

УДК 551.72; 551.24.056

ГЕОХИМИЯ, ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ И РУДОНОСНОСТЬ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИАНГАРЬЯ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

© 2021 г. А. Д. Ножкин¹, П. С. Козлов², И. И. Лиханов^{1,*},
академик РАН В. В. Ревердатто¹, А. А. Крылов¹

Поступило 14.03.2021 г.

После доработки 02.08.2021 г.

Принято к публикации 31.08.2021 г.

В приангарской части Енисейского кряжа установлен последовательный разрез метапикрит-базальтовой толщи и залегающих выше карбонатных пород горевской свиты, рассматриваемый в качестве единого вулканогенно-осадочного комплекса, сформированного на рубеже позднего мезопротерозоя—раннего неопротерозоя в рифтогенном окраинно-континентальном палеобассейне на юго-западе Сибирского кратона. В разрезе нижней части нижнеречинской толщи преобладают метаморфизованные пикробазальты и пикриты, в средней и верхней — базальты, рудовмещающие Pb—Zn-минерализацию (Степановское рудопроявление). Произшедший в позднем мезопротерозое—раннем неопротерозое рифтогенез земной коры Приангарья привел к раскрытию окраинно-континентального морского бассейна, в котором субсинхронно происходили базальт-пикритовый вулканизм и накопление терригенно-карбонатных, в том числе рудоносных отложений горевской свиты, вмещающих Горевское Pb—Zn-месторождение. Палеобассейн интерпретируется как реликтовый рифтогенной природы на западной окраине Сибирского кратона, а вулканогенно-осадочная нижнеречинская толща — как нижний потенциальный стратоевровень полиметаллического оруденения в Горевском рудном поле.

Ключевые слова: пикриты, базальты, петрогеохимия, горевская свита, рудоносность, рифтогенный окраинно-континентальный бассейн, Приангарье, Енисейский кряж

DOI: 10.31857/S2686739721120082

В течение длительного времени, на протяжении одного миллиарда лет (1740–650 млн лет), в пределах Енисейского кряжа формировались рифтогенные структуры, сопровождавшиеся внутриплитным магматизмом и развитием осадочных депрессий [1–3]. Наиболее интенсивно и многократно проявился рифтогенный и внутриплитный магматизм в поздний неопротерозойский этап в Татарско-Ишимбинской зоне разломов [1, 4–7]. В этой же зоне сосредоточены проявления мезопротерозойского вулканизма, а также крупные золоторудные, редкометалльные и урановые месторождения и рудопроявления.

В качестве объекта данного исследования выбраны контрастная по литолого-петрографическому составу малоисследованная метапикрит-базальтовая с пиллоу-лавами толща района р. Нижняя (левый приток р. Енисей) и залегающие стратиграфически выше карбонатные породы горевской свиты неопротерозоя в междуречье Ангара-Тасеевой-Енисея-Бол. Сплошной (приангарская часть Енисейского кряжа). Рассматриваемый район вызывает повышенный практический и научный интерес, поскольку в его пределах в карбонатных породах эксплуатируется уникальное Горевское свинцово-цинковое стратиформное месторождение, входящее в группу месторождений “мирового класса”. Имеющиеся геологические и геохимические данные указывают на то, что оно относится к классу массивных сульфидных Zn—Pb-месторождений типа SEDEX (sedimentary exhalative), сформированных во внутриконтинентальных рифтах или рифтовых бассейнах [8].

Цель настоящей статьи: показать строение разреза метапикрит-базальтовой толщи, ее взаи-

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск, Россия

² Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

*E-mail: likh@igm.nsc.ru

моотношение с карбонатными породами горевской свиты и положение в схеме стратиграфии докембрия Енисейского кряжа, установить геохимические особенности вулканитов и сделать выводы о времени и обстановках их формирования и проявлениях Pb–Zn-минерализации.

Исследуемый район расположен в Приангарье, к северу от Ангарского разлома [9] (рис. 1). В тектоническом плане это южная часть Ангаро-Тисского прогиба (синклинория), сложенного неопротерозойскими осадочными и вулканогенно-осадочными комплексами тунгусикской, ширококинской и орловской серий [10], залегающими на гнейсах, кристаллических сланцах и филлитах горевской толщи, тейской и сухопитской серий палео- и мезопротерозоя. Гнейсово-сланцевое кристаллическое основание Приангарья рассматривается как Нижнеангарский стабилизированный блок на северном продолжении Ангаро-Канского выступа Енисейского кряжа. Эти структуры разделяются Ангарским субширотным глубинным разломом, который пересекается серией поздних дизъюнктивов Ишимбинско-Татарской региональной сдвиговой зоны с широким развитием бластомилонитов. С запада Приангарский блок ограничен Приенисейской региональной сдвиговой зоной. Среди дофанерозойских складчатых комплексов докембрия в геологическом строении территории Приангарья широкое участие принимают осадочно-метаморфические толщи сухопитской серии среднего рифея, сложенные разнообразными кристаллическими сланцами, филлитами и кварцитами, коррелируемыми с терригенными толщами горбилоской, удерейской и погорюйской свит Заангарья Енисейского кряжа. Стратиграфически выше этих образований несогласно залегает вулканогенная метапикрит-базальтовая толща, являющаяся объектом настоящих исследований. Она картируется в ядре Степановской антиклинали в виде полосы (26×5 км) северо-восточного направления, вскрытой преимущественно в левобережной части р. Енисей (рис. 1). С породами сухопитской серии вулканогенная толща имеет преимущественно тектонические границы. В свою очередь разрез среднего рифея перекрывается неоднородно-метаморфизованной толщей углеродистых сланцев и карбонатных пород горевской свиты ширококинской серии неопротерозоя [11]. Горевская свита подразделяется на три подсвиты: нижняя образована углеродистыми сланцами с аутигенным пиритом, известняками, доломитами, рудоносными сидеритами и силицитами, известняками доломитовыми; средняя представлена известняками, известняками с карбонатными и кремнистыми конкрециями, доломитами; верхняя подсвита сложена известняками, слюдястыми известняками, известково-слюдястыми сланцами. Суммарная мощность свиты около 2000–2410 м. Литоло-

гические и структурные особенности осадочных отложений горевской свиты позволили реконструировать обстановку седиментации как проксимальную присклоновую [12], что подтверждается широким развитием карбонатных турбидитов, наличием оползневых брекчий и текстур осадочных деформаций [13]. Pb–Pb-возраст карбонатных пород горевской свиты ширококинской серии с учетом Sr-хемостратиграфии составляет 1020 ± 70 млн лет [12].

Терригенно-карбонатные толщи мезо- и неопротерозоя (средний-поздний рифей) метаморфизованы и образуют приангарский полиметаморфический комплекс неопротерозойского возраста. Степень метаморфизма пород варьирует от уровня фации зеленых сланцев до эпидот-амфиболитовой фации андалузит-силлиманитовой фациальной серии низких давлений [14]. Наиболее древними магматическими образованиями являются геохронологически недатированные метапикриты и metabазальты с прослоями подушечных лав и карбонатных пород. Метаморфизм этих пород в раннем неопротерозое на рубеже около 800 млн лет отвечал условиям эпидот-амфиболитовой фации до низов амфиболитовой фации. Постгринвильские события в регионе коррелируются с аккреционно-коллизийными процессами вальгальской складчатости с пиками орогенеза 810–790 и 730–720 млн лет [5, 6].

В приангарской части Енисейского кряжа установлен последовательный разрез метапикрит-базальтовой толщи и залегающих выше карбонатных пород горевской свиты. Данный разрез рассматривается в качестве стратиграфически единого вулканогенно-осадочного комплекса, сформированного на рубеже позднего мезопротерозоя–раннего неопротерозоя в рифтогенном окраинно-континентальном палеобассейне на юго-западе Сибирского кратона. Метапикрит-базальтовую толщу предлагается ввести в легенду стратиграфии ширококинской серии западной части Енисейского кряжа под названием “нижнеречинская толща”. В изученном разрезе в нижней части этой толщи преобладают метаморфизованные пикриты и пикробазальты, в средней и верхней – базальты, рудовмещающие Pb–Zn-минерализацию (Степановское рудопроявление). На границе с карбонатными отложениями горевской свиты наблюдаются чередование вулканогенных пород и терригенно-карбонатных осадков и развитие силлов metabазальтов, что подтверждает единство вулканогенно-осадочного комплекса, сложенного в нижней части нижнеречинской пикрит-базальтовой толщей, а в верхней горевской терригенно-карбонатной свитой. Петрохимический и редкоэлементный состав метавулканитов пикрит-базальтовой толщи имеет общие близкие черты, что свидетельствует о парагенетической связи этой ассоциации высокомагнези-

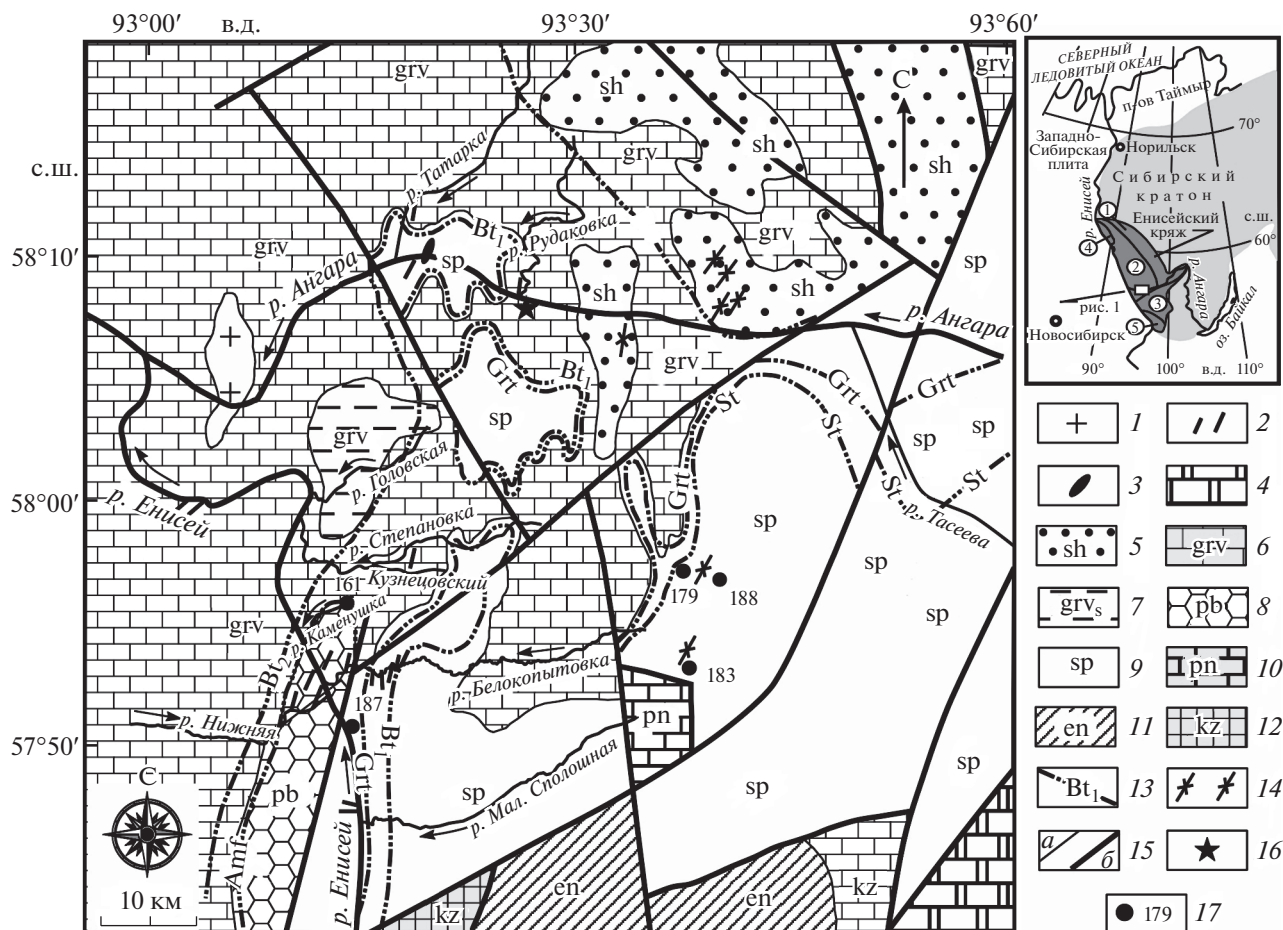


Рис. 1. Схема геологического строения дофанерозойских образований междуречья Ангары-Енисея-Тасеевой (составлена по материалам глубинного геологического картирования 1:200000 Ангарской ГРЭ ПГО «Красноярскгеология»); на врезке – положение Енисейского кряжа, района работ и тектонических блоков: 1 – Восточный и 2 – Центральный Приангарско-Заангарского сегмента; 3 – Южно-Енисейский (Ангаро-Канский) сегмент, 4 – Исаковский и 5 – Предивинский островодужные террейны. 1 – гранитоиды глушихинского комплекса; 2–3 – ведугинский комплекс: дайки долеритов (2), диабазы с гранатом (3); 4 – неметаморфизованные осадочные образования верхнерифейско-вендского возраста. Неoproterозойские осадочно-метаморфические образования зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций, верхний рифей: 5–7 – широкинская серия, свита сухого хребта (sh) – метапесчаники, филлиты, кварциты (5), 6–7 – горевская свита: известняки кристаллические, мраморизованные, доломиты, сидериты и силициты рудоносные (grv) (6), углеродистые сланцы с пиритом (grvs) (7); 8 – метапикробазальты и metabазальты с прослоями карбонатно-слюдисто-графитовых пород (нижнеречинская толща, pb); 9 – мезoproterозойские осадочно-метаморфические образования, нижний-средний рифей: сухопитская серия, нерасчлененная – филлиты, кварциты, слюдяные кристаллические сланцы с гранатом, ставролитом, андалузитом (sp); 10 – палеoproterозой – тейская серия, пенченгинская свита – мраморы, сланцы кристаллические (pn); 11–12 – высокометаморфизованные толщи амфиболитовой и гранулитовой фаций Ангаро-Канского выступа: 11 – нижнеproterозойские гнейсы енисейской серии (en), 12 – архейские гнейсы и чарнокиты кузеевской толщи (kz); 13 – изограды индекс-минералов метаморфизма низких и умеренных давлений: биотита, ранняя (Bt₁), поздняя (Bt₂); Amf-амфибола, Grt-граната, St-ставролита; 14 – локальное проявление кианит-хлоритоидных и кианит-гранатовых бластомилонитов; 15 – геологические границы (a), разломы (б); 16 – Горевское Pb–Zn-месторождение; 17 – номера скважин глубинного бурения.

альных пород (табл. 1). Для них характерны повышенная титанистость и железистость, metabазальты и метагабброиды отличаются заметно повышенной щелочностью и содержанием P₂O₅. По общей щелочности metabазальт-пикробазальты уклоняются от нормального петрохимического ряда в сторону субщелочного, что коррелирует с их повышенной титанистостью. Среди них встречаются более обогащенные щелочами, особенно кали-

ем (K₂O от 3.0 до 4.2 мас. %), базиты, которые по составу отвечают трахибазальтам. Породы высокотитанистые (TiO₂ = 3.0–3.4 мас. %) с повышенным содержанием P₂O₅ до 0.5 мас. %. Содержания несовместимых редких элементов отчетливо возрастают от пикритов к базальтам, достигая максимума в трахибазальтах, которые в 1.5–3 раза обогащены высокорядными элементами по сравнению с базальтами. Наиболее убедительно

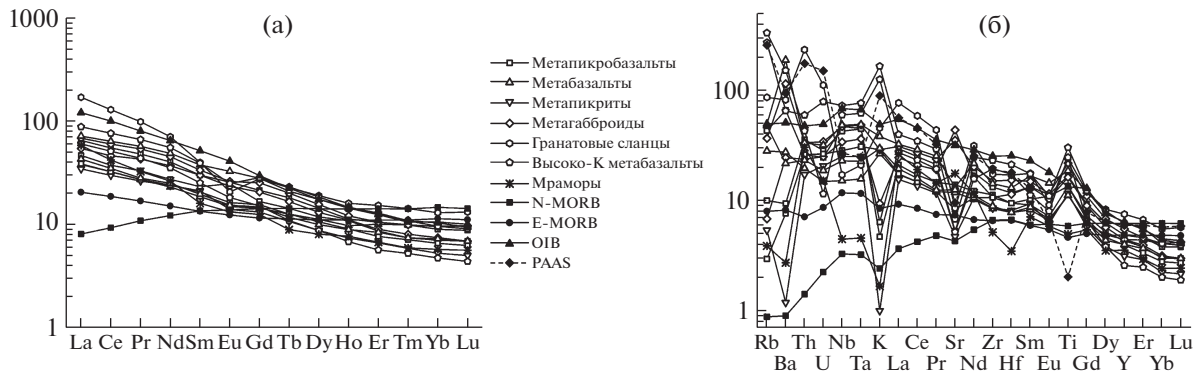


Рис. 2. Спектры распределения редкоземельных элементов, нормированные к хондриту (а) [15], и спайдер-диаграмма содержания микроэлементов, нормированных к составу примитивной мантии (б) [16], для метабазитов, трахибазальтов и гранат-биотитовых кристаллических сланцев и мраморов Приангарья в сравнении с основными разновидностями базальтов: N-MORB, E-MORB и OIB [16].

на парагенетическое единство рассматриваемой ассоциации указывают данные о распределении РЗЭ, которые демонстрируют удивительное сходство спектров: $(La/Yb)_n = 6-7$ при $Eu/Eu^* = 0.9-1$ (табл. 1; рис. 2 а).

Породы метапикрит-базальтовой толщи имеют хорошо фракционированные мультиэлементные распределения, занимающие промежуточное положение между спектрами OIB и E-MORB базальтами (рис. 2 б). В пикритах отмечается максимальная концентрация Cr, Co и Ni, которая уменьшается в пикробазальтах, а затем в базальтах, коррелируя со снижением в них содержания MgO (табл. 1). В пикритах минимальные содержания несовместимых редких элементов: Rb, Cs, Ba, Sr, Zr, Hf, Nb, Ta, Th и U. Эти величины заметно возрастают в пикробазальтах, базальтах и габброидах. За исключением пикритов, содержание Sc и Y в других породах рассматриваемой ассоциации по существу не меняется. Следует указать и на существенную (в 2–4 раза) обогащенность метагабброидов V и Sr. От метабазитов нормальной ряда резко отличаются высококалийевые, высокотитанистые субщелочные метавулканиды-трахибазальты, которые в 4–8 раз обогащены Rb, Cs, и в 1.5–3 раза Ba и высокозарядными элементами — Zr, Hf, Nb, Ta, Th и U. В них также повышена величина примеси Cr и Ni, в меньшей мере Co. В целом мультиэлементные спектры характеризуются преимущественным отсутствием деплетирования Nb и Ta относительно Th и легких РЗЭ (рис. 1б), что является типичным для внутриплитных базальтов, в частности, базальтов континентальных рифтовых зон, связь которых с глубинными мантийными источниками и плюмами является наиболее обоснованной [17]. Геодинамическая принадлежность этих пород к группе внутриплитных базальтоидов подтверждается использованием известных диагностических диаграмм (рис. 3).

В карбонатных породах спектры РЗЭ в целом сходны с таковыми в метавулканитах, очевидно за счет примеси туфогенного материала, но содержание тяжелых РЗЭ в них заметно ниже, а $(La/Yb)_n$ естественно выше. В гранат-биотитовых сланцах, переслаивающихся с мраморизованными карбонатными породами, спектр РЗЭ аналогичный таковому в постархейских глинистых сланцах Австралии (PAAS) [20], но в сравнении с PAAS они более обогащены РЗЭ, Y, Th, Hf, а также V, Cr, Co и Ni (рис. 2 б). Повышенная концентрация высокозарядных элементов в сланцах может быть унаследована от пород Ангаро-Канского гранулитогнейсового основания, обогащенного этими элементами [3], которое размывалось в период формирования рифейских толщ. Элементы группы железа очевидно привнесены в глинистые осадки в процессе пикрит-базальтового вулканизма. Все это свидетельствует о синхронности проявления вулканизма и терригенно-карбонатного осадко-накопления.

Проведенные исследования имеют важные геодинамические следствия. Произшедшее в позднем мезопротерозое–раннем неопротерозое растяжение, рифтогенез земной коры Приангарья обусловили развитие зоны базитового вулканизма с ассоциацией высокомагнезиальных пород и раскрытие окраинно-континентального морского бассейна. В этом палеобассейне накапливались терригенно-карбонатные, в том числе рудоносные (Pb–Zn) отложения горевской свиты, вмещающие Горевское свинцово-цинковое месторождение. В ранний этап в зоне рифтогенеза осуществлялось извержение туфов, туфобрекчий и лавобрекчий пикробазальтов и пикритов, излияние лав и пиллоу-лав базальтов и пикритов, местами в чередовании вулканитов с терригенно-карбонатными осадками. В последующее время, судя по строению разреза, преобладал базальтовый вулканизм. По окраинам зоны вулканизма

Таблица 1. Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в метавулканогенных породах, метатерригенных сланцах и мраморах нижней части разреза нижнеречинской толщи

Элемент	1			2		3			4	5		6	7
SiO ₂	44.44	45.81	41.77	46.13	40.24	44.47	42.28	43.15	37.85	45.85	42.75	59.04	18.66
TiO ₂	1.33	3.12	1.57	3.03	3.36	1.94	2.51	1.55	1.62	2.50	4.67	1.12	0.17
Al ₂ O ₃	14.16	14.49	12.41	17.05	18.16	9.6	11.25	10.79	7.88	15.91	14.40	15.17	3.01
Fe ₂ O ₃	2.37	13.22	12.90	18.94	7.33	1.66	1.41	3.11	5.03	1.87	4.16	11.64	4.56
FeO	9.32	—	—	—	—	8.75	10.34	8.48	8.75	7.69	9.89	—	—
MnO	0.18	0.13	0.14	0.08	0.14	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.15	0.29
MgO	9.16	8.98	8.47	3.42	2.11	14.27	17.56	16.63	24.07	9.06	7.21	4.02	6.72
CaO	10.26	5.70	13.99	5.55	13.89	11.56	7.06	7.85	6.66	10.65	10.59	5.34	34.01
Na ₂ O	2.83	3.75	1.11	0.31	0.67	2.94	1.31	2.32	0.38	2.49	3.29	1.42	0.62
K ₂ O	0.79	1.13	0.88	3.71	4.88	0.14	0.19	0.86	0.03	0.28	0.86	1.35	0.05
P ₂ O ₅	0.2	0.49	0.17	0.35	0.52	0.37	0.3	0.27	0.23	0.32	0.33	0.14	0.04
ППП	4.95	2.10	5.21	1.19	7.38	4.15	5.55	5.04	7.94	3.21	1.77	0.19	31.7
Сумма	99.9	99.77	99.60	99.89	99.70	100.0	100.0	100.2	100.0	100.0	100.0	99.97	99.9
Sc	30	33	25	26	34	27	33	25	19.3	33	26	27	5.50
V	202	283	182	123	306	196	280	182	199	281	690	242	32.3
Cr	551	125	690	533	757	553	828	834	1600	63	26	176	24.9
Co	54	40	62	44	95	60	71	76	101	24	58	37	25.0
Ni	190	51	394	348	265	349	388	482	789	81	49	60	131
Rb	17.7	31	30	207	169	1.87	6.3	27	3.40	4.30	23	54	2.45
Sr	248	277	262	109	142	291	111	174	99	910	736	179	367
Y	20	29	18.1	11.7	28	19.6	22	17.9	14.2	20	25	34	16.9
Zr	94	158	99	216	256	125	147	118	95	119	167	192	57.7
Nb	10.7	34	16.20	42	51	33	30	20	17.7	24	33	12.1	3.18
Cs	1.98	8.20	3.60	20	9	0.64	3	8.20	0.24	2.50	5.40	0.69	0.20
Ba	190	1290	150	104	450	53	65	454	8.3	169	790	564	19
La	11.7	22	13.2	18.5	27	14.3	20	11.9	10.6	16.7	21	52	17.82
Ce	26	51	28	41	61	30	44	26	24	37	48	103	33.69
Pr	3.3	6.9	3.4	5.3	8	4	5.8	3.3	3.2	5.2	6.5	11.9	3.94
Nd	13.7	29	14.9	21	33	16.3	24	14.3	14.2	22	27	42	15.66
Sm	3.6	7.3	3.8	4.90	7.6	4.5	5.8	4	4.1	5.8	6.5	7.7	3.11
Eu	1.1	2.4	1.13	1.34	1.83	1.82	1.89	1.20	1.03	1.72	1.92	1.52	0.98
Gd	3.7	7.2	3.8	3.9	7.3	4.3	5.5	4	3.4	5.3	6.5	7.10	3.23
Tb	0.59	0.98	0.55	0.51	1.08	0.67	0.85	0.59	0.50	0.78	0.94	1.06	0.42
Dy	3.6	5.60	3.20	2.80	5.90	3.8	4.6	3.40	2.80	4.20	5.00	6.10	2.58
Ho	0.7	1.03	0.64	0.49	1.05	0.78	0.81	0.65	0.53	0.79	0.87	1.15	0.55
Er	2.1	2.60	1.76	1.19	2.70	1.81	2.2	1.60	1.39	1.88	2.20	3.20	1.41
Tm	0.32	0.34	0.24	0.17	0.35	0.24	0.32	0.23	0.19	0.26	0.32	0.46	0.19
Yb	1.99	2.20	1.51	0.99	2.00	1.47	1.87	1.37	1.10	1.55	2.00	2.70	1.20
Lu	0.31	0.32	0.22	0.14	0.29	0.22	0.28	0.20	0.16	0.22	0.31	0.42	0.18
Hf	2.4	4.00	2.40	5.30	6.50	2.9	3.6	2.90	2.50	3.50	4.70	5.20	1.07
Ta	0.64	1.98	0.92	2.50	3.10	1.83	1.81	1.25	1.02	1.47	1.96	0.85	0.19
Th	1.65	2.80	1.95	3.60	5.00	2.2	3	2.20	1.45	2.00	2.80	19.50	2.55
U	0.31	0.66	0.39	0.24	1.63	0.51	0.59	0.55	0.43	0.52	0.71	2.30	0.32

Метабазальты (1), высоко-К метабазальты (2), метапикробазальты (3), метапикриты (4), метагабброиды (5), гранатовые сланцы (6) и мраморы (7). “—” — не определялось; ППП — потери при прокаливании.

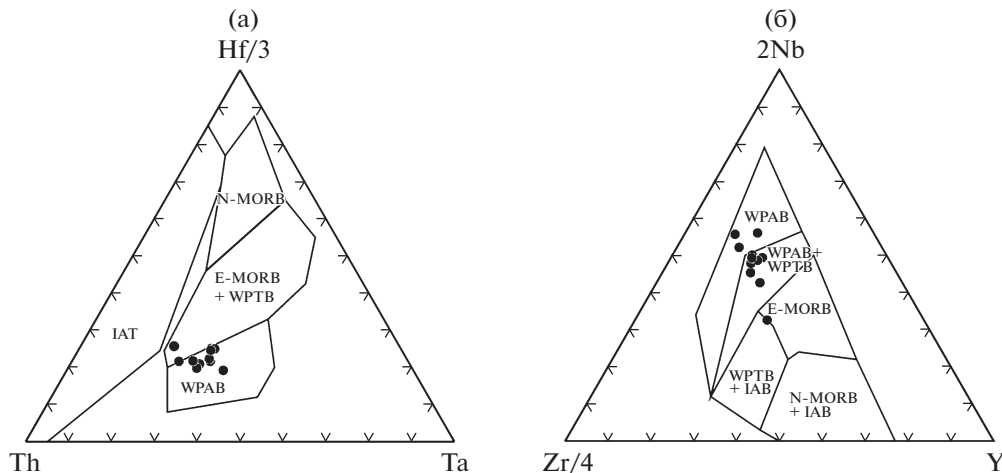


Рис. 3. Положение фигуративных точек составов метабазитов Приангарья на диаграммах (а) Hf–Th–Ta [18] и (б) Zr–Nb–Y [19]. Поля составов на диаграммах: N- и E-MORB – “нормальные” и “обогащенные” базальты срединно-океанических хребтов, WPAB – внутриплитные щелочные базальты, WPTB – внутриплитные толеитовые базальты, IAB – островодужные базальты, IAT – островодужные толеиты.

формировались карбонатные и терригенно-карбонатные отложения в переслаивании с вулканитами, а также осуществлялось внедрение базитовых силлов в сформированные осадки. Полученные результаты по метапикрит-базальтовой толще дают веские основания для корректировки стратиграфической схемы широкоинской серии [11].

В нижнем течении р. Ангара (в современных координатах) обосновывается существование морского (Нижнеангарско-Большепитского) рифтогенного палеобассейна, сформированного в раннем неопротерозое на окраинно-континентальной коре [13]. Синхронность существования ряда бассейнов по окраинам Сибирского кратона в раннем неопротерозое подтверждена Sr-изотопией [12]. Мы также интерпретируем эту структуру как реликтовый палеобассейн рифтогенной природы на западной окраине Сибирского кратона, в котором в неопротерозое сформировалось уникальное Горевское Pb–Zn-месторождение. Pb–Zn-рудноносность метапикрит-базальтовой толщи подтверждается картировочными и поисковыми буровыми работами, в пределах которой с поверхности выявлены ряд точек галенит-сфалеритовой минерализации и Степановское свинцово-цинковое рудопроявление. Эти руды могут быть отнесены к свинцово-цинковой формации в вулканогенно-карбонатных породах. Таким образом, в Горевском рудном поле можно выделить новый (нижнеречинский) потенциальный стратоеуровень Pb–Zn-оруденения в вулканогенно-осадочных породах. Стратиграфически выше его в низах горевской свиты зафиксированы рудоносные уровни, сходные с широко известными в регионе Линейным колчеданно-полиметаллическим месторождением в углеродистых сланцах

[8], а несколько выше Горевский стратоеуровень в карбонатных породах нижнегоревской подсвиты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны рецензентам за ценные критические замечания, способствующие улучшению статьи.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 21-77-20018), с дополнительной поддержкой полевых работ в рамках госзадания ИГМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ножкин А.Д., Туркина О.М., Баянова Т.Б., Бережная Н.Г., Ларионов А.Н., Постников А.А., Травин А.В., Эрст Р.Е. Неопротерозойский рифтогенный и внутриплитный магматизм Енисейского кряжа как индикатор процессов распада Родинии // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 7. С. 666–688.
2. Ножкин А.Д., Качевский Л.К., Дмитриева Н.В. Поздненеопротерозойская рифтогенная метарифтолит-базальтовая ассоциация Глушихинского прогиба (Енисейский кряж) // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 1. С. 58–71.
3. Ножкин А.Д., Туркина О.М., Лиханов И.И., Дмитриева Н.В. Позднепалеопротерозойские вулканические ассоциации на юго-западе Сибирского кратона (Ангаро-Канский блок) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 2. С. 312–332.
4. Ножкин А.Д., Борисенко А.С., Неволько П.А. Этапы поздненеопротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 1. С. 158–181.
5. Likhanov I.I., Santosh M. Neoproterozoic Intraplate Magmatism along the Western Margin of the Siberian Craton: Implications for Breakup of the Rodinia Su-

- percontinent // *Precambrian Research*. 2017. V. 300. P. 315–331.
6. *Likhanov I.I., Santosh M.* A-type Granites in the Western Margin of the Siberian Craton: Implications for Breakup of the Precambrian Supercontinents Columbia/Nuna and Rodinia // *Precambrian Research*. 2019. V. 328. P. 128–145.
 7. *Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Козлов П.С., Зиновьев С.В.* Неопротерозойский дайковый пояс Заангарья Енисейского кряжа как индикатор процессов растяжения и распада Родинии // Доклады Академии Наук. 2013. Т. 450. № 6. С. 685–690.
 8. *Belokonov G., Frenzel M., Priyatkina N.S., Renno A.D., Makarov V., Gutzmer J.* Geology and Genesis of the Giant Gorevskoe Pb-Zn-Ag Deposit, Krasnoyarsk Territory, Russia // *Economic Geology*. 2021. V. 116. P. 719–746.
 9. *Лиханов И.И., Ножкин А.Д., Савко К.А.* Аккреционная тектоника комплексов западной окраины Сибирского кратона // Геотектоника. 2018. Т. 52. № 1. С. 28–51.
 10. *Качевский Л.К., Зуев В.К.* Геологическая карта Енисейской металлогенической провинции. Масштаб 1:1000000. Красноярск: Красноярскгеолсъемка, 2005.
 11. Легенда Енисейской серии Государственной геологической карты Российской Федерации м-ба 1:200000. (Ред. Л.К. Качевский). Красноярск: Красноярскгеолсъемка, 2002. 200 с.
 12. *Кузнецов А.Б., Кочнев Б.Б., Васильева И.М., Овчинникова Г.В.* Sr-хемостратиграфия и Pb-Pb возраст известняков тунгусикской и широкинской серий // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2019. Т. 27. № 5. С. 46–62.
 13. *Сараев С.В.* Седиментология и полезные ископаемые верхнерифейского окраинного бассейна Енисейского кряжа // Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. Екатеринбург: ИГГ УрО, С. 42–71.
 14. *Likhanov I.I., Régnier J.-L., Santosh M.* Blueschist Facies Fault Tectonites from the Western Margin of the Siberian Craton: Implications for Subduction and Exhumation Associated with Early Stages of the Paleo-Asian Ocean // *Lithos*. 2018. V. 304–307. P. 468–488.
 15. *Boynton W.V.* Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies. // *Rare earth element geochemistry*. Ed. *Henderson P.* Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 63–114.
 16. *Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes // *Geological Society of London Special Publication*. 1989. V. 42. P. 313–345.
 17. *Stewart K., Rogers N.* Mantle Plume and Lithosphere Contributions to Basalts from Southern Ethiopia // *Earth and Planetary Science Letters*. 1996. V. 139. P. 195–211.
 18. *Wood D.A.* The Application of a Th-Hf-Ta Diagram to Problems of Tectonomagmatic Classification and to Establishing the Nature of Crustal Contamination of Basaltic Lavas of the British Tertiary Volcanic Province // *Earth and Planetary Science Letters*. 1980. V. 50. P. 11–30.
 19. *Meschide M.A.* A Method of Discriminating between Different Types of Mid Ocean Ridge Basalts and Continental Tholeiites with Nb-Zr-Y Diagram // *Chemical Geology*. 1986. V. 56. P. 207–218.
 20. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 379 с.

GEOCHEMISTRY, FORMATION SETTINGS, AND ORE POTENTIAL OF THE VOLCANO-SEDIMENTARY COMPLEXES OF THE PRYANARYA, YENISEI RIDGE

A. D. Nozhkin^a, P. S. Kozlov^b, I. I. Likhanov^{a, #}, Academician of the RAS V. V. Reverdatto^a, and A. A. Krylov^a

^a *Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

^b *Zavaritskii Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation*

[#] *E-mail: likh@igm.nsc.ru*

In the Angara part of the Yenisei Ridge, a sequential section of the metapicritic-basalt sequence and the carbonate rocks of the Gorevskaya Formation occurring above is established. This section is considered as a single volcanic-sedimentary complex formed at the boundary of the Late Mesoproterozoic-Early Neoproterozoic in the riftogenic marginal-continental paleobasin in the southwest of the Siberian Craton. In the studied section, metamorphosed picobasalts and picrites predominate in the lower part of the Nizhnerechinskaya strata, and basalts ore-bearing Pb-Zn mineralization prevail in the middle and upper sections (Stepanovsky ore occurrence). The late-Mesoproterozoic-early Neoproterozoic stretching and riftogenesis of the Earth's crust in the Angara region led to the development of a zone of basic volcanism with the association of highly magnesian rocks and the opening of the marginal-continental sea basin. In this paleobasin, terrigenous-carbonate deposits, including ore-bearing (Pb-Zn) deposits of the Gorevskaya Formation, containing the Gorevskoye Pb-Zn deposit, accumulated. The basin under consideration is interpreted as a relict paleobasin of riftogenic nature on the western edge of the Siberian craton, and the volcanic sedimentary Nizhnerechinskaya strata is considered as the lower potential stratum level of polymetallic mineralization in the Gorevskoye ore field.

Keywords: picrites, basalts, petrogeochemistry, Gorevskaya suite, ore mineralization, riftogenic marginal-continental basin, Angara region, Yenisei Ridge