

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ВЕРХНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ
ПРИКОЛЫМСКОГО ТЕРРЕЙНА (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)**

А.Н. Глухов

*ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,
ул. Портовая 16, г. Магадан, 685000; e-mail: gluhov76@list.ru*

Поступила в редакцию 26 октября 2012 г.

В работе рассмотрено распределение рудогенных элементов в позднепротерозойских структурно-вещественных комплексах Приколымского террейна. Установлено, что они характеризуются халькофильной геохимической специализацией. На основании сиалического характера геохимической специализации сделано предположение о зрелости континентальной коры региона в позднем протерозое. Показано, что эпигенетическая минерализация наследует геохимическую специализацию вмещающих позднепротерозойских комплексов, что указывает на активное тектоно-магматическое развитие Приколымского террейна в фанерозое.

Ключевые слова: протерозой, геохимическая специализация, минерализация, Приколымский террейн, Северо-Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Приколымский террейн является составной частью аккреционной структуры Северо-Востока Азии (рис. 1) и протягивается в субмеридиональном направлении более чем на 450 км [27]. Он сложен, главным образом, в различной степени метаморфизованными протерозойскими образованиями: песчаниками, метапелитами, кварц-полевошпатовыми и карбонатными породами, метабазитами и гипербазитами. В соответствии с существующими представлениями, Приколымский террейн представляет собой фрагмент пассивной окраины Северо-Азиатского кратона, отторгнутый в палеозое вследствие прогрессирующего рифтинга [2].

Протерозойские комплексы Приколымского террейна вмещают разнообразные по составу рудные проявления. Наиболее многочисленными и изученными являются золоторудные объекты, включающие одно месторождение и серию рудопроявлений золото-редкометалльно-кварцевого типа, а также многочисленные близкие им по составу и геологической позиции пункты минерализации. Они сопровождаются россыпными месторождениями золота. Золоторудные объекты и россыпи сгруппированы в два рудно-россыпных района – Каменский на севере и Шаманихо-Столбовской в центральной части террейна. В минералогическом отношении они являются составными

частями синаккреционного Яно-Колымского металлогенического мегапоояса [2, 3]. Среди прочих орогенных золоторудных месторождений Яно-Колымского мегапоояса руды Приколымья выделяются низкими концентрациями As и Co. Достаточно широко распространены жильные золото- и серебросодержащие медно-полиметаллические рудопроявления, связанные с островодужными известково-щелочными магматическими комплексами Уяндино-Ясачненского вулканогенного пояса (УЯВП). На восточном фланге Приколымского террейна карбонатные толщи рифея и палеозоя вмещают стратиформную свинцово-цинковую минерализацию. В центральной и южной частях Приколымского террейна среди рифейских метапелитов известны проявления медистых песчаников и сланцев. Рифейские метапелиты вмещают также пластовые железорудные проявления, наиболее крупным и изученным среди которых является месторождение Победа [27].

Геохимическая типизация структурно-вещественных комплексов и блоков земной коры является одной из важнейших задач региональной геохимии [12]. В докембрийских структурах геохимические поля формируются в течение длительного времени и являются функцией широкого спектра порообразующих процессов. Изменения геотектонических обстановок, маркером которых являются тектоно-магматические

этапы, должны усиливать тенденции перераспределения и дифференциации вещества литосферы. Это обуславливает геохимическую индивидуальность этапов геологического развития и придает геохимической специализации структурно-вещественных комплексов роль индикатора геотектонических обстановок.

Применительно к металлогеническому анализу геохимическая типизация дает возможность выявить первичную неоднородность состава литосферы как главную причину формирования рудных концентраций различного масштаба в ходе тектоно-магматического развития. Преобладание сиалических либо фемических (в понимании Ю.Г. Щербакова, [29]) элементов определяет степень зрелости корового вещества и определяет состав связанных с ним рудных проявлений. Как известно, металлогения в регионах с уже сформированной континентальной корой является унаследованной и определяется прежде всего составом субстрата [17]. При этом характер тренда геохимической специализации (халько- либо литофильный) устойчиво сохраняется на всех последующих этапах геологического развития блоков земной коры.

Таким образом, рассмотрение геохимической специализации позднепротерозойских структурно-вещественных комплексов Приколымского террейна, с одной стороны, даст возможность для обоснованных суждений об источниках вещества, а с другой, покажет, как отразилась в геохимии пород и слагаемых ими вещественных комплексов история геологической эволюции Приколымского террейна в позднем докембрии. В прикладном аспекте это может объяснить специфику состава вмещаемых протерозойскими комплексами рудных объектов и создаст основу для дальнейших прогнозно-металлогенических исследований.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения использовались результаты анализов проб из керна структурно-поисковых скважин, пробуренных на двух участках в центральной части Приколымского террейна, в бассейне р. Малая Столбовая (рис. 1): Глухариный и Братишка. Благодаря проведению здесь в последние годы интенсивных геолого-разведочных работ, позднепротерозойские комплексы вскрыты многочисленными поверхностными горными выработками и скважинами колонкового бурения, что позволило получить новые данные об их геологическом строении. Полученные нами результаты многолетнего (1997–2011 гг.) геологического изучения центральной части Приколымского террейна позволяют обоснованно экстраполировать данные по опорным участкам за их пределы.

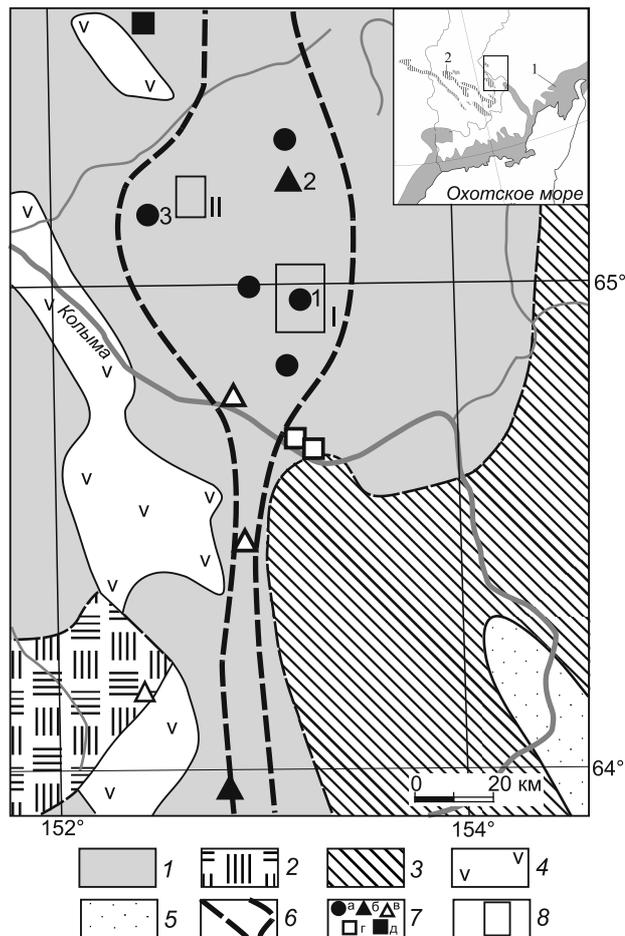


Рис. 1. Тектоническая схема Центрального Приколымья (составлено с использованием схемы В.И. Шпикермана [27]).

1 – Приколымский террейн пассивной континентальной окраины; 2 – Аргатасско-Поповкинский океанический террейн; 3 – Яно-Колымский складчатый пояс; 4 – Уяндино-Ясачненский вулканогенный пояс; 5 – Балыгычано-Сугойский рифтогенный прогиб; 6 – границы Приколымского динамометаморфического пояса; 7 – рудопоявления следующих модельных типов: золото-редкометалльно-кварцевый (а), медно-полиметаллический жильный (б), медный в терригенных толщах (в), свинцово-цинковый в карбонатных толщах (г), пластовый железорудный (д) (номера: 1 – месторождение Надежда, 2 – рудопоявление Глухой, 3 – рудопоявление Тимша); 8 – изученные участки (I – Глухариный, II – Братишка). На врезке: 1 – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс; 2 – Уяндино-Ясачненский вулканогенный пояс.

Основным методом анализа проб являлась оптическая спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-OES) на 40 элементов с растворением навески в царской водке. Анализы выполнялись в лаборатории ООО «Стюарт Геокемикл энд Эссей» (г. Москва).

Для решения поставленной задачи был сформирован перечень основных рудогенных химических элементов, которые, с одной стороны, определяют

геохимическую специализацию вещественных комплексов – сидеро- либо халькофильную, а с другой, представлены растворимыми в кислотах минеральными формами [9, 13]: Fe, Ag, Bi, Ni, Co, Mn, Cu, Zn, Pb, Mo, As, Sb, Sn, W, V. Концентрации четырех элементов из этого перечня (Ag, Bi, Sn, W) во всех проанализированных пробах не превысили нижнего порога обнаружения анализа (табл. 1) и из дальнейшего рассмотрения данные химические элементы исключены.

На первом этапе работы были созданы базы аналитических данных. Для изучения геохимии структурно-вещественных комплексов база данных формировалась из данных по результатам анализов проб из скважин, пробуренных за пределами рудных тел и ореолов гидротермально-метасоматических изменений. Всего в базу данных по породам верхнего протерозоя вошло 1065 анализов. Затем были сформированы отдельные выборки анализов по каждому изученному бурением литостратиграфическому подразделению. Диагностика горных пород производилась макроскопически при геологической документации и подтверждалась изучением прозрачных шлифов, которое любезно выполнил научный сотрудник Института земной коры СО РАН к.г.-м.н. Д.А. Кошкарев. Использовалась номенклатура изверженных и метаморфических пород, предусмотренная Петрографическим кодексом [14]. Далее из выборок были удалены все пробы из измененных и оруденелых пород, а также с явно аномальными концентрациями химических элементов. Финальная выборка составила 761 анализ. Для рудных объектов база данных формировалась по результатам анализов проб из скважин, вкрывших минерализацию. Всего в базу данных по рудным объектам вошло 300 анализов. Отнесение рудных объектов к тому или иному геолого-генетическому типу произведено в соответствии с

Таблица 1. Пределы обнаружения химических элементов.

Химический элемент	Пределы обнаружения, г/г	
	нижний	верхний
анализ ICP-OES		
Ag	0.5	200
As	5	10000
Bi	5	2000
Co	1	10000
Cu	1	10000
Fe	100	100000.00
Mn	1	20000
Mo	1	10000
Ni	1	10000
Pb	2	10000
Sb	5	2000
Sn	20	2000
V	10	10000
W	20	2000
Zn	1	10000
рентгенофлуоресцентный анализ		
Ba	30	-
Y	4	-
Zr	3	-
Nb	3	-

классификацией, разработанной С.М. Родионовым и Н.А. Горячевым [2].

Концентрации литофильных элементов (Ba, Zr, Nb, Y), а также петрогенных оксидов определялись рентгеноспектральным флуоресцентным методом по отобраным с поверхности образцам в лаборатории рентгеноспектрального анализа СВКНИИ ДВО РАН (табл. 2). Всего использован 21 анализ. Все петрохимические анализы пересчитаны на сухой остаток.

В конечном итоге был получен следующий перечень элементов: Fe, Co, Ni, Mo, Cu, Zn, Pb, As, Sb, V, Mn, Ba, Zr, Nb, Y. Первые четыре элемента в данном

Таблица 2. Химический состав позднепротерозойских пород центральной части Приколымского террейна, мас. %.

Оксиды	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	47.21	42.07	73.36	74.85	50.35	48.40	79.38	53.51
TiO ₂	0.63	0.57	0.46	0.37	2.36	3.89	0.29	10.91
Al ₂ O ₃	11.74	9.84	12.57	12.60	17.21	14.27	10.11	7.06
Fe ₂ O ₃ общ	5.26	3.94	4.46	3.16	13.23	14.61	2.28	23.60
MnO	0.06	0.06	0.01	0.01	0.19	0.24	0.01	0.00
MgO	6.96	8.14	0.03	0.27	4.68	4.42	1.27	0.91
CaO	24.56	31.38	0.01	0.01	5.68	7.21	3.86	0.28
Na ₂ O	1.08	1.27	3.61	2.72	4.64	3.73	0.44	0.62
K ₂ O	2.35	2.59	5.42	5.98	1.41	1.67	2.22	2.95
P ₂ O ₅	0.15	0.14	0.08	0.03	0.25	1.56	0.13	0.17
Сумма	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Примечание. 1, 2 – сланцы карбонат-серицит-хлоритовые, юкагирская серия; 3, 4 – метариолиты, хакдонская серия; 5, 6 – метабаза, хакдонская серия; 7–8 – сяпякинская свита: 7 – песчаник полевошпат-кварцевый, 8 – песчаник полевошпат-кварцевый с титаномагнетитом; 1–6, 8 – рентгеноспектральный флуоресцентный анализ, лаборатория рентгеноспектрального анализа СВКНИИ ДВО РАН, аналитик Т. Д. Борходоева. 7 – по В. А. Шишкину [25].

списке относятся к сидерофильным, пять – к халькофильным и последние шесть – к литофильным. Таким образом, получен достаточно сбалансированный набор химических элементов, позволяющий достаточно исчерпывающе характеризовать геохимическую специализацию и металлогенический профиль изучаемых комплексов.

Так как распределение малых элементов в горных породах в общем случае аппроксимируется лог-нормальным законом [34], рассчитывались средние геометрические содержания элементов и стандартные множители. Далее для каждого литостратиграфического подразделения определялись кларки концентрации (КК) путем нормирования на средние содержания элементов в соответствующей горной породе верхней части континентальной коры, рассчитанные Н.А. Григорьевым [4]. По полученным КК строились геохимические спектры, отражающие специализацию структурно-вещественных комплексов. Для выявления геохимических ассоциаций производились факторный (методом главных компонент) и корреляционный анализы.

Аналогичным образом выполнялась геохимическая характеристика рудных объектов, по полученным КК строились геохимические спектры, отражающие геохимический профиль руд данного объекта.

КРАТКИЙ ОЧЕРК ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

В составе протерозойских комплексов Приколымского террейна преобладают относительно однородные толщи карбонатного и карбонатно-терригенного состава, сформированные на пассивной окраине Северо-Азиатского кратона в среднем рифее [27]. На них наложены верхнерифейские магматические образования рифтогенной бимодальной риолит-базальтовой ассоциации [23]. С размывом, обусловленным, предположительно, позднерифейским орогенезом [30], рифейские толщи перекрываются вендскими шельфовыми отложениями: субаркозовыми песчаниками, сланцами, доломитами. Докембрийские комплексы несогласно перекрываются неметаморфизованными терригенными, вулканогенно-осадочными и карбонатными породами палеозоя и позднеюрскими лагунно-молассовыми отложениями. Стратифицированные комплексы прорваны единичными интрузиями девонских и меловых гранитоидов, а также многочисленными дайками позднемеловых базитов.

Геологическая структура Приколымского террейна представляет собой пакет тектонических чешуй центриклинального падения [27]. Центральной части террейна соответствует динамометаморфический пояс [22, 25], сложенный протерозойскими образованиями, метаморфизованными в условиях зелено-

сланцевой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Метаморфизм носит зональный характер и относится к дистен-силлиманитовому фациальному типу высоких давлений [25].

Геологическое развитие Приколымского террейна характеризуется длительной и насыщенной событиями историей. В среднем рифее он представлял собой пассивную окраину Северо-Азиатского кратона [27]. На рубеже среднего и позднего рифея на пассивной окраине возник внутриконтинентальный рифт. Аккреционно-коллизийное взаимодействие Северо-Азиатского, Северо-Американского кратонов и Омолонского микрократона [2, 28, 30] привело к формированию динамометаморфического пояса; хронологические границы данного этапа точно не определены и укладываются в интервал от позднего рифея до позднего силура. С девона и до средней юры включительно Приколымский террейн развивался в режиме пассивной окраины Омолонского микрократона, осложнявшейся рассеянным внутриконтинентальным рифтогенезом. Дальнейшее геологическое развитие Приколымского террейна определялось аккреционно-коллизийными событиями на окраине Северо-Азиатского кратона, связанными с возникновением Яно-Колымского орогенного пояса [2]. Это формирование энсиалической островной дуги Уяндино-Ясачненского вулканогенного пояса в поздней юре и коллизия Приколымского террейна с Омолонским микрократоном в раннем мелу, которые привели к существенной перестройке всего структурного плана региона. В позднемеловое время террейн затронули процессы, связанные с формированием Балыгычано-Сугойского рифтогенного прогиба.

Сводный разрез верхнепротерозойских отложений, вскрытый на рассматриваемых участках, приведен на рис. 2.

Ороевская свита, залегающая в основании разреза рифея Приколымья, сложена кварц-хлоритоидными, в меньшей степени хлоритовыми сланцами. Текстура сланцев сланцеватая; структура лепидогранобластовая, порфиробластовая. Породы состоят из кварца, хлоритоида, хлорита, серицита, эпидота. Химический состав сланцев соответствует полимиктовым алевролитам и песчаникам [27]. Чебукулахскую серию среднего рифея слагают мраморизованные известняки и доломиты с прослоями пелитов. Они сложены главным образом карбонатами; примесные минералы (кварц, серицит, хлорит, гематит) группируются вдоль сланцеватости либо распределены по массе породы. Текстура пород сланцеватая, реже массивная, реликтивно-слоистая. Структура порфиробластовая, гетерогранобластовая. Перекрывающая юкагирская серия сложена преимущественно карбонат-хлорит-

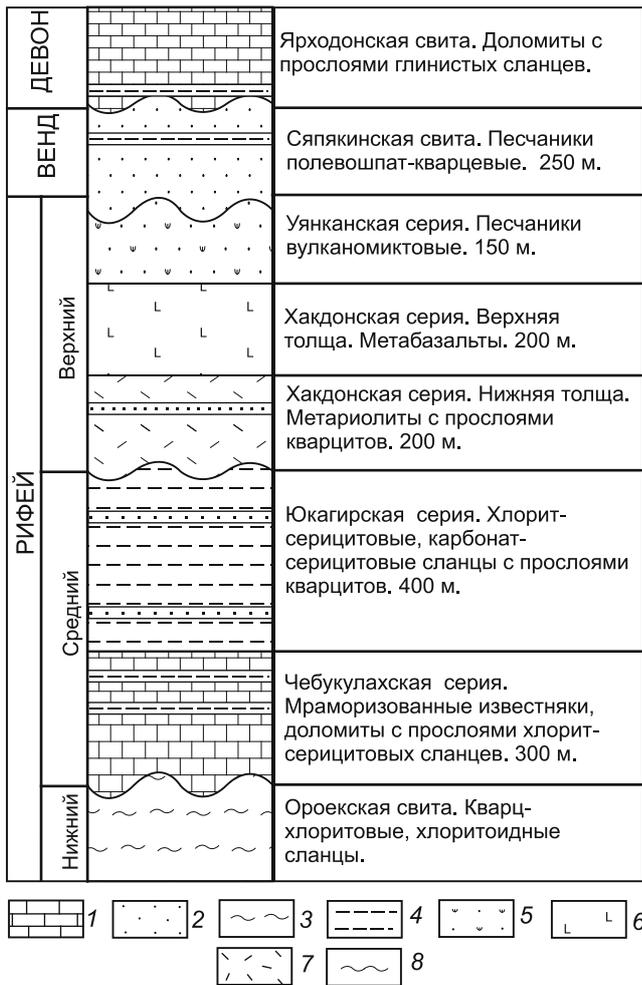


Рис. 2. Сводный разрез верхнепротерозойских отложений центральной части Приколымского террейна.

1 – известняки, доломиты, мраморы, 2 – песчаники, кварциты, 3 – сланцы слюдистые, 4 – сланцы и филлиты, 5 – песчаники вулканомиктовые, 6 – метабазальты, 7 – метариолиты, 8 – несогласия.

серицитовыми сланцами. Они имеют полосчато-сланцеватую, сланцевато-плойчатую текстуру, микролепидогранобластовую, порфиробластовую структуру. Сланцы сложены на 80–90 % хлоритом и серицитом в примерно равных пропорциях, а также кварцем (10–20 %), карбонатом (10–20 %). Химический состав сланцев (табл. 2) по классификации А.Н. Неелова [11] соответствует карбонатным алевролитам. Хакдонская серия подразделяется на нижнюю риолитовую и верхнюю базальтовую толщи. Риолиты имеют массивную и флюидальную текстуру, порфиоровую, гломеропорфиоровую структуру с размером вкрапленников 0.3–3.0 мм. Основная масса – кварц-полевошпатового состава, вкрапленники образованы кварцем, микроклином и плагиоклазом, их доля составляет 10–20 %; аксессуарные минералы представлены биотитом и

лейкоксомом. В зонах динамометафорфизма риолиты преобразованы до серицито-кварц-полевошпатовых сланцев с очково-сланцеватой, плойчатой текстурой и микролепидогранобластовой структурой. Базальты характеризуются такситовой и неясносланцеватой текстурой, призматическзернистой структурой. Сложены они призматическими кристаллами плагиоклаза в микрогранобластовом матриксе, состоящем из серицита, хлорита, реже кварца. По химическому составу и содержаниям малых элементов (табл. 2) риолиты хакдонской серии соответствуют внутриплитным гранитоидам, базальты – внутриплитным субшелочным базальтам. В различной степени метаморфизованные вулканомиктовые метапесчаники уянканской серии перекрывают вулканиты, а частично сменяют их по латерали. Рифейские образования несогласно перекрываются полевошпат-кварцевыми песчаниками сяпякинской свиты венда. Текстура песчаников слоистая, сланцеватая; структура бластосаммитовая, микролепидогранобластовая. Породы сложены обломочным кварцем (20–40 %), метаморфогенным кварцем (30–50 %), серицитом (20–40 %); доля аксессуарных минералов иногда достигает 5 %. Химический состав песчаников (табл. 2), по классификации А.Н. Неелова [11], соответствует субаркозам и олгигомиктовым псаммитолитам. В зонах динамометаморфизма песчаники преобразованы в серицит-кварцевые сланцы с плойчато-сланцеватой и тонкополосчатой текстурой и микролепидогранобластовой структурой; зоны наиболее высокоградного динамометаморфизма песчаников характеризуются образованием дистен-мусковит-кварцевых сланцев.

Набор аксессуарных минералов в породах всех рассматриваемых толщ сходный: циркон, рутил, ильменит, апатит, сфен, магнетит; в сланцах юагаирской серии к данному списку добавляется монацит.

Имеющиеся сведения о геохимии докембрийских комплексов Приколымья скупы. Для вендских песчаников отмечены кластогенные концентрации Fe, Ti, Zr, Nb [27], а также Cr (А.Г. Кац, 1976 г.). Метаморфические сланцы и метабазиты на севере Приколымского террейна характеризуются повышенными кларками концентрации Cu (1.7–3.9), Zn (1.3–2.4), Ag (1.5–2.2; [16]). Имеются также данные об обогащенности углеродсодержащих рифейских серицитовых сланцев в бассейне р. Каменка ванадием (А.Г. Кац, 1976 г.).

Кратко охарактеризуем геологическое строение рассматриваемых рудных объектов. Золоторудное месторождение Надежда относится к золото-редкометалльно-кварцевому типу. Рудные тела приурочены к замковым частям асимметричных антиклинальных складок, осложненных надвигами, и вмещаются пес-

чаниками сяпякинской свиты венда и развитыми по ним сланцами (рудная зона Главная) и метариолитами (рудная зона Северная) хакдонской серии. Они представляют собой пологие линзовидно-пластообразные залежи гидротермальноизмененных вмещающих пород, насыщенных прожилками лимонит-сульфидно-кварцевого состава. Среднее содержание золота в руде 3–7 г/т. Руды убогосульфидные; основной рудный минерал – пирит. Самородное золото высокопробное – 850–950 ‰. На периферии рудного поля на глубине более 150 м от поверхности вскрыта стратиформная свинцово-цинковая минерализация в окварцованных доломитах чебукулахской серии. Содержания (в г/т): Pb – 1572, Zn – 1268. Рудопроявление Глухой принадлежит к полиметаллическому жильному типу. Крутопадающие сульфидно-кварцевые прожилково-жильные зоны вмещаются метариолитами и метабазальтами хакдонской серии. Содержания достигают (в г/т): Au – 0.54, Ag – 34, Cu – 90000, Pb – 24000, Zn – 22000. Минерализация представлена пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, халькозином. Рудопроявление Тимша эпитептермального золото-серебряного типа вмещается мраморизованными известняками чебукулахской серии. Рудные тела приурочены к пологим надидам и представлены минерализованными брекчиями окварцованных известняков. Содержания достигают (в г/т): Au – 13, Ag – 300.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сведения о распределении химических элементов в породах верхнепротерозойских структурно-вещественных комплексов Приколымского террейна приведены в табл. 3. Анализ этих данных сводится к следующему.

Среди всех рассмотренных химических элементов наибольшей ролью характеризуется Sb, накопление которой характерно для всех изученных толщ за исключением сяпякинской свиты. Это определяет преимущественно халькофильную сиалическую геохимическую специализацию верхнепротерозойских толщ Приколымья. Вторым по значимости элементом является Mo, который накапливается в метабазальтах, вулканомиктовых метапесчаниках и доломитах; в метабазальтах и вулканомиктовых песчаниках также наблюдается накопление Fe, Mn и Zn. Данный факт дополняет характеристику геохимической специализации, делая ее сидеро-халькофильной. Метаэффу-

зивы хакдонской серии обогащены Ba, Nb, Zr, Y, что типично для вулканитов бимодальных ассоциаций эпиконтинентальных рифтов [24, 33]. Низкие концентрации V в карбонатных породах и метапелитах отражают их низкую углеродистость [32]. Повышенные максимальные концентрации Pb и Mo, наблюдаемые в карбонатных породах чебукулахской серии, являются характерными для шельфовых карбонатных отложений террейнов континентального типа [8].

Неравномерное распределение рудогенных элементов в горных породах и слагаемых ими формациях традиционно трактуется как следствие процессов мобилизации рудного вещества и признаков их потенциальной рудоносности, определяющий металлогенический профиль [15]. Количественной мерой при этом может являться повышенное значение стандартного множителя – более 2. Другим важным критерием рудоносности может являться состав геохимических ассоциаций [19], охарактеризованный в табл. 4. В этом контексте выделяется юкагирская серия, метапелиты которой профилированы на широкий спектр элементов, что сближает их с черносланцевыми формациями [31]. Четко прослеживается металлогеническая специализация на Cu и Ni метабазальтов хакдонской серии. По уровню средних содержаний Cu и Zn они сопоставимы с колчеданоносными базальтами УЯВП [6]. Специализацию базитов частично наследуют вулканомиктовые метапесчаники. Ассоциация Ni, Mo, Sb метариолитов отражает как их собственную геохимическую специфику, так и влияние базитовой составляющей. Весьма контрастно проявлена металлогеническая специфика доломитов чебукулахской серии на Pb, Zn и Cu при относительной «стерильности» известняков. Это является характерным для зон и узлов развития стратиформного полиметаллического оруденения [5, 21, 26]. Сидеро-литофильная геохимическая ассоциация Fe, Mn, (Co, Ni) является «сквозной» и наблюдается во всех изученных толщах. Халькофильная ассоциация Sb, (Pb, As), наблюдаемая в песчаниках и метабазальтах, с учетом низких концентраций данных элементов может отражать наличие рассеянной эпигенетической сульфидной минерализации.

Концентрации химических элементов и состав геохимических ассоциаций в песчаниках и развитых по ним последовательно серицит-кварцевых и дистен-мусковит-кварцевых сланцах не различаются.

Примечание к таблице 3. Здесь и далее: n – количество анализов, $C_{\text{геом}}$ – среднее геометрическое содержание, E – стандартный множитель, $C_{\text{макс}}$ – максимальное содержание, КК – кларк концентрации. Прочерк означает отсутствие данных. Содержания Fe, Co, Ni, Mo, Cu, Zn, As, Pb, Sb, Mn, V определены атомно-абсорбционным методом на ICP-OES (лаборатория ООО «Стюарт Геокемикл энд Эссей», г. Москва). Содержания Ba, Y, Zr, Nb определены рентгенофлуоресцентным анализом (лаборатория рентгеноспектрального анализа СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан), n = 29.

Таблица 3. Распределение химических элементов в верхнепротерозойских структурно-вещественных комплексах центральной части Приколымского террейна.

Элемент	Параметр	Порода, толща (количество анализов)									
		песчаники полево-шпат-кварцевые, сяпкинская свита (n = 205)	сланцы мусковит-кварцевые, сяпкинская свита (n = 120)	сланцы дистен-мусковит-кварцевые, сяпкинская свита (n = 50)	песчаники вулканомиктовые (n = 18)	метабазальты, хахлонская серия (n = 42)	метариолиты, хахлонская серия (n = 93)	сланцы хлорит-серпичитовые, юкагирская серия (n = 34)	доломиты, чебукулахская серия (n = 22)	известняки, чебукулахская серия (n = 111)	
Fe	C _{геом.} , г/т	1900	3200	2700	69300	77300	19500	30200	8300	4200	
	Е	1.2	2	1.5	1.1	1.2	1.6	1.9	1.7	1.5	
	C _{макс.} , г/т	6600	4800	5300	82900	96600	29900	88700	17100	16900	
Co	КК	0.1	0.1	0.1	1.6	1	0.6	0.7	0.5	0.3	
	C _{геом.} , г/т	0.6	0.8	0.8	44.7	36.7	1.7	12.8	1.7	2	
	Е	1.6	2.1	1.8	1.2	1.3	1.9	3.2	2.1	1.5	
Ni	C _{макс.} , г/т	5.5	9	3.6	54.3	46.4	4.8	50.1	3.9	8.9	
	КК	0	0	0	2.4	0.7	0.2	0.7	0.2	0.3	
	C _{геом.} , г/т	1.9	2	1.7	44.8	20.2	2.1	14.9	4	3.4	
Mo	Е	1.5	1.6	1.6	1.1	3	1.7	5.4	1.3	1.4	
	C _{макс.} , г/т	5.2	12.2	4.4	55.1	45.4	4.2	85.6	6.9	9.5	
	КК	0	0	0	0.4	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	
Cu	C _{геом.} , г/т	0.5	0.5	0.5	1.7	1.4	0.7	0.7	1	0.5	
	Е	1.1	1.1	1.2	1.3	1.6	2.1	1.6	1.9	1.1	
	C _{макс.} , г/т	1.1	1.1	1.2	2.8	2.8	23.3	2.2	3.5	1.2	
Zn	КК	0.4	0.4	0.4	1.1	1.2	0.6	0.4	1.1	0.6	
	C _{геом.} , г/т	2.9	1.8	2.1	15.1	22.1	2	2.8	1.2	3.1	
	Е	1.6	2.3	2.1	2.3	2.1	2	2.4	2.6	1.8	
As	C _{макс.} , г/т	16.6	15.9	8.5	72.7	72.8	15.9	34	7.1	7.9	
	КК	0.1	0	0	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	
	C _{геом.} , г/т	0.8	4.1	0.8	134.9	122	10	23.8	16.2	4.3	
Pb	Е	1.9	1.7	2.3	1.4	1.2	2.3	3.6	2.1	1.3	
	C _{макс.} , г/т	9.3	11.6	6.6	246.4	180.1	24.2	99.1	68.8	8.8	
	КК	0	0.1	0	1.1	1	0.1	0.2	0.3	0.1	
Sb	C _{геом.} , г/т	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.3	2.6	
	Е	1	1.1	1	1	1	1	1	1.6	1.2	
	C _{макс.} , г/т	2.5	9.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	8.6	7.5	
Mn	КК	0.3	0.3	0.3	0.2	0.8	0.4	0.2	0.2	0.1	
	C _{геом.} , г/т	1.3	1	1.1	2.9	2.1	1.5	2.9	7.8	1.5	
	Е	1.7	1.2	1.5	2	2.1	1.8	2.4	3	1.6	
V	C _{макс.} , г/т	19.6	3.5	8.9	7.9	12.2	9.8	18.1	70.7	4.4	
	КК	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0	0.1	0.6	0.1	
	C _{геом.} , г/т	2.7	2.7	2.7	3.8	3.9	2.6	2.7	4	3.5	
Ba	Е	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	1.2	1.4	1.8	1.7	
	C _{макс.} , г/т	12	12.1	19.9	9.8	14.2	7.2	10.7	13	12.8	
	КК	0.5	0.5	0.5	1.7	3.9	2.2	1.2	1.6	1.4	
Y	C _{геом.} , г/т	13.1	12.2	11.1	921.1	1110	135.6	309.3	1474.1	159.4	
	Е	1.3	1.8	1.6	1.2	1.2	1.8	3.7	1.4	2.1	
	C _{макс.} , г/т	65.5	97.9	24.8	1188.3	1789.5	357.8	1874.9	2994.2	1507.1	
Zr	КК	0	0	0	1.2	8.5	0.2	0.4	0.7	0.1	
	C _{геом.} , г/т	5	5.4	5	139.1	135	0.5	24.5	5	5	
	Е	1	1.4	1	1.1	1.4	1	2.8	1	1	
Nb	C _{макс.} , г/т	5	51.2	5	164.7	204.4	5	83.6	5	5	
	КК	0.1	0.1	0.1	0.8	0.6	0	0.1	0.2	0.2	
	C _{геом.} , г/т	-	-	110	-	575.1	581.1	-	-	-	
Ba	Е	-	-	1.3	-	2.1	1.9	-	-	-	
	C _{макс.} , г/т	-	-	644	-	1187	1394	-	-	-	
	КК	-	-	0.3	-	2.9	0.8	-	-	-	
Y	C _{геом.} , г/т	-	-	<5	-	38.7	38.9	-	-	-	
	Е	-	-	1	-	1.4	1.7	-	-	-	
	C _{макс.} , г/т	-	-	<5	-	57	69	-	-	-	
Zr	КК	-	-	<0.1	-	1.6	0.7	-	-	-	
	C _{геом.} , г/т	-	-	129	-	196	392	-	-	-	
	Е	-	-	1.1	-	1.4	1.5	-	-	-	
Nb	C _{макс.} , г/т	-	-	150	-	289	570	-	-	-	
	КК	-	-	0.9	-	1.8	2.3	-	-	-	
	C _{геом.} , г/т	-	-	<5	-	14.5	19	-	-	-	
Nb	Е	-	-	1	-	1.2	1.5	-	-	-	
	C _{макс.} , г/т	-	-	<5	-	17	26	-	-	-	
	КК	-	-	<0.1	-	2.1	1.4	-	-	-	

Таблица 4. Геохимические ассоциации верхнепротерозойских структурно-вещественных комплексов центральной части Приколымского террейна.

Толща, порода	Ассоциации
Сяпякинская свита. Полевошпат-кварцевые песчаники	1) Fe, Co, Ni, Mo, Cu, Zn, Mn 2) Pb, Sb
Сяпякинская свита. Серицит-кварцевые сланцы	1) Fe, Co, Ni, Mo, Cu, Mn, V 2) As, Sb
Сяпякинская свита. Дистен-мусковит- кварцевые сланцы	Co, Ni, Zn, Cu, Mn
Уянканская серия. Вулканомиктовые метапесчаники	1) Co, Mo, Mn 2) Fe, Pb, Sb 3) Ni, Zn 4) V, Cu
Хакдонская серия. Метабазальты	1) Fe, Zn, Mn 2) Co, Mo, V 3) Ni, Cu 4) Pb, Sb
Хакдонская серия. Метариолиты	Ni, Mo, Sb
Юкагирская серия. Хлорит-серицитовые сланцы	1) Fe, Co, Ni, Zn, Pb, Mn, V 2) Cu, Mo
Чебукулахская серия. Доломиты	1) Fe, Co, Ni, Mn 2) As, Cu 3) Pb, Zn
Чебукулахская серия. Известняки	Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mn

Таким образом, сколь-нибудь значимого перераспределения рудного вещества при динамометаморфизме не наблюдается. Исключением является незначительное обеднение дистеновых сланцев Mn.

Геохимическая специализация и металлогения рудных систем, как известно, определяется составом вмещающих пород [10, 15, 18]. Применительно к орогенным золоторудным месторождениям зависимость состава их руд от состава вмещающих пород детально рассмотрена, в частности, Э.П. Спиридоновым и П.А. Плетневым [20]. Распределение химических элементов в эпигенетических рудах Приколымья (табл. 5) и геохимические ассоциации руд (табл. 6) отражают специализацию вмещающих толщ. Вмещаемые нерудоносными вендскими песчаниками рудные тела Главной рудной зоны месторождения Надежда характеризуются накоплением единственного из рассматриваемых элементов – As, ассоциирующего с Cu и Mo; все геохимические ассоциации (за исключением «сквозной» сидеро-литофильной) здесь являются новообразованными. В контраст, рудные тела Северной зоны характеризуются концентрацией Sb, Mo, Co, что коррелирует с геохимической ассоциацией вмещающих метариолитов. Геохимический спектр рудопроявления Глухой и состав геохимических ассоциаций в его рудах в полной мере отражают специализацию вмещающих рифтогенных вулканитов – метабазитов (Ni, Co, Cu, Zn) и метариолитов (Pb, Sb, Mo) – на Cu, Zn, Ni, Mo. В наибольшей степени влияние геохимии вмещающих пород характерно для стратиформной свинцово-цинковой минерализации, наследующей металлогенический профиль и состав геохимических ассоциаций доломитов. В то же время, практически стерильные в отношении рудогенных элементов известняки не оказывают никакого влияния на состав руд вмещаемого ими рудопроявления Тимша. Ранее отмечалась также повышенная сурьмянистость вмещаемых карбонатными породами стратиформных

Таблица 5. Геохимия рудных объектов центральной части Приколымского террейна.

Параметры рудопроявлений	Толща, порода					
	Сяпякинская свита. Песчаники	Хакдонская серия. Метариолиты	Юкагирская серия. Хлорит-серицитовые сланцы	Хакдонская серия. Метабазальты	Хакдонская серия. Метабазальты	Чебукулахская серия. Доломиты
Геолого-генетический тип	золото-редко-металльно-кварцевый	золото-редко-металльно-кварцевый	золото-редко-металльно-кварцевый	золото-редко-металльно-кварцевый	полиметаллический жильный	свинцово-цинковый в карбонатных толщах
Геохимический спектр руд (КК>1)	Au-Pb-As-Cu-Zn-Co-Ag-Bi-Mo	Au-Mo-Co-Cu-As	Au-Ag-Pb-Sb-Bi-As-Cu	Au-Cu-Pb-Ag-As-Zn-Bi-Ni-Mo	Ag-Cu-Pb-Au-As-Mo-Sb	Pb-Ag-Zn-Cd-Ba-As-Mn-Co
Примеры рудопроявлений	Надежда*	Надежда**	Глухаринское	Сохатиное	Глухой	Надежда***

Примечание. * – Главная рудная зона месторождения, ** – Северная рудная зона месторождения, *** – вскрытая на глубоких горизонтах месторождения минерализация.

Таблица 6. Геохимические ассоциации руд месторождений и рудопроявлений центральной части Приколымского террейна.

Месторождение, рудопроявление	Ассоциации
Надежда, рудная зона Главная	1) Fe, Co, Ni, Zn, Mn, V 2) Pb, Sb 3) As-Cu-Mo
Надежда, рудная зона Северная	1) Fe, Cu, Zn, Mn, V 2) As, Co, Mo 3) Pb, Sb
Глухой	1) Co, Mn 2) Cu, Ni 3) Fe, As, Pb, Zn, Sb
Надежда (глубокие горизонты)	1) Fe, Co, Ni, Mo, Zn, Mn, V 2) Pb, Cu, As
Тимша	1) Fe, Co, Ni, Mo, Cu, Zn, Mn, V 2) As, Sb 3) Pb, Mo

полиметаллических руд на восточном фланге Приколымского террейна [7].

Геохимическая эволюция Приколымского террейна в рифейское время характеризуется накоплением халькофильных элементов и ослаблением сидерофильности. Подобная тенденция характерна для рифейских формаций восточной части Северо-Азиатского кратона и его обрамления [1]. Наблюдается в вендских отложениях Приколымья также характерное для формаций венда Северо-Азиатского кратона рассеяние халько- и сидерофильных элементов и образование кластогенных концентраций литофильных элементов, источником сноса для которых являлись анортозитовые комплексы [27]. Преобладание в верхнепротерозойских толщах Приколымского террейна сиалических элементов и дефицит фемических указывают на зрелый характер континентальной коры региона в эпоху их накопления и участие при этом главным образом корового вещества. Сходство геохимического облика Приколымского террейна и восточной окраины Северо-Азиатского кратона [1] свидетельствует о принадлежности их на позднепротерозойском этапе геологического развития к единой геохимической области.

Унаследованность геохимической специализации структурно-вещественных комплексов и руд характерна для активных в тектоническом отношении структур [17]. В пределах Приколымья она проявлена на длительном временном интервале – от рифея до позднего мезозоя. Это позволяет рассматривать Приколымский террейн в качестве достаточно мобильной структуры, длительная и насыщенная событиями история геологического развития которой отразилась

в геохимической специализации пород и руд. В данном контексте этапы формирования геологической структуры Приколымья должны параллелизоваться с этапами геодинамического развития Северо-Азиатского кратона (в докембрии и раннем палеозое) и Яно-Колымского орогенного пояса (начиная с позднего палеозоя). Это может определять сходные состав и характер фанерозойского магматизма и металлогении и весьма важно как в теоретическом, так и в прикладном аспектах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Позднепротерозойские структурно-вещественные комплексы Приколымского террейна характеризуются халькофильной геохимической специализацией.

Сиалический тип геохимической специализации и общий дефицит фемических элементов указывают на достаточно зрелый характер континентальной коры Приколымья в позднем протерозое.

Эпигенетическая минерализация наследует геохимическую специализацию вмещающих позднепротерозойских комплексов, что указывает на активное тектоно-магматическое развитие Приколымского террейна на протяжении позднего докембрия и фанерозоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Восточная Сибирь // Геология и полезные ископаемые России: В 6 т. Т. 3. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2002. 396 с.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн.2. С. 573–981.
3. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 210 с.
4. Григорьев Н.А. О кларковом содержании химических элементов в верхней части континентальной коры // Литосфера. 2002. № 1. С. 61–71.
5. Давыдов Ю.В. Эпигенез карбонатных пород в системе «рудная залежь – вмещающие породы» на стратиформных свинцово-цинковых месторождениях (Саха-Якутия) // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 3. С. 427–434.
6. Дылевский Е.Ф. Колчеданосность вулканических ассоциаций (на примере вулканических комплексов центральных районов Северо-Востока России) // Стратиформное оруденение осадочных и осадочно-вулканогенных формаций Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1996. С. 61–81.
7. Костин А.В., Тыллар В.И. Сингенетический пирит стратиформных свинцово-цинковых месторождений Кыллахской и Каменской рудоносных площадей // Минералогическо-геохимические аспекты магматизма и оруденения Якутии. Якутск: Науч. центр СО РАН, 1993. С. 171–176.
8. Летникова Е.Ф. Использование геохимических характеристик карбонатных пород при палеогеодинамических реконструкциях // Докл. РАН. 2002. Т. 385, № 5. С. 672–676.
9. Моросанова С.А., Прохорова Г.В., Семеновская Е.Н. Ме-

- тоды анализа природных и промышленных объектов. М.: Изд-во МГУ, 1988. 95 с.
10. Наумов Г.Б., Ермолаев Н.П., Моторина З.М., Никитин А.А., Соколова Н.Т., Цимбал Л.Ф. Геохимическая роль и место рудоподготовительных процессов в моделях эпигенетического рудообразования // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Т.1. Новосибирск: Наука, 1983. С. 34–42.
 11. Неелов А.Н. Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканических пород. Л.: Наука, 1980. 100 с.
 12. Ножкин А.Д., Ковалев С.В., Мельгунов С.В., Пузанков Ю.М. Геохимическая типизация блоков континентальной коры как основа металлогенического анализа // Геохимия рудообразующих систем и металлогенический анализ. Новосибирск: Наука, 1989. С. 22–47.
 13. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1989. 528 с.
 14. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные породы. Изд. третье, испр. и доп. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.
 15. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений: Методические рекомендации / Под ред. А.А. Смыслова, В.А. Рудника, Н.М. Динкова, А.И. Панайотова. Л.: Недра, 1979. 247 с.
 16. Протопопов Р.И. Девонские и меловые гранитоиды Приколымского поднятия. Якутск: Изд-во АН Респ. Саха (Якутия), 2010. 147 с.
 17. Рундквист Д.В. Эпохи реювенации докембрийской коры и их металлогеническое значение // Геология руд. месторождений. 1993. Т. 35, № 6. С. 467–492.
 18. Сидоров А.А. Рудные формации фанерозойских провинций. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1987. 85 с.
 19. Соколов С.В. Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения. СПб: МПР РФ, 1998. 154 с.
 20. Спиридонов Э.М., Плетнев П.А. Месторождение медистого золота Золотая гора (о «золото-родингитовой» формации). М.: Науч. мир, 2002. 220 с.
 21. Справочное пособие по стратиформным месторождениям / Под ред. Л.Ф. Наркелюна, А.И. Трубачева. М.: Недра, 1990. 391 с.
 22. Ткаченко В.И., Щербакова И.П. О строении и метаморфизме докембрия Приколымья // Метаморфические комплексы Северо-Востока СССР, их рудоносность и геологическое картирование. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1991. С. 74–87.
 23. Ткаченко В.И., Березнер Д.С. Позднерифейский рифтогенный терригенно-вулканогенный комплекс Восточного Приколымья // Отеч. геология. 1995. № 2. С. 37–44.
 24. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. М.: Изд-во МГУ, 1997. 320 с.
 25. Шишкин В.А. Метаморфический комплекс Приколымского поднятия. М.: Наука, 1979. 111 с.
 26. Шпикерман В.И. Полиметаллическое оруденение Омудевского поднятия (Северо-Восток СССР). Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. 164 с.
 27. Шпикерман В.И. Домеловая минерагения Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 333 с.
 28. Шпикерман В.И., Горячев Н.А., Егоров В.Н. О силурийском тектогенезе, магматизме и метаморфизме на Северо-Востоке Азии // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Т. 1. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. С. 102–103.
 29. Щербаков Ю.Г. Геохимическая классификация элементов // Докл. АН СССР. 1965. Т. 164, № 4. С. 917–920.
 30. Щербакова И. П., Березнер О.С., Беус В.А., Ткаченко В.И. Дорифейский метаморфический комплекс в Приколымье // Магматические и метаморфические комплексы Северо-Востока СССР и составление Госгеолкарты-50. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1988. С. 75–76.
 31. Юдович Я.Е., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. 304 с.
 32. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.
 33. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Рифтогенный магматизм активных континентальных окраин и его рудоносность. М.: Наука, 1991. 263 с.
 34. Ярошевский А.А. Применение математики в геохимии: некоторые типы задач и методы решения // СОЖ. 1996. № 7. С. 67–73.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

A.N. Glukhov

Geochemical specialization of Upper Proterozoic complexes of the Prikolymian Terrane, NE Russia

The paper considers the distribution of the base metal chemical elements in the Upper Proterozoic structural-matter complexes of the Prikolymian Terrane, NE Russia. Their chalcophylic geochemical specialization was established. Based on the sialic type of geochemical specialization, the maturity of the continental crust in the Upper Proterozoic was suggested. It was shown that epigenetic mineralization inherited the geochemical specialization of the enclosing Late Proterozoic complexes. This fact is evidence of active tectono-magmatic evolution of the Prikolymian Terrane in the Phanerozoic time.

Key words: Proterozoic, geochemical specialization, mineralization, Prikolymian Terrane, NE Russian.