УДК 552.512 (470.55/.57)

© С.Г.Ковалёв, С.И.Высоцкий, И.В.Высоцкий, 2016

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДОКЕМБРИЙСКИХ КОНГЛОМЕРАТОВ ШАТАКСКОГО КОМПЛЕКСА, ЮЖНЫЙ УРАЛ

С.Г.Ковалёв, С.И.Высоцкий, И.В.Высоцкий

Институт геологии Уфимского научного центра РАН, г. Уфа

Приводится описание вулканогенно-осадочных отложений Шатакского комплекса. Детально охарактеризована рудная минерализация, включающая самородные элементы, железоокисную, сульфидную минерализацию, селениды, теллуриды, редкоземельные минералы. Установлено пространственное распределение золота по разрезу груботерригенных пород комплекса, показаны его возможные связи с халькофильными и сидерофильными элементами. По рассчитанным соотношениям благородных металлов (платиноиды, золото, серебро) проведён анализ типов геохимической специализации терригенных пород. На основе имеющихся материалов подсчитаны ресурсы золота, составляющие по категории P₂ ≈108 т. Предложена двухэтапная модель формирования благороднометального оруденения, включающая рифтогенный этап – «рудоподготовительный» и метаморфогенно-гидротермальный – рудообразующий.

Ключевые слова: метабазальты, конгломераты, золото, платиноиды, железоокисная минерализация, сульфиды, геохимическая специализация, Южный Урал.

В пределах Башкирского мегантиклинория основание среднерифейских отложений представлено машакской свитой, впервые выделенной К.А.Львовым [13] и А.И.Ивановым [4] и охарактеризованной В.П.Парначёвым с соавторами [19]. В южной части Ямантауского антиклинория возрастным аналогом машакской свиты считаются вулканогенно-осадочные образования Шатакского комплекса, выделенные в районе хребтов Малый и Большой Шатак и позднее изученные А.Ф.Ротарем с соавторами [25] в Кухтурском и Узянском блоках в междуречье Белой, Малого и Сухого Кухтуров. Описываемые образования на восточном крыле Ямантауского антиклинория слагают моноклиналь, осложнённую дизъюнктивными нарушениями и мелкой складчатостью, где они с угловым несогласием перекрывают юшинскую свиту нижнего рифея, постепенно сменяясь зигальгинскими кварцитами. Среди отложений Шатакского комплекса развита стратифицированная вулканогенно-осадочная ассоциация, а также магматические породы субвулканической и дайковой фаций (рис. 1). Исследования комплекса в районе хребтов Большой и Малый Шатак позволили расчленить его на восемь подсвит с таким же названием, как и в машакской свите (снизу вверх): кузъелгинскую, казавдинскую, быковскую, калпакскую, куянтавскую, каранскую, шакитарскую и ямантаускую [19]. При проведе-



Рис. 1. Геологическая схема западного склона Южного Урала и Шатакского комплекса, по [2]:

схема: 1 — тараташский метаморфический комплекс, 2 — айская свита, 3 — саткинская и бакальская свиты нерасчленённые, 4 — большеинзерская, суранская и юшинская свиты нерасчленённые, 5 — терригенные отложения среднего рифея нерасчленённые, 6 — вулканогенно-осадочные образования среднего рифея, 7 зигальгинская свита, 8 — Кусинско-Копанский комплекс среднего рифея, 9 — верхнерифейские отложения нерасчленённые, 10 — вендские отложения нерасчленённые, 11 — палеозойские отложения, 12 — метаморфические комплексы, 13 — ультраосновные породы, 14 — гранитоиды; врезка: 15 — юшинская, 16 — машакская, 17 — зигальгинская, 18 — авзянская, 19 — зильмердакская свиты

нии научно-исследовательских, тематических и поисковых работ по оценке золотоносности докембрийских конгломератов, выполненных ГУП УКГЭ «Уралзолоторазведка», ГУП «Башгеолцентр» РБ и ИГ УНЦ РАН в пределах хребта Большой Шатак, нами были детально изучены отложения Шатакского комплекса и определён их ресурсный потенциал [2, 9, 10].

Прикладная металлогения -

Магматические породы Шатакского комплекса представлены пикритами, базальтами и риолитами. Пикриты образуют пластовую интрузию, расположенную в основании машакской свиты на её непосредственной границе с подстилающими отложениями юшинской свиты [8]. Макроскопически – это зеленовато-серые, тёмно-зелёные среднезернистые, амфиболизированные разновидности породы массивной текстуры и видимой мощностью ~25-30 м. В строении интрузии установлены три зоны: нижняя эндоконтактовая, центральная и верхняя эндоконтактовая. Породы верхней эндоконтактовой зоны - метадолериты с микроофитовой и микродолеритовой структурой. Центральная часть интрузии сложена пикритами, первичными минералами которых являлись оливин, клинопироксен, ортопироксен, роговая обманка. Породы сильно изменены и практически полностью превращены в тальк-амфибол-серпентиновый агрегат. Нижний горизонт представлен интенсивно изменёнными пикродолеритами. Из первичных минералов по псевдоморфозам выявлен клинопироксен и плагиоклаз. Вторичные минералы амфибол, лейкоксен, хлорит, серпентин, альбит, карбонат, апатит, тальк, серицит.

Метабазальты Шатакского комплекса, максимальное количество которых входит в состав кузъелгинской и каранской подсвит, - зелёные, зеленовато-серые, средне-мелкозернистые породы, для которых характерны микродолеритовая, микроофитовая, апоинтерсертальная и порфировидная структуры. Минеральный состав пород включает клинопироксен, плагиоклаз, роговую обманку, титаномагнетит, магнетит. Ассоциация вторичных минералов – амфибол актинолит-тремолитового ряда, хлорит (пеннинклинохлор), эпидот, серицит, титанит, лейкоксен, гематит. В крупных телах наблюдается отчётливое увеличение размерности зёрен в направлении от контактов внутрь тел, при этом минеральный состав не претерпевает каких-либо изменений, кроме размерности кристаллов и микроструктурных особенностей пород. Так, в эндоконтактах структура близка к интерсертальной с удлинёнными лейстами плагиоклаза и интерстициальным пространством, заполненным стекловатым мезостазисом или продуктами его девитрификации; в центральных частях тел породам присущи микрогаббровая, микродолеритовая и микроофитовая структуры. Часто в прикровельных и приподошвенных частях магматических тел отмечаются обильные миндалины, выполненные кальцит-кварц-эпидот-хлоритовым агрегатом, что свидетельствует о значительной флюидонасыщенности внедрявшейся магмы.

Риолиты – светло-серые породы с порфировидной флюидальной и шлирово-такситовой структурой. Основная масса сложена мелкозернистым кварц-полевошпатовым агрегатом. В порфировидных выделениях присутствует кислый плагиоклаз (андезин-олигоклаз). Темноцветные минералы – зеленовато-бурый биотит и хлорит. В качестве акцессориев встречаются апатит, ортит, монацит, титанит, эпидот. Кроме того, в пределах комплекса фиксируются интрузивные габбро, габбродолериты, представленные силлами или штокообразными телами с рвущими контактами. Практически все магматические породы претерпели интенсивный зеленокаменный метаморфизм. Они окварцованы и серицитизированы.

Осадочные породы Шатакского комплекса слагают ~25% его объёма и состоят преимущественно из грубозернистых разностей – конгломератов и песчаников. Алевролиты, алевропелитовые сланцы и известняки распространены в подчинённых количествах. Конгломераты развиты на нескольких стратиграфических уровнях (кузъелгинская и каранская подсвиты). Они на 70-80% сложены хорошо окатанными обломками кварцитопесчаников и кварцитов, реже железистых кварцитопесчаников, микрокварцитов и разнообразных сланцев. В базальных горизонтах повсеместно отмечаются галька и глыбы подстилающих пород юшинской свиты (RF₁). Цемент сложен кварцевым песчанистым материалом и мелкочешуйчатой серицит-хлоритовой массой. Песчаники представлены кварцевыми разностями, на 80-90% состоящими из обломков кварца с хлорит-серицитовым цементом. Алевролиты и алевропелитовые сланцы встречаются в тонком переслаивании друг с другом, реже слагают самостоятельные маломощные горизонты и пачки.

Датирование магматических пород Шатакского комплекса по единичным кристаллам цирконов на ионном микроанализаторе SHRIMP-II (ВСЕГЕИ) показало наличие в пробах нескольких популяций с возрастом от 1500–1550 до 1330–1350 млн лет [17, 21]. Возрастные данные,

0,01





Рис. 2. Геохимические диаграммы для магматических (*a*, *б*) и терригенных (*в*-*д*) пород Шатакского комплекса (хондрит и примитивная мантия по [28], верхняя кора по [29])

Cs Rb Ba Th U K Ta Nb La Ce Sr Nd Hf Zr Sm Ti Y Yb Lu

полученные методом CA-TIMS (CA-ID-TIMS) по четырём зёрнам циркона из метабазальтов, дали средневзвешенную ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb датировку 1381,5±1,0 млн лет (MSWD=1,0) и ²⁰⁶Pb/²³⁸U датировку 1380,3±0,4 млн лет (MSWD=1,1) [22].

Геохимические характеристики магматических и осадочных пород комплекса обладают определённой спецификой. В частности, по нормализованным отношениям La/Lu и Ce/Yb все разновидности магматических пород (пикриты – 2,52–4,38 и 2,24–3,64, базальты – 4,40–5,91 и 3,30–4,74, риолиты – 112,23 и 66,08 соответственно) в значительной степени обогащены лёгкой группой РЗЭ (рис. 2, *а*, *б*). Кроме того, La/Sm отношение в пикритах и базальтах Шатакского комплекса варьирует в пределах от 1,66 до 2,53 и повышается к риолитам до 4,61. Близкие тенденции в ряду пород пикрит – базальт — риолит характерны и для крупноионных (Rb, Ba, K), и высокозарядных (Th, U) элементов. При этом всем разновидностям пород присущи стронциевый «минимум» и «обратное» распределение цезия в пикритах — базальтах, с одной стороны, и риолитах — с другой. В целом геохимические характеристики магматических пород свидетельствуют об их формировании в результате дифференциации магмы в едином промежуточном очаге.

Распределение РЗЭ в конгломератах Шатакского комплекса отличается широким разбросом (на два порядка) количеств всей группы РЗЭ при практически полной идентичности трендов, что, на наш взгляд, обусловлено переменным содержанием кварцевого материала галек в пробах. Средние значения для большей части важных геохимических отношений элементов шатакских конгломератов в значительной степени превышают таковые, характерные для верхней коры, по [29] (Nb/Ta конгломераты – 31,14, верхняя кора - 13,4, Zr/Hf - 105,16 и 36,7, K/Rb -375,1 и 283, Rb/Cs – 52,38 и 20 соответственно). В то же время отношение K/Rb оказывается близким (9499 в конгломератах и 9475 в верхней коре), а Th/U (2,45 в конгломератах и 3,8 в верхней коре) говорит о повышенных количествах урана в шатакских конгломератах по отношению к торию.

Интерес представляют нормализованные средние содержания редких, рассеянных и «рудогенных» элементов в конгломератах Шатакского комплекса, изображённые на рис. 2, д. Обобщённый анализ содержаний и распределения этих элементов в конгломератах показал следующее:

- содержания практически всех элементов в конгломератах кузъелгинской и каранской подсвит близки между собой, что позволяет говорить об едином механизме их перераспределения и накопления;
- аномально высокие содержания As, Se и Sn свидетельствуют об определённом минералого-геохимическом типе оруденения (арсенопирит?, селениды) в конгломератах, частично подтверждённом минералогическими исследованиями;
- относительно низкие содержания Со и Ni типоморфных элементов для магматических пород основного состава – ещё раз подчёркивают особенности шатакских конгломе-

ратов, а именно практически полное отсутствие магматических пород в составе обломочного материала, свидетельствующее об интрузивной природе значительной части «базальтов», что отмечалось нами ранее [8];

 повышенные количества халькофильных элементов обусловлены наличием сульфидной минерализации.

При минералогическом изучении пород Шатакского комплекса обнаружены самородные элементы, железоокисная, сульфидная, селенидная, теллуридная, редкоземельная минерализация и неидентифицированные соединения сложного состава. По парагенезисам и характеру железоокисной минерализации среди груботерригенных пород комплекса выделяются гематитовые и магнетитовые разновидности. В первых гематит является наиболее распространённым рудным минералом. Его содержание колеблется от нескольких зёрен (гальки конгломератов) до 15-20% (цемент конгломератов). В крупных гальках гематит представлен включениями размером 30-50 мкм, агрегатными скоплениями размером 100-150 мкм и (или) прерывистыми цепочками зёрен и агрегатов мощностью 5-15 мкм, длиной до 100-150 мкм. С уменьшением размера галек в них возрастает содержание гематита, но форма выделений остаётся рассеянно-вкрапленной. Количественно неравномерно-зернистая вкрапленность гематита изменяется от 2-5% площади препарата до 20-25% (рис. 3, а). При этом появляются сплошные рудные массы, сгустки и пятна размером до 1000 мкм. Иногда агрегаты гематита с краёв внедряются в зёрна кварца, образуя весьма своеобразные сложной формы скопления. Магнетит в этих горизонтах довольно редок, спорадически встречается среди кварцевого цемента в ассоциации с гематитом. Он представлен идиоморфными зёрнами с хорошо развитыми тремя-шестью гранями размером 30-150 мкм. Магнетит замещается гематитом и гётитом с образованием полных псевдоморфоз. Исследования монофракций гематита, отобранных из цемента конгломератов нижней толщи кузъелгинской подсвиты, показали, что в них содержится до 10,77 г/т Au и 1,12 г/т Ag. Кроме собственно гематитовой минерализации, в горизонтах с гематитом отмечаются кварц-гематитовые жилы и прожилки мощностью до 20 см, занимающие секущее положение в тол-

Прикладная металлогения



Рис. З. Рудная минерализация в породах Шатакского комплекса:

а – гематит; *б* – магнетит; *в*, *г* – самородное золото; *д*-з – сульфиды

щах конгломератов и приуроченные к трещинам скола. В отличие от аллотриоморфнозернистых агрегатов, развитых в породах, в жилах преобладают идиоморфные и субидиоморфные крупночешуйчатые кристаллы гематита. Пробирным методом в жилах установлено наличие Au на уровне 0,2–0,6 г/т.

Во второй разновидности конгломератов магнетит – главный рудный минерал. Он представлен хорошо огранёнными кристаллами треугольной, четырёхугольной, шестиугольной форм и их разнообразными срастаниями. Кристаллы сильно пористые, замещаются кварцевым цементом в виде вростков и неправильных внедрений. Вкрапленники магнетита неравномерно рассредоточены в цементе. Максимальное их количество достигает 60–65% площади препаратов. В слабо минерализованных участках цемента размер их не превышает 30–50 мкм, с увеличением количества кристаллов некоторые индивиды вырастают до 300-500 мкм (см. рис. 3, б). Форма зёрен также изменяется: мелкозернистые агрегаты неправильной формы в первом случае и кристаллические выделения во втором. В монофракции магнетита содержание Au и Ag, определённое атомно-абсорбционным методом, составляет 4,9 и 0,2 г/т соответственно. Кроме этого, к данному типу минерализации относится Южно-Шатакское проявление магнетита, расположенное в районе горы Катушка в зоне распространения конгломератов каранской подсвиты. Рудопроявление представлено густовкрапленной минерализацией мощностью 2–3 м, приуроченной к контакту рассланцованных, катаклазированных метабазальтов и мелкогалечных конгломератов. Цемент последних практически полностью замещён магнетитом, который присутствует и в кварцитовых гальках. Среди нерудных минералов преобладают хлорит и кварц. В магнетите отмечаются розетковидные и лучистые выделения минералов группы эпидота. Содержания благородных металлов, определённые атомно-абсорбционным методом в магнетитовой руде из эндо- и экзоконтактовой зон, г/т: 1,2 и 2,15 Au, 1,2 и 1,75 Ag, <0,5 и 1,4 Pt, <0,1 и 0,2 Pd соответственно. Химический состав магнетитов рудопроявления характеризуется отсутствием примесей халькофильных элементов и незначительным содержанием сидерофилов, вес. %: <0,01 Cu, <0,01 Zn, <0,01 Pb, <0,01 S, 65,84-67,80 Fe, <0,05 Mn, 0,023 Co, 0,034–0,038 Ni, 0,048– 0,07 Cr, в отличие от магнетитов из цемента конгломератов и магматических пород, в составе которых установлены как благородные металлы, так и халькофильные элементы (табл. 1).

При изучении проб-протолочек из цемента мелкогалечных конгломератов кузъелгинской подсвиты обнаружены единичные знаки самородного железа [11]. Выделения серо-стального цвета с металлическим блеском имеют удлинённо-неправильную «червеобразную» форму и размеры до 2–3 мм по удлинению. Они были найдены в двух горизонтах, цемент одного из которых представлен мелкозернистым серицит-кварцевым агрегатом, а рудные минералы – гематитом, реже пиритом. Цемент другого горизонта конгломератов представляет собой эпидот-хлорит-серицит-кварцевый агрегат, а из рудных минералов в нём присутствуют магнетит и халькопирит. В составе самородного железа

		1		1			
Элементы	1	2	3	4	5	6	7
Au	0,0	0,0	0,0	0,0	0,23	0,51	0,0
Ag	0,67	0,0	0,0	0,0	0,11	0,0	0,11
Pt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,52	0,34
Pd	0,48	0,0	0,23	0,0	0,04	0,0	0,69
Rh	0,14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,15	0,20
Fe	97,13	98,96	97,3	98,7	98,42	97,37	96,02
S	0,0	0,09	0,82	0,06	0,09	0,0	0,0
Cr	0,10	0,09	0,16	0,29	0,13	0,0	0,0
Со	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,23	0,0
Ni	0,16	0,15	0,19	0,2	0,0	0,14	0,40
Cu	0,06	0,05	0,15	0,17	0,09	0,0	0,36
Ti	0,07	0,07	0,08	0,48	0,07	0,24	0,18
V	0,55	0,01	0,21	0,0	0,08	0,37	0,1
Sn	0,0	0,0	0,0	0,10	0,18	0,0	0,0
Mn	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,15	0,33
Sb	0,11	0,21	0,0	0,0	0,09	0,0	0,0
As	0,48	0,37	0,0	0,0	0,0	0,09	1,27
Pb	0,0	0,0	0,86	0,0	0,47	0,23	0,0

1. Составы железоокисных минералов из пород Шатакского комплекса, ат. %

Примечание. 1–5 – рудные минералы из конгломератов и гравелитов; 6, 7 – то же, из метабазальтов. Изучение минералов проводилось на сканирующем электронном микроскопе CamScan-4 (ВНИИХТ, г. Москва).

микрозондовым методом установлены благородные металлы (Au и Pt). К сожалению, однозначно диагностировать форму вхождения Au и Pt в железо (изоморфная примесь или собственные минеральные микроформы) на данном этапе исследований невозможно.

Самородное золото встречается в обоих типах конгломератов. Как правило, оно приурочено к хлорит-железистым выделениям, цементирующим зёрна кварца (см. рис. 3, в, г). Форма золотин неправильная с резко изрезанными краями, дендритовидная, каплевидная. Размер их в основной массе изменяется от первых до десятков микрометров, реже первых сотен. В частности, в конгломератах с гематитом золото выявлено в гальке кварца (20-50 мкм), частица изометрической формы размером 60× 80 мкм - в кварцево-слюдистом цементе, частица размером 30×50 мкм - в сростке с гематитом. В магнетите обнаружены включения самородного золота размером 5-40 мкм, а в грубом гравитационном концентрате магнетитовых конгломератов – Аи размером до 50× 300 мкм. Рентгеноструктурный анализ золотин из обоих типов конгломератов показал наличие в составе Au серебра.

Здесь же в двух образцах цемента конгломератов были обнаружены платиноиды, определённые оптическим методом в минералогической лаборатории ОАО «Унипромедь» как нигглиит (PtSn₃). Выделения имеют идиоморфную форму с правильными и ровными двумя и тремя гранями, средней твёрдостью, очень сильным двуотражением (*R*=20–40%) и анизотропией с ярким цветным эффектом от оранжевого до тёмного серо-синего.

Самородное серебро обнаружено нами в экзоконтактах метабазальтов с хлоритизированными конгломератами среди рассеянно-вкрапленной сульфидной минерализации, ат. %: 67,33–75,79 Ag, 12,22–14,32 Fe, 2,95–3,51 Cu, 6,38–8,06 S, 7,1 Se, 2,34 As. Наличие в его составе таких элементов, как Cu, S и Se, свидетельствует о парагенетической связи Ag с сульфидами.

Сульфидная минерализация в породах Шатакского комплекса довольно обильна, присутствует на разных горизонтах разрезов и в различных типах пород (см. рис. 3, *д*—*ж*). С некоторой долей условности можно выделить три структурно-вещественных типа минерализации: рассеянно-вкрапленная (±) пентландит-пиритхалькопиритовая, распространённая практически по всему объёму магматических тел; прожилково-вкрапленная халькозин-ковеллин-борнит-халькопиритовая, приуроченная к контактам базальтов и терригенных пород при мощности обогащённых сульфидами интервалов от 0,5 до 1,0 м; вкрапленная, рассеянно-вкрапленная пиритовая переменной мощности (от 0,1 до 0,5 м), развитая на разных уровнях в горизонтах песчаников и конгломератов.

Пирит, самый распространённый сульфид, встречается в виде субидиоморфных кристаллов кубического габитуса, а также часто образует ксеноморфные выделения, группирующиеся в обособления «округлой» формы. В его химическом составе (Fe 47,24-47,27, S 51,76-52,24, Со 0,46-0,52, Se 0,51 ат. %) установлены значимые содержания Со, Se и Ni. Халькопирит (Cu 34,77, Fe 31,74, S 32,24, Co 0,39, Au 0,86 ат. %) - второй по распространённости сульфид, присутствует в ксеноморфных выделениях размером 0,01-0,05 мм в ассоциации с борнитом и халькозином, а также образует единичные выделения или сростки кристаллов. В качестве примесей в нём установлены Со и Аu. Борнит (Сu 62,89-65,17, Fe 10,06–11,86, S 24,18–25,25, Ag 0,5 ат. %) представлен довольно обильными ксеноморфными и изометрическими выделениями розоватой окраски в ассоциации с халькопиритом и халькозином. Химический состав минерала достаточно постоянен, а в качестве примеси присутствует серебро. Халькозин (Си 73,31-75,37, Fe 5,41-6,23, S 18,4-23,28 ат. %) обнаружен в ассоциации с борнитом, халькопиритом, сфалеритом. Он присутствует в виде разновидности голубого цвета, что обусловлено наличием в твёрдом растворе молекул ковеллина. В химическом составе халькозина велико количество железа, что позволяет отнести его к железистым разновидностям. В интервалах с халькозинковеллин-борнит-халькопиритовой минерализацией установлены многочисленные неидентифицированные нестехиометричные минералы переменного состава системы Cu-Fe-S с примесями Co, As, Se и Te, ат. %:

- Fe 79,61, Cu 19,17, Co 0,97, As 0,25;
- Fe 60,75, Cu 28,21, S 11,04;
- Fe 10,67, Cu 49,74, S 39,59.

Кроме того, здесь же присутствуют неидентифицированные селениды (Fe 47,59, Cu 12,4, Se 38,79, As 1,14, Se 70,28, As 29,72 ат. %) и теллуриды (Fe 65,56, S 5,79, Te 28,65, S 3,76, Ag 78,79, Te 17,45 ат. %) (см. рис. 3, 3).

Для терригенных грубообломочных пород кузъелгинской и каранской подсвит Шатакского комплекса характерна своеобразная благороднометальная геохимическая специализация. Количества благородных металлов превышают кларк земной коры, по [3]: платина и палладий в 10-250 раз, золото в 10-350 раз. Площадное опробование штуфов конгломератов показало наличие в них устойчиво повышенных (аномальных) содержаний Au, варьирующих в пределах от 0,2 до 5,5 г/т (табл. 2). Причём повышенные содержания установлены на протяжении 11 км, т.е. всего комплекса по латерали в конгломератах как кузъелгинской, так и каранской подсвит. Кроме золота, в породах выявлены платина и палладий в промышленно значимых количествах (0,21–1,75 Pt, 0,11–0,63 Pd г/т). По рассчитанным соотношениям благородных металлов проведён предварительный анализ типов геохимической специализации терригенных пород комплекса. Так, золото-серебряное отношение значительно варьирует от 0,01 до 126,25, при том, что в большей части анализов этот коэффициент >1, что свидетельствует о золото-серебряном типе геохимической специализации пород. Платино-палладиевое отношение почти во всех породах комплекса <1, максимальное значение 110. В единичных анализах оно составляет 0,02, что говорит об изменении типа специализации с палладий-платинового на платино-палладиевый. Отношение Au к Pt+Pd также значительно колеблется от практически чисто «золотого» (15,78-106) до «платиноидного» (0,006-0,01). Вариации рассчитанных соотношений указывают на наличие нескольких типов благороднометальной специализации в породах комплекса, что обусловлено, вероятнее всего, полигенным характером её генезиса.

Результаты штуфного опробования разрезов кузъелгинской и каранской подсвит методом атомной эмиссии с индуктивно связанной плазмой, проведённого по методике МА ИАЦ-65-2004 в ОАО «Иргиредмет» (рис. 4), позволяют рас-

[•] Fe 74,90, Cu 18,32, Co 1,18, Te 0,76, Se 1,16, As 3,69;

2. Содержания благородных металлов в осадочных породах Шатакского комплекса, г/т

№№ п/п	Породы	Au	Ag	Pt	Pd	Pt/Pd	Au/Ag	Au/(Pt+Pd)
1	Конгломерат	0,01	0,02	0,41	0,01	41	0,5	0,02
2	Конгломерат	0,03	0,03	1,10	0,01	110	1	0,03
3	Конгломерат	0,01	0,01	1,04	<0,01		1	
4	Конгломерат	0,01	0,05	0,41	0,01	41	0,2	0,02
5	Конгломерат	0,01	0,35	0,76	0,29	2,62	0,03	0,01
6	Конгломерат	0,01	0,16	0,71	0,01	71	0,06	0,01
7	Конгломерат	0,02	0,04	0,21	0,11	1,91	0,5	0,06
8	Конгломерат	0,04	3,67	0,45	0,01	45	0,01	0,09
9	Конгломерат	0,03	0,01	0,77	0,12	6,42	3	0,03
10	Конгломерат	0,97	0,02	0,02	<0,01		48,5	
11	Конгломерат	5,05	0,04	0,31	0,01	31	126,25	15,78
12	Конгломерат	0,01	0,03	1,11	0,48	2,31	0,33	0,006
13	Конгломерат	0,03	0,00	0,01	0,63	0,02		0,05
14	Конгломерат	0,20	0,26	0,46	<0,01		0,77	
15	Конгломерат	0,85	4,62	0,18	<0,01		0,18	
16	Конгломерат	2,12	15,14	0,01	0,01	1	0,14	106
17	Конгломерат	<0,01	<0,01	0,88	0,01	88		
18	Конгломерат	0,78	7,02	0,01	<0,01	1	0,11	
19	Конгломерат с mgt	0,20	5,25	1,75	0,30	5,83	0,04	0,10
20	Песчаник c gem	0,25	1,00	<0,5	<0,1	1	0,25	
21	Конгломерат	0,10	1,00	<0,5	<0,1		0,1	
22	Конгломерат	0,35	1,25	н/о	н/о	1	0,28	
23	Конгломерат с gem	1,80	1,45	н/о	н/о		1,24	
24	Конгломерат с mgt	1,60	2,50	1,30	0,30	4,33	0,64	1
25	Конгломерат с mgt	1,20	1,50	1,50	0,20	7,5	0,8	0,71
26	Магнетитовая порода	1,20	1,75	<0,5	<0,1	1	0,69	
27	Конгломерат с mgt	2,15	1,20	1,40	0,20	7	1,79	1,34
28	Конгломерат	0,20	1,38	н/о	н/о		0,14	
29	Конгломерат	0,30	1,25	<0,5	<0,1		0,24	
30	Конгломерат	<0,1	1,00	<0,5	<0,1		-	
31	Конгломерат	0,20	1,25	<0,5	<0,1		0,16	
32	Конгломерат	0,20	1,00	н/о	н/о		0,2	
33	Конгломерат	0,15	0,75	н/о	н/о		0,2	
34	Конгломерат	0,20	0,75	0,85	0,20	4,25	0,27	0,19
35	Конгломерат	0,20	0,75	0,60	0,20	3	0,27	0,25
36	Конгломерат	1,80	1,40	1,25	0,35	3,57	1,29	1,13
37	Конгломерат	1,60	2,55	1,30	0,30	4,33	0,63	1
38	Конгломерат c gem	1,85	1,70	0,50	0,10	5	1,09	3,08
39	Гравелит с gem	0,20	0,50	<0,5	<0,1		0,4	
40	Конгломерат	0,10	0,50	н/о	н/о		0,2	
41	Песчаник c gem	0,20	1,25	н/о	н/о		0,16	
42	Конгломерат	2,00	0,75	0,80	0,30	2,67	2,67	1,82
43	Конгломерат	0,10	1,00	н/о	н/о		0,1	
44	Конгломерат	0,10	0,50	н/о	н/о		0,2	
45	Углеродистый сланец	0,20	1,36	<0,5	<0,1		0,15	
46	Углеродистый сланец	0,20	1,38	н/о	н/о		0,14	

Примечание. 1–21 – анализы выполнены в ЦНИГРИ пробирно-атомно-абсорбционным методом, 22–46 – в ОАО «Унипромедь» атомно-абсорбционным методом [9]; н/о – элемент не обнаружен; mgt – магнетит, gem – гематит.

смотреть пространственное распределение золота и его возможные связи с халькофильными и сидерофильными элементами. Как видно из приведённых диаграмм, в разрезах обоих подсвит наблюдается определённая когерентность в максимумах содержаний Au и Cu+Zn, Au и Cu+Zn+Fe, Au и Cu+Zn+Fe+Ni+Co, т.е. золото ассоциируется как с сульфидными минералами, так и железоокисными, что ещё раз подчёркивает полигенный характер его генезиса.

Несколько неожиданные данные по содержаниям Au получены по пробам-протолочкам магматических пород разреза кузъелгинской подсвиты, отмытых до «серого» шлиха: метабазальт из нижней толщи – 22,0 г/т, метабазальт из верхней – 5,8 г/т, риолит – 6,3 г/т (см. рис. 4).

Прикладная металлогения



Рис. 4. Распределение элементов по разрезам кузъелгинской и каранской подсвит Шатакского комплекса:

1 — риолиты; 2 — базальты; 3 — метасоматиты; 4 — конгломераты; 5 — песчаники; 6 — сланцы; 7 — содержания Au в шлихах из проб-протолочек; 8 — места находок самородных элементов

Таким образом, следует констатировать, что повышенные (аномальные) содержания Au характерны для всех разновидностей пород Шатакского комплекса, а анализ его распространения по разрезам подсвит свидетельствует о нескольких этапах перераспределения золота. Значительные колебания концентраций Au по данным различных видов анализов не позволяют на их основе определить несмещённую оценку среднего содержания и ресурсы золота в шатакских конгломератах выше категории P₂. Поэтому для расчёта принято среднее содержание Au 1,6 г/т, установленное технологическим опробованием двух валовых проб конгломератов кузъелгинской подсвиты массой по 500 кг каждая, проведённым в ОАО «Унипромедь». При расчёте прогнозных ресурсов по категории Р₂ использовались следующие параметры: площадь – 500 000 м², глубина прогноза – 250 м, коэффициент продуктивности – 0,1, объём рудной массы – 12,5 млн м³, объёмный вес – 2,7 т/м³, масса руды – 33,75 млн т, среднее содержание Au – 1,6 г/т, ресурсы золота – 54 т. При включении в расчёты конгломератов каранской подсвиты прогнозные ресурсы минимально увеличатся до ≈108 т золота.

Кроме того, исследованиями ОАО «Унипромедь» показана возможность сквозного извлечения в товарный концентрат до 70% золота гравитационно-цианидной технологией с предварительной магнитной и электросепарацией. Попутно получается кондиционный железосодержащий концентрат. В гравитационный продукт с концентрацией Au 27-30 г/т извлекается 48-50% Аи. Цианидная перечистка хвостов гравитационного цикла производится сорбцией золота на угольную пульпу. Концентрация Fe в попутных гематитовом и магнетитовом концентратах 42-48 и 53-56% соответственно. Железосодержащие концентраты по содержанию железа и примесей отвечают требованиям металлургических заводов и после агломерации могут перерабатываться.

Технико-экономическое обоснование целесообразности добычи и переработки золотосодержащих конгломератов выполнено на основе результатов технологических исследований с учётом возможных параметров оруденения и простой морфологии залежей. Моделированием соотношения затрат и ожидаемой прибыли ОАО «Унипромедь» показана экономическая привлекательность разработки объекта с годовой производительностью 1,5 млн т руды при среднем содержании Au 1,65 г/т. Потенциальная платиноносность при расчётах не учитывалась. В результате переработки руды можно производить в год 61,4 тыс. т железосодержащего концентрата с содержанием Fe 45,6%, Аи 1810,5 кг, Ад 446,9 кг в золотосодержащих концентратах.

Золото и элементы группы платины (ЭПГ), помимо того, что представляют собой ценное сырьё, являются информативными геохимическими «маркерами» разнообразных петрогенетических и рудообразующих процессов. По мнению А.А.Маракушева [14], восстановительная обстановка способствует концентрации во флюиде Au, Ag, Cu, Pb, менее восстановительная – Pt и Ni. При этом роль последнего должна усиливаться с ослаблением восстановительного режима. При более окислительных условиях концентрируются Ir, Rh, Os и Ru. Ещё большее снижение восстановительного потенциала, при прочих равных условиях, приводит к накоплению во флюиде Ag, Pb, Zn, т.е. окислительно-восстановительный потенциал и состав флюидов играют очень важную роль в перераспределении и концентрировании ЭПГ и Au. Поэтому важно определить благороднометальную геохимическую специализацию магматических пород Шатакского комплекса, поскольку именно магматизм был первичным источником благородных металлов. Для сравнительного анализа использованы авторские данные по Кусинско-Копанскому комплексу (табл. 3), представляющему собой расслоенное тело (серию тел) среднерифейского возраста, породы которого можно рассматривать в качестве интрузивных аналогов магматических образований Шатакского вулкано-плутонического комплекса. Содержания элементов платиновой группы и золота определялись методом ICP-MS в ЦИИ ВСЕГЕИ (аналитики В.А.Шишлов, В.Л.Кудрявцев; пределы обнаружения ЭПГ и Au – 0,002 ppm).

Анализ средних нормализованных содержаний платиноидов и золота в различных разновидностях пород Шатакского и Кусинско-Копанского комплексов (рис. 5) позволяет сделать следующие выводы:

- нормализованные содержания ЭПГ и Au во всех разновидностях пород (пикриты, базальты, риолиты) Шатакского комплекса близки между собой, образуют единый тренд, характеризующийся значительным (в 10 раз) превышением содержаний Rh, Pd, Au по сравнению с мантийными;
- максимальный разброс значений устанавливается для Au и Ir, при этом их максимальные количества характерны для пикритов;
- усреднённый нормализованный тренд пород Шатакского комплекса обладает определённой «неравновесностью», что свидетельствует о неоднократном (?) перераспределении платиноидов и золота в процессе

№№ п/п	Породы	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au
1	Риолит	0,002	<0,002	0,0068	0,0046	0,0062	0,0031
2	Риолит	<0,002	<0,002	0,0095	<0,002	0,0025	0,0034
3	Риолит	<0,002	<0,002	0,011	0,0023	0,014	0,0037
4	Риолит	<0,002	<0,002	0,0057	<0,002	<0,002	0,0022
5	Риолит	<0,002	<0,002	0,0066	<0,002	0,052	<0,002
6	Риолит	<0,002	<0,002	0,0075	<0,002	0,0071	0,0054
7	Риолит	0,0024	<0,002	0,0047	0,011	0,031	0,013
8	Риолит	<0,002	<0,002	0,0053	<0,002	0,0028	0,011
9	Риолит	<0,002	<0,002	0,0053	0,0053	0,0085	0,0074
10	Метабазальт	<0,002	<0,002	0,0056	0,0056	0,0072	0,0043
11	Метабазальт	<0,002	<0,002	0,0042	0,013	0,03	0,0049
12	Метабазальт	<0,002	<0,002	0,0021	0,01	0,0087	0,0045
13	Конгломерат	<0,002	<0,002	0,0044	0,0032	0,03	<0,002
14	Метабазальт	0,0051	<0,002	0,0028	0,0091	0,023	0,014
15	Метабазальт	<0,002	<0,002	0,0047	0,02	0,044	0,0095
16	Метабазальт	<0,002	<0,002	0,0059	0,019	0,051	<0,002
17	Метабазальт	<0,002	<0,002	0,0064	0,016	0,0083	<0,002
18	Метабазальт	<0,002	<0,002	0,0053	0,0036	0,05	<0,002
19	Метабазальт	<0,002	<0,002	0,0061	0,012	0,022	<0,002
20	Метабазальт	<0,002	<0,002	0,0055	0,0066	0,018	<0,002
21	Метабазальт	<0,002	<0,002	0,0056	0,0056	0,0056	0,0049
22	Пикрит	<0,002	<0,002	0,0074	0,0028	<0,002	<0,002
23	Пикрит	<0,002	<0,002	0,0048	<0,002	<0,002	0,0046
24	Пикрит	0,016	0,0033	0,009	0,031	0,063	0,03
25	Пикрит	<0,002	<0,002	0,0065	<0,002	<0,002	0,0034
26	Пикрит	0,0026	<0,002	0,0069	0,013	0,068	<0,002
27	Пикрит	<0,002	<0,002	0,0085	0,0033	<0,002	<0,002
28	Гранодиорит	0,004	<0,002	0,0033	0,01	<0,002	<0,002
29	Анортозит	<0,002	<0,002	0,0055	0,0023	0,0082	<0,002
30	Гранит	0,0046	<0,002	<0,002	0,01	0,0036	0,0037
31	Гранит	0,0031	<0,002	0,0059	0,008	<0,002	<0,002
32	Гранит	<0,002	<0,002	0,0022	<0,002	0,0033	<0,002
24	Габбро	<0,002	<0,002	<0,002	0,0045	0,000	0,0087
25	Габбро	<0,002	<0,002	<0.0034	<0.0023	0,012	<0,002
36	Габбронорит	<0,002	<0,002	0,002	0,002	0,0057	0,002
30	Габбронорит	<0,002	<0,002	0,0028	0,0022	0.01/	0,0021
40	Габбронорит	<0,002	0.0021	0,0025	0,0037	0,014	0,0004
40	Пироксенит	0.002	<0.0021	<0.002	0,0079	0.0034	0,0022
41	Пироксенит	<0.0021	<0.002	<0,002	0.0035	<0.002	<0.002
43	Пироксенит	<0.002	<0.002	0.0026	0.015	0.0052	0.0021
44	Пироксенит	0.0037	0.0022	0.0022	0.029	0.025	0.0049
46	Пироксенит	<0.002	<0.002	0.0021	0.0047	0.0061	<0.002
47	Пироксенит	0.0032	<0.002	0.0026	0.014	0.015	0.0023
48	Пироксенит	< 0.002	< 0.002	<0.002	0.0024	< 0.002	<0.002
49	Пироксенит	<0,002	0,0023	<0,002	0,0056	0,0076	<0,002
50	Апоультрабазит	< 0.002	< 0.002	<0.002	0.0088	0.025	<0.002
51	Апоультрабазит	0.0051	0.0048	0.0036	0.024	0.031	< 0.002

3. Репрезентативные содержания благородных металлов в породах Шатакского и Кусинско-Копанского комплексов, ppm

Примечание. Комплексы: 1-27 - Шатакский, 28-51 - Кусинско-Копанский.

становления вулкано-плутонической ассоциации при более позднем метаморфогенном изменении пород; благороднометальную геохимическую специализацию комплекса в общем виде можно охарактеризовать как Ru–Pd–Au;

- по сравнению с шатакскими породами аналогам по основности (пироксениты, габбро, граниты) Кусинско-Копанского комплекса свойственны меньшие количества Rh, Pd, отчасти Au и большие Ir и Ru; максимальный разброс значений наблюдается у Pd, составляющий для пары пироксенит–гранит более 10 раз;
- в целом для тренда средних содержаний благородных металлов в породах Кусинско-Копанского комплекса характерна меньшая дисперсия в нормализованных количествах ЭПГ и Au по сравнению с породами Шатакского комплекса, что, вероятнее всего, связано с различиями в условиях внутрикамерной дифференциации расплава.

Определённый интерес представляет сравнительный анализ нормализованных трендов Шатакского и Кусинско-Копанского комплексов со средними содержаниями ЭПГ и Аи в пикритах, коматиитах и рассчитанных составах расплавов, сформировавших рудоносные комплексы Бушвельда и Норильска (см. рис. 5). Как видно из приведённых диаграмм, по сравнению со средними составами пикритов и коматиитов шатакский и кусинско-копанский тренды отличаются аномально высокими содержаниями Rh и низкими Ru. Эта особенность проявляется и при сравнении шатакского и кусинско-копанского трендов с рассчитанными составами расплавов, образовавших рудоносные комплексы Бушвельда и Норильска. Южноуральские породы несколько «обогащены» тугоплавкими (Ir, Ru) элементами, что говорит о больших величинах степени плавления мантийного субстрата и о близости первичных расплавов, сформировавших породы Шатакского и Кусинско-Копанского комплексов, к пикритам-пикродолеритам, в то время как рассчитанные первичные составы Бушвельда и Норильска менее «основны» и соответствуют базальтам.

Анализ Pt/Pd и Pt/Ir для пород Шатакского (риолиты – 0,16–0,74 и 3,1–12,92; базальты, кузъелгинская подсвита – 0,37–1,15 и 4,51; базальты, каранская подсвита – 0,072–1,92 и 0; пикриты – 0,19-0,49 и 3,9-26,15) и Кусинско-Копанского (граниты, Рябиновский комплекс - 2,78 и 0,78; анортозит - 0,28 и 0; габброиды - 0,26-1,72 и 0; пироксениты - 0,73-2,88 и 1,62-6,76; ультрабазиты – 0,35–0,77 и 6,08–13,72) комплексов показывает, что практически для всех разновидностей пород характерна палладиевая специализация, иногда сменяющаяся палладий-платиновой, что свидетельствует о значительной подвижности этих элементов в процессах становления и преобразования пород комплексов. Средние значения Pt/Pd и Pt/Ir для всех разновидностей пород (Шатакский комплекс – 0,386 и 3,81; Кусинско-Копанский комплекс - 0,7 и 1,172) показывают, что расплав, сформировавший породы Кусинско-Копанского комплекса, содержал больше платины и иридия, чем расплав, сформировавший шатакские породы.

Из анализа диаграммы Pd/Ir—Pt/Pd (рис. 6) видно, что эти отношения в рядах пород пироксениты—габбро—граниты (Кусинско-Копанскийкомплекс) и пикриты—базальты—риолиты (Шатакский комплекс) разнонаправленны, т.е. в первом случае от ультраосновных разновидностей к кислым растёт количество Ir и Pt, в то время как во втором случае от пикритов к риолитам увеличивается количество Pd.

«Обогащённость» расплавов Pd по отношению к Pt и Ir по сравнению с их отношениями в примитивной мантии довольно значительна и возрастает от пород Кусинско-Копанского к породам Шатакского комплекса, что иллюстрируется средними значениями, рассчитанными для всех разновидностей пород комплексов (см. рис. 6). При этом южноуральские породы отличаются и от эталонных составов пород, для которых характерно значительное увеличение количества Pd по отношению к Ir при слабых вариациях Pt/Pd, близких к constant.

Итак, исходя из вышеизложенного, формирование благороднометального оруденения в породах Шатакского комплекса обусловлено многими причинами и происходило в несколько этапов.

Первый этап (рифтогенный). Начало формирования благороднометального оруденения пород Шатакского комплекса синхронно с образованием в раннерифейское время интракратонного прогиба с компенсированным осадконакоплением терригенных отложений [16] и связано с внедрением в зоны конседиментаци-



Рис. 5. Графики нормализованных содержаний благородных металлов для магматических пород Шатакского, Кусинско-Копанского, Бушвельдского и Норильского комплексов:

Шатакский комплекс: 1 – пикриты, 2 – базальты, 3 – риолиты; Кусинско-Копанский комплекс: 4 – оливиновые пироксениты, 5 – габброиды, анортозиты, 6 – граниты Рябиновского массива; U магма – высокомагнезиальные базальты; A магма – толеитовые базальты; TK базальт – базальты с коровым материалом; Nd базальт – безсульфидные базальты; примитивная мантия, по [28]; средние составы пикритов и коматиитов, по [26]; диаграммы для пород Бушвельда и Норильска, по [27]

онных разломов мелких рассредоточенных базитовых и базит-гипербазитовых интрузий [6]. Проявление магматизма на обширной территории преимущественно в интрузивной форме, а также повышенная основность пород (пикриты, пикродолеритовые комплексы, дайки меланократовых габбродолеритов) свидетельствуют о его плюмовой природе [24], эволюция которого, на наш взгляд, и определяла во многом геодинамическое развитие региона. Собственно рифтогенный этап знаменовался переходом от рассредоточенного типа растяжения литосферы к линейно сконцентрированному, что в пределах западного склона Южного Урала выразилось в

Прикладная металлогения

формировании серии грабенообразных структур с максимальным развитием интрузивного магматизма и вулканизма при большом разнообразии продуктов его деятельности - интрузии, эффузивные и пирокластические фации [5, 7]. Процессы дифференциации в промежуточных очагах и, возможно, контаминация в их верхних частях привели к образованию магм, различающихся по основности (пикриты, базальты, риолиты) и геохимическим характеристикам (обогащённость рудогенными элементами – Ti, V, Ni, Co, Cu, Cr, а также Au, Pt и Pd по сравнению с мантийным субстратом). При этом формировавшиеся осадки и осадочные породы верхних горизонтов коры пронизывались потоками глубинных флюидов углеводородноводородного состава, существование которых на крыльях срединно-океанических хребтов и, что важно для нашего случая, активизированных континентальных склонах доказано прямыми измерениями флюидопроявлений [1]. В породах Шатакского комплекса воздействие глубинных флюидов реконструируется по благороднометальной специализации терригенных пород, переслаивающихся с магматическими образованиями, имеющими аналогичную специализацию. Таким образом, флюидная проработка осадочного субстрата при рифтогенезе приводит к формированию геохимических аномалий рудогенных элементов, включая Au и ЭПГ.

Второй этап (коллизионный) метаморфогенно-гидротермальный. Согласно современным представлениям о геодинамическом развитии региона в «поздневендское» время, территория Южного Урала развивалась в режиме сжатия [23]. В пределах Шатакского комплекса физико-химические условия минералообразования определялись функционированием флюидно-гидротермальной системы, которая сформировалась при смене рифтогенного магматизма процессами водного корового палингенеза и регионального метаморфизма. В растворах, отделявшихся от магматических очагов и характеризующихся повышенной щёлочностью и низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала, железо присутствовало, вероятнее всего, в виде карбонильных или цианидных комплексов. При достижения зоны, в которой в силу снижения давления и температуры, роста Eh и кислотности нарушились условия равно-



Рис. 6. Диаграмма Pd/Ir-Pt/Pd для средних составов магматических пород Шатакского и Кусинско-Копанского комплексов и эталонных составов магматических пород:

1 – граниты Ахуновского массива; 2 – эталонные составы магматических пород, по [26]; 3 – средние составы южноуральских пород (Шт – Шатакский комплекс, КК – Кусинско-Копанский комплекс); РМ – примитивная мантия; К – коматииты; Р – пикриты; OBI – базальты океанических островов; MORB – базальты срединно-океанических хребтов; остальные усл. обозн. см. рис. 5

весия, произошло разложение комплексов железа, что выразилось в активном осаждении из постмагматических растворов магнетита и гематита с параллельным обогащением рудной зоны углекислотой и углеводородами.

По данным А.Ф.Коробейникова [12] и Е.В.Плющева с соавторами [20], магнетит и гематит являются минералами-концентраторами благородных металлов в скарновом гидротермальном процессе, поэтому разложение карбонильных и (или) цианидных комплексов приводит к формированию ассоциации оксидов железа и благородных металлов. А.А.Маракушевым и Н.И.Безменом [15] было отмечено, что возрастание положительной свободной энергии реакций типа MeO₂+S₂=MeS₂+O₂ с повышением температуры свидетельствует о всё большем смещении равновесия реакций влево, в сторону образования окислов. Это отвечает эмпирически выявленной закономерности: смена окисного оруденения сульфидным на рудных месторождениях происходит с понижением температуры. Смена силикатных парагенезисов сульфидными также соответствует общей тенденции снижения температуры. Расчёты равно-

весных соотношений между магнетитом и сульфидами железа в системах с участием ионов HS- и OH- позволили установить, что при температурах >400°С магнетит более устойчив, чем сульфиды железа. Снижение температуры системы <400°С уже предопределяет появление в ней вместо магнетита парагенезиса пирита с пирротином [18]. Таким образом, при повышенных температурах возрастание активности кислорода, выражающееся в увеличении сродства металлов к кислороду, предопределяет устойчивость минералов окислов и силикатов железа. Золото и платина в этих обстановках проявляют свои сидерофильные свойства, что и обусловливает совместную миграцию благородных металлов и железа, концентрация которых в высокотемпературных щелочных восстановленных растворах может быть достаточна велика. Палладий, в отличии от платины будучи типичным халькофильным элементом, не характерен для данной ассоциации, о чём свидетельствуют высокие значения Pt/Pd соотношения, в среднем равного 4, в магнетит-гематитовых конгломератах. Таким образом, формирование золото-платино-железоокисной ассоциации в конгломератах Шатакского комплекса происходило из щелочных восстановленных растворов при температуре не ниже 400°С, а последующее сульфидообразование усложнило картину распределения золота и платиноидов.

Дальнейшее изучение комплекса необходимо проводить с применением методик геолого-поисковых и геолого-оценочных работ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, соглашение № 16-17-10192.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Авилов В.И., Авилова С.Д.* Потоки газов в придонной зоне глубоководной части океана // ДАН. 2003. Т. 389. № 4. С. 519–523.
- Геохимическая специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского мегантиклинория / С.Г.Ковалев, И.В.Высоцкий, В.Н.Пучков и др. – Уфа: ДизайнПресс, 2013.
- Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометальные месторождения России. – СПб.: Наука, 2000.

- Иванов А.И. К стратиграфии и древнему орогенезу западного склона Южного Урала // Тр. Баш. геол. управ. 1937. Вып. 7. С. 2–28.
- 5. *Ковалев С.Г.* Динамика формирования среднерифейской рифтогенной структуры (западный склон Южного Урала) // ДАН. 2004. Т. 396. № 2. С. 219–222.
- Ковалев С.Г. Новые данные по геохимии диабаз-пикритового магматизма западного склона Южного Урала и условия его формирования // Литосфера. 2011. № 2. С. 68–83.
- 7. *Ковалев С.Г.* Позднедокембрийский рифтогенез в истории развития западного склона Южного Урала // Геотектоника. 2008. № 2. С. 68–79.
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В. Новые данные по геологии Шатакского комплекса (западный склон Южного Урала) // Литология и полезные ископаемые. 2008. № 3. С. 280–289.
- 9. *Ковалев С.Г., Высоцкий И.В.* Новый тип оруденения в докембрийских конгломератах западного склона Южного Урала // ДАН. 2004. № 4. Т. 395. С. 503–506.
- 10. Ковалев С.Г., Высоцкий И.В. Новый тип благороднометальной минерализации в терригенных породах Шатакского грабена (западный склон Южного Урала) // Литология и полезные ископаемые. 2006. № 4. С. 415–421.
- 11. Ковалев С.Г., Высоцкий И.В. Первые находки самородного железа в породах машакского комплекса и их петрогенетическое значение // Геологический сборник. № 1. Информ. мат-лы. Уфа, 2000. С. 86–87.
- 12. Коробейников А.Ф., Перцев Н.Н. Золото, платина и палладий в диабазах Шитового комплекса Косто-Риканской рифтовой зоны в Тихом океане // ДАН. 1998. Т. 359. № 5. С. 663-667.
- Львов К.А. К тектонике западного склона Южного Урала // Уч. зап. Казанского гос. ун-та. 1936. Т. 96. Вып. 102. Кн. 3. С. 27–32.
- 14. Маракушев А.А. Физико-химические условия генерации рудоносных флюидов и проблема источников рудного вещества // Источники рудного вещества эндогенных месторождений. М., 1976. С. 145–164.
- 15. *Маракушев А.А., Безмен Н.И.* Термодинамика сульфидов и окислов в связи с проблемами рудообразования. – М.: Наука, 1971.

Прикладная металлогения -

- 16. Маслов А.В. Седиментационные бассейны рифея западного склона Южного Урала (фации, литолого-фациальные комплексы, палеогеография, особенности эволюции): Автореф. дис... д-ра геол.минер. наук. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1997.
- 17. Машакский вулканизм: ситуация 2008 / А.А.Краснобаев, В.И.Козлов, В.Н.Пучков и др. // Мат-лы Междунар. конф. «Структурно-вещественные комплексы и проблемы геодинамики докембрия фанерозойских орогенов», III Чтения памяти С.Н.Иванова. Екатеринбург, 2008. С. 61–63.
- 18. Павлов А.Л. Эволюция физико-химических параметров гидротермальных систем при рудообразовании. – Новосибирск: Наука, 1976.
- 19. Парначев В.П., Ротарь А.Ф., Ротарь З.М. Среднерифейская вулканогенно-осадочная ассоциация Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986.
- 20. Плющев Е.В., Шатов В.В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. – Л.: Недра, 1985.
- 21. Предварительные данные о возрастных рубежах нео- и мезопротерозоя в свете новых U-Pb датировок / В.Н.Пучков, А.А.Краснобаев, В.И.Козлов и др. // Геологический сборник. 2007. № 6. С. 3–14.
- Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010.
- 23. *Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000.

- 24. Пучков В.Н., Ковалев С.Г. Плюмовые события на Урале и их связь с субглобальными эпохами рифтогенеза // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы. Иркутск, 2013. С. 34–38.
- 25. Ротарь А.Ф., Ротарь З.М., Парначев В.П. Стратиграфия шатакской свиты среднего рифея на Южном Урале // Стратиграфия и литология докембрийских и раннепалеозойских отложений Урала. Свердловск, 1982. С. 53–64.
- Barnes S.-J. and Lightfoot P.C. Formation of magmatic nickel-sulfide ore deposits and affecting their copper and platinum-group element contents // Economic Geology 100th Anniversary Volume. 2005. P. 179–213.
- 27. Barnes S.-J., Maier W.D. The fractionation of Ni, Cu and the noble metals in silicate and sulfide liquids exploration // C.E.G. Geological Association of Canada. 1999. Short Course Vol. 13. P. 69–106.
- McDonough W.F. and Sun S.-S. Composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. Vol. 120. P. 223– 253.
- 29. *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the Continental Crust // Treatise on Geochemistry. 2003. Vol. 3. P. 1–64.

Ковалёв Сергей Григорьевич, доктор геолого-минералогических наук kovalev@ufaras.ru

> Высоцкий Сергей Игоревич, младший научный сотрудник

Высоцкий Игорь Владимирович, научный сотрудник

RESOURCE POTENTIAL OF PRECAMBRIAN CONGLOMERATES FROM SHATAKSKY COMPLEX, SOUTHERN URALS

S.G.Kovalev, S.I.Vysotsky, I.V.Vysotsky

Volcanogenic/sedimentary deposits of Shataksky complex are described. Ore mineralization including native elements, iron oxide and sulfide mineralization, selenides, tellurides and rare-earth minerals is characterized in detail. Spatial gold distribution in the section of coarsely terrigenous rocks of the complex is established and its possible relations to chalcophile and siderophile elements are shown. Geochemical specialization types of terrigenous rocks were analyzed by the calculated ratios of precious metals (PGM, gold and silver). Gold resources were estimated (P_2 category ≈ 108 t) based on the materials available. A two-stage model of precious metal mineralization is proposed including rift («ore preparation») and metamorphogenetic/hydrothermal (ore-forming) stages.

Key words: metabasalts, conglomerates, gold, PGM, iron oxide mineralization, sulfides, geochemical specialization, Southern Urals.