряде Чернышева. В составе комплекса конодонтов вблизи границы лландовери — венлок появляются позднелландоверийский вид *Icriodella* ex gr. *sandersi*

и вид *Oz. kozhimica*, распространенный в венлоке.

Рубеж между лландоверийским и венлокским ярусами нижнего силура в центральной части поднятия Чернышева характеризуется существенными различиями в таксономическом составе лландоверийских и венлокских брахиопод, а также их морфологической и экологической направленностью.

Впервые в изученном пограничном интервале лландовери и венлока в центральной части гряды Чернышева установлено изотопное отклонение по δC^{13} , характерное для отложений нижнего венлока.

Установленные изменения в составе биоты и хемотратиграфические маркеры имеют большое значение при составлении и совершенствовании стратиграфических схем, диагностики и корреляции стратиграфических границ, являясь отражением разномасштабных геобиологических событий.

Работа поддержана программой УрО РАН «Фундаментальные закономерности геологического развития Урала и прилегающих территорий». Проект № 15-18-5-37.

Литература

1. Антошкина А. И., Афанасьев А. К., Безносова Т. М. Новая стратиграфическая схема верхнего ордовика и силура севера Урала (Елецкая зона). Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1989. 16 с. (Науч. докл. Коми НЦ УрО АН СССР. Вып. 206).
2. Безносова Т. М. Биостратиграфия и брахиоподы силура Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 1994. 128 с.
3. Безносова Т. М. Сообщества брахиопод и биостратиграфия верхнего ордовика, силура и нижнего девона северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 217 с.
4. Безносова Т. М. Рубежи преобразования Тимано-Североуральской морской биоты в раннем палеозое и границы региональных стратонтов: Материалы LVI сессии Палеонтологического общества РАН (5—9 апреля 2010 г.), СПб., 2010. С. 30—32.
5. Безносова Т. М. Преобразование Тимано-Североуральских морских экосистем в позднем ордовике — раннем силуре // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 11. С. 9—11.
6. Безносова Т. М., Лукин В. Ю. Войвывский горизонт — новое стратиграфическое подразделение // Геология и

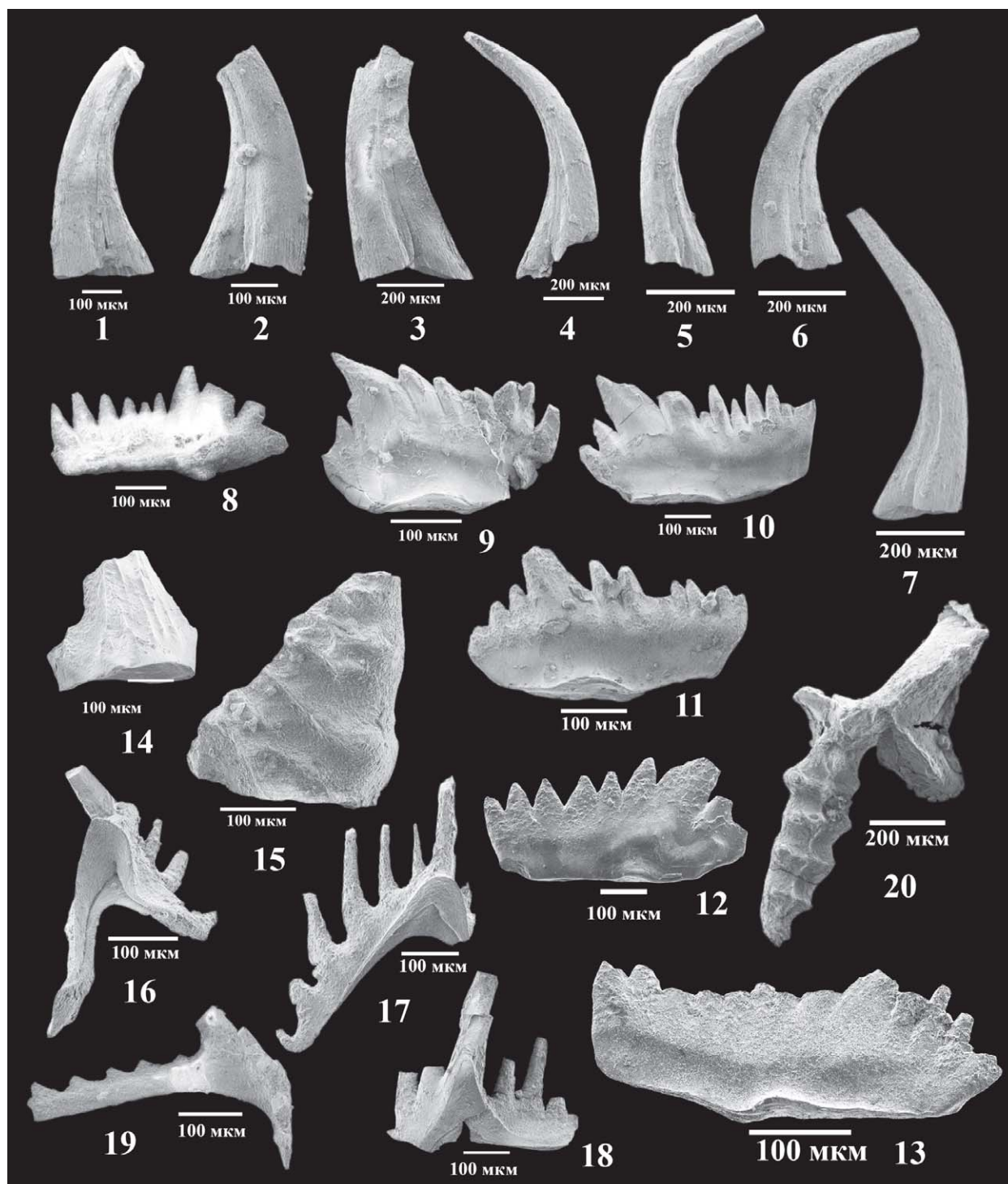


Рис. 2. Лландоверийские конодонты р. Шарью (обн. 64, 65, 67). Фиг. 1, 2, 3, 6. *Panderodus* sp., экз. № 497/1–4; фиг. 4, 5, 7. *Panderodus* cf. *unicostatus*, экз. № 497/5–7; фиг. 8 — *Ozarkodina wagoalaensis* Bischoff. Pa-элемент, экз. № 497/8; фиг. 9–13 — *Ozarkodina kozhimica* Melnikov. Pa-элементы, экз. № 497/9–13; фиг. 14 — Сем. *Pterospathodontidae*. S(?)-элемент, обломок, экз. № 497/14; фиг. 15 — Сем. *Pterospathodontidae*. Pa(?) -элемент, обломок, вид сверху, экз. № 497/15; фиг. 16, 17, 19 — *Oulodus* cf. *jeannae* Schonlaub. 16, 17 — Pa-элементы, экз. № 497/16–17; фиг. 18 — *Oulodus* sp. Pa(?) -элемент, экз. № 497/19; 19 — Sc-элемент, экз. № 497/18; фиг. 20 — *Icriodella* ex gr. *sandersi* Mabillard and Aldridge. Pa-элемент, вид сверху, экз. № 497/20

Fig. 2. Llandovery conodonts of the Sharyu river section (outcrops 64, 65, 67). Figs. 1, 2, 3, 6. *Panderodus* sp., specimens № 497/1–4; фиг. 4, 5, 7. *Panderodus* cf. *unicostatus*, specimens № 497/5–7; figs. 8 — *Ozarkodina wagoalaensis* Bischoff. Pa-element, lateral view, specimen № 497/8; figs. 9–13 — *Ozarkodina kozhimica* Melnikov. Pa-elements, lateral view, specimens № 497/9–13; figs. 14 — Сем. *Pterospathodontidae*. S(?) -элемент, fragment, upper view, specimen № 497/14; figs. 15 — Сем. *Pterospathodontidae*. Pa(?) -элемент, fragment, upper view, specimens № 497/15; figs. 16–19 — *Oulodus* cf. *jeannae* Schonlaub: 16, 17, 18 — Pa-elements, № 497/16–17 specimens; 19 — Sc-element, lateral view, specimen № 497/18; figs. 20 — *Icriodella* ex gr. *sandersi* Mabillard and Aldridge. Pa-element, upper view, specimen № 497/20

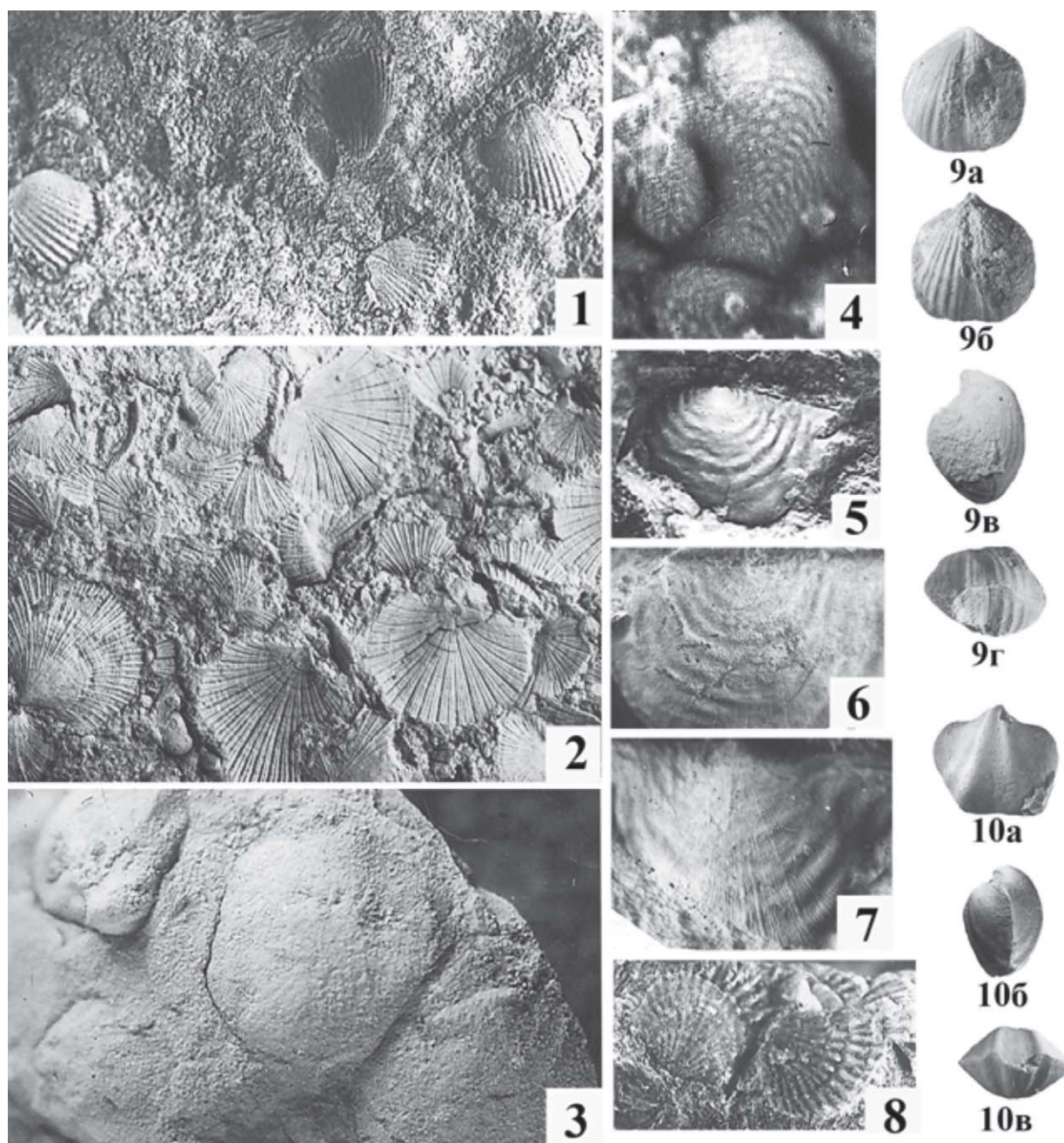


Рис. 3. Брахиоподы пограничных отложений лландовери и венлока р. Шарью (обн. 64, 65, 67). Изображения раковин даны в разных положениях, буквами обозначены: а — брюшная створка, б — спинная створка, с — вид сбоку, d — передний край; другие обозначения особо оговариваются. 1 — *Nalivkinia costulata* Beznosova, экз. № 496/1, обр. 203, ракушняк, $\times 1.4$; 2 — *Fardenia flabellata* Beznosova, экз. № 496/2, обр. 205, ракушняк, $\times 1.4$; 3 — экз. *Borealis* sp. экз. № 496/3, обр. 304, ракушняк, $\times 1$; 4 — фрагмент трилобита, экз. № 496/4, обр. 203, $\times 3,3$; 5, 6, 7 — *Leptaena* sp., экз. № 496/5, 496/6, 496/7, обр. 308, 320, 260 — брюшные створки, $\times 2.5$; 8 — *Atrypa* sp., экз. № 496/8, обр. 205, брюшные створки, $\times 1.4$; 9 — *Protatrypa inflata* Beznosova, экз. № 96/9, обр. 303, раковина в разных положениях, $\times 2.4$; 10 — *Spirinella nordensis* (Ljashenko), экз. № 496/10, обр. 280, раковина в разных положениях, $\times 1.5$

Fig. 3. Brachiopods of deposits of the Sharyu river section (outcrops 64, 65). The shells are presented in several positions, the letters stand for: a — ventral valve, b — dorsal valve, c — lateral view, d — anterior view; other designations are given particularly. 1 — *Nalivkinia costulata* Beznosova, specimen № 496/1, sample 64, ракушняк $\times 1.4$; 2 — *Fardenia flabellata* Beznosova, specimen № 496/2, sample 65, ракушняк $\times 1.4$; 3 — *Borealis* sp., specimen № 496/3, sample 205, ракушняк $\times 1$; 4 — trilobite fragment, specimen № 496/4, sample 65, $\times 3,3$; 5, 6, 7 — *Leptaena* sp., specimen № 496/5, 496/6, 496/7, sample 308, 320, 260, dorsal valves, $\times 2.5$; 8 — *Atrypa* sp., specimen № 496/8, samples 308, 320, 260, dorsal valves, $\times 1.4$; 9 — *Protatrypa inflata* Beznosova, specimen 496/9, sample 303, the shell are presented in several positions $\times 2.4$; 10 — *Spirinella nordensis* (Ljashenko), specimen № 496/10 sample 280, the shells are presented in several positions $\times 1.5$



минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XV Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. Т. II. С. 15—18.

7. Безносова Т. М., Мянник П. Граница лландовери и венлока на севере палеоконтинента Балтия // ДАН. 2005. Т. 401. № 5. С. 1—4.

8. Безносова Т. М., Лукин В. Ю., Мянник П., Майдль Т. В., Матвеев В. А. Стратиграфия и условия формирования нижнесилурийских отложений на поднятии Чернова // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: XVI Геол. съезд Республики Коми. Сыктывкар: Геопринт, 2014. Т. II. С. 224—228.

9. Буко А. Эволюция и темпы вымирания. М.: Мир, 1979. 378 с.

10. Геологическое наследие Республики Коми (Россия) / Сост. П. П. Юхтанов. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2008. 350 с.

11. Мельников С. В. Конодонты ордовика и силура Тимано-Североуральского региона. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургской картографической фабрики ВСЕГЕИ, 1999а. 136 с.

12. Модзалевская Т. Л. Брахиоподы силура и нижнего девона и их стратиграфическое значение // Силурийские и нижнедевонские отложения острова Долгого. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 82—107.

13. Мянник П. Конодонты ордовика и силура // Стратиграфия силура и девона архипелага Северная Земля / Ред. Р. Г. Матухин, В. Вл. Меннер. Новосибирск, 1999. С. 110—120.

14. Объяснительная записка к стратиграфическим схемам Урала (докембрий, палеозой) / Сост. Н. Я. Анцыгин. Екатеринбург, 1994. 95 с.

15. Першина А. И. Силурийские и девонские отложения гряды Чернышева. М.; Л.: Наука, 1962. 122 с.

16. Решения Межведомственного стратиграфического совещания по ордовика и силуру Восточно-Европейской платформы. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. 115 с.

17. Соколова Л. В. Зональное расчленение лландоверианских отложений р. Кожым (западный склон Приполярного Урала) по конодонтам // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 2. С. 24—27.

18. Соколова Л. В. Нижнесилурийские конодонты в обнажении Кожым-109 на западном склоне Приполярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 6. С. 2—5.

19. Тимонин Н. И. Тектоника гряды Чернышева (Северное Приуралье). Л.: Наука, 1974. 130 с.

20. Юдин В. В., Дедеев В. А. Геодинамическая модель Печорской плиты. Сыктывкар, 1987. 12 с. (Науч. докл. Коми фил. АН СССР. Вып. 171).

21. Шеболюкин Д. Н., Мянник П. Венлокские отложения южной части гряды Чернышева (Тимано-Североуральский регион) // Литосфера. 2014. № 1. С. 33—40.

22. Beznosova T. M., Männik P., Sokolova L. V. Brachiopods and conodonts in the Llandovery–Wenlock boundary interval in the Timan — northern Ural region / 4th Annual Meeting of IGSP 591, Estonia. 2014. P. 18.

23. Cramer B. D., Loydell D. K., Samtleben C. et al. Testing the limits of Paleozoic chronostratigraphic correlation via high-resolution (500 kyr) integrated conodont, graptolite, and carbon isotope biochemostratigraphy across the Llandovery–wenlock (Silurian) boundary: Is a unified Phanerozoic time scale achievable? // GSA Bull. 2010. V. 122. P. 1700—1716.

24. Jeppsson L. The anatomy of the mid-early Silurian Ireviken Event. In: Brett C, Baird GC (eds) Paleontological events: stratigraphic, ecological, and evolutionary implications. Columbia University Press, New York. 1997. P. 451—492.

25. Männik P., Miller C. G., and Hairapetian V. Conodonts from the Niur Formation (Silurian) of the Derenj Mountains, Central Iran. Geological Magazine. 2013. Vol. 150(4). P. 639—650.

26. Sweet W. C., Schönlaub H. P. Conodonts of the genus Oulodus Branson and Mehl, 1933 // Geologica et Palaeontologica, 1975. № 9. S. 41—59.

27. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part W: Miscellanea. Supplement 2 Conodonta / Ed. R. A. Robinson. USA: The University of Kansas and Geological Society of America, 1981. 201 p. 1.

28. Zhang Sh., Barnes Ch. R. A new Llandovery (Early Silurian) conodonts biozonation and conodonts from the Becscie, Anticosti Island, Quebec // Journal of paleontology. 2002. Vol. 76. № 2. P. 1—46.

References

1. Antoshkina A. I., Afanasyev A. K., Beznosova T. M. Novaya stratigraficheskaya shema verhnego ordovika i silura severa Urala (Eletskaya zona) (New stratigraphic map of Upper Ordovician and Silurian Northern Urals (Eletsk zone). Syktyvkar, Komi SC UB RAS, 1989, 16 pp.

2. Beznosova T. M. Biostratigrafiya i brahiopody silura Evropeiskogo Severo-

Vostoka Rossii (Biostratigraphy and brachiopods of Silurian European North-East of Russia). Saint-Petersburg, Nauka, 1994, 128 pp.

3. Beznosova T. M. Soobshchestva brahiopod i biostratigrafiya verhnego ordovika, silura i nizhnego devona severo-vostochnoi okrainy paleokontinenta Baltiya (Brachiopod communities and biostratigraphy of Upper Ordovician, Silurian and Lower Devonian of North-Eastern margin of Baltia paleocontinent). Ekaterinburg, 2008, 217 pp.

4. Beznosova T. M. Rubezhi preobrazovaniya Timano-Severouralskoi morskoi bioty v rannem paleozoe i graniitsy regionalnykh stratonov (Transformation of Timan-Northern Ural marine biota in Early Paleozoic and boundaries of regional stratonov). Proceedings, Saint-Petersburg, 2010, pp. 30—32.

5. Beznosova T. M. Preobrazovanie Timano-Severouralskikh morskikh ekosistem v pozdnem ordovike-rannem silure (Transformation of Timan-Northern Ural marine ecosystems in Late Ordovician Early Silurian). Vestnik of Institute of Geology Komi SC UB RAS, 2012. No. 11, pp. 9—11.

6. Beznosova T. M., Lukin V. Yu. Voi vyvskii gorizont-novoe stratigraficheskoe podrazdelenie (Voyvyvsky horizon — a new stratigraphic unit). Geologiya i mineralnye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii: Proceedings. V. II, Syktyvkar, Institute of Geology Komi SC UB RAS, 2009, pp. 15—18.

7. Beznosova T. M., Männik P. Granitsa llandovery i venloka na severe paleokontinenta Baltiya (Llandoveryan–Wenlockian boundary in the north of Baltia paleocontinent). DAN, 2005, V. 401, No. 5, pp. 1—4.

8. Beznosova T. M., Lukin V. Yu., Männik P., Mайдль Т. В., Матвеев В. А. Stratigrafiya i usloviya formirovaniya nizhniesiluriiskikh otlozhenii na podnyatii Chernova (Stratigraphy and conditions of formation of Lower Silurian deposits of Chernyshev Ridge). Geologiya i mineralnye resursy Evropeiskogo severo-vostoka Rossii: Proceedings. Syktyvkar, Geoprint, 2014, V. 2, pp. 224—228.

9. Buko A. Evolyutsiya i tempy vymiraniya (Evolution and tempos of extinction). Moscow, Mir, 1979, 378 pp.

10. Geologicheskoe nasledie Respubliki Komi (Rossiya) (Geological heritage of Komi Republic) (Russia)). P. P. Yuktanov. Syktyvkar, Institute of geology Komi SC UB RAS, 2008, 350 pp.

11. Melnikov S. V. Konodonty ordovika i silura Timano-Severouralskogo regiona (Conodonts in Ordovician and Silu-



rian Timan - Northern Ural region). Saint-Petersburg, VSEGEI, 1999, 136 pp.

12. Modzalevskaya T. L. *Brachiopody silura i nizhnego devona i ih stratigraficheskoe znachenie* (Brachiopods in Silurian and Lower Devonian and their stratigraphic value). Siluriiskie i nizhnedevoiskie otlozheniya ostrova Dolgogo. Sverdlovsk, 1980, pp. 82—107

13. Männik P. *Konodonty ordovika i silura* (Ordovician and Silurian conodonts) *Stratigrafiya silura i devona arhipelaga Severnaya Zemlya*. Editor R. G. Matuhin, V. Vl. Menner. Novosibirsk, 1999, pp. 110—120.

14. *Obyasnitelnaya zapiska k stratigraficheskim shemam Urala* (dokembrii, paleozoi) (Explanatory note to Ural stratigraphic maps). Composed by N. Ya. Antsygin. Ekaterinburg, 1994, 95 pp.

15. Pershina A. I. *Siluriiskie i devonskie otlozheniya gryady Chernysheva* (Silurian and Devonian deposits of Chernyshev Ridge). Moscow, Leningrad, Nauka, 1962, 122 pp.

16. *Resheniya Mezhdomstvennogo stratigraficheskogo soveshaniya po ordoviku i siluru Vostochno-Evropeskoj platformy* (decisions of stratigraphic conference on Ordovician and Silurian of East-European platform). Leningrad, VSEGEI, 1987, 115 pp.

17. Sokolova L. V. *Zonalnoe raschlenenie llandovertiiskih otlozhenii r. Kozhym (zapadnyi sklon Pripolyarnogo Urala) po*

konodontam (Zonal division of Llandoveryan sediments near Kozhim river (western slope of Subpolar Urals) by conodonts). Vestnik of Institute of Geology Komi SC UB RAS, 2012, No. 2, pp. 24—27.

18. Sokolova L. V. *Nizhnesiluriiskie konodonty v obnazhenii Kozhym-109 na zapadnom sklone Pripolyarnogo Urala* (Lower Silurian conodonts in outcrop Kozhym-109 on western slope of Subpolar Urals). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2011, No. 6, pp. 2—5.

19. Timonin N. I. *Tektonika gryady Chernysheva (Severnoe Priuralie)* (Tectonics of Chernyshev ridge (Northern Suburals). Nauka, Leningrad, 1974, 130 pp.

20. Yudin V. V., Dedeev V. A. *Geodinamicheskaya model Pechorskoi plity* (Geodynamic model of Pechora plate). Syktyvkar, 1987, 12 pp.

21. Shebolkin D. N., Männik P. *Venlokskie otlozheniya yuzhnoi chasti gryady Chernysheva (Timano-Severouralskii region)* (Venlockian deposits of southern Chernyshev ridge (Timan-Northern Urals)). Litosfera, 2014, No.1, pp. 33—40.

22. Beznosova, T. M., Männik, P., Sokolova, L. V. Brachiopods and conodonts in the Llandovery-Wenlock boundary interval in the Timan-northern Ural region. 4th Annual Meeting of IGSP 591, Estonia, 2014, pp.18.

23. Cramer B. D., Loydell D. K., Samtleben C. et al. Testing the limits of Paleozoic chronostratigraphic correlation

via high-resolution (500 kyr) integrated conodont, graptolite, and carbon isotope biochemostratigraphy across the llandovery-wenlock (Silurian) boundary: Is a unified Phanerozoic time scale achievable? GSA Bull. 2010. V. 122. P. 1700—1716.

24. Jeppsson L. The anatomy of the mid-early Silurian Ireviken Event. In: Brett C, Baird GC (eds) *Paleontological events: stratigraphic, ecological, and evolutionary implications*. Columbia University Press, New York. 1997. P. 451—492.

25. Männik, P., Miller, C. G., and Hairapetian, V. Conodonts from the Niur Formation (Silurian) of the Derenjaj Mountains, Central Iran. Geological Magazine. 2013. Vol. 150(4). P. 639—650.

26. Sweet W. C., Schönlaub H. P. Conodonts of the genus *Oulodus* Branson and Mehl, 1933, *Geologica et Palaeontologica*, 1975. № 9. S. 41—59.

27. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part W: Miscellanea. Supplement 2 Conodonta* / Ed. R. A. Robinson. USA: The University of Kansas and Geological Society of America, 1981. 201 p. 1.

28. Zhang Sh., Barnes Ch. R. A new Llandovery (Early Silurian) conodonts biozonation and conodonts from the Becscie, Anticosti Island, Quebec. *Journal of paleontology*, 2002. Vol. 76. No. 2, pp. 1—46.

Рецензент

к. г.-м. н. Э. С. Щербаков

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОТЛИЧИЯ ВУЛКАНОКЛАСТИЧЕСКИХ ГРАУВАКК НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО ДЕВОНА ЗАПАДНО-МАГНИТОГОРСКОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА



А. М. Фазлиахметов¹, Р. И. Зайнуллин^{1, 2}

¹Институт геологии Уфимского научного центра РАН, Уфа
famrb@mail.ru

²Башкирский государственный университет, Уфа

В Западно-Магнитогорской зоне Южного Урала широко распространены нижнедевонские отложения, часто представленные вулканокластическими граувакками. Они макроскопически схожи с граувакками и рендыкской свиты, что обусловило необходимость выявления их отличий по геохимическим параметрам. Данная задача была решена на примере отложений рыскужинской толщи нижнего девона.

Геохимическое опробование было проведено из разрезов, в которых возраст отложений установлен по фауне. Определение содержаний элементов в породах было выполнено методами РФА и ИСП-МС. В результате удалось установить, что граувакки рыскужинской толщи отличаются более высокими содержаниями U, Th, P₂O₅, LREE, Zr, Nb, Hf и значениями La/Y, Th/Zr, La/Yb, La/Co, La/Sc, Th/Co, Y/Co, а также более низкими величинами Sc/Zr, Co/Zr, Co/Th, Th/Sc, Yb/Th.

Ключевые слова: рыскужинская толща, ирендыкская свита, геохимия, граувакки, нижний девон, Южный Урал.

GEOCHEMICAL DISTINCTIVE CRITERIA OF LOWER AND MIDDLE DEVONIAN VOLCANICLASTIC GRAYWACKES FROM WESTERN MAGNITOGORSK ZONE OF SOUTH URALS

A. M. Fazliakhmetov¹, R. I. Zaynullin^{1, 2}

¹Institute of Geology Ufa Science Centre RAS, Ufa

²Bashkir State University, Ufa

Lower Devonian deposits, mainly represented by volcanoclastic greywackes, are widespread in the Western Magnitogorsk zone of South Urals. Their external features are similar to the Irendytskaya Formation greywackes. This led to the need to identify their differences in geochemical parameters. This problem was solved by the example of deposits of the Lower Devonian Ryskuzhinskaya Formation.

Geochemical sampling was conducted from the sections, which age was based on the fauna. The elemental composition was determined by XRF and ICP-MS. As a result, it was found that the greywackes from Ryskuzhinskaya formation have higher contents of U, Th, P₂O₅, LREE, Zr, Nb, Hf, Co, higher values of La/Y, Th/Zr, La/Yb, La/Co, La/Sc, Th/Co, Y/Co and lower values of Sc/Zr, Co/Zr, Co/Th, Th/Sc, Yb/Th.

Keywords: Ryskuzhinskaya formation, irendytskaya formation, geochemistry, greywacke, Lower Devonian, South Urals.

Введение

На Южном Урале в зоне сочленения Западно-Магнитогорской зоны и Главного Уральского разлома известны нижнедевонские отложения [2, 4]. Они представлены вулканокластическими граувакками раз-

личных гранулометрических классов, кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами, известняками, базальтами, андезитами и вулканитами иного состава, находящимися друг с другом в сложных взаимоотношениях, обусловленных как контрастными фази-

альными переходами, так и тектоническими нарушениями. Изучение нижнедевонских отложений велось на протяжении нескольких десятилетий разными исследователями при выполнении геолого-съёмочных (И. С. Ани-симов, М. Ш. Биков, Ш. Н. Кац, В. М.

Кривоносов, В. П. Москвичев, В. В. Павлов) и тематических [2, 5–7, 10, 12] работ. В результате накоплен достаточно объемный фактический материал, представленный преимущественно описаниями естественных обнажений, шурфов и буровых скважин, литогеохимическими данными. Немало также и находок фауны, но их недостаточно для детального сопоставления разрезов между собой и с Международной стратиграфической шкалой. По этой причине, а также из-за макроскопического сходства нижнедевонских граувакк с граувакками ирендыкской свиты нижнего эйфеля результаты исследований разных авторов противоречат друг другу. Примером могут служить геологические карты разных лет окрестностей озера Ускуль, где нижнедевонские отложения широко распространены [9]. Таким образом, на сегодняшний день площадное распространение, обстановки формирования и многие другие особенности нижнедевонских отложений являются спорными или не изученными вовсе.

Одним из немногих районов, где некоторые проблемы геологии нижнего девона могут быть разрешены, является стратотипическая местность рыскужинской толщи нижнего девона. Она расположена в Абзелиловском районе республики Башкортостан, в верхнем течении реки Большой Кизил у деревень Рыскужино, Утяганово, Ишкильдино и др. (рис. 1). Отложения, относящиеся в настоящее время к рыскужинской толще, долгое время картировались в качестве нижней подсвиты ирендыкской свиты. История их изучения достаточно сложна и подробно изложена В. А. Масловым и О. В. Артюшковой [4], впервые выделившими рыскужинскую толщу в качестве самостоятельного стратиграфического подразделения.

Рыскужинская толща нижнего девона

Рыскужинская толща, согласно [1, 2, 4], сложена вулканокластическими граувакками среднеосновного состава, мраморизованными известняками, кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами общей мощностью не более 450 м, а возраст принят как нижний девон в полном объеме за исключением верхней части эмского яруса.

Наиболее широко в рыскужинской толще распространены вулканокластические граувакки, находящиеся в ассоциации с силицитами. Соотношение этих пород меняется от раз-

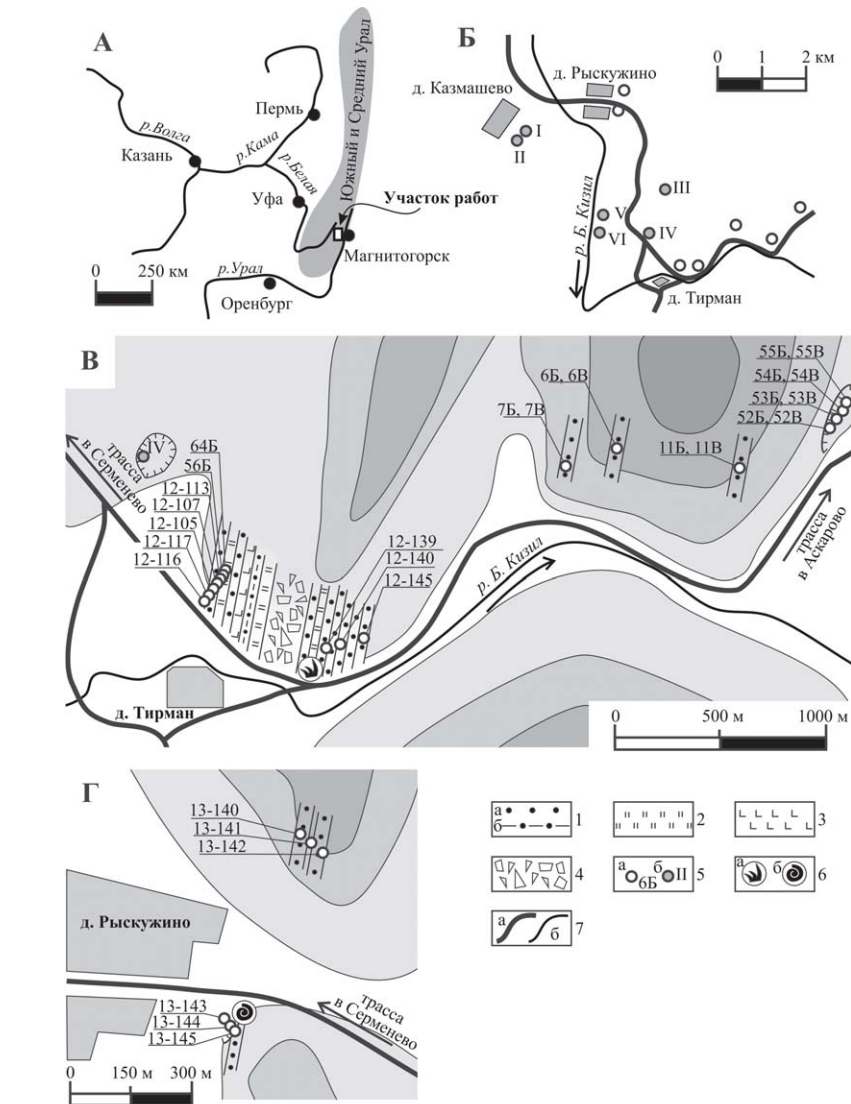


Рис. 1. Расположение района работ и точек опробования: А — расположение района работ на обзорной карте; Б — обзорная схема района работ; В–Г — положение точек опробования на детальных схемах.

Условные обозначения: 1 — песчаники (а) и алевролиты (б); 2 — силициты; 3 — базальты; 4 — шлаковые агломераты; 5 — положение точек опробования в разрезах, где возраст отложений установлен по фауне (а) или предполагается на основе геохимических данных (б), и их номера; 6 — места обнаружения конодонтов (а) и брахиопод (б); 7 — автодороги (а) и реки (б)

Fig. 1. Work site and sampling points: А — location of site on general map of site; Б — general map of site; В–Г — position of sampling points on detailed maps.

Legend: 1 — sandstones (a) and aleurolites (b); 2 — silicites; 3 — basalts; 4 — slag agglomerates; 5 — position of sampling points in the sections where the age of the deposits was determined by fauna (a) or assumed on the basis of geochemical data (b), and their numbers; 6 — occurrences of conodonts (a) and brachiopods (b); 7 — roads (a) and rivers (b)

реза к разрезу (рис. 2). В одних случаях преобладают песчаники грубо- и крупнозернистые, образующие слои от 0.5 до 1.5 м. Они имеют преимущественно массивную текстуру, иногда с хаотично размещенными обломками вулканитов или кремней псефитовой размерности. Градационная слоистость в них проявлена лишь иногда в верхней части слоя. Прослои кремней и кремнистых алевролитов редки, но встречаются слои гравийно-галечных микститов мощностью в первые

метры. В других случаях песчаники представлены крупно-, средне- и мелкозернистыми разностями. Ими сложены слои мощностью от первых сантиметров до 0.5–0.6 м с хорошо проявленной градационной сортировкой. Каждый слой песчаников отделен от выше- и нижележащего слоистыми кремнями или кремнистыми алевролитами мощностью от 0.05–0.1 до 1.0–1.2 м. Между двумя приведенными типами разрезов есть промежуточные разности.



Песчаники рыскужинской толщи, согласно классификации В. Д. Шутова [13], относятся к собственно грауваккам или полевошпатовым грауваккам. Они сложены обломками вулканитов среднего, основного, редко кислого состава, основным плагиоклазом, пироксенами. Постдиагенетические преобразования обусловили развитие вторичных минералов — преимущественно пренита и эпидота, что полностью скрыло структуры и текстуры пород, сделало невозможным применение методов петрографии для отличия рыскужинских граувакк от ирендыкских. В связи с этим представилось важным найти критерии геохимической идентификации, что потребовало проведения опробования в разрезах, где возраст отложений установлен по фауне.

Апробированные разрезы и методы исследования

Известны две находки фауны, непосредственно связанные с граувакками рыскужинской толщи. Первая принадлежит К. С. Иванову [3, 8] и представлена брахиоподами из 20-сантиметрового слоя среднезернистых туфопесчаников в карьере по добыче щебня на восточной окраине деревни Рыскужино, непосредственно к югу от автодороги Серменево — Аскарново (рис. 1, Г). По определению В. П. Сапельникова и Л. И. Мизенс, найденный комплекс брахиопод характерен для карпинского горизонта и сопоставим с нижней частью эмского яруса — конодонтовые зоны *gronbergi* — *serotinus*.

Вторая находка фауны, связанная с граувакками, представлена конодонтами верхней части эмского яруса. Они были обнаружены О. В. Артюшковой в прослое красных яшмовидных пород мощностью 0.5—1.0 м, вскрытых в районе д. Тирман в восточной выемке автодороги Серменево — Аскарново (рис. 1, В) [4]. Ниже по разрезу залегают породы мощностью не более 200 м, описанные И. В. Хворовой и М. Н. Ильинской [11] как «сильно кальцитизированные шлаковые агломераты, состоящие из обломков гематитизированных миндалекаменных вариолитов, шлаков и полностью окварцованных обломков с остатками «оолитоподобной» структуры». Они, по данным [4], сопоставимы с баймак-бурибайской свитой верхнего эмса. Стратиграфически ниже залегает последовательность граувакк с градиционной сортировкой и силициторыскужинской толщи.

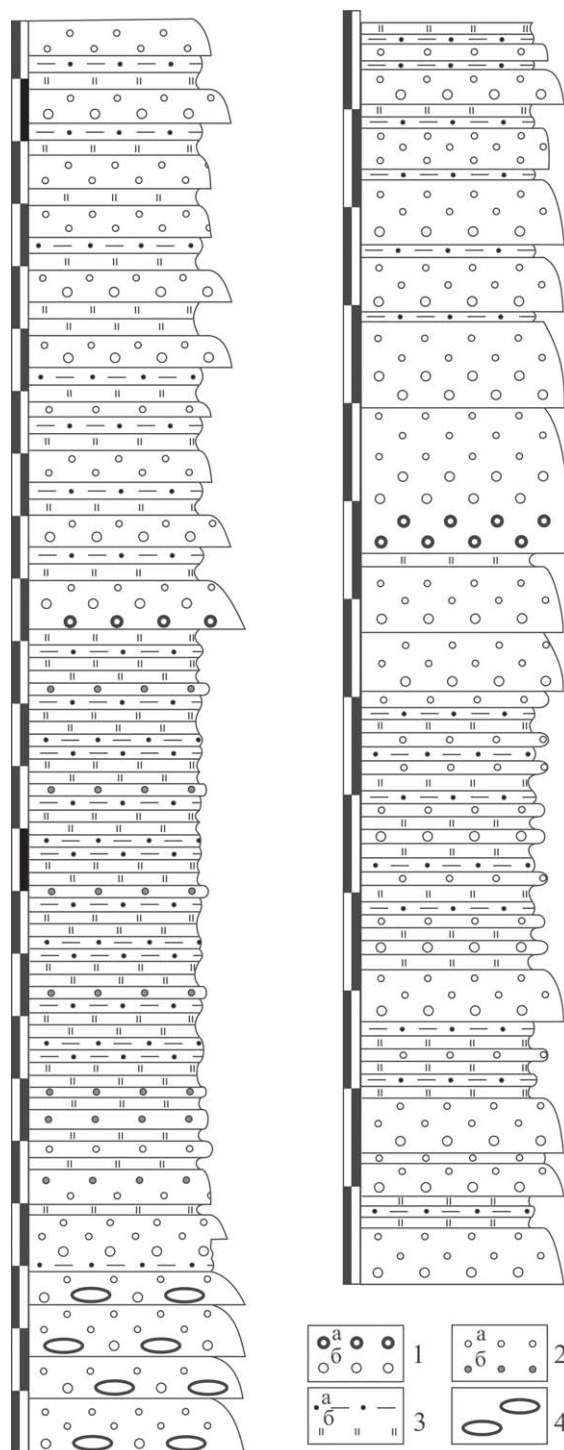


Рис. 2. Примеры разрезов отложений рыскужинской толщи к северу от д. Тирман: 1 — гравелиты (а), песчаники грубо- и крупнозернистые (б); 2 — песчаники среднезернистые (а), мелко- и тонкозернистые (б); 3 — алевролиты (а) и силициты (б); 4 — гальки силицитов. Длина одного деления вертикальной линейки соответствует 1 м

Fig. 2. Section samples of ryskuzhinskaya strata northward from Tirman Village: 1 — gravelites (a), coarse and large-grained sandstones (б); 2 — medium-grained sandstones (а), small- and fine-grained (б); 3 — aleurolites (a) and silicites (б); 4 — pebbles of silicites. The length of vertical scale division corresponds to 1 m

Упомянутые ранее красные яшмoids перекрыты отложениями ирендыкской свиты мощностью 1500—2000 м. Они представлены чередующимися вулканокластическими граувакками и в меньшей мере силицитами, практически неотличимыми

по макроскопическим признакам от пород рыскужинской толщи.

Всего из отложений рыскужинской толщи отобрано 15 образцов и 19 — из отложений ирендыкской свиты.

Содержание главных элементов определено методом рентгенофлуо-

ресцентного анализа на спектрометре VRA-30 в ИГ УНЦ РАН (Уфа). Анализируемые пробы предварительно истерили со связующим (ПВС-8) и прессовали при давлении 25–27 т на подложке из борной кислоты. Содержание малых элементов установлено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. 28 образцов проанализировано в центральной лаборатории ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) на масс-спектрометре ELAN-DRC-6100. Разложение проб при этом выполнено путем сплавления с метаболитом лития. Состав остальных шести проб определен в лаборатории ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа ИПТМ РАН (Черноголовка) на масс-спектрометре X-7, где разложение проводилось методом кислотного растворения в закрытой системе. В качестве внешних стандартов использовались AGV-2, GSP-2.

Результаты сравнения

Сравнение граувакк проводилось как по содержаниям элементов, так и по их отношениям, наиболее часто применяемым для восстановления обстановок седиментации и состава пород источников сноса. Для этого сравниваемые величины или их средние значения выносились на графики или бинарные диаграммы. В результате было установлено, что содержания главных элементов, Sc, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Cs, Ba, HREE, Pb, величина европиевой аномалии и значения Sc/Cr, Ti/Zr, Cr/Th, Cr/V, Cr/Zr,

La/Cr, La/Th, La/V, Ni/Co, Rb/Ba, Rb/Sr, Th/Sm, Th/U, V/Ni, Y/Ni, Zr/Hf, Co/Ba, Ti/V практически одинаковы в граувакках рыскужинской толщи и ирендыкской свиты.

Геохимические параметры, по которым сравниваемые породы отличаются, немногочисленны. Отложениям рыскужинской толщи свойственны более высокие содержания (г/т): U (0.96 против 0.34), Th (2.09 против 0.59), P_2O_5 (0.25 против 0.06), LREE (57.3 против 17.4), Zr (55.9 против 28.3), Nb (2.7 против 1.2), Hf (1.7 против 0.9) и значения La/Y (0.73 против 0.25), Th/Zr (0.038 против 0.021), La/Yb (6.84 против 2.23), La/Co (0.453 против 0.096), La/Sc (0.330 против 0.082), Th/Co (0.083 против 0.019), LREE/HREE (5.41 против 2.38), Y/Co (0.61 против 0.39), а также более низкие величины: Sc/Zr (0.63 против 1.48), Co/Zr (0.46 против 1.21), Co/Th (12.6 против 56.5), Th/Sc (0.061 против 0.016), Yb/Th (0.79 против 2.37).

Выявленные отличия позволяют более обоснованно относить граувакки из разрезов, неохарактеризованных фауной, к рыскужинской толще или к ирендыкской свите. Наиболее удобны для этого бинарные диаграммы La/Yb—Sc/Th, Sc/Zr—Co/Y и P_2O_5 —U (рис. 3), на которых точки, отвечающие составу кластолитов разного возраста, образуют изолированные друг от друга кластеры. Например, граувакки, обладающие геохимическими параметрами, свойственными грауваккам рыскужинской толщи, установлены в четырех разрезах

к северу и к западу от д. Тирман (точки III—VI на рис. 1, Б). Важно отметить, что в одном из них впервые обнаружен согласный контакт граувакк с известняками (точка V на рис. 1, Б), в другом граувакки переслаиваются с порфирами андезитового и андезибазальтового состава (точка III на рис. 1, Б). Последующее изучение порфиров и известняков, в том числе поиск конодонтов в последних, позволит существенно уточнить историю геологического развития Западно-Магнитогорской зоны в раннем девоне.

Граувакки, близкие по составу к грауваккам ирендыкской свиты (рис. 3), были обнаружены к юго-западу от д. Казмашево (точки I, II на рис. 1, Б).

Заключение

Вулканокластические граувакки рыскужинской толщи и ирендыкской свиты, неотличимые по макроскопическим признакам, по большинству геохимических параметров также схожи. Исключение составляют содержания U, Th, P_2O_5 , LREE, Zr, Nb, Hf, Co, отношения La/Y, Th/Zr, La/Yb, La/Co, La/Sc и др. Наиболее удобны для разделения граувакк разного возраста бинарные диаграммы La/Yb—Sc/Th, Sc/Zr—Co/Y и P_2O_5 —U. Их применение позволило уточнить возраст отложений в некоторых разрезах.

Исследования выполнены по теме государственного задания № 0252-2014-0003.

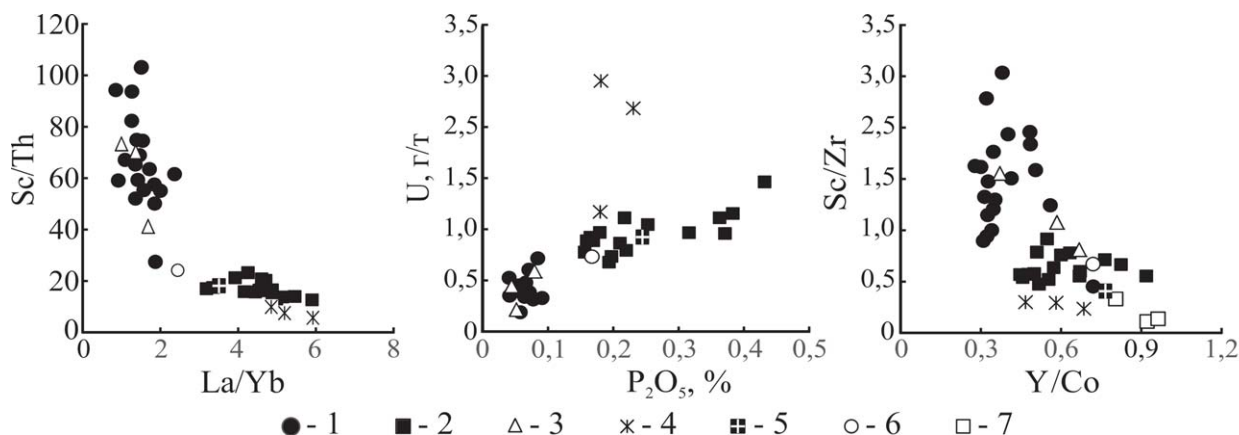


Рис. 3. Положение фигуративных точек состава граувакк рыскужинской толщи и ирендыкской свиты на диаграммах: 1 — ирендыкской свиты к северо-востоку от д. Тирман; 2 — рыскужинской толщи разрезов у д. Тирман и д. Рыскужино; 3 — ирендыкской свиты у д. Казмашево; 4, 5 — в карьерах по добыче камня к северу от д. Тирман, точки III (4) и IV (5) на рис. 1, Б; 6, 7 — на левом берегу р. Б. Кизил в точках V (7) и VI (6) на рис. 1, Б

Fig. 3. Position of data points of grauwackes of the Ryskuzhinskaya series and the Irendytskaya suite on diagrams: 1 — Irendytskaya suite north-eastward from the Tirman Village; 2 — Ryskuzhinskaya strata near the Tirman Village and Ryskuzhino Village; 3 — Irendytskaya suite near the Kazmashevo Village; 4, 5 — in stone quarries northward from Tirman Village, points III (4) and IV (5) in Fig. 1, Б; 6, 7 — on the left bank of the B. Kizil River in points V (7) and VI (6) in Fig. 1, Б



Литература

1. Артюшкова О. В. Девонские конодонты из вулканогенно-кремнистых отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: Дизайн-Пресс, 2014. 152 с.
 2. Артюшкова О. В., Маслов В. А. Нижнедевонские (доверхнеэмские) отложения Магнитогорской мегазоны // Геологический сборник № 2. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2001. С. 80—87.
 3. Иванов К. С., Бикбаев А. З., Мизенс Л. И., Сапельников В. П. Первые находки брахиопод в вулканогенно-осадочных породах ирендыкской свиты на Южном Урале // Ежегодник-1996: Информационный сборник научных трудов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1997. С. 13—15.
 4. Маслов В. А., Артюшкова О. В. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: Дизайн-Полиграф Сервис, 2010. 288 с.
 5. Маслов В. А., Черкасов В. Л., Тищенко В. Т., Смирнова И. А., Артюшкова О. В., Павлов В. В. Стратиграфия и корреляция среднепалеозойских вулканогенных комплексов основных медноколчеданных районов Южного Урала. Уфа: УНЦ РАН, 1993. 217 с.
 6. Мизенс Г. А. Редкие элементы и особенности источников сноса обломочного материала осадочных формаций девона и карбона в восточных зонах Южного Урала // Геохимия. 2009. № 12. С. 1259—1278.
 7. Мизенс Г. А., Ронкин Ю. Л., Лепихина О. П., Попова О. Ю. Редкие и редкоземельные элементы в девонских обломочных комплексах Магнитогорской мегазоны Южного Урала // Геохимия. 2006. № 3. С. 1—21.
 8. Сапельников В. П., Мизенс Л. И., Иванов К. С., Бикбаев А. З. Брахиоподы из туфопесчаников ирендыкской свиты (нижний эмс, Южный Урал) // Материалы по стратиграфии и палеонтологии Урала: Сб. научн. труд. Вып. 2. Екатеринбург, 1999. С. 149—159.
 9. Фазлиахметов А. М. Нижнедевонские известняки района озера Ускуль (север Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала) // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: Материалы III Всероссийской молодежной геологической конференции. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2015. С. 99—103.
 10. Фазлиахметов А. М., Зайнуллин Р. И. Вариации индикаторных геохимических параметров на примере ниже- и среднедевонских вулканитовых песчаников Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 1 (84). С. 56—62.
 11. Хворова И. В., Ильинская М. Н. Сравнительная характеристика двух вулканогенно-осадочных формаций Южного Урала // Вулканогенно-осадочные и терригенные формации. М.: Изд-во Академии наук. 1963. С. 87—160.
 12. Чибрикова Е. В. Стратиграфия девонских и более древних палеозойских отложений Южного Урала и Приуралья (по растительным микрофоссилиям). М.: Наука, 1977. 160 с.
 13. Шутов В. Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 86—103.
- References**
1. Artyushkova O. V. *Devonskie konodonty iz vulkanogenno-kremnistykh otlozhenii Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala* (Devonian conodonts from igneous siliceous rocks of Magnitogorsk anomaly in South Urals). Ufa, DizainPress, 2014, 152 pp.
 2. Artyushkova O. V., Maslov V. A. *Nizhnedevonskie (doverhneemsskie) otlozheniya Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala* (Lower Devonian (Pre-upper Emsian) deposits of Magnitogorsk megaxone). *Geologicheskii sbornik № 2*. Ufa, IG USC RAS, 2001, pp. 80—87.
 3. Ivanov K. S., Bikbaev A. Z., Mizens L. I., Sapel'nikov V. P. *Pervye nahodki brachiopod v vulkanogenno-osadochnykh porodakh irendykskoi svity na Yuzhnogo Urala* (First findings of brachiopods in igneous sediments of irendykskaya suite in South Urals). *Ezhegodnik 1996*. Ekaterinburg, IGG UB RAS, 1997, pp. 13—15.
 4. Maslov V. A., Artyushkova O. V. *Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozhenii Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala* (Stratigraphy and correlation of Devonian sediments of Magnitogorsk megazone). Ufa, Dizain Poligraf Servis, 2010, 288 pp.
 5. Maslov V. A., Cherkasov V. L., Tischenko V. T., Smirnova I. A., Artyushkova O. V., Pavlov V. V. *Stratigrafiya i korrelyatsiya srednepaleozoiskikh vulkanogennykh kompleksov osnovnykh mednokolchedannykh raionov Yuzhnogo Urala* (Stratigraphy and correlation of Middle Paleozoic igneous complexes of basic copper-sulphide complexes). Ufa, Ufa SC RAS, 1993, 217 pp.
 6. Mizens G. A. *Redkie elementy i osobennosti istochnikov snosa oblomochnogo materiala osadochnykh formatsii devona i karbona v vostochnykh zonah Yuzhnogo Urala* (Rare elements and features of source area of Devonian and Carboniferous formations in eastern parts of South Urals). *Geohimiya*, 2009, No. 12, pp. 1259—1278.
 7. Mizens G. A., Ronkin Yu. L., Lepikhina O. P., Popova O. Yu. *Redkie i redkozemelnye elementy v devonskikh oblomochnykh kompleksah Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala* (Rare and rare earth elements in Devonian clastic complexes of Magnitogorsk megazone of South Urals). *Geohimiya*, 2006, No. 3, pp. 1—21.
 8. Sapel'nikov V. P., Mizens L. I., Ivanov K. S., Bikbaev A. Z. *Brachiopody iz tufopeschanikov irendykskoi svity (nizhnii ems, Yuzhnyi Ural)* (Brachiopods from tuff sandstones of irendykskaya suite (Lower Emsian, South Urals). *Materialy po stratigrafii i paleontologii Urala. Sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 2*. Ekaterinburg, 1999, pp. 149—159.
 9. Fazliahmetov A. M., *Nizhnedevonskie izvestnyaki raiona ozera Uskul' (sever Zapadno-Magnitogorskoi zony Yuzhnogo Urala)* (Lower Devonian limestones near the Uskul Lake (North of Western Magnitogorsk anomaly in South Urals)). *Geologiya, geoekologiya i resursnyi potentsial Urala i sopredel'nykh territorii*. Proceedings. Ufa, IG USC RAS, 2015, pp. 99—103.
 10. Fazliahmetov A. M., Zainullin R. I. *Variatsii indikatornykh geohimicheskikh parametrov na primere nizhne- i srednedevonskikh vulkanitovykh peschanikov Zapadno-Magnitogorskoi zony Yuzhnogo Urala* (Variations of indicator geochemical parameters on example of Lower and Middle Devonian vulcanite sandstones of Western Magnitogorsk anomaly of South Urals). *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014, No. 1 (84), pp. 56—62.
 11. Hovorova I. V., Ilinskaya M. N. *Sravnitel'naya harakteristika dvuh vulkanogenno-osadochnykh formatsii Yuzhnogo Urala* (Comparative characteristics of two volcanogenic sedimentary formations in South Urals). *Vulkanogenno-osadochnye i terrigennye formatsii*. Moscow, 1963, pp. 87—160.
 12. Chibrikova E. V. *Stratigrafiya devonskikh i bolee drevnykh paleozoiskikh otlozhenii Yuzhnogo Urala i Priuralya (po rastitel'nykh mikrofosiliyam)* (Stratigraphy of Devonian and more ancient Paleozoic sediments of South Urals and Sub-Ural areas (by plant microfossils)). Moscow, Nauka, 1977, 160 pp.
 13. Shutov V. D. *Klassifikatsiya peschanikov* (Classification of sandstones). *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1967, No. 5, pp. 86—103.

Рецензент

к. г.-м. н. И. В. Козырева