

# МИНЕРАЛОГИЯ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ УЛУЕЛГИНСКО-КУДАШМАНОВСКОЙ ЗОНЫ (БАШКИРСКИЙ МЕГАНТИКЛИНОРИЙ)\*

## © С.С. Ковалев,

младший научный сотрудник,  
Институт геологии,  
Уфимский научный центр РАН,  
ул. К. Маркса, 16/2,  
450077, г. Уфа, Российская Федерация,  
эл. почта: kovalev@ufaras.ru

## © А.А. Шарипова,

младший научный сотрудник,  
Институт геологии,  
Уфимский научный центр РАН,  
ул. К. Маркса, 16/2,  
450077, г. Уфа, Российская Федерация,  
эл. почта: ajsylu\_azatovna@mail.ru

## © С.Г. Ковалев,

доктор геолого-минералогических наук,  
заместитель директора по научной работе,  
Институт геологии,  
Уфимский научный центр РАН,  
ул. К. Маркса, 16/2,  
450077, г. Уфа, Российская Федерация,  
эл. почта: kovalev@ufaras.ru

## © С.В. Мичурин,

кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник,  
Институт геологии,  
Уфимский научный центр РАН,  
ул. К. Маркса, 16/2,  
450077, г. Уфа, Российская Федерация,  
эл. почта: s\_michurin@mail.ru

В работе приводятся материалы по геологическому строению и минералого-петрографическому составу черносланцевых отложений среднерифейского возраста, приуроченных к Юрюзано-Зюраткульскому региональному разлому (Башкирский мегантиклинорий). Детально описана комплексная сульфидно-Au-Ag-U-Th-REE и кварцевожильная минерализация, изученные на современной прецизионной аппаратурной базе с применением методов термобарогеохимии. С различной степенью детальности охарактеризованы сульфиды (пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит), самородные элементы (Au, Ag, Sn), а также уран-ториевая и редкоземельно-фосфатная минерализация. На основе изучения кварцевожильной минерализации выделено несколько генераций кварца, каждая из которых характеризуется своим газовым составом флюидных включений и общей флюидноносностью. Участки развития золотой, Au-содержащей, Ag-содержащей и сульфидной минерализации в породах Кудашмановского разреза совпадают с зонами развития голубовато-серого кварца, обладающего флюидоносностью на уровне 50–100 мкл/г.

Показано, что комплексная минерализация черносланцевых отложений Улуелгинско-Кудашмановской зоны формировалась в несколько этапов. В обобщенном виде генезис комплексного оруденения сложнодислоцированных черносланцевых толщ Башкирского мегантиклинория обусловлен геодинамическим режимом развития региона и может быть охарактеризован двухэтапной моделью: первый этап рифтогенный «подготовительный», во время которого формируется геохимическая специализация пород и образуются минералы первой генерации; второй – коллизонный(?), рудогенерирующий, характеризуется развитием регионального метаморфизма, процессов водного корового палингенеза и минералообразованием в условиях функционирования флюидно-гидротермальной системы при меняющихся геохимических параметрах среды и термобарических условиях процесса.

Ключевые слова: черносланцевые отложения, Башкирский мегантиклинорий, сульфидная минерализация, редкоземельные элементы, самородные металлы, кварцевожильная минерализация, флюидонасыщенность, термобарогеохимия, минералообразование

© S.S. Kovalev<sup>1</sup>, A.A. Sharipova<sup>2</sup>, S.G. Kovalev<sup>3</sup>, S.V. Michurin<sup>4</sup>

## MINERALOGY OF BLACK SHALE DEPOSITS IN THE ULUELGA-KUDASHMANOVO ZONE (BASHKIR MEGANTICLINORIUM)

<sup>1,2,3,4</sup>Institute of Geology,  
Ufa Scientific Centre,  
Russian Academy of Sciences,  
16/2, ulitsa Karla Marksa,  
450077, Ufa, Russian Federation  
e-mail: kovalev@ufaras.ru

This article contains information on the geological structure and mineralogical and petrographic composition of Middle Riphean black shale deposits confined to the Yuryuzan-Zyuratkul regional fault (Bashkir Meganticlinorium). It describes in detail the complex sulphide Au-Ag-U-Th-REE and quartz vein mineralizations studied with the use of modern precision equipment and thermobarometric geochemical techniques. With varying degrees of detail, the article describes sulphides (pyrite, pyrrhotine, chalcopyrite, sphalerite, galena), native elements (Au, Ag, Sn) as well as thorium-uranium and REE-phosphate mineralizations. Investigations into the quartz vein mineralization made it possible to identify several quartz generations, each characterized by its specific gas composition of fluid inclusions and total fluid content. The areas of gold, Au and Ag-containing and sulphide mineralizations within the Kudashmanovo section coincide with the zones of bluish grey quartz having fluid content of 50–100 µl/g.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16–35–00144.

It is shown that complex black shale mineralization of the Uluelga-Kudashmano zone was formed at several stages. In summary, the genesis of complex mineralization within highly dislocated black shale strata of the Bashkir Meganticlinorium was caused by the regional geodynamic regime and can be characterized by a two-stage model. The first stage is "preparatory" riftogenic, during which the geochemical specialization of rocks and first-generation minerals took place. The second collisional (?) ore-forming stage is characterized by the development of regional metamorphism, water palingenesis in the crust and mineral formation under the conditions of the functioning fluid-hydrothermal system with varying parameters of the geochemical environment and thermobarometric features of the process.

Key words: black shale deposits, Bashkir Meganticlinorium, sulphide mineralization, rare earth elements, native metals, quartz vein mineralization, fluid content, thermobaric geochemistry, mineralization

**Геология Улуелгинско-Кудашмановская зоны.** Улуелгинско-Кудашмановская зона структурно приурочена к Ишлинскому грабену, располагаясь непосредственно в зоне Юрюзано-Зюраткульского разлома, представляя собой узкую (100–250 м) полосу субмеридионального простирания, прослеженную на расстоянии около 15 км (см. рис. 1). Терригенные породы зоны представлены серицит-кварцевыми алевролитами и углеродсодержащими сланцами. Характерной особенностью, как для первых, так и для вторых разновидностей пород, является значительная дислоцированность, а именно: смятие, гофрирование, микробудинаж, завальцовка кварцевых обломков с мозаичным, облачным погасанием и формирование текстур пластического течения. Метасоматическая перекристаллизация выражается в укрупнении серицита с образованием крупночешуйчатого (до 5 мм по удлинению) мусковита и дорастании кварцевых обломков. В породах широко развиты окварцевание, альбитизация и карбонатизация, выражающиеся в наличии прожилков неправильной формы и переменной мощности.

Основным отличием углеродсодержащих сланцев от алевролитов является пелитовая размерность зерен кварца и присутствие углеродистого вещества, которое образует послойно-полосовидные, шнурообразные и комковатые выделения. Содержание углерода в породах колеблется от 1,1 до 2,6%. При изучении образцов углеродсодержащих сланцев в отраженном свете в однородной массе установлены мелкие (0,01 мм и менее) чешуйки, обладающие хорошо наблюдаемой яркой оптической анизотропией, характерной для графита. Основная масса углеродистого вещества (УВ) изотропна либо обладает слабой анизотропией

с прямым или облачным погасанием, что позволяет отнести его к УВ керит-антраксолитового ряда.

Магматические породы зоны образуют вулcano-плутоническую ассоциацию, включающую пластовые тела интрузивных габбро-долеритов и эффузивов основного состава с небольшим количеством пирокластического материала. Для габбро-долеритов центральной части Улуелгинского разреза характерны реликтовые офитовые и габбровые структуры. Минеральный состав включает клинопироксен (авгит), замещающийся сине-зеленой роговой обманкой, зернистыми агрегатами клиноцоизита и эпидота; альбитизированный и сосюритизированный плагиоклаз; титаномagnetит, часто псевдоморфно замещающийся агрегатом тонкозернистого титанита. В качестве акцессорных минералов в породах присутствуют циркон, апатит, рутил, сульфиды (пирит, халькопирит).

В верхней части разреза присутствуют жилы альбититов мощностью 15–20 см, состоящие из ксеноморфных зерен альбита с небольшим количеством кварца. В интерстициях присутствуют хлорит, мелкие кристаллы минералов эпидот-цоизитовой группы (клиноцоизит), апатит, рутил и турмалин. В крайней степени изменения интрузивные породы представляют собой карбонат(кальцит)-эпидот(клиноцоизит)-альбит-кварц-хлоритовые сланцы и эпидот-альбит-кварц-амфиболовые (с арфведсонитом) породы массивной текстуры, трансформирующие тектонические нарушения, которые располагаются внутри мощного габбро-долеритового тела (см. рис. 1).

Эффузивные metabазальты имеют мелкозернистую, реликтовую порфириовидную и интерсервальную структуру и массивную тексту-

ру. Сложены они разноориентированными лейстами плагиоклаза, клинопироксеном, нацело замещенным эпидотом и хлоритом, а также девитрифицированным вулканическим стеклом. Совместно с маломощными прослоями литокристаллокластических туфопесчаников они рассланцованы и превращены в эпидот-кварц-хлоритовые породы.

**Рудная минерализация.** Сульфиды являются самой распространенной группой рудных минералов, присутствующих в породах зоны. Их количество в среднем составляет 0,1–0,5 мас. %, повышаясь в черносланцевых горизонтах до 10–15 мас. %, где они образуют прожилково-вкрапленную минерализацию. Взаимоотношения сульфидов с вмещающими породами

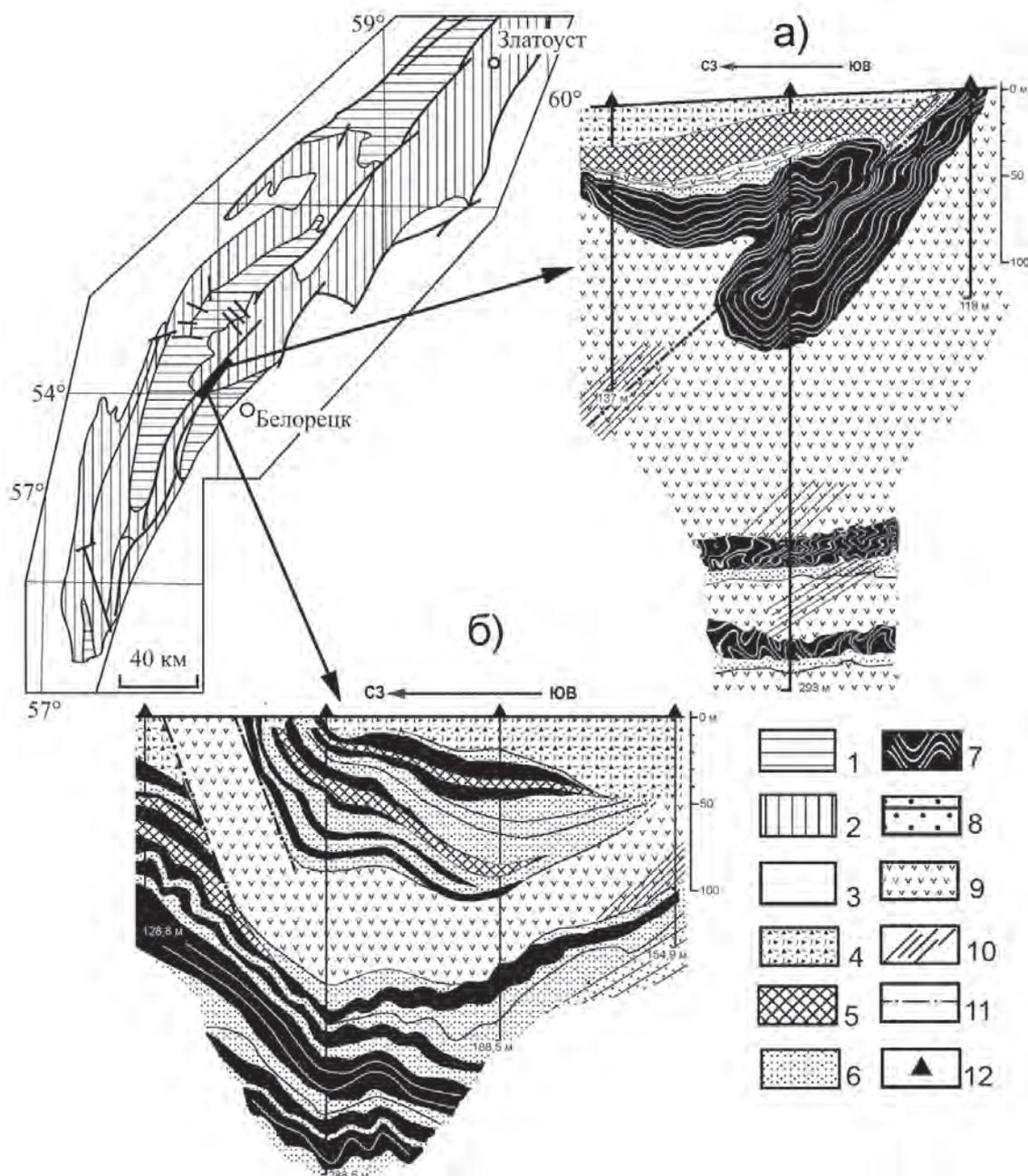


Рис. 1. Геологическая схема и разрезы (а – Улу-Елгинский, б – Кудашмановский) Улуелгинско-Кудашмановской зоны. По [1]:

1–3 – разновозрастные структурно-вещественные комплексы (1 – нижнерифейские, 2 – среднерифейские, 3 – верхнерифейско-палеозойские нерасчлененные); 4 – кора выветривания; 5 – эпидот-кварц-хлоритовые сланцы; 6 – серицит-кварцевые алевросланцы; 7 – углеродсодержащие сланцы; 8 – кварцитопесчаники; 9 – магматические и апомагматические породы; 10 – зоны рассланцевания; 11 – тектонические нарушения; 12 – скважины

разнообразны. Иногда они представлены субидиоморфными порфиробластовыми кристаллами (рис. 2, а), образуют субсогласно смятые прожилки и выделения линзовидной формы, а иногда развиваются по микрокливажным трещинам (см. рис. 2, в). Мощность сульфидизированных зон переменчива (от 2–3 м до 15 м) и в целом соответствует мощности черносланцевых горизонтов.

*Пирит* — самый распространенный минерал среди сульфидов, встречается в виде отно-

сительно крупных (до 8–10 мм) субидиоморфных и идиоморфных порфиробластовых кристаллов кубического габитуса (*пирит-I*), часто деформированных (см. рис. 2, а), разбитых трещинами со смещением обломков друг относительно друга. Кроме того он встречается в виде прожилковых выделений (*пирит-II*) в сростаниях с *пирротин*ом, *сфалерит*ом, *галенит*ом и *халькопирит*ом (см. рис. 2, г, д, е). В таких случаях *пирит* практически всегда обрастается *пирротин*ом, либо его кристаллы включены

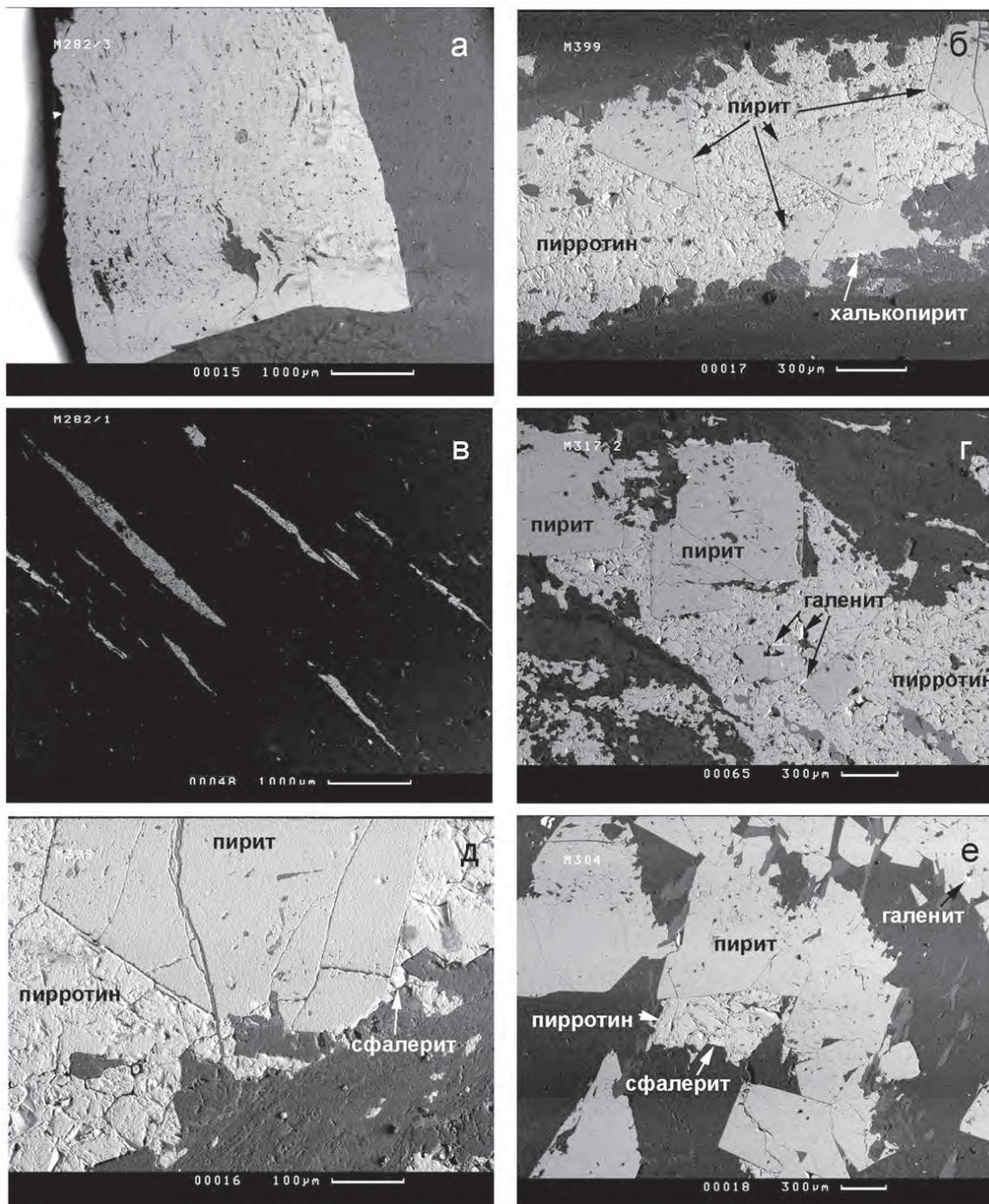


Рис. 2. Микрофотографии сульфидов из пород Улуелгинско-Кудашмановской зоны

в пирротиновую «матрицу». Среди примесей в пирите установлены кобальт (1,15–2,45 мас. %), никель (0,31–0,36 мас. %), а также золото (0,57 мас. %) и селен (0,61 мас. %) в единичных зернах.

**Пирротин** – второй после пирита по распространенности минерал, встречается в ассоциации с пиритом, сфалеритом и халькопиритом в виде прожилковых выделений (см. рис. 2), ксеноморфных обособлений, иногда образуя практически мономинеральные зоны мощностью до 10–25 см. Часто концентрируется на границе углеродсодержащих сланцев и серицит (мусковит)-кварцевых алевросланцев, где образует удлиненные ориентированные «просечки», приуроченные к кливажным трещинам (см. рис. 2, в). Среди примесей в нем присутствуют Ni (0,47–0,54 мас. %), Co (0,36–0,49 мас. %), Au (0,83–0,96 мас. %) и Se (0,48–0,53 мас. %).

**Сфалерит**, как правило, встречается в ассоциации с пиритом и пирротинном, образуя либо ксеноморфные выделения, либо хорошо ограненные кристаллы додекаэдрического габитуса. Содержание железа в них изменяется в пределах 5,67–7,79 мас. %, а среди примесей установлены селен (0,53–2,06 мас.%) и медь (0,06–0,27 мас. %).

**Халькопирит** чаще встречается в апомагматических породах, где он образует ксеноморфные выделения, которые пространственно совмещены с пиритом и пирротинном. В терригенных породах халькопирит, как правило, располагается по периферии сульфидных (пирит-пирротинных, пирротинных) сроста-

ний. В целом его состав относительно стабилен и близок к теоретическому.

**Галенит** образует мелкие (0,1–0,5 мм) иногда обильные субидiomорфные включения в кристаллах пирита, а также встречается по периферии пирротинных (пирит-пирротинных) агрегатов в виде ксеноморфных либо слабоограненных выделений. В его составе обнаружено железо (1,39–1,66 мас. %).

**Самородные элементы.** Олово было обнаружено при промывке проб-протолок метасоматически измененных пород (гетит-лимонитовых метасоматитов), которые приурочены к контакту габбро-долеритов с кварцевыми жилами [1]. Самородное олово представлено знаками белого цвета неокатанно-пластинчатой, неправильно-комковатой формы размером до 0,5×1 мм. Изучение на рентгеновском микроанализаторе показало, что Sn имеет неоднородное строение, подразделяясь на светлую и темную фазы. Как показал проведенный анализ, в светлой фазе концентрируются сидерофильные элементы (Fe, Ni, Cr, Co и V), в то время как темная обогащена благородными металлами, Ti, Cu, и отчасти S и Pb.

По результатам экспериментальных исследований [2] установлено, что при повышении температуры в процессе минералообразования смена одного интерметаллида олова с набором определенных элементов платиновой группы другим, определяется его активностью в системе. Поскольку при снижении активности кислорода и температуры возрастает активность Sn, более палладистые его интерметаллиды будут сменяться более оловянисты-

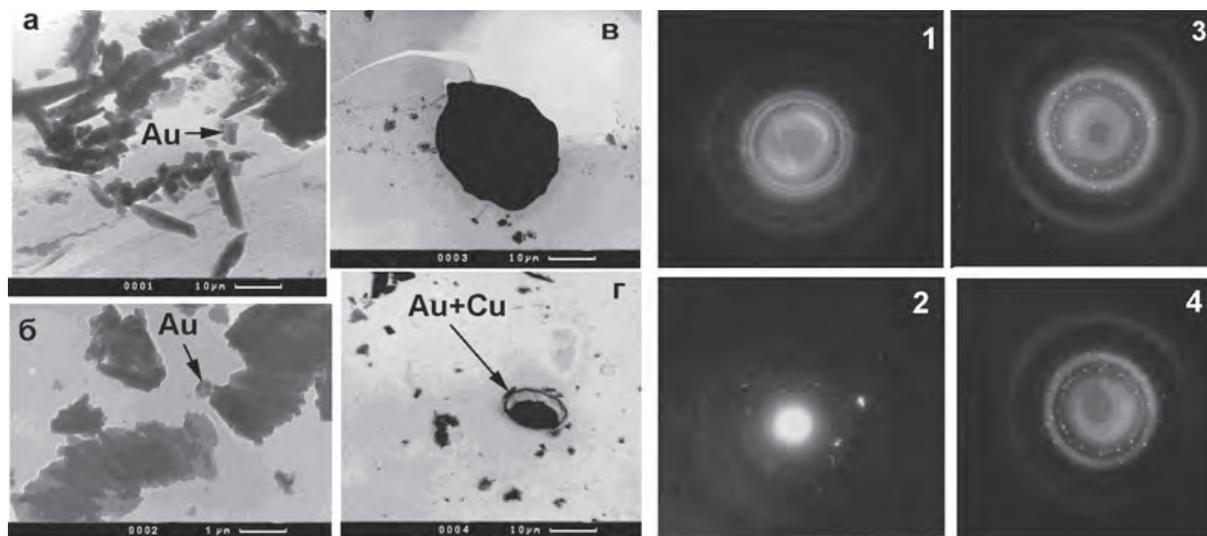


Рис. 3. Микрофотографии (а, б, в, г) и микродифракционные картины (1, 2, 3, 4) золота из коры выветривания Улуелгинско-Кудашмановской зоны

ми [2], что и фиксируется в нашем случае. Различия же в составах минералов на основе олова, обнаруженные нами и описанные ранее в различных парагенетических ассоциациях, обусловлены более восстановительной обстановкой, существовавшей в момент их образования.

*Самородное золото* было обнаружено визуально при минераграфическом изучении углеродсодержащих сланцев в углеродистой матрице, где оно представлено мелкими (3–5 микрон, очень редко до 10–12 микрон) выделениями разнообразной формы. Кроме того, в коре выветривания по черным сланцам Кудашмановского разреза были установлены мелкие знаки самородного Au. На микрофотографии (рис. 3, а) среди призматических кристаллов тодорокита  $((Mn, Mg, Ca, Ba, K, Na)_2 Mn_3 O_{12} \times 3H_2O)$  присутствует небольшое – 0,3 мкм<sup>2</sup>, толщиной около 50 нм полупрозрачное выделение, представляющее собой агрегат тонкодисперсных частиц, которые дают кольцевую микродифракционную картину, соответствующую самородному Au (см. рис. 3, фото 1). На микрофото (см. рис. 3, б) изображено зерно самородного Au размером 0,05 мкм. Его точечная микродифракционная картина приведена на рис. 3, фото 2.

Анализ полученного материала показывает, что в основном золото связано с углеродистым веществом, которое располагается по трещинам между зерен. На микрофотографии

(см. рис. 3, в) присутствует сгусток углеродистого вещества, скорее, гумуса, из которого после прогрева выделяется тонкодисперсное Au. Оно дает кольцевую микродифракционную картину (см. рис. 3, фото 3), на которой присутствуют и отражения самородной меди. Форма связи этих двух элементов с углеродистым веществом, вероятнее всего, сорбционная. На микрофотографии (см. рис. 3, г) приведена предположительно бактерия, в которой углеродистое вещество в процессе метаболизма (?) замещается Au и Cu, аналогично предыдущему случаю с гумусом. Кольцевая микродифракционная картина золота и самородной меди приведена на рис. 3, фото 4.

При изучении кварцевожильной минерализации самородное Au было обнаружено в пробе-протолочке из будинированной кварцевой жилы, залегающей в черных сланцах и сложенной серовато-белым (голубовато-серым) полупрозрачным кварцем. Золотины имеют сложную форму (рис. 4) и различаются по окраске – с красноватым оттенком и соломенно-желтые. Золото высокопробное, микронзондовым методом в его составе была обнаружена медь (от 0,21 до 0,41 вес. %), а содержания серебра варьируют в пределах 4,58–6,50 мас. %.

*Самородное серебро и минералы Ag.* Минералы серебра или Ag-содержащие минералы наиболее распространенная группа, обнаруженная в породах Улуелгинско-Кудашмановской зоны (рис. 5).

Кроме идентифицированных минералов (самородного серебра, хлораргирита), здесь установлены соединения, близкие к фурутобеиту  $(Cu, Ag)_6 PbS_4$ , а также промежуточные нестехиометричные соединения ряда халькопирит  $(CuFeS_2)$  – ленаит  $(AgFeS_2)$ . Кроме того, широкий изоморфизм между селеном и теллуrom приводит к появлению соединений  $(Ag, Fe)_n (S, Se)_m - (Ag, Fe)_n (S, Te)_m$ . Как правило, все они развиваются по трещинам в порфиروبластовых кристаллах пирита (см. рис. 5, а) либо образуют скопления неправильной формы, в которых пространственно совмещены с ксеноморфными выделениями монацита (см. рис. 5, б). Особо следует отметить находку соединения  $(Ag_{1,4} Fe_{0,27} Au_{0,12})_{1,83} (Se_{0,46} S_{0,33} As_{0,21})_{1,00}$ , ввиду того, что оно относится к разряду редких. Близкие по составу аналоги были описаны К. Мором [3] в рудах месторождения Брокен-Хилл (Австралия).

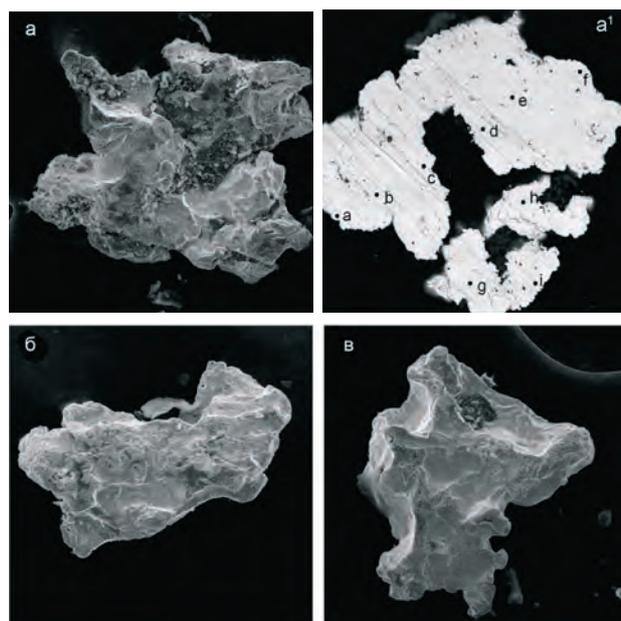


Рис. 4. Микрофотографии самородного золота из кварцевой жилы (а, б, в) и полированный аншлиф зерна а (а1)

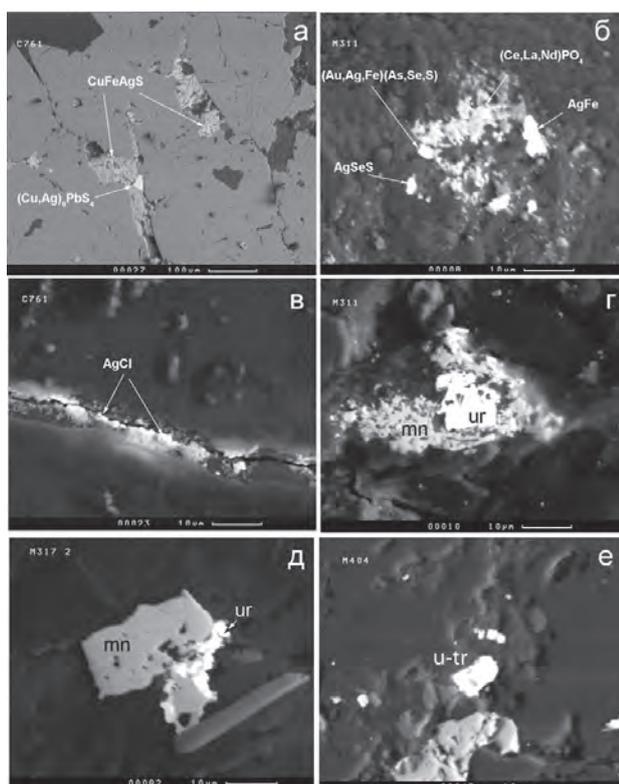


Рис. 5. Серебряные, серебросодержащие, редкоземельные и уран-ториевые минералы (*mn* – монацит, *ur* – уранинит, *u-tr* – торит урановый) из пород Улуелгинско-Кудашмановской зоны

**Уран-ториевая минерализация**, впервые установленная в черносланцевых породах Урала [4], характеризуется наличием разнообразных по составу минералов U и Th. Их характерной особенностью является приуроченность к терригенным породам, причем они встречаются как на различных «стратиграфических» уровнях, так и в отложениях Улу-Елгинского и Кудашмановского разрезов, т.е. на протяжении всей зоны. Торий встречается в силикатной форме, в виде торита, содержащего в качестве постоянных примесей U, Fe и Ca, а в отдельных выделениях установлены Pb и P. Минералы урана более разнообразны. Он присутствует как в оксидной (уранинит) и силикатной (коффинит) формах, так и в виде соединений более сложного состава (ураноцирцит). Практически все минералы U и Th находятся в тесной пространственной ассоциации с монацитом, неидентифицированными редкоземельными фазами сложного состава и сульфидами (см. рис. 5, *г–е*), причем редкоземельные минералы, как правило, представлены ксеноморфными либо слабоограниченными выделениями.

**Редкоземельно-фосфатная минерализация** в породах зоны представлена монацитом и не-

идентифицированными REE-фазами. Монацит встречается в двух видах – в относительно хорошо ограненных идиоморфных кристаллах и ксеноморфных выделениях. Характерными чертами первой разновидности является коррозия кристаллов, а второй – пространственная совмещенность с минералами серебра (см. рис. 5, *б*), урана и тория (см. рис. 5, *г, д*). При этом отличительными особенностями обоих типов Улуелгинско-Кудашмановских монацитов является практически полное отсутствие в их составе Th и U, что отличает их от монацита из одновозрастных отложений Шатакского комплекса, которые установлены в прослоях алевросланцев, залегающих среди магматических пород основного состава [5].

**Кварцевожильная минерализация** представлена жильными телами и прожилками, мощность которых варьирует от нескольких мм до 1,0–1,2 м, сложной морфологии, взаимно пересекающихся и часто будинированных. Среди них можно выделить несколько разновидностей: 1 – сливной молочно-белый кварц без видимых примесей, изредка содержащий вкрапленность пирита; 2 – полупрозрачный голубовато-серый сливной кварц; 3 – полупрозрачный голубовато-серый зернистый кварц, с размером «зерен» от 5–7 мм до 1–2 мм; 4 – кварц в составе карбонат-кварцевых прожилков, в которых кальцит составляет от 2 до 25 мас. %. Последняя разновидность преобладает в измененных габбро-долеритах, а также породах разреза, вскрытых скв. № 77 на глубине свыше 200 м.

Кварц из жил и прожилков часто рассланцеван и разбит трещинами, по которым обычно развиваются сульфиды (пирит, реже пирротин и халькопирит), карбонатные минералы (кальцит) и серицит.

Газовый состав флюидных включений разных генераций кварца из пород Кудашмановского разреза характеризуется переменными концентрациями CO<sub>2</sub> и <sup>восст. газы</sup>. Особенно это касается последнего параметра, значения которого колеблются от 2,7 до 46,4 об. % [6].

В целом флюидоносность кварца в породах Кудашмановского разреза подчиняется определенной закономерности – в его нижней части преимущественно развит кварц со средней и низкой флюидонасыщенностью, а область высоких величин флюидоносности (свыше 100 мкл/г) располагается в верхней части разреза (рис. 6) [6].

Сопоставление полученных материалов показывает, что рудная минерализация Кудашмановского разреза попадает в зону со средней (50–100 мкл/г, см. рис. 6) флюидонасыщенностью кварца. Это неожиданно, поскольку, согласно предыдущим исследованиям, кварц с высокой флюидонасыщенностью является индикатором золотого и некоторых других типов гидротермального оруденения в рифейских породах региона [7; 8]. Кроме того, как показывают результаты ранее проведенных термобарогеохимических исследований, между высокой флюидоносностью пород и концентрацией в них серебра обычно также устанавливается прямая зависимость [9]. Вместе с тем современный анализ использования термобарогеохимических параметров в геологоразведочной практике показывает, что наибольшим коэффициентом флюидоносности на рудных объектах обладают рудовмещающие метасоматиты, а жильные минералы (кварц и др.), входящие в рудные парагенезисы, имеют пониженные значения флюидонасыщенности [10]. Физико-химическая сущность этого процесса объясняется авторами раскристаллизацией

рудных минералов, в последнюю очередь, из дегазированных гидротерм. По-видимому, именно таким процессом можно объяснить приуроченность рудной минерализации в породах Кудашмановского разреза к зонам развития кварца с относительно невысокой флюидоносностью.

**Геотектонические условия формирования оруденения Улуелгинско-Кудашмановской зоны.** Породы Улуелгинско-Кудашмановской зоны представляют собой образования среднерифейского возраста, объединяемые в пределах региона в машакскую свиту, которая сформировалась в континентально-рифтогенных условиях [11; 12; 13]. Приводимая ниже этапность процесса рудообразования носит обобщающий характер и основывается на анализе всего имеющегося геологического материала по западному склону Южного Урала ввиду того, что Улуелгинско-Кудашмановская зона является локальной структурой, процессы минералообразования в которой невозможно рассматривать в отрыве от общей истории развития региона.

*Первый (рифтогенный) этап.* Начало формирования комплексного оруденения Улуелгинско-Кудашмановской зоны является синхронным с образованием в раннерифейское время интракратонного прогиба с компенсированным осадконакоплением терригенных отложений и связано с внедрением в зоны конседиментационных разломов мелких рассредоточенных базитовых и базит-гипербазитовых интрузий [14].

Собственно рифтогенный этап знаменуется переходом от рассредоточенного типа растяжения литосферы к линейно сконцентрированному, что в пределах западного склона Южного Урала выразилось в формировании серии грабенообразных структур с максимальным развитием вулканизма при большом разнообразии продуктов его деятельности – интрузии, эффузивные и пирокластические фации (рис. 7). Процессы дифференциации в промежуточных очагах и, возможно, контаминация в их верхних частях, привели к образованию магм, различающихся как по основности (базальты, риолиты), так и по геохимическим характеристикам (обогащенность Au, Pt и Pd, по сравнению с мантийным субстратом). При этом формирующиеся осадки и осадочные породы верхних горизонтов коры пронизываются потоками глубинных флюидов углеводородно-водород-

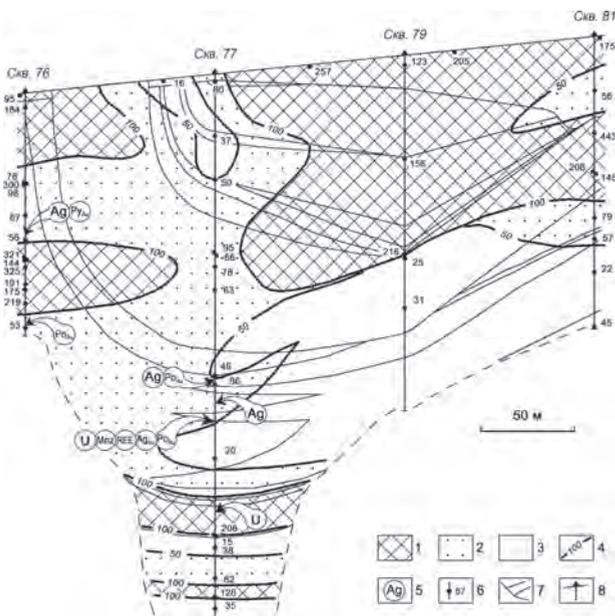


Рис. 6. Изменение флюидоносности по профилю скважин № 76–81. По [6]:  
 1–3 – области развития кварца с разной флюидоносностью: 1 – более 100 мкл/г, 2 – 50–100 мкл/г, 3 – менее 50 мкл/г; 4 – изолинии флюидоносности; 5 – минерализация в породах: Ag – серебросодержащая;  $Pu_{Au}$  и  $Po_{Au}$  – золотосодержащая пиритовая и пиротиновая; U – урановая; Mnz – монацитовая; REE – редкоземельная; 6 – место отбора кварца и среднее значение флюидоносности; 7 – границы пород разного литологического состава; 8 – скважины

ного состава, существование которых на крыльях срединно-океанических хребтов и, что важно для нашего случая, активизированных континентальных склонах, доказано прямыми измерениями флюидопотоков [15]. Экстрагирующие, емкостные и транспортирующие характеристики флюидной фазы по отношению к рудогенным элементам, включая благородные и редкоземельные металлы, детально рассмотрены в большом количестве публикаций, базирующихся как на экспериментальных работах, так и на анализе фактического материала [16; 17 и др.].

Одним из доказательств воздействия флюидной фазы на породы Улуелгинско-Кудашмановской зоны служат повышенные содержания Co, Ni и Cu – элементов, типоморфных для основного типа магматизма, а также повышенные концентрации Au, Pt и Pd, в то время как черносланцевые породы, залегающих в стратотипическом разрезе и не затронутые воздействием магматогенных флюидов, характеризуются окологларковым уровнем содержания этих элементов [1; 18]. Таким образом, флюидная проработка осадочного субстрата при рифтогенезе формирует геохимические аномалии рудогенных элементов притом, что углеродистое вещество как биогенного типа, так и сформировавшееся в результате окисления восстановленных флюидов, выступает в ка-

честве эффективного сорбента и транспортирующего агента благородных металлов [19; 20; 21].

*Второй этап (коллизийный(?) метаморфогенно-гидротермальный.* Согласно современным представлениям о геодинамическом развитии региона в поздневендское время территория Южного Урала развивалась в режиме сжатия (см. рис. 7) [22]. При этом природа регионального метаморфизма остается до сих пор дискуссионной [22; 23; 24; 25]. Но, каков бы не был конкретный механизм проявления метаморфизма, следует считать установленным, что в это время формировались не только зональные метаморфические комплексы (белорецкий), но и линейные зоны с близкими термодинамическими параметрами изменения субстрата [26]. Развитие региона, обусловленное сменой рифтогенного магматизма процессами водного корового палингенеза и регионального метаморфизма приводит к формированию разномасштабных флюидно-гидротермальных систем. Процессы минералообразования в таких зонах, одной из которых является Улуелгинско-Кудашмановская, определялись, в первую очередь, перераспределением вещества при стрессовой(?) динамической нагрузке в условиях мусковит-хлоритовой и эпидот-амфиболитовой субфаций зеленосланцевой фации метаморфизма при определяющей роли сформировавшейся гидротермальной системы,

условия функционирования которой не являлись, вероятнее всего специфическими, а были близки к детально описанным для схожих объектов [27]. Гидротермальный процесс характеризовался, как минимум, двумя стадиями минералообразования: высокотемпературной и относительно высокобарической ( $T = 330-500^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 6-7$  кбар) и низкотемпературной (менее  $250^{\circ}\text{C}$ ) [1]. В результате действия последней сформировались серебряные и серебросодержащие минералы, сульфоселениды золота и серебра, редкоземельные фазы и уран-ториевая минерализация. На совместное образование этих ассоциаций указывает пространственная совме-

140 млн лет



~600-500 млн лет



Рис. 7. Геотектонические разрезы для разновременных периодов развития западного склона Южного Урала

ценность ксеноморфных выделений неидентифицируемых редкоземельных фаз и монацита с минералами серебра, урана и тория, охарактеризованные выше.

#### Выводы

1. Детальный анализ геологии и минералогии черносланцевых толщ, расположенных в зоне Юрюзано-Зюраткульского регионального разлома (Улуелгинско-Кудашмановская зона) показал, что данные образования представляют собой зону с комплексной сульфидно-Au-Ag-U-Th-REE-минерализацией.

2. Выделено несколько генераций кварца, каждая из которых характеризуется своим

газовым составом флюидных включений и общей флюидоносностью. Участки развития золотой, Au-содержащей, Ag-содержащей и сульфидной минерализации в породах Кудашмановского разреза совпадают с зонами развития голубовато-серого кварца, обладающего флюидоносностью на уровне 50–100 мкл/г.

3. Процесс формирования комплексной минерализации может быть в общем виде описан в рамках двухэтапной геотектонической модели: первый этап рифтогенный «подготовительный» и второй – коллизионный(?) рудогенерирующий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Мичурин С.В., Ковалев С.С. Геология, минералогия и металлогеническая специализация углеродсодержащих толщ Улуелгинско-Кудашмановской зоны (западный склон Южного Урала) // Литосфера. 2013. № 3. С. 67–88.

2. Дистлер В.В., Гроховская Т.П., Евстигнеева Т.Л., Служеникин С.Ф., Филимонова А.А., Дюжиков О.А., Лапутина И.П. Петрология сульфидного магматического рудообразования. М.: Наука, 1988. 231 с.

3. Moore C.R. Geology and mineralization of the formen Broken Hills gold mine, Hikua, Coromandel, New Zealand // Geol. Geophys. 1979, no. 22, pp. 339–351.

4. Ковалев С.Г., Кринов Д.И., Мичурин С.В. Первая находка минералов урана и тория в черносланцевых породах Южного Урала // ДАН. 2010. Т. 430. № 6. С. 797–801.

5. Ковалев С.Г., Тимофеева Е.А., Пиндюрина Е.О. Монацитовая минерализация западного склона Южного Урала // Геологический сб. Информ. материалы ИГ УНЦ РАН. 2009. № 8. Уфа: ДизайнПолиграфСервис. С. 138–144.

6. Мичурин С.В., Маскова А.А. Термобарогеохимические особенности кварца Улу-Елгинско-Кудашмановской зоны Башкирского мегантиклинория // Геология. Изв. Отд-ния наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2010. № 15. С. 42–49.

7. Кобзарева Ж.С. Минералого-термобарогеохимические особенности жильного кварца в рифейских осадочных комплексах Авзяно-Белорецкого золоторудного района (Ю. Урал): автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. Ростов-на/Д: Южн. федерал. ун-т, 2007. 24 с.

8. Мичурин С.В., Высоцкий И.В. Термобарогеохимические предпосылки благороднометалльного оруденения в докембрийских отложениях Башкирского мегантиклинория // Геологический сб. Информ. материалы ИГ УНЦ РАН. 2009. № 8. Уфа: ДизайнПолиграфСервис. С. 187–196.

9. Файзиев А.Р., Искандаров Ф.Ш. Использование декриптофонического метода при поисково-разведочных работах на серебро-полиметаллическое оруденение (на примере одного из месторождений

Таджикистана) / Термобарогеохимические исследования процессов минералообразования. Новосибирск: Наука, 1988. С. 185–190.

10. Воеводин В.Н., Прокопов Н.С. Прогностно-поисковые аспекты использования термобарогеохимических параметров газово-жидких включений рудных ассоциаций в геологоразведочной практике / Материалы XIII Междунар. конф. по термобарогеохимии и IV симпозиума APFIS / отв. ред.: акад. РАН Н.С. Бортников, редколл.: Н.Н. Акинфиев, В.А. Коваленкер, В.Б. Наумов, О.Ю. Плотинская, В.Ю. Прокофьев. В 2 т. Т. 2. М.: ИГЕМ РАН, 2008. С. 23–26.

11. Парначев В.П., Ротарь А.Ф., Ротарь З.М. Среднерифейская вулканогенно-осадочная ассоциация Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 105 с.

12. Ковалев С.Г. Динамика формирования среднерифейской рифтогенной структуры (западный склон Южного Урала) // ДАН. 2004. Т. 396. № 2. С. 219–222.

13. Ковалев С.Г. Позднекембрийский рифтогенез в истории развития западного склона Южного Урала // Геотектоника. 2008. № 2, С. 68–79.

14. Ковалев С.Г. Новые данные по геохимии диабаз-пикритового магматизма западного склона Южного Урала и условия его формирования // Литосфера. 2011. № 2. С. 68–83.

15. Авилов В.И., Авилова С.Д. Потоки газов в придонной зоне глубоководной части океана // ДАН. 2003. Т. 389. № 4. С. 519–523.

16. Горбачев Н.С., Налдретт А., Бругманн Г.Е., Ходоревская Л.И., Азиф М. Экспериментальное изучение распределения платиноидов и золота между водно-хлоридным флюидом и базальтовым расплавом при  $T = 1100\text{--}1350^\circ\text{C}$ ,  $P = 5$  кбар // ДАН. 1994. Т. 335, № 3. С. 356–358.

17. Жариков В.А., Горбачев Н.С. Поведение редкоземельных элементов в флюидно-магматических системах (по экспериментальным данным) // Экспериментальная минералогия. Некоторые итоги на рубеже столетий. М: Наука, 2004. Т. 1. С. 21–37.

18. Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Гражданкин Д.В., Дмитриева Н.В., Ишерская М.В., Крупенин М.Т., Рон-

кин Ю.Л., Гареев Э.З., Вещева С.В., Лепихина О.П. Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 274 с.

19. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Методика изучения рудоносных структур в терригенных толщах. М.: Недра, 1988. 254 с.

20. Кузьмина Т.В. Исследование хемосорбции золота и платины на углеродистое вещество в связи с проблемой металлоносности черных сланцев: автореф. ... дис. канд. геол.-минерал. наук. Владивосток: ДВО РАН, 2006. 27 с.

21. Горбачев Н.С., Дадзе Т.П., Каширцева Г.А., Кунц А.Ф. Флюидный перенос золота, палладия, редкоземельных элементов и генезис рудопроявлений Приполярного Урала // Геология рудных месторождений. 2010 Т. 52. № 3. С. 241–259.

22. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.

23. Ленных В.И. Доуралиды зоны сочленения Восточно-Европейской платформы и Урала // Мета-

морфизм и тектоника западных зон Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. С. 21–42.

24. Алексеев А.А. Преддордовиковское метаморфическое несогласие и некоторые проблемные вопросы метаморфической геологии позднего докембрия западного склона Урала // Геология метаморфических комплексов. Екатеринбург: УГГА. 1996. С. 73–86.

25. Иванов С.Н., Русин А.И. Поздневендский этап тектонического развития Урала // Геотектоника. 2000. № 4. С. 21–32.

26. Ковалев С.Г. Метаморфизм белорецкого комплекса: характеристика события в истории западного склона Южного Урала // Материалы Междунар. конф. «Наука, природа и общество», Миасс-Екатеринбург: ИГЗ УрО РАН, 2010. С. 22–26.

27. Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Бахарев А.Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Неждановского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений. 2007. Т. 49. № 2. С. 99–145.

## REFERENCES

1. Kovalev S.G., Vysotskiy I.V., Michurin S.V., Kovalev S.S. Geologiya, mineralogiya i metallogenicheskaya spetsializatsiya uglerodsoderzhashchikh tolshch Uluelginsko-Kudashmanovskoy zony (zapadnyy sklon Yuzhnogo Urala) [Geology, mineralogy and metallogenic specialization of carbonaceous strata in the Uluelga-Kudashmanovo zone (western slope of the Southern Urals)]. Litosfera – Lithosphere, 2013, no. 3, pp. 67–88 (In Russian).

2. Distler V.V., Grokhovskiy T.P., Evstigneeva T.L., Sluzhenikin S.F., Filimonova A.A., Dyuzhikov O.A., Laputina I.P. Petrologiya sulfidnogo magmaticheskogo rudobrazovaniya [Petrology of magmatic sulphide mineralization]. Moscow, Nauka, 1988, 232 p. (In Russian).

3. Moore C.R. Geology and mineralization of the former Broken Hills gold mine, Hikuai, Coromandel, New Zealand. Geol. Geophys., 1979, no. 22, pp. 339–351.

4. Kovalev S.G., Krinov D.I., Michurin S.V. Pervaya nakhodka mineralov urana i toriya v chernoslantsevyykh porodakh Yuzhnogo Urala [The first finding of uranium and thorium minerals in black-shale strata in the Southern Urals]. Doklady RAN, 2010, vol. 430, no. 6, pp. 797–801 (In Russian).

5. Kovalev S.G., Timofeeva E.A., Pindyurina E.O. Monatsitovaya mineralizatsiya za-padnogo sklona Yuzhnogo Urala [Monazite mineralization on the western slope of the Southern Urals]. Geologicheskii sbornik. Informatsionnye materialy IG UNTs RAN. 2009, no. 8. Ufa, DizaynPoligrafServis, pp. 138–144 (In Russian).

6. Michurin S.V., Maskova A.A. Termobarogeohimicheskie osobennosti kvartsa Uluelginsko-Kudashmanovskoy zony Bashkirskogo megantiklinoriya [Thermobarometric geochemical features of quartz in the Uluelga-Kudashmanovo zone of the Bashkir Meganticlinorium]. Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnykh resursov Akademii nauk Respubliki Bashkortostan – Geology. Bulletin of the Department for Earth and Natural Resource Sciences of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2010, no. 15, pp. 42–49 (In Russian).

7. Kobzareva Zh.S. Mineralogo-termobarogeokhimicheskie osobennosti zhilnogo kvartsa v rifeyskikh osadochnykh kompleksakh Avzyano-Beloretskogo zolotorudnogo rayona (Yu. Ural) [Mineralogical and thermobarogeochemical features of vein quartz in Riphean sedimentary complexes of the Avzyan-Beloretsk gold field (South Ural)]. PhD. Thesis in Geology and Mineralogy. Rostov-na-Donu, Yuzhnyy federalnyy universitet, 2007, 24 p. (In Russian).

8. Michurin S.V., Vysotskiy I.V. Termobarogeokhimicheskie predposylki blagorodnometal'nogo orudneniya v dokembriyskikh otlozheniyakh Bashkirskogo megantiklinoriya [Thermobarogeochemical prerequisites for noble metal mineralization in Precambrian rocks of the Bashkir Meganticlinorium]. Geologicheskii sbornik. Informatsionnye materialy IG UNTs RAN, 2009, no. 8. Ufa, DizaynPoligrafServis, pp. 187–196 (In Russian).

9. Fayziev A.R., Iskandarov F.Sh. Ispolzovanie dekriftofonicheskogo metoda pri poiskovo-razvedochnykh rabotakh na srebro-polimetallichesкое orudnenie (na primere odnogo iz mestorozhdeniy Tadjikistana) [Using the decryptophonical method for exploring silver and polymetallic mineralization (with one of the deposits of Tajikistan taken as an example)]. Termobarogeokhimicheskie issledovaniya protsessov mineraloobrazovaniya [Thermobarogeochemical research on mineralization processes]. Novosibirsk, Nauka, 1988, pp. 185–190 (In Russian).

10. Voevodin V.N., Prokopov N.S. Prognozno-poiskovye aspekty ispolzovaniya termobarogeokhimicheskikh parametrov gazovo-zhidkikh vklyucheniyy rudnykh associatsiy v geologorazvedochnoy praktike [Forecast and search aspects of thermobarogeochemical parameters of gas-liquid inclusions of ore associations in exploration practice]. Materialy XIII Mezhdunarodnoy konferentsii po termobarogeokhimii i IV simpoziuma APFIS [Proceedings of the 13th International Conference on Thermobarogeochemistry and 4th APFIS Symposium]. Vol 2. Moscow, IGEM RAN, 2008, pp. 23–26 (In Russian).

11. Parnachev V.P., Rotar A.F., Rotar Z.M. Srednerifeyskaya vulkanogenno-osadochnaya associatsiya

Bashkirskogo megantiklinoriya (Yuzhnyy Ural) [Middle Riphean volcanosedimentary association of the Bashkir Meganticlinorium (Southern Urals)]. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 1986, 105 p. (In Russian).

12. Kovalev S.G. Dinamika formirovaniya srednerifeyskoy riftogennoy struktury (zapadnyy sklon Yuzhnogo Urala) [Formation dynamics of the Middle Riphean riftogenic structure (western slope of the Southern Urals)]. Doklady RAN, 2004, vol. 396, no. 2, pp. 219–222 (In Russian).

13. Kovalev S.G. Pozdnedokembriyskiy riftogenez v istorii razvitiya zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Late Precambrian rifting in the geological history of the western slope of the South Urals]. Geotektonika – Geotectonics, 2008, no. 2, pp. 68–79 (In Russian).

14. Kovalev S.G. Novye dannye po geokhimii diabaz-pikritovogo magmatizma zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala i usloviya ego formirovaniya [New data on the geochemistry of diabase-picritic magmatism of the western slope of the South Urals and formation conditions]. Litosfera - Lithosphere, 2011, no. 2, pp. 68–83 (In Russian).

15. Avilov V.I., Avilova S.D. Potoki gazov v pridonnoy zone glubokovodnoy chasti okeana [Gas flows in the deep-water bottom zone of the ocean]. Doklady RAN, 2003, vol. 389, no. 4, pp. 519–523 (In Russian).

16. Gorbachev N.S., Brugmann G., Naldrett A., Khodorevskaya L.I., Azif M. Eksperimentalnoe izuchenie raspredeleniya platinovykh metallov i zolota mezhdru vodo-khlordnym flyuidom i bazaltovym rasplavom pri  $T = 1100\text{--}1350^\circ\text{C}$ ,  $R = 5$  kbar [Experimental study of the distribution of platinum group metals and gold between water-chloride fluid and basalt melt at  $T = 1100\text{--}1350^\circ\text{C}$ ,  $P = 5$  kbar]. Doklady RAN, 1994, vol. 335, no. 3, pp. 356–358 (In Russian).

17. Zharikov V.A., Gorbachev N.S. Povedenie redkozemelnykh elementov v flyuidno-magmaticheskikh sistemakh (po eksperimentalnym dannym) [The behaviour of rare earth elements in fluid-magmatic systems (according to experimental data)]. Eksperimentalnaya mineralogiya. Nekotorye itogi na rubezhe stoletiy [Experimental mineralogy. Some results on the turn of the century]. Moscow, Nauka, 2004, vol 1, pp. 21–37 (In Russian).

18. Maslov A.V., Nozhkin A.D., Podkovyrov V.N., Letnikov F.E., Turkina O.M., Grazhdankin D.V., Dmitrieva N.I., Isherskaya M.V., Krupenin M.T., Ronkin Y.L., Gareev E.Z., Vaseva S.V., Lepikhina O.P. Geokhimiya tonkozernistykh terrigennykh porod verkhnego dokembriya Severnoy Evrazii [Geochemistry of Upper Precambrian clastic fine-grained rocks of Northern Eurasia]. Ekaterinburg, UrO RAN, 2008, 274 p. (In Russian).

19. Ivankin P.F., Nazarova N.I. Metodika izucheniya rudonosnykh struktur v terrigennykh tolshchakh [Methods of studying ore-bearing structures in clastic strata]. Moscow, Nedra, 1988, 254 p. (In Russian).

20. Kuzmina T.V. Issledovanie khemosorbtsii zolota i platiny na uglerodistoe veshchestvo v svyazi s problemoy metallonosnosti chernykh slantsev [Research of gold and platinum chemisorption on carbon matter in connection with the problem of metal-bearing black shales]. PhD. Thesis in Geology and Mineralogy. Vladivostok, Dalnevostochnoe otdelenie RAN, 2006. 27 p. (In Russian).

21. Gorbachev N.S., Dadze T.P., Kashirtseva G.A., Kunts A.F. Flyuidnyy perenos zolota, palladiya, redkozemelnykh elementov i genesis rudoproyavleniy Pripolyarnogo Urala [Fluid transport of gold, palladium and rare earth elements and the genesis of ore occurrences in the Polar Ural region]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of Ore Deposits, 2010, vol. 52, no. 3, pp. 241–259 (In Russian).

22. Puchkov V.N. Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala [Paleogeodynamics of the South and Middle Urals]. Ufa, Dauriya, 2000, 146 p. (In Russian).

23. Lennykh V.I. Douralidy zony sochleneniya Vostochno-Evropeyskoy platformy i Urala [Pre-uralids of the junction zone between the East European Platform and the Urals]. Metamorfizm i tektonika zapadnykh zon Urala [Metamorphism and tectonics of the western zone of the Urals]. Sverdlovsk, UNs AN SSSR, 1984, pp. 21–42 (In Russian).

24. Alekseev A.A. Predordovikskoe metamorficheskoe nesoglasie i nekotorye problemnye voprosy metamorficheskoy geologii pozdnego dokembriya zapadnogo sklona Urala [Pre-Ordovician metamorphic unconformity and some problematic issues on the Late Precambrian metamorphic geology of the western slope of the Urals]. Geologiya metamorficheskikh kompleksov [Geology of metamorphic complexes]. Ekaterinburg, UGGGA, 1996, pp. 73–86 (In Russian).

25. Ivanov S.N., Rusin A.I. Pozdnevendskiy etap tektonicheskogo razvitiya Urala [The Late Vendian stage in the tectonic development of the Urals]. Geotektonika – Geotectonics, 2000, no. 4, pp. 21–32 (In Russian).

26. Kovalev S.G. Metamorfizm beloretskogo kompleksa: kharakteristika sobytiya v istorii zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Metamorphism of the Beloretsk Complex: Characterization of the event in the history of the western slope of the Southern Urals]. Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii «Nauka, priroda i obshchestvo» [Proceedings of the International Conference "Science, Nature and Society"]. Miass–Ekaterinburg, IGZ UrO RAN, 2010, pp. 22–26 (In Russian).

27. Bortnikov N.S., Gamyarin G.N., Vikentyeva O.V., Prokofyev V.Yu., Alpatov V.A., Bakharev A.G. Sostav i proishozhdenie flyuidov v gidrotermalnoy sisteme Nezhdaninskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Sakha-Yakutiya, Rossiya) [Composition and origin of the fluids in the hydrothermal system of the Nezhdaninsky gold deposit (Sakha-Yakutia, Russia)]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of Ore Deposits, 2007, vol. 49, no. 2, pp. 99–145 (In Russian).