

УДК 55(47+57)

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-295-313

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ МЕЗОПРОТЕРОЗОЙСКИХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ И ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

© 2018 г. С. Г. Ковалев, С. С. Ковалев, С. И. Высоцкий

Институт геологии Уфимского научного центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, e-mail: kovalev@ufaras.ru

Поступила в редакцию 26.05.2015 г., принята к печати 21.12.2017 г.

Впервые охарактеризована благороднометалльная (элементы платиновой группы (ЭПГ) и Au) геохимическая специализация магматических пород Башкирского мегантиклинория и прилегающей части Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Идентичность графиков нормализованных содержаний ЭПГ и Au в магматических породах Башкирского мегантиклинория и востока ВЕП свидетельствует о близости процессов образования и общности механизмов формирования благороднометалльной геохимической специализации при становлении магматических тел. Установлено, что основные черты благороднометалльной геохимической специализации (“родиевая аномалия”) магматических комплексов Башкирского мегантиклинория и востока ВЕП обусловлены содержанием благородных металлов в сульфидных минералах (пентландите) и имеют “первичную” природу. Вариации содержаний Pt, Pd и Au, характерные для разных пород, распространенных в пределах региона, являются результатом их перераспределения при становлении магматических тел и/или преобразовании вторичными процессами. Показано, что благороднометалльная геохимическая специализация терригенных пород из тектонических зон Башкирского мегантиклинория (наличие повышенных количеств платиноидов и – главное – “родиевая аномалия”) сформировались под воздействием магматизма с дальнейшим перераспределением и концентрацией благородных металлов в результате более позднего по времени метаморфизма и локального метасоматоза.

Ключевые слова: Башкирский мегантиклинорий, Восточно-Европейская платформа, магматические комплексы, пикриты, долериты, терригенные породы, элементы платиновой группы, золото, сульфидные минералы

NOBLE METAL GEOCHEMISTRY OF THE MESOPROTEROZOIC IGNEOUS COMPLEXES BASHKIRIAN MEGANTICLINORIUM AND THE EASTERN EDGE OF THE EAST EUROPEAN PLATFORM

Sergei G. Kovalev, Sergei S. Kovalev, Sergei I. Vysotsky

Institute of Geology, Ufimian Sci. Centre of RAS, 16/2 Karl Marx st., Ufa, 450077, Russia, e-mail: kovalev@ufaras.ru

Received 26.05.2015, accepted 21.12.2017

First described the noble metal (platinum group elements (PGE) and Au) geochemical specialization of magmatic rocks of Bashkirian meganticlinorium and the adjacent part of the East European Platform (EEP). Identity graphs of normalized PGE and Au contents in igneous rocks of the western slope of the Southern Urals and east EEP indicates the proximity of their formation and common mechanisms of formation of noble metal geochemical specialization during the formation of these bodies. It was found that the specific precious metal geochemical specialization (“rhodium anomaly”) magmatic complexes Bashkirian meganticlinorium and east EEP, due to the content of precious metals in sulphide minerals (pentlandite) has a “primary” nature. Variations contents Pt, Pd and Au, which are characteristic for different varieties of common species within the region, are the result of their redistribution during the formation of magmatic bodies and/or transformation by secondary processes. It is shown that the noble metal geochemical specialization of clastic rocks of Bashkirian meganticlinorium tectonic zones (presence of increased amounts of platinum and most importantly – “rhodium anomaly”) formed under the influence of magmatism with further redistribution and concentration of precious metals as a result of a later time metamorphism and local metasomatism.

Keywords: Bashkirian meganticlinorium, East-European Platform, magmatic complexes, picrites, dolerite, clastic rocks, platinum group elements, gold, sulphide minerals

Acknowledgements

The work was carried out within the framework of the State task (topic № 0252-2017-0012).

Для цитирования: Ковалев С.Г., Ковалев С.С., Высоцкий С.И. (2018) Благороднометалльная геохимическая специализация мезопротерозойских магматических комплексов Башкирского мегантиклинория и восточной окраины Восточно-Европейской платформы. *Литосфера*, 18(2), 295-313. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-295-313

For citation: Kovalev S.G., Kovalev S.S., Vysotsky S.I. (2018) Noble metal geochemistry of the Mesoproterozoic igneous complexes Bashkirian meganticlinorium and the eastern edge of the East European Platform. *Litosfera*, 18(2), 295-313. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-2-295-313

ВВЕДЕНИЕ

По геологическому строению территория Южного Урала в обобщенном виде подразделяется на восточную (палеоокеаническую) и западную (палеоконтинентальную) мегазоны. Эти различия формировались на протяжении длительной истории развития региона. В строении восточной мегазоны участвуют структурно-вещественные комплексы, входящие в состав океанических и островодужных формаций, в то время как в западной мегазоне породы представлены преимущественно платформенными осадочными и магматическими образованиями. Особенности геологического строения находят свое отражение и в распространении благороднометалльных объектов, наибольшее количество и разнообразие которых установлено в восточной мегазоне, где присутствуют практически все типы золоторудных формаций. В западной мегазоне благороднометалльные (золото-сульфидные и золото-кварцевые) месторождения и рудопоявления приурочены к терригенным породам, которые в большинстве случаев прорываются интрузивными телами основного состава. Генетические условия образования этих объектов на сегодняшний день изучены явно недостаточно. Одной из важных нерешенных проблем является вопрос об источнике рудного вещества и механизмах рудогенного минералообразования. В связи с этим было проведено изучение рудогенерирующего потенциала магматических комплексов основного и ультраосновного-основного составов, распространенных в пределах Башкирского мегантиклинория и восточной окраины Восточно-Европейской платформы, как представителей мантийных образований, характеризующих не только геодинамический режим развития территории, но и определяющих металлогеническую специализацию структурно-вещественных комплексов региона.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Определения платиноидов (Pt, Pd, Rh, Ru, Ir) и Au были выполнены нанотехнологическим способом определения содержания редких и рассеянных химических элементов в горных породах (ВСЕ-ГЕИ). Методика определения заключается в том, что химическому анализу подвергают коллоидно-солевой раствор, приготовленный из пробы исследуемых объектов горных пород и деионизированной воды, взятых в соотношении 1:10. Методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS) в коллоидно-солевом растворе, содержащем частицы фракции исследуемой пробы с размерами 1–1000 нм, определяется наличие и количественное содержание редких и рассеянных элементов. Величина пределов обнаружения со-

ставляет, мкг/л: 0.01 (Au), 0.02 (Pt), 0.03 (Pd), 0.005 (Ag), 0.005 (Rh), 0.02 (Ru), 0.006 (Ir) [Олейникова и др., RU 2370764].

Кроме того, содержания благородных (Pt, Pd, Rh, Ru, Ir и Au) элементов определялись на масс-спектрометрической системе высокого разрешения HR ICP-MS ELEMENT2 (ThermoFinnigan) для мультиэлементного анализа геологического материала (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Магматические породы Башкирского мегантиклинория более чем на 90% представлены интрузивными телами дайковой и sillовой формы, варьирующими по основности от кислых, субщелочных и щелочных разновидностей. Эффузивные образования (базальты различной щелочности и риолиты) распространены локально в обрамлении Тараташского “блока” (Навышский комплекс), а также Машакской и Шатакской палеорифтогенных структурах. Возраст формирования магматических пород определяется интервалом от раннего рифея до венда и палеозоя включительно. Наиболее полная сводка по магматизму всего западного склона Южного Урала приведена в монографии А.А. Алексеева [1984]. Кроме того, отдельные вопросы магматизма Башкирского мегантиклинория освещены в целом ряде публикаций, вышедших в последнее время [Пучков, 2000, 2010; Ферштатер и др., 2004, 2005; Ковалев, Высоцкий, 2004, 2008; Ковалев, 2008, 2011; Сазонова и др., 2011; Холоднов и др., 2012; Носова и др., 2012; Ковалев и др., 2013; и др.]. В данной работе приводятся авторские материалы по благороднометалльной геохимической специализации магматических комплексов мезопротерозойского возраста, которые представлены: раннерифейские – Навышским трахибазальтовым, Юшинским габбро-долеритовым и Шуйдинским пикродолеритовым комплексами; среднерифейские – Кусинско-Копанским расслоенным, Повальненским и Кургасским габбро-долеритовыми, Лапыштинским долерит-пикритовым, Ишлинским пикритовым комплексами, а также Шатакским пикрит-базальт-риолитовым и Ахмеровским гранитным комплексами; позднерифейские – Мисаелгинским феррогаббро-долерит-пикритовым и Инзерским габбро-долеритовым комплексами. Кроме того, приводятся данные по магматическим породам восточной окраины ВЕП, охарактеризованным по разрезам скважин (рис. 1).

Породы *Навышского трахибазальтового комплекса (подсветы)* приурочены к основанию айской свиты (RF₁). Вулканогенно-осадочная толща состоит из четырех горизонтов магматитов мощностью (снизу вверх) до 250–400, 100, 100–125 и 75–100 м, разделенных пачками терригенных образований. Формирование лавовых потоков про-

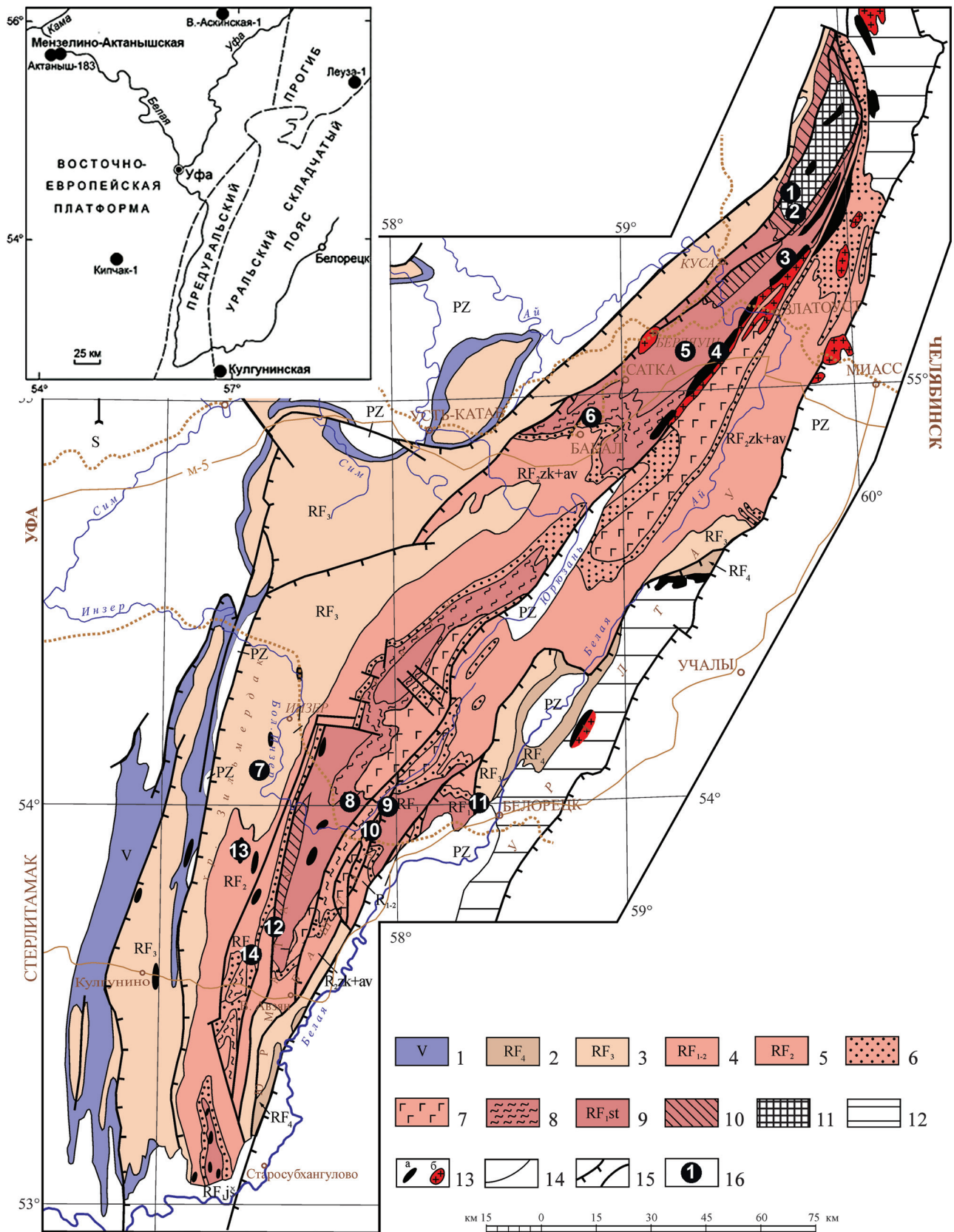


Рис. 1. Геологическая схема западного склона Южного Урала и прилегающей части Восточно-Европейской платформы (на врезке) и положение изученных комплексов.

1 – палеозойские отложения; 2 – вендские комплексы; 3 – отложения верхнего рифея; 4 – породы нижнего–среднего рифея; 5–7 – образования среднего рифея; 8–9 – породы нижнего рифея; 10 – образования айской свиты нижнего рифея; 11 – кристаллические сланцы тараташского комплекса; 12 – метаморфические комплексы Уралтау; 13 – магматические породы: а – основного состава, б – кислого состава; 14 – геологические границы; 15 – разломы; 16 – изученные комплексы (1 – Мисаелгинский, 2 – Лысогорский, 3 – Навышский, 4 – Кусинско-Копанский, 5 – скв. № 7, 6 – Шуйдинский, 7 – Юшинский, 8 – Лапыштинский, 9 – Курманай, 10 – Ишлинский, 11 – Ахмеровский, 12 – Шатакский, 13 – Инзерский, 14 – Повальненский). На врезке показаны скважины, материалы по магматическим породам которых приводятся в данной работе.

Fig. 1. Geological scheme of the western slope of the Southern Urals and the adjacent part of the East European Platform (inset) and the position of the studied complexes.

1 – Paleozoic deposits; 2 – Vendian complexes; 3 – Upper Riphean deposits; 4 – Lower–Middle Riphean rocks; 5–7 – Middle Riphean origination; 8–9 – Lower Riphean rocks; 10 – Lower Riphean Ai Formation; 11 – schists Taratashs complex; 12 – metamorphic complexes Uraltau; 13 – igneous rocks: а – basic, б – acid composition; 14 – geological boundaries; 15 – faults; 16 – Studying of complexes (1 – Misaelga, 2 – Lysogorsk, 3 – Navyshsky, 4 – Kusa-Kopanski, 5 – well № 7, 6 – Shuyda, 7 – Yushino, 8 – Lapyshinsky, 9 – Kurmanay, 10 – Ishlinsky, 11 – Akhmerovo, 12 – Shatak, 13 – Inzer, 14 – Povalnensk). The inset shows the borehole materials magmatic rocks which are given in this paper.

исходило в наземных условиях, возможно иногда сменявшихся прибрежно-морскими. Возраст щелочных базальтоидов, определенный по цирконам из трахибазальтовых порфиритов с использованием SHRIMP, составил 1752 ± 18 млн лет (СКВО = 1.01) [Краснобаев и др., 2013].

Юшинский габбро-долеритовый комплекс включает в себя меланократовые породы основного состава, прослеживающиеся в двух субмеридиональных зонах: Лапыштинской, тяготеющей к зоне Караташского разлома, и Юшинской, пространственно связанной с Зюраткульским и Большеавзянским разломами. Представлены они силлами, дайками и, реже, штоками мощностью от нескольких до 50–70 м, прослежены по простиранию на 1.0–3.5 км. Время формирования пород комплекса определяется их геологическим положением и степенью измененности. Дайки и силлы развиты в нижнерифейских образованиях (большеинзерская и суранская свиты).

Шуйдинский пикродолеритовый комплекс включает дифференцированные тела, располагающиеся среди отложений бурзянской серии (RF₁) в районе Бакальского рудного поля. Среди образований комплекса по степени дифференцированности выделяются маломощные недифференцированные силлы пикритов, пикродолеритов и оливиновых долеритов и, более распространенные, дифференцированные тела различной мощности (от 15 до ≈25 м). Породы относятся к раннерифейскому возрасту, что устанавливается по петрографо-петрохимической близости их к габбро-долеритовой формации этого возраста, отсутствию сходных образований в более молодых отложениях, и в единичных случаях, пересечением дифференцированных тел дайками долеритов средне- или позднерифейского облика [Алексеев, 1984; Ковалев, 1996].

Кусинско-Копанский расслоенный комплекс, состоящий из Кусинско-Чернореченского, Медведевского, Копанского и Маткальского массивов, представляет одну из наиболее известных и относительно хорошо изученных ассоциаций интрузивных пород Башкирского мегантиклинория. В настоящее

время Кусинско-Копанский комплекс рассматривается как типичная платформенная стратиформная интрузия, комагматичная ранне-среднерифейской риолит-базальтовой формации, или как представитель перидотит-пироксенит-норитовой формации расслоенных интрузий [Алексеев и др., 2000]. Многочисленными методами (Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb SHRIMP-II) был установлен единый возраст (1385–1395 млн лет) формирования пород и массивных титаномагнетитовых руд комплекса [Холоднов и др., 2012].

Повальненский габбро-долеритовый комплекс развит в Юрматауском и Ямантауском антиклинориях и представлен разобщенными дайковыми телами базитов мощностью от 5 до 20–30 м, протяженностью от 10–150 м до 1.0–1.5 км. Дайки в большинстве случаев имеют симметрично-зональное строение. Среднерифейский возраст пород Повальненского комплекса, определенный калий-аргоновым методом, – 1004–1128 млн лет [Алексеев, 1984].

Кургасский габбро-долеритовый комплекс своеобразен по характеру проявления и пространственной разобщенности с основными районами интенсивного магматизма среднерифейского возраста. Интрузивные породы комплекса развиты в самой южной части Башкирского мегантиклинория в пределах Кургасской антиклинали, характерной чертой строения которой являются многоярусные силлы долеритов. Возраст габбро-долеритов Кургасского комплекса прямыми геологическими методами определяется как доордовикский. Радиогеохронологическое определение возраста мусковитового роговика дало значение 1380 млн лет (повторное определение – 1359 млн лет) [Алексеев, 1984].

Лапыштинский долерит-пикритовый комплекс представлен дайками и силлами мафитового и ультрамафитового состава мощностью от 3–5 до 17–20 м и протяженностью до 200–600 м. Отдельные силлы имеют асимметрично-дифференцированное строение, где нижний горизонт представлен пикритами, а верхний – габбро-долеритами. Интрузив-

ные тела комплекса претерпели интенсивный метаморфизм эпидот-амфиболитовой фации и пространственно связаны с зонами крупных разломов: Караташским, Лапыштинским и Зюраткульским. Среднерифейский возраст пород комплекса принят условно по геологическим материалам [Ковалев, 1996, 2011].

Ишлинский пикритовый комплекс, относимый ранее к плагиоклазовым перидотитам палеозойского возраста, представлен тремя разобщенными выходами (“Курманайская дайка”, Ишлинские пикриты и пикриты руч. Интурат), протягивающимися в субмеридиональном направлении более чем на 8–10 км. Породы представлены плагиоклазовыми пикритами с типичным минеральным составом: оливин, орто- и клинопироксен, основной плагиоклаз. В качестве второстепенных минералов присутствуют высокомагнезиальный биотит и коричневая роговая обманка. Акцессорные минералы – апатит, ильменит, магнетит, хромшпинелид. Отнесение пород комплекса к среднему рифею основано на определении возраста Sm-Nd методом, которое дало цифру 1291 ± 67 млн лет (СКВО = 0.66) [Сазонова и др., 2011; Носова и др., 2012].

Эффузивные, субвулканические и гипабиссальные тела ультраосновного, основного и кислого состава *Шатакского пикрит-риолит-базальтового комплекса* развиты в пределах Ишлинско-Шатакской грабеновой зоны. Пикриты представлены пластовой интрузией дифференцированного (от долеритов до пикритов) строения, расположенной в основании машакской свиты [Ковалев, Высоцкий, 2008]. Метабазальты, максимальное количество которых входит в состав кузьелгинской и каранской подсвит, представляют собой средне-мелкозернистые породы, для которых характерны микродолеритовая, микроофитовая, апоинтерсертальная и порфиroidная структуры. Минеральный состав пород представлен клинопироксеном, плагиоклазом, роговой обманкой, титаномagnetитом и магнетитом. Ассоциация вторичных минералов: амфибол актинолит-тремолитового ряда – хлорит (пеннин-клинохлор), эпидот, серицит, титанит и лейкоксен. Возрастные данные полученные методом CA-TIMS (CA-ID-TIMS) по 4 зернам циркона из тела метабазальтов дали средне-взвешенную $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ датировку 1381.5 ± 1.0 млн лет (MSWD = 1.0) и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ датировку 1380.3 ± 0.4 млн лет (MSWD = 1.1) [Пучков, 2010].

Ахмеровский комплекс (массив) сложен нормальными биотитовыми гранитами, образующими крутопадающее штокообразное тело. Породы имеют гнейсовидную текстуру, иногда в них наблюдается метаморфогенный гранат, чем определяется до- или синтетектонический генезис гранитоидов. По трем зернам цирконов с практически конкордантными параметрами возраст Ахмеровского массива оценивается в 1381 ± 23 млн лет [Краснобаев и др., 2008].

Инзерский комплекс объединяет дайки габбро-долеритового состава, прорывающие отложения верхнего рифея. Породы комплекса широко развиты западнее осевой части Ямантауского антиклинория и образуют два субмеридиональных дайковых пояса: сравнительно узкий Алатауский и более широкий и крупный – Инзерско-Туканский. Мощность даек варьирует от первых метров до 30–35 м, протяженность изменяется от 1–15 до 25–30 км (редко). Позднерифейский возраст обосновывается присутствием в конгломератах ашинской серии гальки микропегматоидных долеритов, характерных для пород комплекса, а также определением возраста калий-аргоновом методом, давшим значение от 670 до 920 млн лет [Алексеев, 1984].

Мисаелгинский комплекс имеет ограниченное распространение и представлен двумя дифференцированными феррогаббро-долерит-пикритовыми массивами, выявленными в западной части Тараташского комплекса [Алексеев, 1979; Ковалев, 1996]. Интрузии образуют пологопадающие на запад тела мощностью от 45 до свыше 216 м. В сложении феррогаббро-долерит-пикритовых тел участвуют: оливиновые долериты, порфиroidные пикродолериты, среднезернистые пикриты и пикродолериты, габбро-долериты и феррогаббро-долериты. Определения возраста долерита K-Ar методом – 780 млн лет [Ленных, Петров, 1978] и Rb-Sr – 726 ± 13 млн лет [Ковалев, 1996] – позволяют с достаточной степенью надежности говорить о позднерифейском времени формирования пород.

Магматизм восточной части ВЕП изучен гораздо слабее из-за особенностей геологического строения территории, а именно – мощного осадочного чехла. Тем не менее практически во всех скважинах, вскрывших докембрийские отложения, присутствуют магматические породы различной формационной принадлежности [Алексеев, Алексеева, 1999; Козлов, Сергеева, 2008]. В частности, в скв. Актаныш-183 установлена дифференцированная долерит-пикритовая интрузия, кровля и подошва которой располагается на глубинах 2205 и 2348 м соответственно при общей мощности 143 м. А.А. Алексеевым и Г.В. Алексеевой [1999] породы дифференцированного тела отнесены к раннерифейской долерит-пикритовой формации западного склона Южного Урала (Шуйдинский комплекс).

В скв. Кипчак-1 магматические породы установлены в интервале 5169–5229 м. На глубине 5177–5178 м они представлены среднезернистыми габбро-долеритами, а в интервале 5201–5204 м – среднезернистыми плагиоклазовыми пикритами. Тело расположено среди песчано-глинистых толщ среднего рифея. А.А. Алексеевым и Г.В. Алексеевой [1999] породы сопоставляются с интрузиями среднерифейской долерит-пикритовой формации (Лапыштинский комплекс) западного склона Южного Урала.

В скв. Восточно-Аскинская установлены (сверху вниз): субщелочные оливиновые базальты, сопоставляемые с вендской щелочной формацией, аналогом которой на западном склоне Южного Урала являются калиевые оливиновые базальты и пикробазальты руч. Баталалма (Авашлинский комплекс) [Алексеев, Алексеева, 1996; Ковалев, Салихов, 2003]; гиперстенсодержащие микропегматитовые габбро-долериты, аналогичные двупироксеновым микропегматитовым долеритам верхней зоны дифференцированного долерит-пикритового силла раннерифейского возраста (Шуйдинский комплекс) [Ковалев, 1996; Алексеев и др., 2003]; плагиоклазсодержащие пикриты и дифференцированное пикрит-долеритовое тело, близкие к пикритами скв. Актаньш-1 и пикритами раннерифейской (Шуйдинский комплекс) долерит-пикритовой формации западного склона Южного Урала [Алексеев и др., 2003].

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Предваряя описание благороднометалльной геохимической специализации мезопротерозойского магматизма Башкирского мегантиклинория и прилегающей части ВЕП, необходимо акцентировать внимание на следующем. Разнообразии формационных типов магматических пород, присутствующих в регионе, усложняет задачу определения ресурсного (ЭПГ и золото) потенциала этих образований. Вместе с тем классификация магматитов по формационно-петрогенетическим признакам позволяет сконцентрировать внимание именно на тех аспектах, которые необходимы для решения этой задачи. В связи с этим нами все магматические породы подразделяются на три группы (рис. 2):

– к первой группе относятся дайки, силлы и пластообразные интрузивные тела, генезис которых обусловлен непосредственным плавлением мантийного субстрата, после чего сформировавшийся расплав внедряется в кору, где и застывает, образуя магматические тела разнообразной формы и состава: пикриты, пикродолериты, габбро, габбро-долериты (Юшинский, Шуйдинский, Повальненский, Кургаский, Лапыштинский, Ишлинский, Мисаелгинский и Инзерский комплексы);

– ко второй группе относятся эффузивные и интрузивные породы, которые являются результатом дифференциации расплава в промежуточном очаге, т. е. расплав, сформировавшийся в результате плавления мантийного субстрата, образует промежуточную камеру, после чего разнообразные по минеральному составу и основности дифференциаты внедряются в верхние этажи коры и либо изливаются на поверхность в виде эффузивных фаций, либо образу-

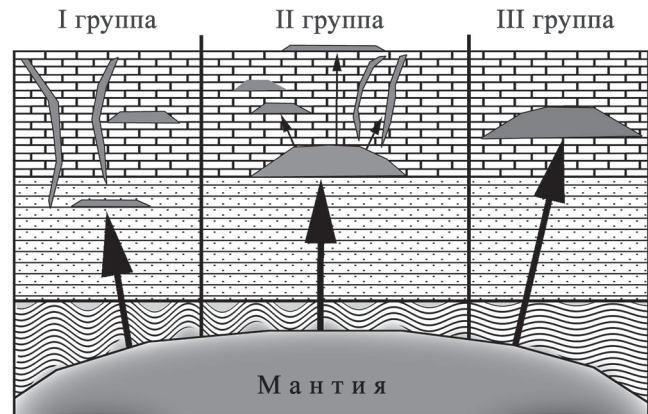


Рис. 2. Классификационная схема магматических пород по формационно-петрогенетическим признакам.

Пояснения см. в тексте.

Fig. 2. The classification scheme for igneous rock from formation-petrogenetic characteristics.

Explanations see in the text.

ют субвулканические интрузивные массивы (Шатакский комплекс);

– третья группа представлена самими промежуточными очагами, которые закристаллизовались в коровых условиях, сформировав крупные дифференцированные (расслоенные) плутоны и все разнообразие пород этих комплексов (ультрабазиты, пироксениты, габбро, граниты), обусловленное процессами внутрикамерной дифференциации (Кусинско-Копанский комплекс).

Элементы группы платины и золото, кроме того, что представляют собой ценное полезное ископаемое, являются информативными геохимическими “маркерами” разнообразных петрогенетических и рудообразующих процессов. Все они обладают сидерофильными свойствами, однако Pt и особенно Pd, а также Au проявляют и халькофильные тенденции. По температурам плавления ЭПГ образуют две триады: легкоплавкие (Pd – 1555°, Pt – 1755°, Rh – 1985°) и тугоплавкие (Ir – 2440°, Ru – 2450°, Os – 2700°), что согласуется с их минералогическими и металлогенетическими особенностями, а именно: приуроченностью повышенных концентраций самых тугоплавких Os, Ir, Ru к наиболее “высокотемпературным” и, вероятно, глубинным магматическим образованиям, а Rh, Pt, Pd, Au – к промежуточным, с некоторым уменьшением глубинности от Pt к Pd и Au.

Обладая самыми высокими значениями окислительно-восстановительного потенциала ($Au^{1-} = 1.55$, $Au^{3-} = 1.38$ эВ), золото проявляет большую способность к самородному минеральному состоянию, в результате чего почти все рудное Au находится или переходит в самородный вид. Эта же

особенность характерна и для всех остальных благородных металлов и несколько снижается в ряду $Au^{3+} > Pt^{3+} > Ir^{3+} > Pd^{2+} > Os^{3+} > Ru^{3+} > Rh^{3+}$. Кроме того, благородные металлы могут входить в виде изоморфных примесей в оливин, орто- и клинопироксен, хромшпинелид, титаномагнетит, сульфиды и сульфоарсениды Fe, Co, Ni и Cu, образуя замещения по схемам: Pt^{2+} и $Pd^{2+} \rightarrow Fe^{2+}$ и Ni^{2+} ; $Rh^{3+} \rightarrow Fe^{3+}$; $Rh^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$, $Co^{2+} - e$; $Ru^{4+} \rightarrow Fe^{3+} - e$; $Os^{4+} \rightarrow Fe^{3+} - e$; $Pt^{4+} \rightarrow Cr^{3+} - e$; $Pd^{4+} \rightarrow Cr^{3+} - e$ [Юшко-Захарова, 1975].

Содержания благородных металлов в магматических породах Башкирского мегантиклинория и прилегающей части ВЕП приведены в табл. 1. Анализ средних нормализованных содержаний платиноидов и золота в различных разновидностях пород Шатакского и Кусинско-Копанского комплексов, изображенных на рис. 3, позволяет сделать следующие выводы:

– нормализованные содержания ЭПГ и Au во всех разновидностях пород (пикриты, базальты, риолиты) Шатакского комплекса близки между собой, образуя единый тренд, который характеризуется значительным (в 10 раз) превышением по

сравнению с мантийными содержаниями Rh, Pd и Au (см. рис. 3а);

– наибольший разброс значений устанавливается для Au и Ir, при этом максимальные количества как первого, так и второго элементов установлены в пикритах;

– в целом нормализованный тренд пород Шатакского комплекса обладает определенной “неравновесностью”, что свидетельствует о неоднократном (?) перераспределении платиноидов и золота как в процессе становления вулканоплутонической ассоциации, так и при более поздних процессах метаморфогенного изменения пород; благороднометалльную геохимическую специализацию пород комплекса в общем виде можно охарактеризовать как Ru–Pd–Au;

– по сравнению с шатакскими породами аналогии по основности (пироксениты, габбро и граниты) Кусинско-Копанского комплекса характеризуются меньшими количествами Rh, Pd и отчасти Au и большим Ir и Ru (см. рис. 3б); максимальный разброс значений наблюдается у Pd, составляющий для пары пироксенит–гранит более одного порядка;

Таблица 1. Содержание благородных металлов в магматических породах Башкирского мегантиклинория и прилегающей части ВЕП, г/т

Table 1. Content of precious metals in magmatic rocks of Bashkir meganticlinorium and the adjacent part of the EEP, ppm

№ п/п	№ обр.	Порода	Ru	Rh	Pd	Ir	Pt	Au
1	A-12907	Пикрит	<0.002	0.0039	0.003	<0.002	<0.002	0.0023
2	A-15574	““	<0.002	0.0037	0.0046	<0.002	<0.002	<0.002
3	A-11609	““	<0.002	0.0081	0.051	0.0062	0.044	0.0096
4	A-19175	““	<0.002	0.0063	0.061	<0.002	0.0023	<0.002
5	A-19190	““	<0.002	0.0098	0.068	0.0042	0.0082	0.0072
6	A-19238	““	0.0035	0.0091	0.011	0.0034	0.0092	0.0043
7	A-19239	““	0.018	0.0064	0.038	0.021	0.017	0.0066
8	A-19240	““	0.0053	0.0062	0.07	0.0038	0.0065	0.004
9	C-1BA/3481	Габбро-долерит	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0042	0.0036
10	C-1BA/3482	Пикрит	<0.002	0.0038	<0.002	<0.002	0.012	<0.002
11	C-1BA/484	““	<0.002	0.0061	0.069	<0.002	0.0034	<0.002
12	C-1BA/3971	““	0.0051	0.0024	0.018	0.0033	0.0092	<0.002
13	C-1BA/3421	““	0.0026	0.0038	<0.002	0.0033	<0.002	<0.002
14	C-1BA/3423	““	0.0074	0.0028	0.022	0.0054	0.012	<0.002
15	C-1BA/3423	““	0.0065	0.0037	<0.002	0.0045	0.0038	<0.002
16	C-1BA/3070	Габбро-долерит	<0.002	0.0033	0.029	<0.002	0.0039	<0.002
17	C-1BA/3276	““	<0.002	0.0058	0.034	<0.002	0.0038	<0.002
18	C-1Лз/5077	Долерит	<0.002	0.0036	<0.002	<0.002	0.0044	<0.002
19	C-1Л/4999	Пикрит	<0.002	0.0045	0.052	<0.002	<0.002	<0.002
20	C-MA/2272	Габбро- долерит	<0.002	0.0037	0.069	<0.002	0.033	<0.002
21	C-1Клг/4709	““	<0.002	0.004	<0.002	<0.002	0.0054	<0.002
22	C-1Клг/2470	““	<0.002	0.0021	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
23	C-1Клг/2375	““	<0.002	0.0037	0.0076	<0.002	<0.002	<0.002
24	C-1Клг/2310	““	<0.002	0.0052	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
25	A-9896	Трахибазальт	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
26	A-9905	““	<0.002	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
27	A-10205	Трахибазальт	<0.002	0.0023	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
28	A-10243	““	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0038	<0.002
29	A-15761	Пикрит	<0.002	0.0074	0.0087	<0.002	0.0052	<0.002

Таблица 1. Продолжение

Table 1. Continuation

№ п/п	№ обр.	Порода	Ru	Rh	Pd	Ir	Pt	Au
30	A-15766	Пикрит	<0.002	0.0055	0.026	0.0034	0.011	0.0029
31	A-15790	—	0.0028	0.0072	0.0059	<0.002	0.0076	0.0032
32	A-15792	—	0.0053	0.0068	0.017	0.0021	0.0043	0.0052
33	A-15794	—	0.0042	0.0066	0.096	0.0058	0.029	0.012
34	A-11625	—	<0.002	0.0035	0.0029	<0.002	<0.002	0.0098
35	A-10882	—	0.0022	0.0079	0.069	0.0022	0.0083	0.0025
36	A-9874	Габбро-долерит	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0083	<0.002
37	A-9875	—	<0.002	0.003	0.011	<0.002	0.0088	<0.002
38	A-9350	—	<0.002	0.0025	0.0099	<0.002	0.0068	<0.002
39	A-9355	—	<0.002	0.0025	<0.002	<0.002	0.006	<0.002
40	A-11061	Долерит	<0.002	<0.002	0.0047	<0.002	0.0095	<0.002
41	A-15563	Пикрит	0.0039	0.0081	0.065	0.0046	0.019	0.0066
42	A-15596	—	0.0053	0.0064	0.072	0.011	0.04	0.015
43	A-15608	—	0.0038	0.0048	0.028	0.0062	0.018	0.0057
44	A-15612	—	0.0028	0.0054	0.0048	0.0043	0.02	0.011
45	A-15619	—	<0.002	0.0063	0.0094	<0.002	0.0076	0.014
46	A-15811	—	<0.002	0.0022	0.019	<0.002	0.0057	0.0026
47	A-15595	Долерит	<0.002	<0.002	0.0023	<0.002	0.0062	<0.002
48	A-19015	Пикрит	0.0033	0.012	0.0079	0.0022	0.0085	0.012
49	A-9323	—	0.0058	0.0091	0.032	0.0025	0.022	0.023
50	A-11353	—	0.0044	0.0027	0.0062	<0.002	0.015	0.0031
51	A-15624	—	0.003	0.0066	0.0073	<0.002	0.018	0.0094
52	A-9817	Долерит	<0.002	0.0026	0.0085	<0.002	0.0038	<0.002
53	A-9820	—	<0.002	0.0054	0.0054	<0.002	<0.002	0.0022
54	A-9860	Габбро-долерит	<0.002	0.0033	0.023	<0.002	0.0087	0.0023
55	A-9508	Долерит	<0.002	0.0067	0.015	0.002	0.0086	0.0038
56	A-10748	Габбро-долерит	<0.002	0.005	0.0058	<0.002	0.0025	<0.002
57	15ш-3	Риолит	<0.002	0.0068	0.0062	0.002	0.0046	0.0031
58	15ш-4	—	<0.002	0.0095	0.0025	<0.002	<0.002	0.0034
59	15ш-7	—	<0.002	0.011	0.014	<0.002	0.0023	0.0037
60	15ш-8	—	<0.002	0.0057	<0.002	<0.002	<0.002	0.0022
61	ш71/1-1	Пикрит	<0.002	0.0074	<0.002	<0.002	0.0028	<0.002
62	Ш71/2-7	—	<0.002	0.0048	<0.002	<0.002	<0.002	0.0046
63	Ш71/2-13	—	0.0033	0.009	0.063	0.016	0.031	0.03
64	Ш71/2-16	—	<0.002	0.0065	<0.002	<0.002	<0.002	0.0034
65	Ш71/2-21	—	<0.002	0.0069	0.068	0.0026	0.013	<0.002
66	Ш71/2-25	—	<0.002	0.0085	<0.002	<0.002	0.0033	<0.002
67	C1/16	Риолит	<0.002	0.0066	0.052	<0.002	<0.002	<0.002
68	C1/37	—	<0.002	0.0075	0.0071	<0.002	<0.002	0.0054
69	C1/39	—	<0.002	0.0047	0.031	0.0024	0.011	0.013
70	C1/44	—	<0.002	0.0053	0.0028	<0.002	<0.002	0.011
71	C1/46	—	<0.002	0.0053	0.0085	<0.002	0.0053	0.0074
72	C1/81.5	Метабазальт	<0.002	0.0056	0.0072	<0.002	0.0056	0.0043
73	C1/90	—	<0.002	0.0042	0.03	<0.002	0.013	0.0049
74	C1/130	—	<0.002	0.0021	0.0087	<0.002	0.01	0.0045
75	C1/137	Конгломерат	<0.002	0.0044	0.03	<0.002	0.0032	<0.002
76	C1/148	Метабазальт	<0.002	0.0028	0.023	0.0051	0.0091	0.014
77	C40/133	—	<0.002	0.0047	0.044	<0.002	0.02	0.0095
78	C40/138	—	<0.002	0.0059	0.051	<0.002	0.019	<0.002
79	C40/138.5	—	<0.002	0.0064	0.0083	<0.002	0.016	<0.002
80	C40/219.5	—	<0.002	0.0053	0.05	<0.002	0.0036	<0.002
81	A-9223	—	<0.002	0.0061	0.022	<0.002	0.012	<0.002
82	A-9257	—	<0.002	0.0055	0.018	<0.002	0.0066	<0.002
83	A-9270	—	<0.002	0.0056	0.0056	<0.002	0.0056	0.0049
84	A-16302	Гранодиорит	<0.002	0.0033	<0.002	0.004	0.01	<0.002
85	A-16491	Анортозит	<0.002	0.0055	0.0082	<0.002	0.0023	<0.002
86	A-16529	Габбронорит	<0.002	0.0028	0.0057	<0.002	0.0022	0.0021

Таблица. 1. Окончание

Table 1. Ending

№ п/п	№ обр.	Порода	Ru	Rh	Pd	Ir	Pt	Au
87	A-16705	Габбронорит	<0.002	0.0025	0.014	<0.002	0.0037	0.0064
88	A-18136	—	0.0021	0.0037	0.0083	<0.002	0.0077	0.0022
89	A-16718	Пироксенит	<0.002	<0.002	0.0034	0.0021	0.0029	0.002
90	A-16310	Гранит	<0.002	<0.002	0.0036	0.0046	0.01	0.0037
91	A-9741	—	<0.002	0.0059	<0.002	0.0031	0.008	<0.002
92	A-15918	—	<0.002	0.0022	0.0033	<0.002	<0.002	<0.002
93	A-10261	Пироксенит	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
94	A-16947	Базальт	<0.002	<0.002	0.01	<0.002	0.0088	0.0022
95	A-18321	Пикритобазальт	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0021	<0.002
96	A-18619	Габброид	<0.002	<0.002	0.066	<0.002	0.0043	0.0087
97	K-300	Габбро	<0.002	0.0021	<0.002	<0.002	0.0094	<0.002
98	K-301	—	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
99	K-302	—	<0.002	0.0034	0.012	<0.002	0.0025	<0.002
100	K-303	—	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
101	K-305	Пироксенит	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0035	<0.002
102	K-306	—	<0.002	0.0026	0.0052	<0.002	0.015	0.0021
103	K-307	—	0.0022	0.0022	0.025	0.0037	0.029	0.0049
104	K-308	Долерит	<0.002	0.002	0.0047	<0.002	<0.002	<0.002
105	K-313	Пироксенит	<0.002	0.0021	0.0061	<0.002	0.0047	<0.002
106	K-314	Пироксенит	<0.002	0.0027	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
107	K-315	Габброид	<0.002	<0.002	0.0084	<0.002	<0.002	<0.002
108	K-316	Габбро	<0.002	<0.002	0.0057	<0.002	<0.002	<0.002
109	K-317	Пироксенит	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.0024	<0.002
110	K-318	—	0.0023	<0.002	0.0076	<0.002	0.0056	<0.002
111	K-320	—	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
112	K-333	Габбро-долерит	0.0022	<0.002	0.0036	<0.002	0.0062	<0.002
113	K-350	Апоультрабазит	<0.002	<0.002	0.025	<0.002	0.0088	<0.002
114	K-351	—	<0.002	<0.002	0.014	<0.002	<0.002	<0.002
115	K-352	—	0.0048	0.0036	0.031	0.0051	0.024	<0.002
116	A-10475	Амфиболит	<0.002	<0.002	0.014	<0.002	<0.002	<0.002
117	A-10480	Метадолерит	<0.002	0.0026	0.039	<0.002	0.016	0.0059
118	A-10724	Пироксенит	<0.002	0.0026	0.015	0.0032	0.014	0.0023
119	A-11602	Пикрит	<0.002	0.0084	0.0022	<0.002	0.0036	0.0065
120	A-11602/2	—	<0.002	0.0056	<0.002	<0.002	<0.002	0.0032
121	A-11608	—	<0.002	0.012	0.009	<0.002	0.027	0.015
122	A-11641	—	<0.002	0.0047	0.0044	<0.002	<0.002	0.0084
123	A-11643	—	0.0024	0.0047	0.0072	0.0024	0.0037	0.0028
124	A-11646	—	0.0042	0.0046	0.0055	0.0025	0.0053	0.0027
125	A-11648	—	0.0024	0.0047	0.0061	0.0024	0.0085	<0.002
126	A-11649	—	<0.002	0.016	0.063	<0.002	0.0078	0.0061
127	A-11418	Габбро-долерит	<0.002	<0.002	0.0035	<0.002	0.012	0.0036
128	A-9318	—	<0.002	0.0032	0.01	<0.002	0.019	0.0032
129	A-9882	—	<0.002	<0.002	0.0073	<0.002	<0.002	0.005
130	A-10992	—	<0.002	0.0023	0.024	0.0024	0.016	0.0045
131	A-11137	Долерит	<0.002	0.0031	0.011	<0.002	0.0079	0.0024

Примечание. 1–3 – скв. Кипчак-I; 4–14 – скв. Восточно-Аскинская I; 18–19 – скв. С-1 Леуза; 20 – скв. Мензелино-Актанышская; 21–24 – скв. С-1 Кулгунинская; 25–28 – Навышский комплекс (RF₁); 29–35 – Шуйдинский комплекс (RF₁) (29, 30 – участок Рудничный, скв. 407; 31–34 – хр. Шуйда; 35 – скв. 251, Куватал); 36–40 – Юшинский комплекс (RF₁); 41–47 – Лапыштинский комплекс (RF₂); 48–51 – Ишлинский комплекс (RF₂) (48 – руч. Интурат; 49–50 – с. Ишля; 51 – руч. Курманай); 52–56 – Повальненский комплекс (RF₂); 57–83 – Шатакский комплекс (RF₂); 84–118 – Кусинско-Копанский комплекс (RF₂); 119–126 – участок Магнитный, скв. 589 (RF₃); 127–131 – Инзерский комплекс (RF₃). Здесь и в табл. 2 и 3 определения ЭПГ и Au выполнены методом ICP-MS в ЦИИ ВСЕГЕИ (аналитики В.А. Шишлов, В.Л. Кудрявцев; пределы обнаружения ЭПГ и Au – 0.002 г/т).

Note. 1–3 – well Kipchak-I; 4–14 – well East Askin I; 18–19 – well C-1 Leuza; 20 – well Menzelino-Aktanyshsky; 21–24 – well C-1 Kulguninskaya; 25–28 – Navyshsky complex (RF₁); 29–35 – Shuydinsky complex (RF₁) (29, 30 – Rudnichny site, well 407; 31–34 – Ridge Shuyda; 35 – well 251, Kuwatal); 36–40 – Yushinsky complex (RF₁); 41–47 – Lapyshtinsky complex (RF₂); 48–51 – Ishlinsky complex (RF₂) (48 – creek Inturat; 49–50 – set. Ischlya; 51 – creek Kurmanay); 52–56 – Povalnensky complex (RF₂); 57–83 – Shatak complex (RF₂); 84–118 – Kusinsk-Kopanski complex (RF₂); 119–126 – Magnetic site, well 589 (RF₃); 127–131 – Inzer complex (RF₃). Here and in tables 2, 3 determination of PGE and Au are made by ICP-MS in TsII VSEGEI (analysts V.A. Shishlov, V.L. Kudryavtsev; limits of detection of PGE and Au – 0.002 ppm).

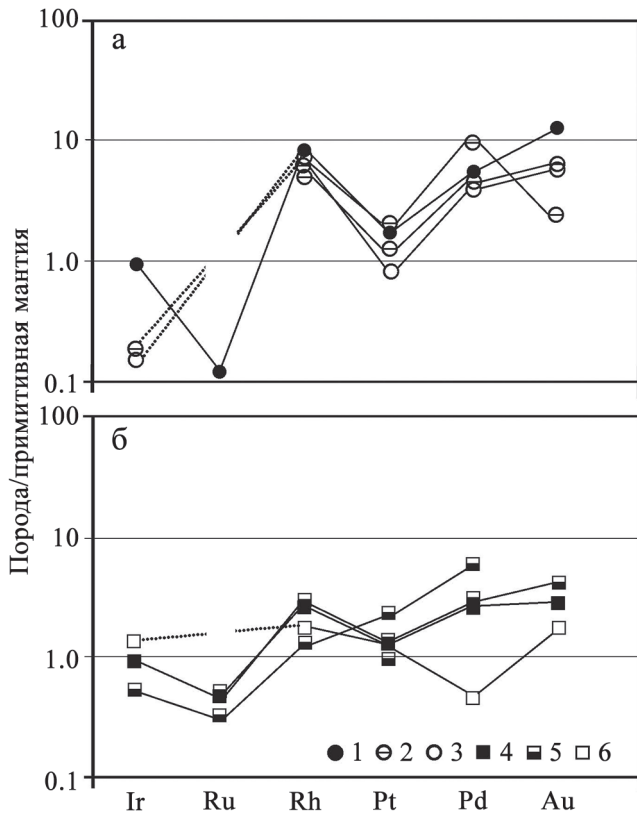


Рис. 3. Нормализованное среднее содержание благородных металлов в различных разновидностях пород Шатакского (а) и Кусинско-Копанского (б) комплексов.

1–3 – Шатакский комплекс (1 – пикриты, 2 – базальты, 3 – риолиты); 4–6 – Кусинско-Копанский комплекс (4 – оливиновые пироксениты, 5 – габброиды и анортозиты, 6 – граниты Рябиновского массива). Примитивная мантия по [McDonough, Sun, 1995].

Fig. 3. Normalized average content of precious metals in different variety rocks Shatak (a) and Kusa-Kopanski (б) complexes.

1–3 – Shatak complex (1 – picrites, 2 – basalts, 3 – rhyolites); 4–6 – Kusa-Kopanski complex (4 – olivine pyroxenite, 5 – gabbro and anorthosite, 6 – granites Ryabinovskiy massif). Primitive mantle on [McDonough, Sun, 1995].

– в целом для тренда средних содержаний благородных металлов в породах Кусинско-Копанского комплекса характерна меньшая дисперсия ЭПГ и Au по сравнению с породами Шатакского комплекса, что, вероятнее всего, обусловлено различиями процессов внутрикамерной дифференциации (“закрытая” система для первого комплекса и “полузакрытая” – для второго).

На рис. 4 изображена серия диаграмм, на которые нанесены средние нормализованные содержания благородных металлов в магматических породах Башкирского мегантиклинория и прилегающей части ВЕП. Анализ диаграмм позволяет охарактери-

зировать разновременные магматические комплексы и разновидности пород, генезис которых обусловлен различными причинами. Как видно из приведенных графиков, для разновременных пикритовых комплексов характерны общие особенности в строении трендов, а именно повышенные количества родия и палладия. Причем содержание Rh во всех разновидностях пород превышает количество этого элемента в средних составах пикритов, коматитов и примитивной мантии приблизительно в 10 раз. Для разновременных пород основного состава (габбро и долеритов) также характерен “родиевый” максимум, но в распределении остальных элементов наблюдаются значительные вариации как по отношению к одновозрастным пикритам, так и между собой.

Изменения количества благородных металлов в разновозрастных габброидах и долеритах, вероятнее всего, обусловлены петрогенетическими условиями образования пород, которые, в свою очередь, зависят от геодинамического режима развития региона. Наличие промежуточных камер, где происходит дифференциация первичного расплава, с одной стороны, и миграция и перераспределение благородных металлов при метаморфизме в коровых условиях, с другой, приводят к “пестроты” в содержаниях ЭПГ и Au. Для магматических пород, вскрытых скважинами в пределах восточной части ВЕП, присущи те же вариации в распределении благородных металлов, что и для пород Башкирского мегантиклинория. В частности, тренд, характеризующий пикриты, скв. Восточно-Аскинская (см. рис. 4), идентичен трендам разновозрастных пикритов западного склона Южного Урала, а нормализованные количества платины превышающие 1, характерные для долеритов и пикритов скв. Леуза-1 и скв. Кулгунинская, близки к ее содержанию в базитах Повальненского комплекса. “Когерентность” графиков нормализованных содержаний ЭПГ и Au в породах Башкирского мегантиклинория и востока ВЕП свидетельствует о близости процессов их образования и общности механизмов формирования благороднометалльной геохимической специализации как в момент становления этих тел, так и при их преобразовании вторичными процессами.

Как уже отмечалось выше, Шатакский и Кусинско-Копанский комплексы, наряду с телами пикритов, могут рассматриваться в качестве эталонных объектов для воссоздания условий генезиса пород и выявления механизмов формирования благороднометалльной геохимической специализации. В связи с этим определенный интерес представляет анализ усредненных нормализованных трендов Шатакского и Кусинско-Копанского комплексов со средними содержаниями ЭПГ и Au в пикритах, коматитах и рассчитанных составах расплавов, сформировавших рудоносные комплексы Бушвельда и Норильска (рис. 5). Как видно из

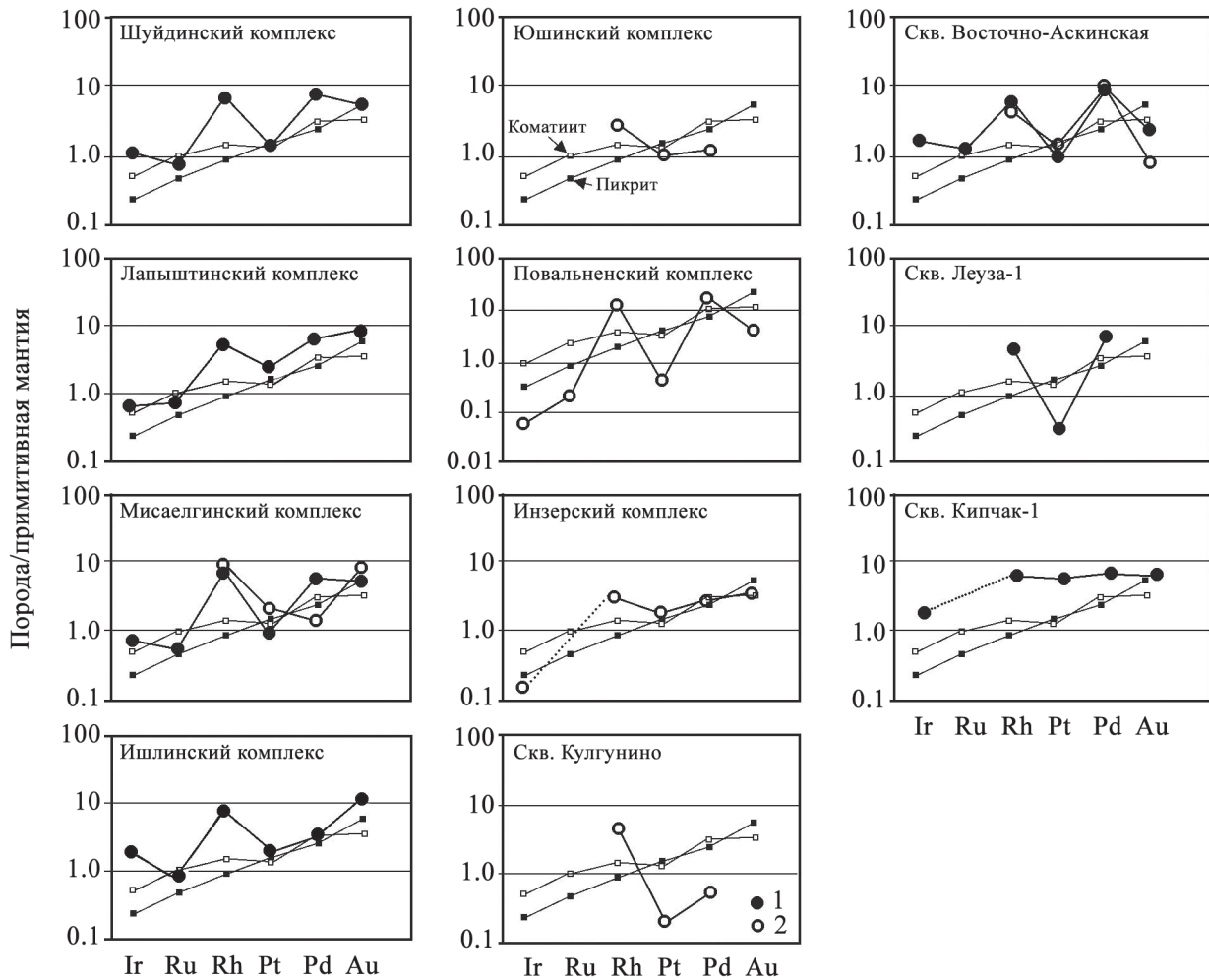


Рис. 4. Среднее нормализованное содержание благородных металлов в магматических породах западного склона Южного Урала и прилегающей части ВЕП.

1 – пикриты, 2 – долериты. Средние составы пикритов и коматиитов по [Barnes, Lightfoot, 2005].

Fig. 4. The average normalized content of precious metals in magmatic rocks of the western slope of the Southern Urals and the adjacent part of the EEP.

1 – picrites, 2 – dolerite. The average compositions picrites and komatiites by [Barnes, Lightfoot, 2005].

приведенных 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, сформировавших рудоносные комплексы Бушвельда и Норильска (см. рис. 5). Южноуральские породы в целом несколько “обогащены” тугоплавкими (Ir, Ru) элементами, что свидетельствует о больших величинах плавления мантийного субстрата и близости первичных расплавов, сформировавших породы Шатакского и Кусинско-Копанского комплексов, к пикритам-пикродолеритам, в то время как рассчитанные пер-

вичные составы магм Бушвельда и Норильска менее “основны” и соответствуют базальтам.

Анализ Pt/Pd и Pt/Ir отношений для пород Шатакского (риолиты – 0.16–0.74 и 3.1–12.92; базальты, кузьелгинская подсуита – 0.37–1.15 и 4.51; базальты, каранская подсуита – 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 характерна палладиевая специализация, иногда сменяющаяся палладий-платиновой, что свидетельствует о подвижности этих элементов в процессах становления

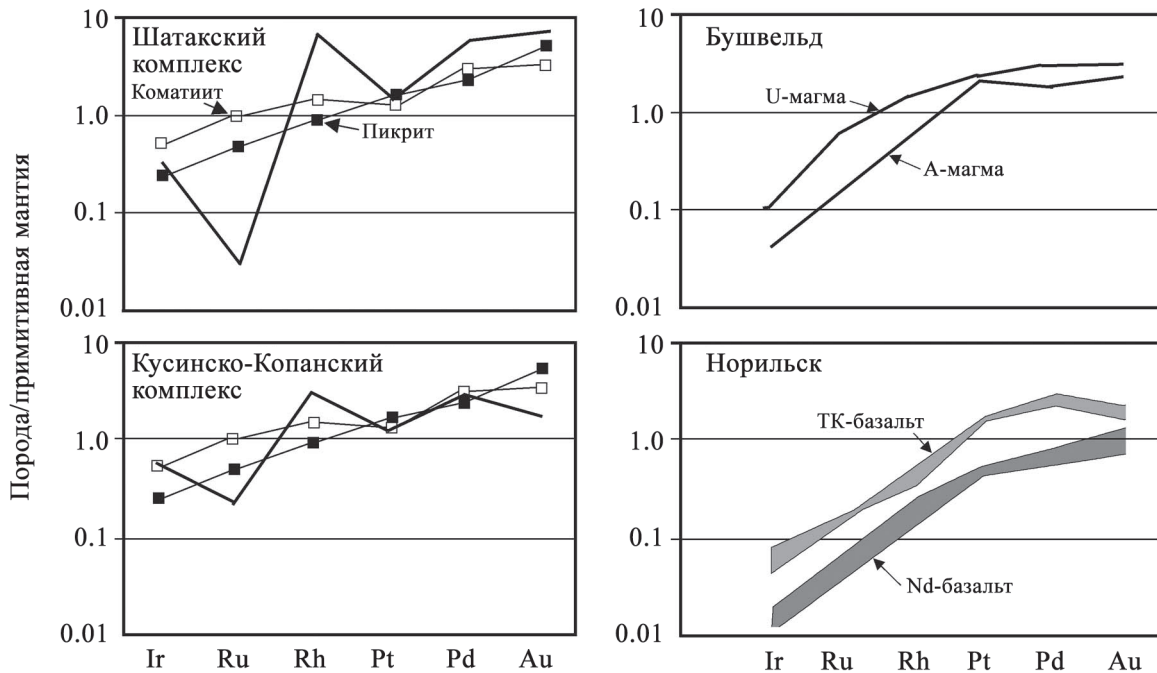


Рис. 5. Графики нормализованного содержания благородных металлов для средних составов пикритов, коматиитов, магматических пород Шатакского, Кусинско-Копанского, Бушвельдского и Норильского комплексов.

U-магма – высокомагнезиальные базальты, A-магма – толеитовые базальты, ТК-базальт – базальты с коровым материалом, Nd-базальт – безсульфидные базальты. Средние составы пикритов и коматиитов по [Barnes, Lightfoot, 2005]. Диаграммы для пород Бушвельда и Норильска по [Barnes, Maier, 1999].

Fig. 5. Plots of the normalized content of precious metals for the average compositions picrites, komatiites, igneous rocks Shatak, Kusa-Kopansk, Bushveld complexes and Norilsk.

U-magma – high-Mg basalts, A-magma – tholeiitic basalts, TK-basalt – basalts with crustal material, Nd-basalt – without sulphides basalts. The average compositions picrites and komatiites on [Barnes, Lightfoot, 2005]. Charts for rock Bushveld and Norilsk on [Barnes, Maier, 1999].

и преобразования пород комплексов. Средние значения Pt/Pd и Pt/Ir отношений для всех разновидностей пород комплексов (Шатакский комплекс – 0.386 и 3.81; Кусинско-Копанский комплекс – 0.7 и 1.172) показывают, что в целом расплав, сформировавший породы Кусинско-Копанского комплекса, содержал несколько больше Pt и Ir, чем расплав, сформировавший шатакские породы.

Анализ диаграммы Pd/Ir–Pt/Pd (рис. 6) показывает, что эти отношения в рядах пород пироксениты–габбро–граниты (Кусинско-Копанский комплекс) и пикриты–базальты–риолиты (Шатакский комплекс) разнонаправленны, т. е. в первом случае от ультраосновных разновидностей к кислым растет количество Ir и Pt, в то время как во втором случае в направлении от пикритов к риолитам увеличивается количество Pd. Примечательным является то, что наиболее близкие к примитивной мантии значения отношений характерны для гранитов Рябиновского и одновозрастных им гранитов Ахмеровского массива, что, по нашему мнению, требует дальнейшего изучения на более представительном материале.

“Обогащенность” расплавов Pd по отношению к Pt и Ir, по сравнению с их отношениями в примитивной мантии, довольно значительна и увеличивается от пород Кусинско-Копанского к породам Шатакского комплекса, что иллюстрируется средними значениями, рассчитанными для всех разновидностей (см. рис. 6). При этом южноуральские породы отличаются и от эталонных составов, для которых характерно значительное увеличение количества Pd по отношению к Ir при слабых вариациях платино-палладиевых отношений, близких к постоянным.

Генетическая природа “родиевой аномалии”, присущая практически всем магматическим породам мезопротерозойского возраста, распространенным в пределах Башкирского мегантиклинория и прилегающей части ВЕП, и имеющая относительный характер, устанавливается при анализе материалов, полученных С.Дж. Барнсом и В.Д. Майером [Barnes, Maier, 1999] по содержаниям платиноидов в сульфидных минералах Норильска (рис. 7). Как видно из приведенных на рис. 7 диаграмм, тренд содержаний ЭПГ в богатых железом сулфи-

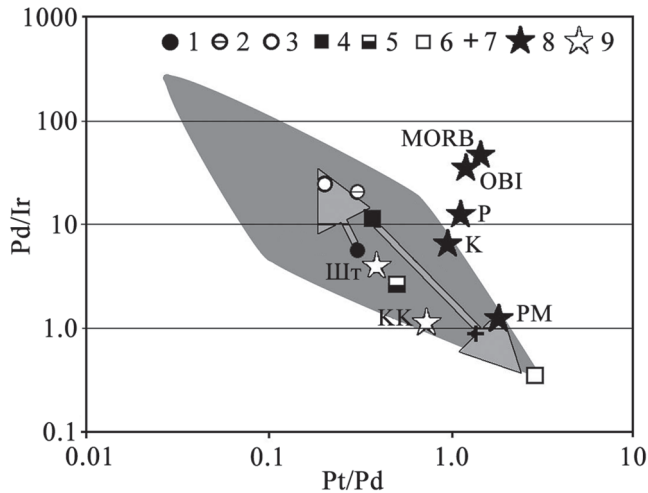


Рис. 6. Диаграмма Pd/Ir–Pt/Pd для средних составов магматических пород Шатакского и Кусинско-Копанского комплексов и эталонных составов магматических пород.

1–3 – Шатакский комплекс (1 – пикриты, 2 – базальты, 3 – риолиты); 4–6 – Кусинско-Копанский комплекс (4 – оливиновые пироксениты, 5 – габброиды и анортозиты, 6 – граниты Рябиновского массива); 7 – граниты Ахмеровского массива; 8 – эталонные составы магматических пород; 9 – средние составы южноуральских пород (ШТ – Шатакский комплекс, КК – Кусинско-Копанский комплекс). PM – примитивная мантия, K – коматииты, P – пикриты, OBI – базальты океанических островов, MORB – базальты срединно-океанических хребтов. Залитое поле соответствует изученным породам западного склона Южного Урала и прилегающей части Восточно-Европейской платформы. Эталонные составы магматических пород по [Barnes, Lightfoot, 2005].

Fig. 6. Diagram Pd/Ir–Pt/Pd for the average compositions of igneous rocks Shatak and Kusa-Kopansk complexes and reference compositions igneous rocks.

1–3 – Shatak complex (1 – picrites, 2 – basalts, 3 – rhyolites); 4–6 – Kusa-Kopanski complex (4 – olivine pyroxenite, 5 – gabbro and anorthosite, 6 – granites Ryabinskiy array); 7 – Akhmerovskiy granite massif; 8 – reference compositions of igneous rocks; 9 – average composition of rocks of the Southern Urals (ШТ – Shatak complex, КК – Kusa-Kopanski complex). PM – primitive mantle, K – komatiites, P – picrites, OBI – basalts of oceanic islands, MORB – basalts mid-ocean ridges. Drenched field corresponds to the study of rocks on the western slope of the Southern Urals and the adjacent part of the East European Platform. Reference compositions of igneous rocks [Barnes, Lightfoot, 2005].

дах практически полностью идентичен нормализованным трендам содержаний благородных металлов в разновозрастных пикритовых и пикродолеритовых комплексах Башкирского мегантиклинория и прилегающей части ВЕП, включая Шатакский и Кусинско-Копанский комплексы (см. рис. 5).

Ранее [Ковалев и др., 2014б, в] нами было показано, что основным сульфидным минералом пи-

критовых комплексов является кобальтсодержащий пентландит, т. е. сульфид, богатый железом – $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$. Установлено, что сульфидная минерализация присутствует во всех пикритовых комплексах. Наибольшее количество минералов и разнообразие форм их выделения встречаются в глубоко дифференцированных телах. Кроме того, выше было показано, что родий проявляет тенденцию к изоморфным замещениям по схемам: $\text{Rh}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$; $\text{Rh}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$, $\text{Co}^{2+} - e$, т. е. он способен замещать двух- и трехвалентное железо и кобальт в структуре пентландита.

Таким образом, можно с большой долей уверенности утверждать, что специфика благороднометалльной геохимической специализации (“родиевая аномалия”) пикритовых и пикродолеритовых комплексов Башкирского мегантиклинория, включая Шатакский и Кусинско-Копанский комплексы, и востока ВЕП обусловлена содержанием благородных металлов в сульфидных минералах и имеет “первичную” природу, что устанавливается при минералогическом изучении сульфидов и анализе фазовых диаграмм состав–парагенезис системы Fe–Ni–S [Ковалев и др., 2014б, в].

Вариации содержаний Pt, Pd и Au, характерные для различных разновидностей пород Шатакского, Кусинско-Копанского комплексов и разновременных базитовых тел, распространенных в пределах региона, вероятнее всего, являются результатом их перераспределения при становлении магматических тел и/или их преобразовании вторичными процессами.

Для оценки влияния магматических комплексов на формирование благороднометалльной геохимической специализации терригенных пород региона нами были изучены содержания благородных металлов в “фоновых”, относительно слабо измененных постседиментационными процессами песчаниках, алевролитах и глинистых сланцах нижнего и среднего рифея, не несущих явных признаков ремобилизации материала, воздействия метаморфотометасоматических процессов или привноса рудных компонентов (табл. 2), и в разновозрастных им образованиях, приуроченных к тектоническим зонам, подвергшимся локальному динамотермальному метаморфизму зеленосланцевой фации, и прорванных интрузивными породами основного состава (табл. 3).

В целом для “фоновых” терригенных пород бурзянской (RF_1) и юрматинской (RF_2) серий характерна Pd геохимическая специализация (рис. 8). По отношению к содержанию Pd в континентальной коре (Wedepohl, 1995) его количества в глинистых породах различных уровней нижнего и среднего рифея весьма стабильны и составляют в среднем ≈ 40 –100 (для Pt этот параметр равен 2–13, для Ru – 2–25, для Ir – 6–25). Содержания Au, напротив, близки к коровым, варьируя в пределах

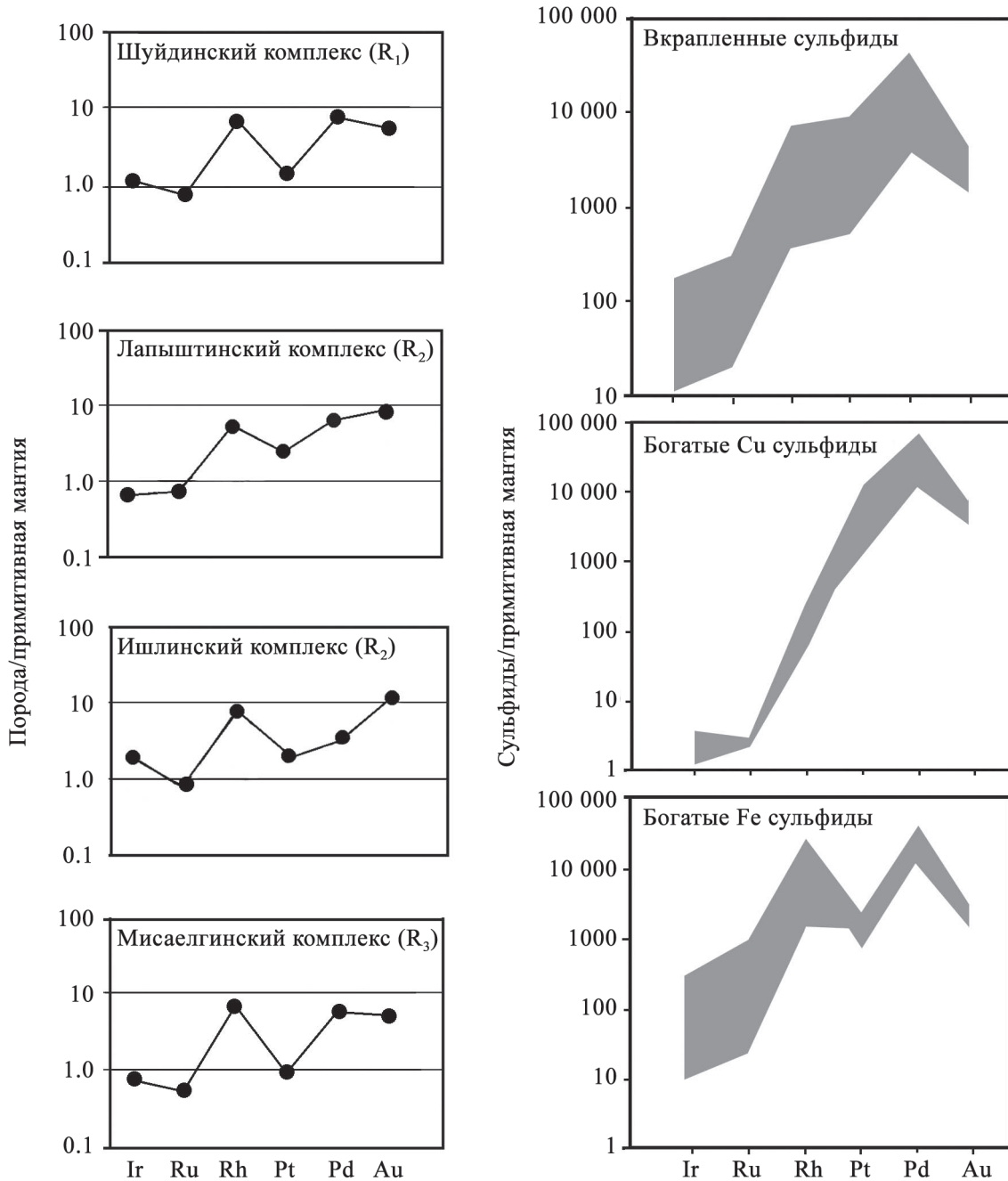


Рис. 7. Среднее нормализованное содержание благородных металлов в разновозрастных пикритовых комплексах западного склона Южного Урала и содержание благородных металлов в сульфидных минералах Норильска по [Barnes, Maier, 1999].

Fig. 7. The average normalized content of precious metals in different age picritic complexes of the western slope of the Southern Urals and the content of precious metals in sulphide minerals Norilsk [Barnes, Maier, 1999].

0.63–2.46. Отличительной чертой “фоновых” пород бурзяния и юрматиния является также отсутствие Rh, значимых содержаний которого не установлено ни в одном из 116 проанализированных образцов [Ковалев и др., 2014a].

Данные о содержаниях ЭПГ и Au в “фоновых” образованиях нижнего и среднего рифея сопостав-

лены нами с концентрациями благородных металлов в породах Интуратовской тектонической зоны, представленной низкоуглеродистыми глинистыми и карбонатно-глинистыми сланцами суранской свиты (RF₁) с многочисленными кварцевыми и кварц-карбонатными прожилками и жилами разнообразной формы и размеров, пронизанными дай-

Таблица 2. Средние содержания благородных металлов в терригенных породах из стратотипических разрезов Башкирского мегантиклинория, мг/т [Ковалев и др., 2014а]

Table 2. The average content of precious metals in the clastic rocks of the stratigraphic section of the Bashkir meganticlinorium, ppb [Kovalev et al., 2014a]

№ п/п	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Pt/Pd	ЭПГ/Au
1 (11)	0.23	0.65	<2	0.86	17.89	1.58	0.049	12.42
2 (15)	0.33	0.39	<2	3.54	18.45	5.26	0.192	4.32
3 (4)	<2	2.58	<2	4.93	36.75	4.1	0.134	10.8
4 (11)	<2	0.22	<2	2.85	42.37	5.69	0.067	7.99
5 (14)	0.34	0.73	<2	5.23	39.29	7	0.067	7.99
6 (11)	0.25	1.35	<2	5.47	43.58	5.08	0.697	9.49
7 (13)	<2	0.72	<2	4.1	37.54	4.38	0.109	9.67
8 (6)	<2	0.97	<2	5.82	43.83	4.32	0.133	11.72
9 (8)	<2	0.31	<2	3.44	31.29	2.88	0.11	12.17
10 (11)	0.45	0.22	<2	3.16	35.93	3.09	0.088	12.87
11 (12)	1.28	<2	<2	5.82	33.63	5.07	0.173	8.03

Примечание. 1 – песчаники, сланцы, айская свита (RF₁); 2 – сланцы, саткинская свита (RF₁); 3 – сланцы, бакальская свита (RF₁); 4 – сланцы, суранская свита (RF₁); 5 – сланцы, юшинская свита (RF₁); 6 – песчаники, юшинская свита (RF₁); 7 – песчаники, машакская свита (RF₂); 8 – алевролиты, машакская свита (RF₂); 9 – песчаники, зигазино-комаровская свита (RF₂); 10 – сланцы, зигазино-комаровская свита (RF₂); 11 – песчаники, сланцы, авзянская свита, (RF₂). В скобках – количество анализов.

Note. 1 – sandstones, shales, Ai Formation (RF₁); 2 – shales, Satka Formation (RF₁); 3 – shales, Bakal Formation (RF₁); 4 – shales, Suran Formation (RF₁); 5 – shales, Yusha Formation (RF₁); 6 – sandstones, Yusha Formation (RF₁); 7 – sandstones, Mashak Formation (RF₂); 8 – siltstones, Mashak Formation (RF₂); 9 – sandstones, Zigazino-Komorowski Formation (RF₂); 10 – shales, Zigazino-Komorowski Formation (RF₂); 11 – sandstones, shales, Aavzyan Formation, (RF₂). In brackets – the number of tests.

Таблица 3. Среднее содержание благородных металлов в измененных терригенных породах Башкирского мегантиклинория, мг/т [Ковалев и др., 2014а]

Table 3. The average content of precious metals in altered clastic rocks of Bashkirian meganticlinorium, ppb [Kovalev et al., 2014a]

№ п/п	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Pt/Pd	ЭПГ/Au
1 (7)	<2	<2	1.34	1.81	8.19	1.83	0.221	6.19
2 (6)	0.4	<2	1.3	1.05	6.03	2.32	0.174	3.78
3 (1)	2.6	<2	<2	6.9	48.0	<2	0.144	–
4 (6)	0.35	<2	4.98	2.82	3.3	2.9	0.855	3.95
5 (6)	1.67	0.48	6.97	16.67	25.4	9.45	0.656	5.42
6 (1)	2.0	<2	6.6	4.4	3.2	<2	1.375	–
7 (5)	0.44	<2	0.4	6.82	9.6	4.68	0.71	3.69

Примечание. 1 – низкоуглеродистые сланцы, суранская свита (RF₁); 2 – доломиты, суранская свита (RF₁); 3 – жильный кварц; 4 – конгломераты, машакская свита (RF₂); 5 – ожелезненные песчаники, машакская свита (RF₂); 6 – сланец, машакская свита (RF₂); 7 – углеродсодержащие сланцы, Улуелгинско-Кудашмановская зона (RF₂). В скобках – количество анализов. Определения ЭПГ и Au выполнены методом ICP-MS в ЦИИ ВСЕГЕИ (аналитики В.А. Шишлов, В.Л. Кудрявцев; пределы обнаружения ЭПГ и Au – 0.002 г/т).

Note. 1 – low-carbonic shales, Suran Formation (RF₁); 2 – dolomites, Suran Formation (RF₁); 3 – veined quartz; 4 – conglomerates, Mashak Formation (RF₂); 5 – ferruginated sandstones, Mashak Formation (RF₂); 6 – the slate, Mashak Formation (RF₂); 7 – carbonaceous shale, Uluelga-Kudashmanov area (RF₂). In brackets – the number of tests. Determination of PGE and Au are made by ICP-MS in VSEGEI (analysts V.A. Shishlov, V.L. Kudryavtsev; limits of detection of PGE and Au – 0.002 ppm).

ками габбро-долеритов [Ковалев и др., 1999, 2013; Ковалев, 2004]. Кроме того, анализу подверглись конгломераты, песчаники и алевролиты Шатакского комплекса и черносланцевые отложения средне-рифейские возраста Улуелгинско-Кудашмановской зоны, детальная характеристика которых дана в [Ковалев, Высоцкий, 2006; Ковалев и др., 2013].

В результате выявлены значительные различия в содержаниях и распределении ЭПГ и Au между “фоновыми” образованиями и их метаморфизован-

ными аналогами. Так, для низкоуглеродистых глинистых и карбонатно-глинистых сланцев Интуратовской зоны характерна Pd-Rh специализация, а параметр Pt/Pd примерно на порядок выше, чем в “фоновых” породах этого же стратиграфического уровня (рис. 9). Нормированные по континентальной коре [Wedepohl, 1995] содержания Ir в различных породах этой зоны различаются почти на 3 порядка. На перераспределение ЭПГ в процессе метаморфизма отчетливо указывают повышенные со-

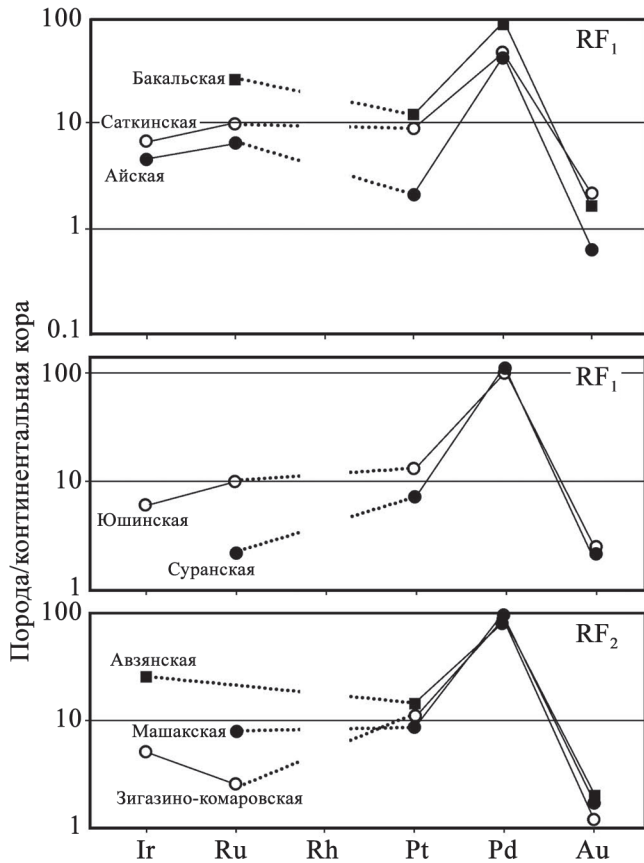


Рис. 8. Нормализованное содержание благородных металлов в сланцевых толщах ниже- и средне-рипейского возраста из стратотипических разрезов западного склона Южного Урала по [Ковалев и др., 2014]. Континентальная кора по [Wedepohl, 1995].

Fig. 8. Normalized content of precious metals in the shale strata Lower and Middle Riphean age of the stratigraphic section of the western slope of the Southern Urals by [Kovalev et al., 2014]. Continental crust by [Wedepohl, 1995].

держания Pt, Pd и Ir в кварцевых жилах, секущих сланцы Интуратовской зоны. Определенное своеобразие в распределении нормированных по континентальной коре [Wedepohl, 1995] содержаний Au и ЭПГ устанавливается и для терригенных пород Шатакского комплекса. Для них характерна Pd–Pt–Rh и Pt–Pd–Rh-специализация при величине Pt/Pd колеблющейся от 0.66 до 1.38. Смена типа благороднометалльной специализации терригенных пород с Pt–Pd на Pd–Pt хорошо коррелирует с материалами, полученными ранее при изучении рудоносности докембрийских конгломератов Шатакского комплекса, для которых была установлена Os–Pd–Pt-специализация пород при Pt/Pd ≈ 4 [Ковалев, Высоцкий, 2006].

Таким образом, можно констатировать, что благороднометалльная геохимическая специализация

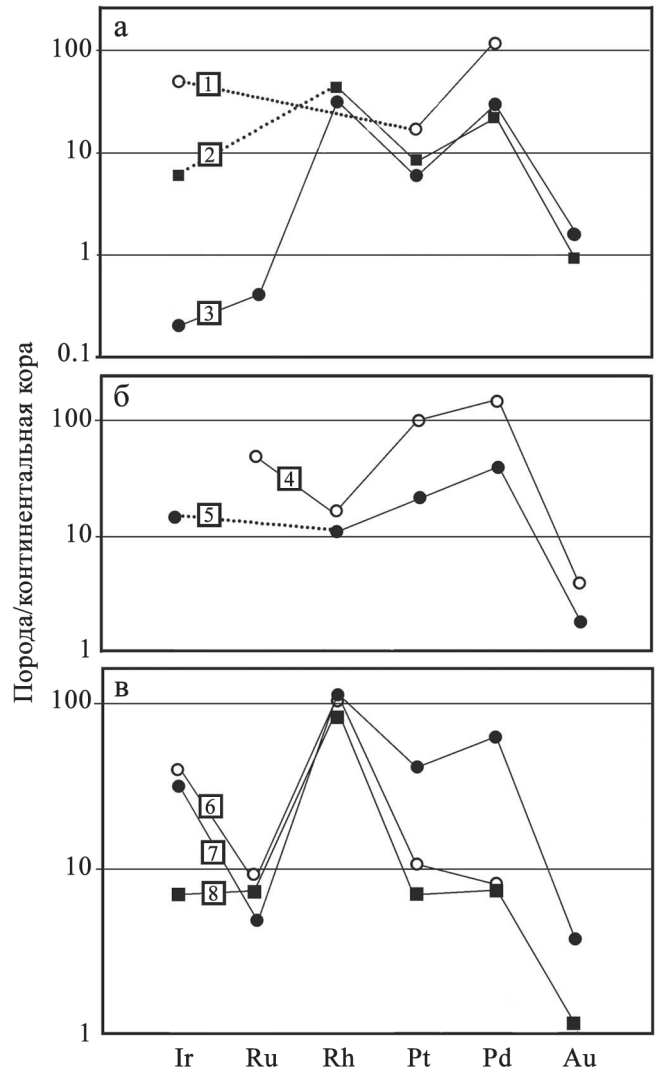


Рис. 9. Среднее нормализованное содержание благородных металлов в терригенных отложениях (а – Интуратовская зона, б – Улуелгинско-Кудашмановская и Узьянско-Кагармановская зоны, в – Шатакский комплекс).

Цифры на диаграммах: 1–3 – Интуратовская зона (1 – жильный кварц, 2 – карбонатно-глинистые сланцы, 3 – углеродсодержащие сланцы); 4 – углеродсодержащие сланцы, Узьянско-Кагармановская зона (по [Сначев и др., 2010]); 5 – углеродсодержащие сланцы Улуелгинско-Кудашмановская зона; 6–8 – Шатакский комплекс (6 – сланцы, 7 – песчаники, 8 – конгломераты).

Fig. 9. The average normalized content of precious metals in the clastic sediments (a – Inturatovskaya zone, б – Uluelga-Kudashmanovo and Uzyan-Kagarmanovo zones, в – Shatak complex).

The numbers on the charts: 1–3 – Inturatovskaya zone (1 – vein quartz, 2 – carbonate shale, 3 – carbonaceous shale); 4 – carbonaceous shale Uzyan-Kagarmanovo zone (on [Snachev et al., 2010]); 5 – carbonaceous shale Uluelga-Kudashmanovo zone; 6–8 – Shatak complex (6 – shales, 7 – sandstone, 8 – conglomerate).

терригенных пород из тектонических зон Башкирского мегантиклинория (наличие повышенных количеств платиноидов и главное – “родиевая аномалия”) обусловлена воздействием на осадочный субстрат магматизма с дальнейшим перераспределением и концентрацией благородных металлов в результате метаморфизма и локального метасоматоза.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований впервые охарактеризована благороднометалльная (ЭПГ и Au) геохимическая специализация магматических пород Башкирского мегантиклинория и прилегающей части ВЕП. Идентичность графиков нормализованных содержаний ЭПГ и Au в магматических породах Башкирского мегантиклинория и востока ВЕП свидетельствует о близости процессов образования и общности механизмов формирования благороднометалльной геохимической специализации при становлении магматических тел.

2. Специфика благороднометалльной геохимической специализации (“родиевая аномалия”) пикритовых и пикродолеритовых комплексов Башкирского мегантиклинория, включая Шатакский и Кусинско-Копанский комплексы, и востока ВЕП обусловлена содержанием благородных металлов в сульфидных минералах (пентландите) и имеет “первичную” природу. Вариации содержаний Pt, Pd и Au, характерные для различных разновидностей пород Шатакского, Кусинско-Копанского комплексов и одновременных базитовых тел, распространенных в пределах региона, вероятнее всего, являются результатом их перераспределения при становлении магматических тел и/или преобразовании вторичными процессами.

3. Благороднометалльная геохимическая специализация терригенных пород из тектонических зон Башкирского мегантиклинория (наличие повышенного количества платиноидов и – главное – “родиевая аномалия”) сформировалась под воздействием магматизма с дальнейшим перераспределением и концентрацией благородных металлов в результате более позднего по времени метаморфизма и локального метасоматоза.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (тема № 0252-2017-0012).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.А. (1979) Разновозрастные пикритовые комплексы западного склона Южного Урала (Башкирский мегантиклинорий). *Докл. АН СССР*, **248**(4), 935-940.
- Алексеев А.А. (1984) Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. М.: Наука, 136 с.
- Алексеев А.А., Алексеева Г.В. (1996) Калиевые оливиновые базальты Алатауского антиклинория. *Ежегодник-1995 ИГ УНЦ РАН*. Уфа: ГП “ПРИНТ”, 159-162.
- Алексеев А.А., Алексеева Г.В. (1999) Рифейская диабаз-пикритовая формация расслоенных интрузий Южного Предуралья. *Докл. АН*, **369**(5), 647-649.
- Алексеев А.А., Алексеева Г.В., Ковалев С.Г. (2000) Расслоенные интрузии западного склона Урала. Уфа: Гилем, 188 с.
- Алексеев А.А., Алексеева Г.В., Ковалев С.Г. (2003) Дифференцированные интрузии западного склона Урала. Уфа: Гилем, 171 с.
- Ковалев С.Г. (1996) Дифференцированные диабаз-пикритовые комплексы западного склона Южного Урала. Уфа: УНЦ РАН, 99 с.
- Ковалев С.Г. (2004) Сложнодислоцированные углеродсодержащие породы западного склона Южного Урала. *Докл. АН*, **396**(4), 511-514.
- Ковалев С.Г. (2008) Позднедокембрийский рифтогенез в истории развития западного склона Южного Урала. *Геотектоника*, (2), 68-79.
- Ковалев С.Г. (2011) Новые данные по геохимии диабаз-пикритового магматизма западного склона Южного Урала и условия его формирования. *Литосфера*, (2), 68-83.
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В. (2004) Новый тип оруденения в докембрийских конгломератах западного склона Южного Урала. *Докл. АН*, **395**(4), 503-506.
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В. (2006) Новый тип благороднометалльной минерализации в терригенных породах Шатакского грабена (западный склон Южного Урала). *Литология и полезные ископаемые*, (4), 415-421.
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В. (2008) Новые данные по геологии Шатакского комплекса (западный склон Южного Урала). *Литология и полезные ископаемые*, (3), 280-289.
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Пучков В.Н., Маслов А.В., Гареев Э.З. (2013) Геохимическая специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского мегантиклинория. Уфа: ДизайнПресс, 268 с.
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Фаткуллин И.Р. (1999) Сложнодислоцированные углеродсодержащие толщи западного склона Южного Урала. Уфа: Изд. Башкир. ун-та, 119 с.
- Ковалев С.Г., Гареев Э.З., Маслов А.В. (2014а) Первые данные о благороднометалльной специализации терригенных пород нижнего и среднего рифея Южного Урала. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*, (4), 33-37.
- Ковалев С.Г., Ковалев С.С., Пиндюрина Е.О., Котляров В.А. (2014б) Сульфидная минерализация пикритовых и пикродолеритовых комплексов Южного Урала. *Записки РМО*, (5), 74-84
- Ковалев С.Г., Мичурин С.В., Высоцкий И.В., Ковалев С.С. (2013) Геология, минералогия и металлогенетическая специализация углеродсодержащих толщ Улуелгинско-Кудашмановской зоны (западный склон Южного Урала). *Литосфера*, (3), 67-88.
- Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Ковалев С.С. (2014в) Первые находки зигенита (CoNi₂S₄) в пикритовых и пикродолеритовых комплексах Южного Урала. *Докл. АН*, **457**(3), 308-314.
- Ковалев С.Г., Салихов Д.Н. (2003) Новые данные по геохимии щелочных пород Алатауского антиклинория. *Мат-лы V Респуб. геол. конф. “Геология, полезные ископаемые и проблемы экологии Башкортостана”*. Уфа: НИИБЖД РБ, 42-45.

- Козлов В.И., Сергеева Н.Д. (2008) Строение стратонорифея Волго-Уральской области. *Геологический сборник № 7. ИГ УНЦ РАН*. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 179-192.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Родионов Н.В., Нехорошева А.Г., Кисеева К.Н. (2008) Ахмеровский гранитный массив – представитель мезопротерозойского интрузивного магматизма на Южном Урале. *Докл. АН*, **418**(2), 241-246.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Козлов В.И. (2013) Цирконология навыйских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале. *Докл. АН*, **448**(4), 437-442.
- Ленных В.И., Петров В.И. (1978) Пикриты тараташского комплекса. *Труды Ильмен. гос. запoved.*, **17**, 45-52.
- Носова А.А., Сазонова Л.В., Каргин А.В., Ларионова Ю.О., Горожанин В.М., Ковалев С.Г. (2012) Мезопротерозойская внутриплитная магматическая провинция Западного Урала: основные петрогенетические типы пород и их происхождение. *Петрология*, **20**(4), страницы.
- Олейникова Г.А., Панова Е.Г., Русанова Л.И., Шишлов В.А. Нанотехнологический способ определения наличия и количественного содержания редких и рассеянных химических элементов в горных породах, рудах и продуктах их переработки. (RU 2370764)
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 146 с.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Козлов В.И., Сергеева Н.Д. (2012) Новые определения изотопного возраста вулканических излияний в типовом разрезе рифея и венда Южного Урала: следствия для стратиграфии и тектоники. *Мат-лы 9-й Межрегион. науч.-практ. конф.* Уфа: ДизайнПресс, 52-56.
- Сазонова Л.В., Носова А.А., Ларионова Ю.О., Каргин А.В., Ковалев С.Г. (2011) Мезопротерозойские пикриты восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Башкирского мегантиклинория: петрогенезис и особенности составов оливина и клинопироксена. *Литосфера*, (3), 64-83.
- Сначёв А.В., Савельев Д.Е., Сначёв В.И. (2010) Палладий-золото-редкометалльная геохимическая ассоциация в углеродистых сланцах зигазино-комаровской свиты, Южный Урал. *Руды и металлы*, (4), 14-19.
- Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Прибавкин С.В. (2005) Рифтогенный магматизм и оруденение Южного Урала. *Геология рудных месторождений*, **47**(5), 421-443.
- Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Прибавкин С.В. (2004) Габбро-диабазовые дайки и силлы в ранне-среднерифейских породах Башкирского антиклинория. *Ежегодник-2003*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 201-206.
- Холоднов В.В., Бочарникова Т.Д., Шагалов Е.С. (2012) Состав, возраст и генезис магнетит-ильменитовых руд среднерифейского стратифицированного Медведевского массива (Кусинско-Копанский комплекс Южного Урала). *Литосфера*, (5), 145-165.
- Юшко-Захарова О.Е. (1975) Платиноносность рудных месторождений. М.: Недра, 247 с.
- Barnes S.J., Lightfoot P.C. (2005) Formation of magmatic nickel-sulfide ore deposits and affecting their copper and platinum-group element contents. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 179-213.
- Barnes S.-J., Maier W.D. (1999) The fractionation of Ni, Cu and the noble metals in silicate and sulfide liquids. C.E.G. *Geological Association of Canada. Short Course*, **13**, 69-106.
- McDonough W.F., Sun S.S. (1995) Composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223-253.
- Wedepohl K.H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 1217-1239.

REFERENCES

- Alekseev A.A. (1979) Different age-old picritic complexes of the western slope of the Southern Urals (Bashkirian meganticlinorium). *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **248**(4), 935-940. (In Russian)
- Alekseev A.A. (1984) *Rifeisko-venedskii magmatizm zapadnogo sclona Yuzhnogo Urala* [Riphean-Vendian magmatism of the western slope of the Southern Urals]. Moscow, Nauka Publ., 136 p. (In Russian)
- Alekseev A.A., Alekseeva G.V. (1996) Potassium olivine basalts of the Alatau anticlinorium. *Ezhegodnik-1995. IG UNTs RAS*. Ufa, "PRINT" Publ., 159-162. (In Russian)
- Alekseev A.A., Alekseeva G.V. (1999) Riphean diabase-picrite formation of stratified intrusions of the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **369**(5), 647-649. (In Russian)
- Alekseev A.A., Alekseeva G.V., Kovalev S.G. (2000) *Rassloennyye intruzii zapadnogo sclona Urala* [Layered intrusions of the western slope of the Urals]. Ufa, Gilem Publ., 188 p. (In Russian)
- Alekseev A.A., Alekseeva G.V., Kovalev S.G. (2003) *Differentsirovannyye intruzii zapadnogo sclona Urala* [Differentiated intrusions of the western slope of the Urals]. Ufa, Gilem Publ., 171 p. (In Russian)
- Barnes S.J., Lightfoot P.C. (2005) Formation of magmatic nickel-sulfide ore deposits and affecting their copper and platinum-group element contents. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 179-213.
- Barnes S.-J., Maier W.D. (1999) The fractionation of Ni, Cu and the noble metals in silicate and sulfide liquids. C.E.G. *Geological Association of Canada. Short Course*, **13**, 69-106.
- Fershtater G.B., Holodnov V.V., Pribavkin S.V. (2005) Riftogenic magmatism and mineralization of the Southern Urals. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **47**(5), 421-443.
- Fershtater G.B., Holodnov V.V., Pribavkin S.V. (2004) Gabbro-diabase dikes and sills in the Early Middle Riphean rocks of the Bashkir anticline. *Ezhegodnik-2003*. Ekaterinburg, IGG UrB RAS, 201-206. (In Russian)
- Holodnov V.V., Bocharnikova T.D., Shagalov E.S. (2012) Composition, age and genesis of magnetite-ilmenite ores of the Middle Riphean stratified Medvedevski massif (Kusa-Kopansky complex of the Southern Urals). *Litosfera*, (5), 145-165. (In Russian)
- Kovalev S.G. (1996) *Differentsirovannyye diabaz-pikritovyye komplekсы zapadnogo sclona Yuzhnogo Urala* [Differentiated diabase-picritic complexes of the western slope of the Southern Urals]. Ufa, UNTs RAS, 99 p. (In Russian)
- Kovalev S.G. (2004) Complexly dislocated carbonaceous rocks of the western slope of the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **396**(4), 511-514. (In Russian)

- Kovalev S.G. (2008) Late Precambrian rifting in the history of development of the western slope of the Southern Urals. *Geotectonika*, (2), 68-79. (In Russian)
- Kovalev S.G. (2011) New data on the geochemistry of diabase-picritic magmatism of the western slope of the Southern Urals and conditions for its formation. *Litosfera*, (2), 68-83. (In Russian)
- Kovalev S.G., Gareev E.Z., Maslov A.V. (2014a) First data on noble metal specialization of terrigenous rocks Lower and Middle Riphean the Southern Urals. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geol. Razved.*, (4), 33-37. (In Russian)
- Kovalev S.G., Kovalev S.S., Pindyurina E.O., Kotlyarov V.A. (2014b) Sulfide mineralization of picritic and picrodoleritic complexes Southern Urals. *Zapiski RMO*, (5), 74-84. (In Russian)
- Kovalev S.G., Michurin S.V., Vysotskii I.V., Kovalev S.S. (2013) Geology, mineralogy and metallogenic specialization of carbon-bearing strata of Uluelgino-Kudashmanovo zone (the western slope of Southern Urals). *Litosfera*, (3), 67-88. (In Russian)
- Kovalev S.G., Puchkov V.N., Kovalev S.S. (2014b) First finds of zigenit (CoNi₂S₄) in picritic and picrodoleritic complexes Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **457**(3), 308-314. (In Russian)
- Kovalev S.G., Salihov D.N. (2003) New data on geochemistry alkaline rocks of Alatau anticlinorium. *Mat-ly V Respub. geol. konf. "Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy ekologii Bashkortostana"* ["Geology, minerals and problems of ecology of Bashkortostan". Proc. of the V Republic geol. Conf.]. Ufa, NIIBZhD RB Publ., 42-45. (In Russian)
- Kovalev S.G., Vysotskii I.V. (2004) A new type of mineralization in the Precambrian conglomerates of the western slope of the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **395**(4), 503-506. (In Russian)
- Kovalev S.G., Vysotskii I.V. (2006) New type of noble metal mineralization in terrigenous rocks Shatak graben (western slope of the Southern Urals). *Litol. Polezn. Iskop.*, (4), 415-421. (In Russian)
- Kovalev S.G., Vysotskii I.V. (2008) New data on the geology Shatak complex (western slope of the Southern Urals). *Litol. Polezn. Iskop.*, (3), 280-289.
- Kovalev S.G., Vysotskii I.V., Fatkullin I.R. (1999) *Slozhnodislotsirovannyye uglerodsoderzhashchie tolshchi zapadnogo sclona Yuzhnogo Urala* [Complex-dislocation carbon-bearing strata in western slope of the Southern Urals]. Ufa, Bashkir. State Univ. Publ., 119 p. (In Russian)
- Kovalev S.G., Vysotskii I.V., Puchkov V.N., Maslov A.V., Gareev E.Z. (2013) *Geohimicheskaya spetsializatsiya strukturno-veshchestvennykh kompleksov Bashkirskogo meganticlinoriya* [Geochemical specialization structural-material complexes Bashkirian meganticlinorium]. Ufa, DizainPress Publ., 268 p. (In Russian)
- Kozlov V.I., Sergeeva N.D. (2008) The structure of the Riphean stratons Volga-Ural region. *Geologicheskii sbornik 7*. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 179-192. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Rodionov N.V., Nekhorosheva A.G., Kiseeva K.N. (2008) Achmerovo granite massif is a representative of Mesoproterozoic intrusive magmatism in the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **418**(2), 241-246. (In Russian)
- Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Kozlov V.I. (2013) Zirconium of the Navysh volcanics of the Aisk Formation and the problem of the age of the lower boundary of the Riphean in the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **448**(4), 437-442. (In Russian)
- Lennykh V.I., Petrov V.I. (1978) Pikrites of the Taratash Complex. *Proc. Ilmen. State. Reserve*, **17**, 45-52. (In Russian)
- McDonough W.F., Sun S.S. (1995) Composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223-253.
- Nosova A.A., Sazonova L.V., Kargin A.V., Larionova Yu.O., Gorozhanin V.M., Kovalev S.G. (2012) Mesoproterozoic intraplate magmatic province of the Western Urals: The main petrogenetic types of rocks and their origin. *Petrologiya*, **20**(4), 392-428. (In Russian)
- Oleinikova G.A., Panova E.G., Rusanova L.I., Shishlov V.A. *Nanotekhnologicheskii sposob opredeleniya nalichiya i kolichestvennogo sodержaniya redkikh i rasseyannykh himicheskikh elementov v gornyykh porodakh, rudakh i produktakh ikh pererabotki* [Nanotechnological method for determining the presence and quantitative content of rare and dispersed chemical elements in rocks, ores and products of their processing]. (RU 2370764)
- Puchkov V.N. (2000) *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Dauriya Publ., 146 p. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2010) *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and the Uralian region (actual issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DesignPolygraphService Publ., 280 p. (In Russian)
- Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Sergeeva N.D. (2012) New definitions of the isotope age of volcanic effusions in the typical Riphean and Vendian section of the Southern Urals: implications for stratigraphy and tectonics [Proc. 9th Interregional Scientific and Practical. Conf.]. Ufa, DesignPress Publ., 52-56. (In Russian)
- Sazonova L.V., Nosova A.A., Larionova Yu.O., Kargin A.V., Kovalev S.G. (2011) Mesoproterozoic picrites of the eastern margin East European platform and the Bashkir meganticlinorium: Petrogenesis and features of the olivine and clinopyroxene compositions. *Litosfera*, (3), 64-83. (In Russian)
- Snachev A.V., Savel'ev D.E., Snachev V.I. (2010) Palladium-gold-rare metal geochemical association in carbonaceous schists of the Zigazino-Komarovo Formation, Southern Urals. *Rudy i metally*, (4), 14-19. (In Russian)
- Wedepohl K.H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 1217-1239.
- Yushko-Zaharova O.E. (1975) *Platinonosnost' rudnykh mestorozhdenii* [Platina-bearing of the ore deposits]. Moscow, Nedra Publ., 247 p. (In Russian)