

УДК 552.512; 553.411.072

**А.К. Трутнев, Е.А. Жуклин, Д.И. Прокопчук, Л.А. Демина**  
ФГБОУ Уральский государственный горный университет,  
г. Екатеринбург

## МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНГЛОМЕРАТОВ БЕЛОКАТАЙСКОЙ СВИТЫ, УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ИХ МИНЕРАГЕНИЯ

В геологической истории Земли конгломераты встречаются в самых различных формациях, в том числе в платформенных и геосинклинальных образованиях, в молассовых толщах межгорных впадин, передовых прогибов и т.д. Детальный анализ конгломератов позволяет выявить фациальную (формационную) принадлежность осадочных отложений, их место в истории геологического развития, минералого-петрографические и геохимические особенности, что в конечном счете ведет к выявлению металлогенической специализации конкретных осадочных толщ.

*Ключевые слова: осадочные породы, белокатайская свита, конгломераты, петрохимические модули, геохимия, геодинамика, золото.*

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2022.271**

Белокатайская свита (P1bk) получила свое название от сел Новый и Старый Белокатай, где ее детальное изучение проводил А. В. Хабаков (1941) [1]. Отложения белокатайской свиты залегают со стратиграфическим несогласием, трансгрессивно на разных подразделениях нижней перми и содержат множество внутрiformационных размывов. Образования представлены песчаниками, гравелитами, конгломератами с тонкими редкими прослоями алевролитов, мергелей и известняков. В данной статье рассмотрены минералого-петрографические и геохимические особенности конгломератов белокатайской свиты, которые имеют значительное развитие на среднем Урале (лист О-40-XXIX).

Конгломераты обладают от светло-желтой, серой, до голубовато-серой окраски, неравномернозернистой (от мелкогалечной до крупногалечной) структурой, массивной и конгломератовой текстурой. Размер галек варьирует от 1,0-1,5 до 8-10 см, иногда встречаются валуны до 15-20 см. Гальки средней, часто хорошей окатанности, угловатые, хаотичной ориентировки. Состав галек (65-80 % от общего объема породы): кремний (30-40 %), кварцит (30-35 %), базальт (20-25 %), долерит (5-10 %), риолит (до 5 %). Связующее вещество (матрица породы, 5-7%)

представлено обломками базальта, кварцита, известняка, иногда органического происхождения и зернами кварца, плагиоклаза (андезина), хлорита, эпидота, редко биотита, кальцита, очень редко встречается глауконит и вулканическое стекло. Тип цемента (10-15 %) базальный, редко поровый песчаного, глинисто-карбонатного и карбонатного состава. Акцессорные минералы – магнетит, циркон, апатит, гематит, рутил, редко ортит.

В результате проведения рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (XRF) удалось установить, что конгломераты белокатайской свиты (анализировался цемент) характеризуются широкими диапазонами содержаний большинства породообразующих оксидов, таких как  $\text{SiO}_2$  (50,4 - 64,7 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (8,6 - 13,7 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ общ (1,1 - 4,55 %),  $\text{CaO}$  (3,5-18,6 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,48 - 3,7 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (1,99 - 3,54 %). Содержания  $\text{TiO}_2$  (0,25-0,5 %),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,12-0,27 %),  $\text{MnO}$  (0,04-0,06 %),  $\text{MgO}$  (0,5-1,6%) имеют достаточно близкие значения. По химической классификации осадочных пород Я.Э. Юдовича и М.П. Кетриса [2], основанной на петрохимических модулях, охарактеризованы конгломераты (цемент) белокатайской свиты. Средние значения петрохимических модулей представлены в таблице 1.

Таблица 1

*Средние значения петрохимических модулей конгломератов (цемента) белокатайской свиты (Р, бк)*

ГМ	ТМ	ЖМ	ФМ	НКМ	АМ	ЩМ
0,2 -0,29	0,029 -0,036	0,3 -0,35	0,03 -0,1	0,38 -0,57	0,17 -0,21	1,06 -1,35

Значение гидролизатного модуля ( $\text{ГМ} = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}/\text{SiO}_2$ ) изменяется от 0,2 до 0,29, что соответствует, согласно классификации Я.Э. Юдовича и М.П. Кетриса [2], глинистым силицитам (кремнисто-глинистым сланцам) и полимиктовым кварцевым песчаникам, что наблюдалось при петрографических исследованиях. Также величина модуля указывает на то что, конгломераты белокатайской свиты являются химически достаточно зрелыми породами. Химическую зрелость подтверждает и титановый модуль ( $\text{ТМ} = \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ), значение которого варьирует в диапазоне от 0,029 до 0,036. Низкие значения ТМ указывает на формирование пород в глубоководных фациях. Железный модуль ( $\text{ЖМ} = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$ ) равен 0,3-0,35, что соответствует нормально-железистому составу породы. По фемическому модулю ( $\text{ФМ} = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}/\text{SiO}_2$ ) цемент конгломератов, величина которого варьирует

от 0,03 до 0,1, классифицируются как кварцевые и полимиктовые песчаники, что подтверждается петрографическими исследованиями. Конгломераты (цемент) белокатайской свиты, согласно общей нормативной щелочности ( $\text{HKM} = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) равной 0,38-0,57, характеризуются как повышенно-щелочные породы с примесью вулканогенного материала основного состава (при петрографических исследованиях в цементе зафиксированы обломки базальта, иногда вулканическое стекло). Алюмокремниевый модуль ( $\text{AM} = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ) равный 0,17-0,21 указывает нам на химическую зрелость пород, а состав цемента соответствует области значений полимиктовых песчаников. Щелочной модуль ( $\text{ЩМ} = \text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ) имеет значение от 1,06 до 1,35, что свидетельствует о незначительном количестве глинистой примеси в песчаном цементе конгломератов белокатайской свиты.

С целью выявления геохимической специализации конгломератов белокатайской свиты на основе данных ICP MS построены графики кларков концентрации микроэлементов (рис.1А). Породы (цемент) характеризуются рудной концентрации ( $\text{KK} > 10$ ) As, Se, Sb; в окологларковых концентрациях находятся ( $\text{KK} = 1 \div 1,5$ ) Cu, Sr, Ag, Cd, Ba. В нижнекларковых концентрациях ( $\text{KK} < 1$ ) присутствуют: Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Zn, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, Hf, Ta, W, Pb, Bi, Th, U.

Спектры РЗЭ в конгломератах (в цементе) белокатайской свиты имеют форму с незначительным отрицательным наклоном (рис.1Б) ( $\text{La}/\text{Yb} = 1,07 - 1,4$ ), что указывает на преобладание легких над тяжелыми элементами. Фиксируется европиевая аномалия положительного характера ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,7 - 1,9$ ) Содержание лантоноидов варьирует от 65,3 г/т до 109,3 г/т.

Для определения геодинамической обстановки использовались диаграммы А.Г. Коссовской и М.Р. Бхатия [2] Конгломераты (цемент) белокатайской свиты имеют большой разброс. Однако в большинстве случаев они фиксируются либо в области, либо в непосредственной близости с полями развития пород континентальных островных дуг и активных континентальных окраин. На треугольных диаграммах М.Р. Бхатия Co-Th-Zr/10, Th-La-Sc и Sc-Th-Zr/10 (рис.2) фигуративные точки конгломератов (цемента) белокатайской свиты расположены в области приконтинентальной островной дуги и активной континентальной окраины.

В результате минералогических исследований проб – протоколов конгломератов (цемента) белокатайской свиты установлен широкий спектр проявления рудных минералов. В группу постоянно встречающихся минералов (80-100 %) входят магнетит, циркон и апатит, однако

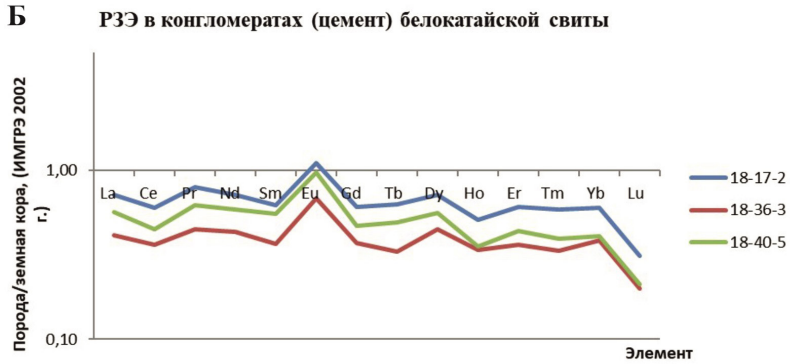
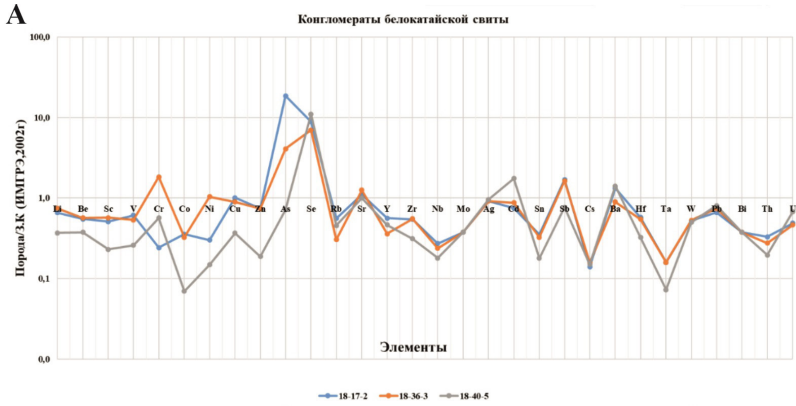


Рис. 1. А - Кларки концентрации микроэлементов в конгломератах (цементе) белокатайской свиты; Б - Распределение РЗЭ в конгломератах (цементе) белокатайской свиты нормализованных к З.К.

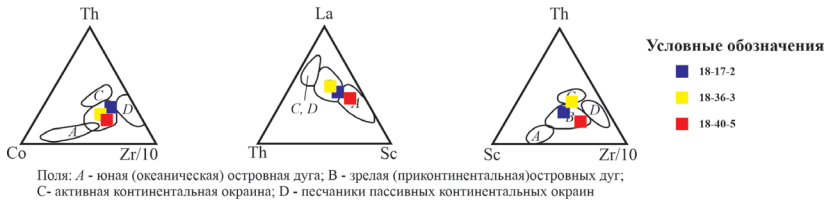


Рис. 2. Диаграммы Co-Th-Zr/10, Th-La-Sc и Sc-Th-Zr/10 М.Р. Бхаттия для реконструкции тектонических обстановок накопления

следует отметить, что содержание их незначительно и редко превышает содержание 3-5 г/м<sup>3</sup>. В группе часто встречающихся минералов (60-80%) установлены сфен, рутил и пирит. Их содержание варьирует от 1-3 г/м<sup>3</sup>. В группу редко встречающихся (менее 10 %) минералов входят: золото, галенит, пирротин, халькопирит, ильменит и гематит. Содержание их очень низкое (редкие и единичные знаки). Наиболее интересным и значимым является золото, поэтому на его характеристике остановимся более подробно. Цвет изученных золотинок, который зачастую указывает на особенности химического состава довольно разнообразен. В результате изучения было установлено 3 типа окраски частиц: светло-желтая, зеленовато-желтая, красновато (розово) желтая. Светло-желтая окраска характерна для низкопробных золото-серебряных природных сплавов, зеленовато-желтая — для средне- и высокопробного, соответственно, а розовый или красноватый оттенок обусловлены, скорее всего, повышенным содержанием примеси меди. Морфология частиц достаточно разнообразна: кристалломорфная (30 % частиц), комковидная (5 %), пластинчатая (40 %), палочко- и проволоковидная (суммарно 25 %) [3]. При этом значительная часть золотинок неполного кристаллического габитуса (в особенности пластинчатое), следы огранки сохранила и отнесены к типу «гемидиоморфных» (рис.3). Таким образом, более 70 % золотинок имеют частично гранную форму. Исследования показали, что 30 % из них имеют гладкую («свежую») неизменную поверхность, еще 70 % из них — тонкошагреневую «островную» поверхность, характерную для золота, пребывавшего в коре выветривания или элювиально-делювиальных отложениях при его слабой обводненности, то есть слабо гипергенно измененное. Следовательно, изученное золото можно отнести к слабо гипергенно измененному.

По результатам петрографических, петрохимических, геохимических, минералогических исследований можно сделать следующие выводы о конгломератах белокатайской свиты. Петрографически, конгломераты полимиктового состава различной (от мелкогалечной до крупногалечной) структуры с галькой средней, хорошей степенью окатанности, представленной кремнями, кварцитом, базальтом, реже долеритом и риолитом. Среди обломков встречаются зерна кварца, плагиоклаза (андезина), хлорита, эпидота, редко биотита, кальцита, очень редко встречается глауконит и вулканическое стекло. Тип цемента базальтовый песчаного, глинисто-карбонатного и карбонатного состава. Неустойчивый глауконит указывает на кратковременный процесс переноса обломочного материала. Так же он является минералом-индикатором морской среды с высоким содержанием железа. Петрохимические

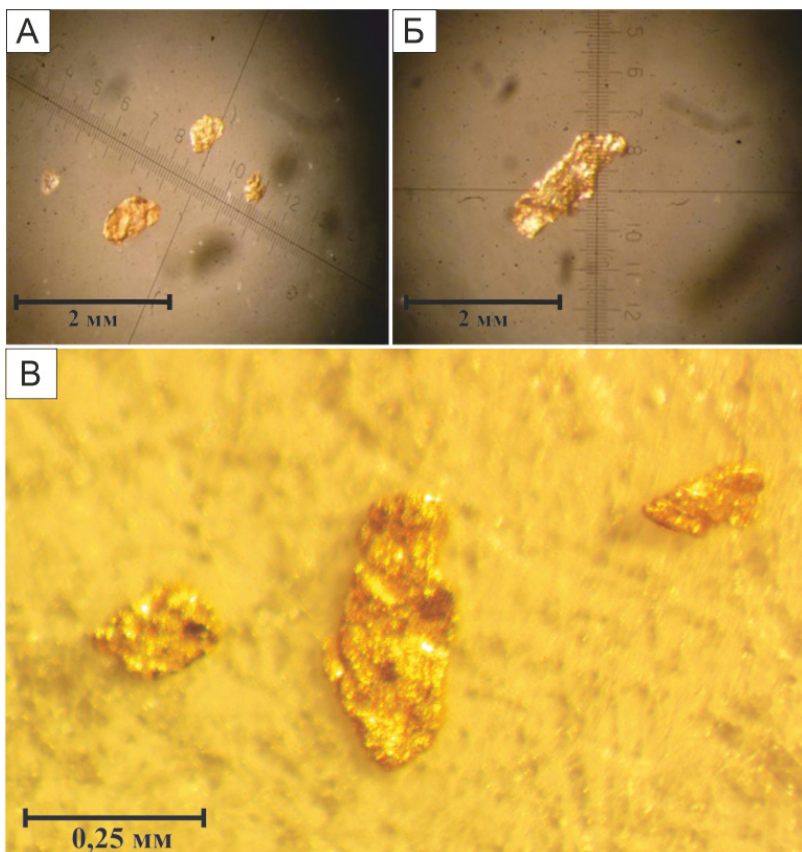


Рис. 3. Пластинчатые гемидиоморфные золотины от слабой до средней окатанности: А – мелкое золото (проба 18-251-2) увеличение в 5 раз, Б – золото средней крупности (проба 18-17-2) увеличение в 5 раз, В – золото средней крупности (проба 18-17-2) увеличение в 20 раз.

модули указывают на достаточную химическую зрелость конгломератов белокатайской свиты с песчаным цементом кварцевого и полимиктового состава, формирующихся в глубоководных фациях. Геодинамические диаграммы, построенные по методам А.Г. Коссовской и М.Р. Бхатия показали принадлежность конгломератов (цемента) белокатайской свиты к континентальным островным дугам и активным континентальным окраинам, что вероятно говорит о денудации в раннепермское время островодужных комплексов Урала. Этот вывод подтверждается наличием в минеральной ассоциации платины, хромшпинели, магнетита, ильменита, лейкоксена, пироксена, апатита и оливина (редкие знаки). По

результатам минералого-геохимических исследований можно сделать вывод о том, что конгломераты белокатайской свиты специализируются на благороднометалльное оруденение и относятся к формации золотосодержащих конгломератов и образованных по ним кор выветривания, о чем свидетельствует низкая степень окатанности золотин (редко превышает 3 баллов) и повышенная концентрация As, Se, Sb, которая прослеживается на аналогичных объектах (Вивватерсранд (ЮАР), Сильвер-Риф (США), Лаба (Северный Кавказ)).

*Библиографический список*

1. *Водолазская В. П., Тетерин И. П., Кириллов В. А. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист О-40 (Пермь). Объяснительная записка. Ред. Жданов А. В. - СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ. 2015.
2. *Панова Е.Г., Ахмедов А.М.* Геохимические индикаторы генезиса терригенных пород. Санкт-Петербург: С.-Петербур. гос. ун-т, 2011 г. – 64 с.
3. *Трутнев А.К., Жуклин Е.А., Прокопчук Д.И., Демина Л.А.* Некоторые аспекты локализации благороднометалльного оруденения в нижнепермских конгломератах в пределах северо-восточной части листа О-40-XXIX (Шалинская площадь) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского : сборник научных статей / Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2021 г., Вып.24, С 261-265.

**MINERAL-PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL FEATURES  
OF CONGLOMERATES OF THE BELOKATAISK FORMATION,  
CONDITIONS OF FORMATION AND THEIR MINERGENIA**

**Trutnev A.K., Zhuklin E.A., Prokopchuk D.I., Demina L.A.**

*tema.trutnev@yandex.ru*

In the geological history of the Earth, conglomerates are found in a variety of formations, including platform and geosynclinal formations, in molasse strata of intermontane depressions, foredeeps, etc. A detailed analysis of conglomerates makes it possible to identify the facies (formational) belonging of sedimentary deposits, their place in the history of geological development, mineralogical, petrographic and geochemical features, which ultimately leads to the identification of metallogenic specialization of specific sedimentary strata.

*Keywords: sedimentary rocks, belokataiskaya suite, conglomerates, petrochemical modules, geochemistry, geodynamics, gold.*