

ГЕОХИМИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ЧЕМАЛЬСКОЙ СВИТЫ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ): ВКЛАД В ПРОБЛЕМУ ПРИРОДЫ СРЕДНЕКЕМБРИЙСКОГО МАГМАТИЗМА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Н.Н. Крук^{1,2}, А.Э. Изох^{1,2}, М.Л. Куйбида¹, Е.А. Крук¹

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный исследовательский университет, Новосибирск, Россия

Приведены данные о петрографических и геохимических характеристиках осадочных пород чемальской свиты Катунской зоны Горного Алтая (рубеж раннего и среднего кембрия). Показано, что изученные породы сформированы во внутриокеанической обстановке, а практически единственным источником материала для них являлись базальты, соответствующие породам усть-семиинской свиты. Таким образом, специфический магматизм, маркирующий инициальную стадию формирования крупной изверженной провинции, начался в конце раннего кембрия.

Ключевые слова: геохимия осадочных пород, Горный Алтай, ранний палеозой, крупные изверженные провинции.

Введение

В позднекембрийской – раннепалеозойской геологической истории Алтае-Саянской складчатой области и Западной Монголии выделяются две дискретные эпохи тектогенеза: ранне- и позднекаледонская [Берзин и др., 1996; Добрецов, 2011; Крук и др., 2010]. Для первой эпохи (венд – ранний кембрий) было типично наличие океанических пространств с многочисленными внутриокеаническими поднятиями, систем островных дуг с бимодальным вулканизмом, пред-, меж- и задуговых бассейнов. Вторая эпоха (поздний кембрий – ранний ордовик) характеризовалась аккрецией островных дуг и внутриокеанических поднятий к окраине Сибирского континента, масштабным орогенезом, формированием метаморфических комплексов HT/LP типа, интенсивным базитовым и гранитоидным магматизмом [Владимиров и др., 2001; Руднев и др., 2004; Волкова, Складов, 2007; Добрецов, Буслов, 2007].

Наименее изученным остается отрезок геологической истории, разделяющий эти две эпохи, соответствующий среднему кембрию. К этому моменту вулканическая активность в венд-раннекембрийских островодужных системах полностью прекратилась (за исключением Салаирской дуги). В западной части ЦАСП осадконакопление было угнетено, а магматическая активность представлена преимущественно ассоциациями повышенной щелочности [Шокальский и др., 2000; Врублевский и др., 2004]. В то же время на западной периферии (Горный Алтай, Западная Монголия) на этом рубеже формировались специфические вулканические и интрузивные ассоциации, природа которых до настоящего времени остается предметом постоянных дискуссий.

В Горном Алтае среднекембрийские вулканогенно-осадочные образования распространены в северной части Бийско-Катунского блока, где они выделе-

ны в усть-семиинскую свиту [Винкман, 1958]. Геологическая позиция и вещественный состав вулканических пород детально охарактеризованы в ряде публикаций [Белоусов и др., 1969; Гибшер и др., 1997; Государственная... 2004; Зыбин, 2006; Сафонова и др., 2011]. До настоящего времени остались неясными ни точные временные рамки этого этапа, ни обстановка проявления магматической активности.

Объектом нашего исследования стали осадочные породы Бийско-Катунского блока, сформированные на рубеже раннего и среднего кембрия (улусчергинская или чемальская свита). Петрографические, геохимические и изотопные данные, полученные по этим породам, позволили уточнить время магматических событий, оценить возможные источники кластического материала и таким образом ограничить возможные обстановки формирования вулканогенно-осадочных толщ.

Геологический очерк

Бийско-Катунский блок в современной геологической структуре представляет собой коллаж разновеликих тектонических фрагментов, отделенный сложной системой разломов сдвиговой, взбросовой и надвиговой кинематики от окружающих ранне- и позднекаледонских образований. Основание блока представлено позднерифейскими карбонатами баратальской серии, которые несогласно перекрыты венд (?)–раннекембрийскими толщами.

Последние, согласно данным [Добрецов и др., 2004; Сафонова и др., 2004; Dobretsov et al., 2004; Safonova et al., 2004; Сафонова и др., 2011], являются интенсивно деформированным фрагментом океанического острова. В современной структуре эти образования представляют собой серию тектонических пластин. Среди них диагностируются образования океанической коры

(основания острова), собственно «тела» симаунта, отложения склоновых фаций и карбонатной «шапки».

Нижняя часть разреза (эсконгинская свита) сложена темно-серыми, черными массивными и слоистыми известняками, доломитами, силицилитами и глинисто-кремнистыми сланцами при подчиненной роли терригенных пород. В ряде разрезов отмечается обилие вулканических и пирокластических пород (афировые базальты и их туфы). Центральная часть палеосимаунта сложена афировыми и мелкопорфировыми (пироксен+плагиоклаз) базальтами манжерокской свиты. В нижней части ее разреза в подчиненном количестве присутствуют туфы, силицилиты, карбонатные и терригенные породы. Эффузивные и пирокластические разности слагают серии потоков, разделенных прослоями обломочных, кремнистых и карбонатных пород. Базальты характеризуются массивной, реже миндалекаменной текстурой. В порфировых разностях вкрапленники представлены лейстами плагиоклаза, реже – пироксена.

Отложения манжерокской свиты согласно наращивают разрез эсконгинской свиты и согласно же перерываются карбонатными отложениями чепошской свиты, которые соответствуют вершине океанического острова.

Склоновые фации включают базальты, петрографически аналогичные породам центральной части палеосимаунта, пестроцветные кремни, слоистые и массивные известняки, глинисто-кремнистые и терригенные породы. Отложения карбонатной «шапки» палеосимаунта (шашкунарская и чепошская свиты) сложены преимущественно серыми и темно-серыми плитчатыми и массивными известняками. В нижней части свиты в отдельных разрезах отмечаются пачки алевролитов, содержащих линзы и прослои кремнистых аргиллитов и кремней, а также отдельные линзы внутриформационных конгломератов и гравелитов.

Вулканические и вулканогенно-осадочные толщи усть-семинской свиты слагают обширный ареал в северной части Бийско-Катунского террейна, протягивающийся по обоим берегам Катунь от п. Усть-Сема до п. Едиган (рис. 1). Эти образования слагают несколько в разной степени эродированных палеовулканических построек (стратовулканов), наиболее крупные из которых расположены в окрестностях п. Усть-Сема, в приустьевой части р. Бийка и в низовьях р. Булухта [Гибшер и др., 1997; Государственная... 2004; Зыбин, 2006], а также серию субвулканических штоков, силлов и даек, секущих подстилающие вулканогенные и карбонатные отложения.

Возраст основного объема усть-семинской свиты соответствует среднему кембрию, что определяется находками в линзах известняков из средней части разреза (район р. Бийка и с. Еланда) трилобитов амгинского яруса среднего кембрия [Государственная... 2004]. В петротипическом Чепошском разрезе наблюдаются

факты прорывания известняков чепошской свиты дайками диопсидсодержащих базальтов. Известняки дислоцированы с образованием пологих складок, падение в крыльях которых достигает 10–15°, а дайки вертикальны и не несут следов каких-либо деформаций.

Время начала магматизма дискуссионно. Большинство исследователей полагают, что породы усть-семинской свиты имеют исключительно среднекембрийский возраст [Винкман, 1958; Шокальский и др., 2000; Добрецов и др., 2004; Зыбин, 2006]. Однако ряд геологических фактов позволяет отнести начало формирования вулканических построек к концу раннего кембрия. К числу этих фактов относятся находки пластов диопсид-порфировых базальтов стратиграфически ниже карбонатных «шапок» чепошской свиты [Гибшер, 1997], а также присутствие в карбонатах конца раннего кембрия вулканических бомб диопсидпорфировых базальтов, характерных для усть-семинской свиты.

Литологически породы вулканической фации представляют собой массивные, брекчиевидные (преобладают), значительно реже миндалекаменные лилово-серые и серо-зеленые плагиоклаз-пироксен-порфировые и пироксен-порфировые базальты. Для них характерно наличие вкрапленников зеленого хромсодержащего диопсида. Количество вкрапленников резко варьирует, достигая в отдельных случаях почти половины объема породы. Реже в порфировых выделениях встречаются оливин, хромит и основной плагиоклаз (лабрадор-битовнит). Основная масса интерсертальная, реже гиалопилитовая, сложена основным плагиоклазом, пироксеном и разложенным стеклом.

Толщи усть-семинской свиты характеризуются резкой фациальной невыдержанностью: по мере удаления от центров вулканических построек наблюдается смена жерловых и прижерловых, преимущественно вулканических фаций склоновыми, в которых преобладают пирокластические породы, а затем – существенно туфо-терригенными и терригенными отложениями. Следует отметить, что в связи с интенсивными тектоническими деформациями и сложностью корреляции отдельных разрезов позиция осадочных толщ наиболее дискуссионна. Традиционно существенно терригенные толщи обособлялись в улус-чергинскую свиту, считавшуюся латеральным аналогом усть-семинской. В ходе последних картировочных работ [Государственная... 2004] этот стратон был упразднен: ряд осадочных разрезов включен в состав усть-семинской свиты, а большинство преимущественно осадочных толщ отнесено к чепошской свите верхов раннего кембрия. Эта точка зрения подтверждена находками в стратотипическом разрезе (район с. Улус-Черга) комплекса фауны, соответствующего обручевскому горизонту тойонского яруса раннего кембрия [Репина, Романенко, 1978]. Именно эти толщи и стали объектом нашего исследования.

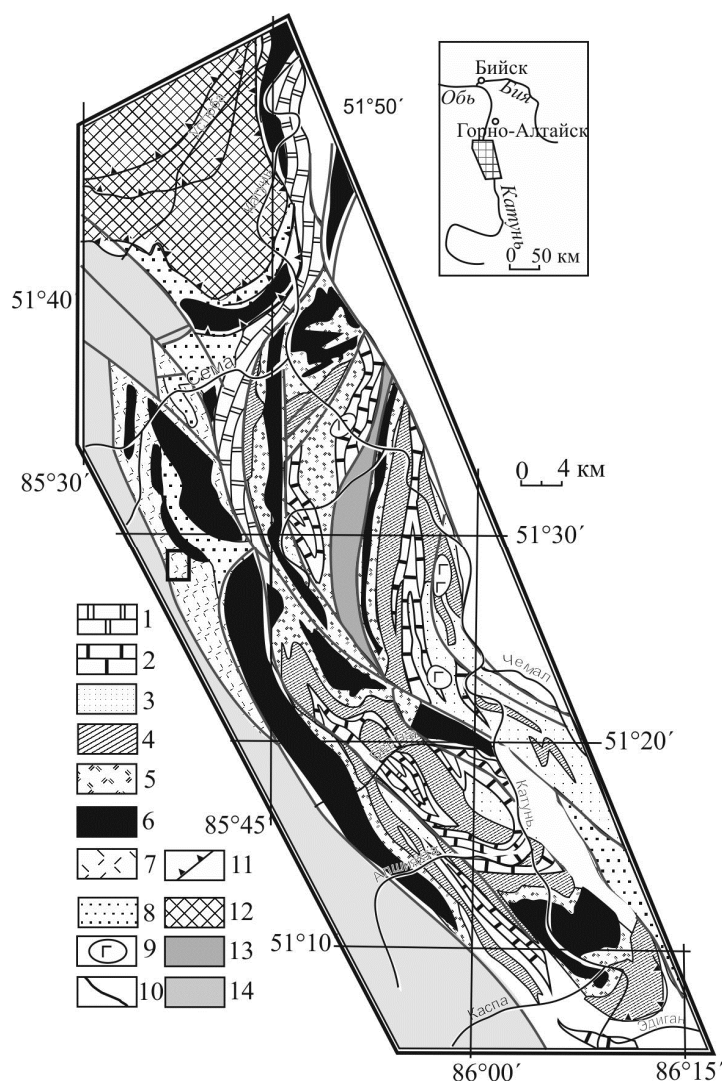


Рис. 1. Геологическая схема Чеповского магматического ареала Катунской зоны Горного Алтая по [Гибшер и др., 1997]

1–4 – баратальско-эсконгинско-манжерокский осадочно-вулканический комплекс венда – раннего кембрия: 1 – доломиты, 2 – известняки, 3 – кремнисто-карбонатные отложения; 4 – вулканиты; 5 – рифогенные карбонаты чеповской и шашкунарской свит второй половины раннего кембрия; 6 – вулканиты усть-семиной свиты среднего кембрия; 7 – вулканогенно-осадочные толщи чемальской (улус-чергинской) свиты конца раннего кембрия; 8 – терригенные отложения горноалтайской серии позднего кембрия – раннего ордовика; 9 – габброидные интрузии; 10–11 – разрывные нарушения: 10 – сдвиги, 11 – надвиги; 12 – вулканогенно-осадочные отложения Каимского аллохтона; 13 – ордовикские отложения (тремадок); 14 – девонские отложения. Черный прямоугольник на схеме – положение изученного разреза. На врезке – географическое положение ареала

Fig. 1. Geological scheme of Cheposh magmatic area of the Katun zone of Altai Mountains [Gibsher et al., 1997]

1–4 – Baratal-Eskongin-Mangerok Vendian – early Cambrian sedimentary-volcanic complex: 1 – dolomites, 2 – limestones, 3 – siliceous-carbonate sediments, 4 – volcanites; 5 – reef carbonates of Cheposh and Shashkunar suites of second half of early Cambrian, 6 – middle Cambrian volcanites of Ust-Semin suite, 7 – volcanogenic-sedimentary rocks of Chermal (Ulus-Chergin) suite of the end of early Cambrian, 8 – terrigenous sediments of late Cambrian – early Ordovician Gornoaltai series, 9 – gabbroid intrusions, 10–11 – disjunctive faults: 10 – strike-slip faults, 11 – thrust faults; 12 – volcanogenic-sedimentary rocks of Kaim allochthon; 13 – Ordovician (Tremadocian) sediments; 14 – Devonian sediments. Black rectangle – studied section location. Geographic position of the area is shown on the inset

Авторами было проведено изучение вулканогенно-осадочного разреза в левобережье р. Кукуя (вблизи устья р. Черная, около 5 км юго-западнее с. Улус-Черга). Разрез сложен преимущественно осадочными породами (песчаниками и алевролитами) с подчиненным количеством лито- и кристаллокластических туфов. Основное внимание было уделено изучению осадочных пород.

Результаты исследований

Осадочные породы в составе изученного разреза представлены зелено-серыми полимиктовыми песчаниками и алевролитами. Петрографически песчаники характеризуются слабой сортировкой осадочного материала и малой степенью окатанности зерен. Среди обломков резко преобладают базальты,

присутствуют также фрагменты кристаллов зеленого диопсида, зерен плагиоклаза, крайне редко – замещенного оливина и рудных минералов. Цемент – преимущественно кремнистый и карбонатный. В некоторых образцах алевролитов фиксируется повышенная примесь кремнистого компонента.

Вещественный состав песчаников и алевролитов характеризуется низкой кремнекислотностью (46–53 мас. % SiO_2). Более высокие концентрации кремнезема встречены только в алевролитах, для которых при петрографических исследованиях установлена значительная примесь кремнистого материала. Также характерны невысокие концентрации титана ($<0,9$ мас. % TiO_2) и глинозема (< 16 мас. % Al_2O_3), повышенные – железа (до 12 мас. % Fe_2O_3). Содержания магния и кальция варьируют достаточно широко, в целом отражая состав обломочного материала.

Редкоэлементный состав пород (табл. 1) характеризуется варьирующими содержаниями «транзитных» (Sc – 40–100 г/т; Cr – 40–240 г/т), невысокими – высокозарядных (Y – 14–30 г/т; Zr – 40–160 г/т; Hf – 1–3,5 г/т; Ta – 0,07–0,12 г/т; Nb – 1,7–5,5 г/т) и редкоземельных ($\Sigma\text{PЗЭ}=27\text{--}87$ г/т) элементов. Концентрации крупноионных элементов широко варьируют (Rb – 2–56 г/т; Sr – 200–540 г/т; Ba – 75–1000 г/т), вероятно, отражая не только первичный состав разрушавшихся пород, но и их преобразование при взаимодействии с морской водой. Породы имеют слабоасимметричные спектры распределения РЗЭ с $(\text{La/Yb})_N = 1,5\text{--}2,6$ практически без аномалии по европию. На мультиэлементных диаграммах присутствуют минимумы по Ta, Nb и, в меньшей степени, Ti, а также максимумы по Sr.

Обсуждение результатов

Проведенные исследования показали, что песчаники чемальской свиты имеют проксимальную природу, отличаются слабой сортировкой материала, а практически единственным источником кластического материала для них являлись породы базальтового состава. При этом, судя по петрографическим данным, по крайней мере одним из источников служили диопсид-порфиновые базальты, соответствующие породам усть-семиинской свиты. Это позволяет четко датировать начало этапа эндогенной активности базальтов усть-семиинской свиты концом раннего кембрия, что согласуется с находками диопсидпорфировых базальтов под карбонатами чеповской свиты. Помимо указанных вулканитов кембрийские базальтоиды с Бийско-Катунского блока присутствуют в составе эсконгинской и манжерокской свит. Для того чтобы оценить количественное соотношение этих пород в источнике кластического материала, было проведено сравнение геохимических характеристик базальтов и осадочных пород.

Базальты эсконгинской свиты по составу близки к N-MORB. Они соответствуют породам нормальной щелочности, характеризуются невысокими концентрациями HFSE (Y – 13–29 г/т; Zr – 38–67 г/т; Hf – 1,3–3,3 г/т; Ta – 0,1–0,7 г/т; Nb – 1–2,6 г/т) и РЗЭ (28–46 г/т). Спектры распределения РЗЭ практически симметричные без аномалий по европию, на мультиэлементных диаграммах присутствуют слабые минимумы по Nb, Ta и Ti.

Базальты манжерокской свиты соответствуют преимущественно умеренно-щелочным разностям. Они обогащены Y (18–74 г/т), Zr (150–500 г/т), Hf (3,8–11,5 г/т), Ta (0,6–5,3 г/т), Nb (10–110 г/т) и РЗЭ (80–330 г/т). Спектры распределения РЗЭ асимметричные с $(\text{La/Yb})_N = 2\text{--}20$ без аномалии по европию, на мультиэлементных диаграммах отмечаются максимумы по Nb и Ta.

Базальты усть-семиинской свиты неоднородны по химическому составу. По данным [Гибшер и др., 1997, Сафонова и др., 2011] среди них выделяются несколько петрохимических групп, различающихся по набору вкрапленников: низкоглиноземистые, умеренно-магнезиальные и низкотитанистые с вкрапленниками оливина и диопсида; глиноземистые с вкрапленниками плагиоклаза (лабрадора, битовнита), диопсида и титаномагнетита; титанистые афировые или диопсид-порфиновые; магнезиальные, пересыщенные вкрапленниками хромдиопсида; калиевые трахибазальты – обычно афировые и бедные вкрапленниками разновидности. Общей чертой этих пород являются повышенные концентрации кальция, что позволяет отнести эти породы к анкаромитам.

Редкоэлементный состав базальтов характеризуется умеренными содержаниями «транзитных» (Sc – 28–54 г/т; Co 21–48 г/т), крупноионных (за исключением Sr, содержания которого варьируют от 300 до 770 г/т) и большинства высокозарядных (Y – 10–22 г/т; Zr – 30–115 г/т; Hf – 0,8–2,4 г/т) элементов. Для пород характерны нижекларковые концентрации РЗЭ (суммарно – 20–50 г/т), слабоасимметричные спектры их распределения с $(\text{La/Yb})_N = 1\text{--}2,5$ без аномалий по Eu. Характерно избирательное обеднение Nb и Ta (1–4 и 0,1–0,3 г/т соответственно), что приводит к появлению отрицательных аномалий на мультиэлементных диаграммах.

Сопоставление геохимических характеристик кембрийских базальтов Катунского ареала и изученных осадочных пород указывает на резкое преобладание в составе осадочных толщ материала пород усть-семиинской свиты. Это подтверждается максимальным сходством редкоэлементных характеристик пород (см. столбцы 8–10 в таблице), невысокими концентрациями несовместимых элементов в песчаниках и алевролитах, избирательным обеднением Nb, Ta, Ti и обогащением Sr. В целом форма спектров распределения РЗЭ и мультиэлементных диаграмм

осадочных пород конформна таковым для базальтов усть-семинской свиты и отличается от типичных для пород эсконгинской и манжерокской (рис. 2).

Абсолютные содержания несовместимых элементов также близки; лишь в отдельных пробах песчанников (анализы 3–4 в таблице) установлены повышенные содержания легких РЗЭ, что может быть

связано с перераспределением вещества в осадочном процессе.

Существенного влияния на редкоземельные характеристики осадочных пород материала базальтов манжерокской и эсконгинской свит не устанавливается. Вероятно, доля их в источник кластического материала была невелика.

Содержания петрогенных компонентов (мас. %), редких и редкоземельных (г/т) элементов в кембрийских осадочных и вулканических породах Северного Алтая

Contents of major components (wt %) and trace and REE (ppm) in Cambrian sedimentary and volcanic rocks of North Altai

№ пробы	04-53/6	8-04-54/1	8-04-54/2	8-04-55/1	8-04-54/4	8-04-54/5	8-04-54/6	CP _{эс}	CP _{мн}	CP _{ус}	CP _{уб}
№ анализа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	49,53	49,49	51,26	46,18	51,68	48,2	48,84	48,25	47,31	48,29	57,72
TiO ₂	0,67	0,69	0,85	0,88	0,67	0,7	0,85	1	2,69	0,67	0,69
Al ₂ O ₃	15,26	14,66	14,43	15,03	15,66	14,79	14,71	14,86	14,44	17,5	16,45
Fe ₂ O ₃ *	8,35	10,64	9,87	11,87	11,27	10,39	10,85	11,69	13,47	10,22	7,02
MnO	0,21	0,38	0,18	0,18	0,18	0,21	0,22	0,2	0,15	0,18	0,11
MgO	10,17	10,82	5,66	8,99	10,02	11,28	11,41	6,97	6	6,46	3,02
CaO	5,79	3,98	8,88	9,51	1,15	5,28	4,68	8,71	7,92	8,6	3,08
Na ₂ O	4,1	2,09	3,82	1,61	1,29	2,61	2,63	3,57	2,11	1,87	2,95
K ₂ O	1,13	2,72	1,98	2,41	3,21	2,52	1,91	1,08	2,05	2,15	1,96
P ₂ O ₅	0,11	0,15	0,24	0,22	0,14	0,14	0,15	0,23	0,48	0,19	0,17
П.п.п.	4,78	4,57	3,27	3,5	4,98	3,36	4,21	3,26	3,11	4,08	5,56
Сумма	100,4	100,39	100,52	100,41	100,53	99,58	100,69	99,89	99,72	100,24	98,67
Sc	48	–	–	100	52	–	47	48	27	40	
V	175	252	44	199	216	211	–	–	–	–	
Cr	243	232	40,3	216	33	206	–	216	127	222	
Co	42	57	36	58	42	59	40	46	43	34	
Ni	233	184	50	145		160	–	–	–	–	
Rb	21	44	38	43	56	48	35	10	24	17	60
Sr	446	590	524	541	216	267	348	186	467	654	255
Y	15	17	28	24	19	17	19	22	33	16	31
Zr	40	38	89	50	35	40	48	59	234	66	134
Nb	1,8	2,	5,4	2,5	1,6	1,7	2,1	2	39,8	2,1	8,4
Cs	0,3	–	–	–	0,5	–	0,5	0,5	0,7	0,9	1,9
Ba	324	1680	680	435	1612	1016	638	416	356	414	748
La	2,89	3,85	13,89	7,46	5,16	3,62	4,57	4,91	27,61	4,17	14,99
Ce	7,37	9,49	28,92	16,66	10,45	8,66	11	12,13	61,4	9,84	34,22
Pr	1,17	1,49	4,21	2,54	1,58	1,39	1,77	–	3,72	–	4,63
Nd	5,72	6,94	17,35	11,79	7,37	7,11	8,21	8,1	32,48	6,01	18,58
Sm	1,66	2,06	3,79	3,09	2,26	2,08	2,45	2,57	8	1,96	4,2
Eu	0,53	0,64	1,2	0,94	0,73	0,67	0,64	1,03	2,63	0,77	0,85
Gd	2	2,75	4,14	3,94	2,45	2,51	2,84	3,33	8,51	2,93	4,01
Tb	0,36	0,43	0,65	0,6	0,45	0,42	0,48	0,58	1,21	0,43	0,69
Dy	2,23	2,69	3,97	3,76	2,84	2,57	2,77	–	6,58	2,68	4,13
Ho	0,46	0,58	0,88	0,76	0,6	0,57	0,57	–	1,11	0,48	0,89
Er	1,38	1,52	2,45	2,17	1,75	1,49	1,68	–	2,97	1,38	3,07
Tm	0,21	0,24	0,43	0,32	0,27	0,24	0,26	–	0,47	0,25	0,49
Yb	1,29	1,56	2,57	2,03	1,78	1,52	1,6	1,79	2,96	1,65	2,88
Lu	0,2	0,26	0,38	0,32	0,27	0,25	0,25	0,31	0,43	0,27	0,45
Hf	1	1	2	1,4	1	1	1,2	1,8	5,7	1,4	3,65
Ta	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	2,1	0,1	0,45
Th	0,4	0,4	2,1	1	0,6	0,4	0,4	0,5	2,3	0,5	3,47
U	0,6	0,4	2,1	1,1	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	1,97

Примечание. 1–7 – осадочные породы чемальской свиты: 1–4 – песчаники, 5–7 – алевриты; 8–10 – усредненные составы базальтов Катунского ареала (по данным [Сафонова и др., 2011]); 8 – эсконгинская свита, 9 – манжерокская свита, 10 – усть-семинская свита, 11 – усредненный состав алевритов убинской свиты (авторские данные). Fe₂O₃* – суммарное железо в форме Fe₂O₃. Прочерк – не определялось. Анализ пород чемальской свиты на петрогенные компоненты выполнены методом «мокрой» химии в Байкальском ЦКП СО РАН (г. Иркутск), на примесные элементы – методом ICP-MS в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск).

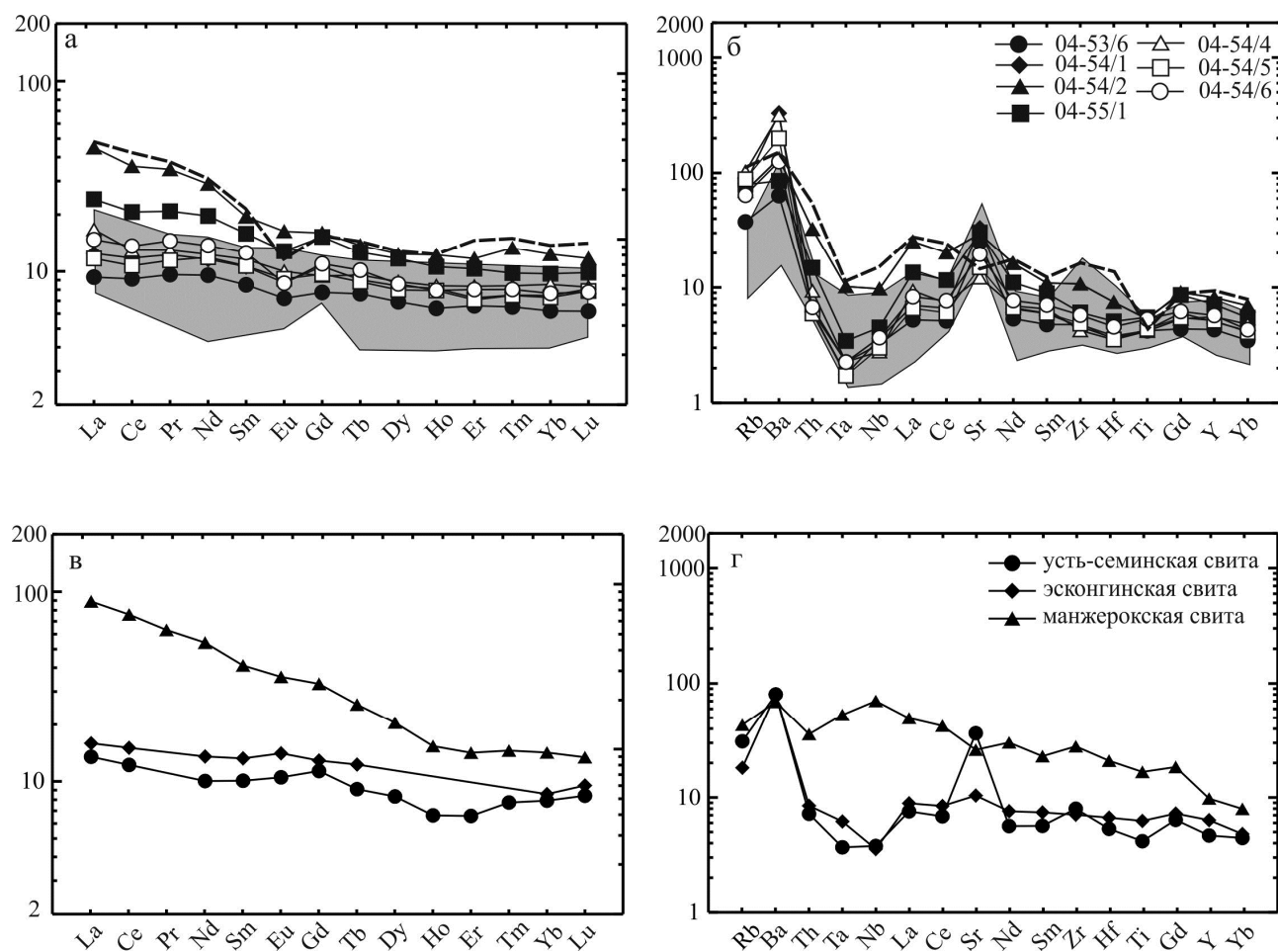


Рис. 2. Спектры распределения РЗЭ и мультиэлементные диаграммы для кембрийских осадочных и вулканических пород Северного Алтая

a-b – осадочные породы чемальской свиты (номера проб соответствуют таблице). Серое поле – область составов базальтов усть-семинской свиты; черный пунктир – усредненный состав алевритов убинской свиты Сарысазской дуги; *в-г* – кембрийские базальты Катунского ареала (усредненные составы в соответствии с таблицей). Спектры распределения РЗЭ нормированы по составу хондрита [Boynton, 1984], мультиэлементные диаграммы – по составу примитивной мантии [Taylor, McLennan, 1985]

Fig. 2. REE distribution and elements diagrams for Cambrian sedimentary and volcanic rocks of North Altai

a-b – Chermal suite sedimentary rocks (samples numbers are the same as at the Table). Grey field is the Ust-Semin suite basalts composition field, black dashed line shows average composition of aleurolites of Ubin suite of Sarysaz arc; *c-d* – Cambrian basalts of Katun area (average compositions in accordance with the Table). REE distribution spectra were normalized to chondrite [Boynton, 1984], elements diagrams were normalized to primitive mantle [Taylor, McLennan, 1985]

Полученные данные также позволяют утверждать, что формирование рассматриваемых толщ происходило в условиях открытого океанического бассейна (хотя и мелководного) на значительном удалении от края континента и/или островных дуг.

В эволюции раннекембрийских островодужных систем западной части АССО выделяются два этапа. Для первого (первая половина раннего кембрия) был типичен ярко выраженный бимодальный вулканизм. При этом в лавовой фации резко преобладают базальты (> 80%), а в пирокластической – обычные туфы более кислых пород (дацитов, риолитов, реже андезитов).

Формирование осадочных пород на этом этапе происходило исключительно за счет размыва син-

хронных вулканических толщ без заметного привноса материала извне; усредненный состав осадочных пород соответствовал низкокальциевым андезибазальтам и/или андезитам [Крук, 2015]. Второй этап (вторая половина раннего кембрия) характеризовался ослаблением магматической активности и интенсивным размывом вулканических построек. Формировавшиеся на этом этапе осадочные породы имели более высокие концентрации кремнезема и калия, были обогащены несовместимыми элементами [Крук и др., 2009].

Отсутствие среди обломков в песчаниках чемальской свиты зерен кварца и обломков кислых вулканитов свидетельствует о том, что формирование осадочных пород происходило за пределами области

сноса с островных дуг. Геохимические характеристики изученных песчаников и алевролитов также отличны от наблюдаемых в островодужных осадках второй половины раннего кембрия (в столбце 11 таблицы приведен усредненный состав алевролитов убинской свиты, соответствующих дистальной фации осадконакопления Сарысазского ареала – ближайшего сектора раннекембрийской островодужной системы).

Таким образом, осадочные породы чемальской свиты были образованы во внутриокеанической обстановке практически исключительно за счет материала синхронных им вулканических и пирокластических образований, аналогичных породам усть-семинской свиты. Это позволяет скорректировать возможные геодинамические сценарии образования изученных толщ. По этому поводу неоднократно высказывались различные точки зрения. В разные годы формирование вулканогенно-осадочных отложений усть-семинской свиты связывалось с обстановкой задугового бассейна [Гибшер и др., 1997], «перескоком» зоны субдукции при заклинивании ее внутриокеаническим поднятием [Буслов, Ватанабе, 1996], погружением СОХ под край континента [Сафонова и др., 2011] или «мобилизацией» ранее существовавших магматических очагов при скупивании океанического бассейна при переходе от островодужного режима к аккреционно-коллизийному. Полученные данные заставляют склониться в пользу последней точки зрения, поскольку петрографические и геохимические особенности осадочных пород указывают на формирование их во «внутриокеанической» обстановке без заметного привноса терригенного материала с островных дуг или края континента. Смена тектонического режима четко фиксируется по изменению характера вулканизма (со «спокойного» подводного на наземный с высокой эксплозивностью) синхронно с деформацией вмещающих толщ. Наличие в базальтах усть-семинской свиты «надсубдукционных» геохимических характеристик, нетипичных для более ранних вулканитов Катунского ареала, свидетельствует о появлении под океанической плитой источника «континентальной» литосферной мантии, преобразованной процессами субдукции, что вполне объяснимо в рамках модели отрыва слэба и возникновения вторичных мантийных диапиров [Хаин и др., 1996].

Возрастным и формационным аналогом пироксенофировых базальтов усть-семинской свиты Горного Алтая является ургнурская пикрит-базальтовая вулcano-плутоническая ассоциация, впервые выделенная Н.А. Берзиным в северо-восточной части Монгольского Алтая. Здесь, в пределах Хархиринского аккреционного террейна Н.А. Берзиным была выделена Яматугольская зона – покровно-чешуйчатая структура, сложенная фрагментами двух тектонических пластин – Нарийнсалинской и Харгаит-

ской. Нижняя (Нарийнсалинская) сложена слабометаморфизованными нижнекембрийскими флишиоидными терригенными отложениями. Верхняя (Харгаитская) состоит из вулканогенных и осадочных пород. Вулканиты представлены потоками оливинпироксенофировых, пироксенофировых и плагиоклаз-пироксенофировых базальтов, петрографически и геохимически аналогичных базальтам усть-семинской свиты. В нижней части пластины обнаружен горизонт ультраосновных вулканокластитов и лавобрекчий, имеющий мощность до 60–70 м, прослеживающийся в виде отдельных фрагментов приблизительно на 40 км. В ультраосновном серпентинизированном матриксе присутствуют многочисленные округлые обломки оливинофировых и оливинпироксенофировых пикритов. Выше по разрезу эти породы сменяются туфотурбидитами и практически мономинеральными клинопироксеновыми песчаниками, что указывает на излияние пикритов в подводных условиях одновременно с формированием флишиоидных толщ. Наблюдаются базальты с подушечной отдельностью, что также свидетельствует о подводном характере излияний пикритов и базальтов.

Деформированные флишиоидные образования и вулканогенные породы прорываются многочисленными дайками, силлами и небольшими дифференцированными интрузивами долеритов, пикритов и габброидов, которые по особенностям петрографического состава, петрохимическим и геохимическим характеристикам аналогичны вулканическим фациям. Это свидетельствует о том, что формирование ургнурской ассоциации, как и вулканитов усть-семинской свиты, происходило синхронно с деформацией осадочного бассейна. $Ar-Ar$ возраст биотита из типовой дайки пикрита, секущей деформированные флишиоидные толщи и небольшого тела монцодиоритов, соответствует границе нижнего и среднего кембрия ($512,4 \pm 6,1$ млн лет). Именно этому временному интервалу соответствуют специфические обогащенные диопсидом базальты усть-семинской свиты в Катунской зоне Горного Алтая, где также отмечаются небольшие субвулканические тела пикритов и пироксенитов, сходных по составу с ургнурскими [Гибшер и др., 1997].

Показано, что с этими ассоциациями связана россыпная ферроплатиновая минерализация урало-алтаинского типа, что позволило выделить единый кембро-ордовикский металлогенический пояс, объединяющий Западную Монголию, Горный Алтай, Горную Шорию и Кузнецкий Алатау [Izokh et al., 2004; Оюунчимэг и др., 2009; Изох и др., 2010].

Приуроченность рассматриваемых магматических ассоциаций к областям «скупивания» осадочных бассейнов и надсубдукционные геохимические характеристики пород позволяют предполагать, что источником высокомагнезиальных магм была над-

субдукционная литосферная мантия. Высокие степени плавления надсубдукционной литосферной мантии в зонах субдукции достигаются при экстремальных условиях, обеспечивающих возможность декомпрессионного плавления (косая субдукция, перескок зоны субдукции, смена полярности, попережное растяжение), либо при прогреве надсубдукционной мантии теплом плюмового источника. Следует отметить, что для интервала 510–490 млн лет для ЦАСП предполагается участие мантийного плюма [Ярмолюк и др., 2003], который привел к образованию крупной изверженной провинции, включая гранитоидные батолиты [Izokh et al., 2009]. Кроме того, для этого этапа эволюции ЦАСП предполагаются скорости движения плит до 40 см/год [Коваленко и др., 1999] и трансформные взаимоотношения блоков [Ярмолюк и др., 2003], так что подобные, несколько необычные обстановки, вполне вероятны.

Одним из доказательств участия глубинного мантийного плюма на кембро-ордовикском аккреционно-коллизиионном этапе эволюции ЦАСП является наличие карбонатитов и щелочных сиенитов (комплекс Эдельвейс в Горном Алтае с возрастом $506,8 \pm 3,5$ млн лет [Врублевский и др., 2009]; верхнепетропавловский комплекс щелочных сиенитов и карбонатитов в северной части Кузнецкого Алатау с возрастом 509 ± 10 млн лет [Врублевский и др., 2004]). Синхронность проявлений карбонатитового магматизма и своеобразного анкарomitового вулканизма вряд ли является случайным, поскольку для образования обогащенных клинопироксеном базальтов (анкарomitов) необходима верлитизация мантийного субстрата.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГМ СО РАН (проект № № VIII.72.2.2).

ЛИТЕРАТУРА

- Белоусов А.Ф., Кочкин Ю.Н., Полякова З.Г.** Вулканические комплексы рифея и нижнего палеозоя Горного Алтая, Горной Шории и Салаирского кряжа // Труды ИГиГ СО АН СССР. М. : Наука, 1969. № 22. 283 с.
- Берзин Н.А., Колман Р.Г., Добрецов Н.Л. и др.** Геодинамическая карта западной части Палеоазиатского океана // Геология и геофизика. 1996. Т. 35, № 7–8. С. 8–28.
- Буслов М.М., Ватанабэ Т.** Внутрисубдукционная коллизия и ее роль в эволюции аккреционного клина (на примере Курайской зоны Горного Алтая, Центральная Азия) // Геология и геофизика. 1996. Т. 37, № 1. С. 82–93.
- Винкман М.К.** Стратиграфическая схема докембрийских и нижнекаледонских отложений Горного Алтая // Материалы по геологии Сибири. М. : Госнаучтехиздат, 1958. Вып. 61. С. 5–23.
- Владимиров А.Г., Козлов М.С., Шокальский С.П. и др.** Основные возрастные рубежи интрузивного магматизма Кузнецкого Алатау, Алтая и Калбы (по данным U–Pb изотопного датирования) // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 8. С. 1157–1178.
- Волкова Н.И., Складарев Е.В.** Высокобарические комплексы Центрально-Азиатского складчатого пояса: геологическая позиция, геохимия и геодинамические следствия // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 1. С. 109–119.
- Врублевский В.В., Гертнер И.Ф., Владимиров А.Г. и др.** Геохронологические рубежи и геодинамическая интерпретация щелочно-базитового магматизма Кузнецкого Алатау // Доклады РАН. 2004. Т. 398, № 3. С. 374–378.
- Врублевский В.В., Изох А.Э., Поляков Г.В. и др.** Раннепалеозойский щелочной магматизм Горного Алтая: ^{40}Ar – ^{39}Ar -геохронологическое свидетельство комплекса Эдельвейс // Доклады РАН. 2009. Т. 427, № 1. С. 96–100.
- Гибшер А.С., Есин С.В., Изох А.Э. и др.** Диопсидсодержащие базальты кембрия Чеповской зоны Горного Алтая: модель фракционирования гибридных магм в промежуточных магматических камерах // Геология и геофизика. 1997. Т. 38, № 11. С. 1760–1772.
- Государственная** геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Алтайская. Лист М-45-II (Горно-Алтайск) / В.А. Кривчиков, П.Ф. Селин, Г.Г. Русанов. СПб. : Изд-во СПб. картфабрики ВСЕГЕИ, 2004. 202 с.
- Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Сафонова И.Ю., Кох Д.А.** Фрагменты океанических сотровод Курайского и Катунского арккреционных клиньев Горного Алтая // Геология и геофизика. 2004. Т. 45, № 12. С. 1381–1403.
- Добрецов Н.Л., Буслов М.М.** Позднекембрийско-ордовикская тектоника и геодинамика Центральной Азии // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 1. С. 93–108.
- Добрецов Н.Л.** Раннепалеозойская тектоника и геодинамика Центральной Азии: роль раннепалеозойских мантийных плюмов // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 12. С. 1957–1973.
- Зыбин В.А.** Эталон Усть-Семинского комплекса порфировых базальтов и трахибазальтов (Горный Алтай). Новосибирск : Изд-во СНИИГГиМС, 2006. 277 с.
- Изох А.Э., Вишневицкий А.В., Поляков Г.В. и др.** Урэгнурская платиноносная вулканоплутоническая пикрит-базальтовая ассоциация Монгольского Алтая – индикатор кембро-ордовикской крупной изверженной провинции // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 5. С. 665–681.
- Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Ковач В.П. и др.** Корообразующие магматические процессы при формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса: Sm–Nd-изотопные данные // Геотектоника. 1999. № 3. С. 21–41.
- Крук Н.Н., Крук Е.А., Николаева И.В.** Вещественный состав и источники раннекембрийских осадочных пород Алтае-Северосаянского вулканического пояса // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) : материалы науч. совещ. по Программе фундам. исслед. ОНЗ РАН. Вып. 7. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2009. Т. 1. С. 146–148.
- Крук Н.Н., Владимиров А.Г., Бабин Г.А. и др.** Континентальная кора Горного Алтая: природа и состав протолитов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 5. С. 431–446.

Крук Н.Н. Континентальная кора Горного Алтая: этапы формирования и эволюции, индикаторная роль гранитоидов // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 8. С. 1403–1423.

Оюунчимэг Т., Изох А.Э., Вишневский А.В., Калугин В.М. Изоферроплатиновая ассоциация минералов из россыпи реки Бургастайн-Гол (Западная Монголия) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 10. С. 1119–1131.

Репина Л.Н., Романенко Е.В. Трилобиты и стратиграфия нижнего кембрия Алтая. М.: Наука, 1978. 304 с.

Руднев С.Н., Владимиров А.Г., Пономарчук В.А. и др. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Алтае-Саянской складчатой области (латерально-временная зональность, источники) // Доклады РАН. 2004. Т. 396, № 3. С. 369–373.

Сафонова И.Ю., Буслов М.М., Кох Д.А. Фрагменты океанической коры Палеоазиатского океана в Горном Алтае и Восточном Казахстане: геохимия и структурное положение // Литосфера. 2004. № 3. С. 84–96.

Сафонова И.Ю., Буслов М.М., Симонов В.А. и др. Геохимия, петрогенез и геодинамическое происхождение базальтов из катунского аккреционного комплекса Горного Алтая (Юго-Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 4. С. 541–567.

Ханн В.Е., Тычков С.А., Владимиров А.Г. Коллизионный орогенез: модель отрыва субдуцированной пластины океанской литосферы при континентальной коллизии // Геология и геофизика. 1996. Т. 37, № 1. С. 5–16.

Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г. и др. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2000. 188 с.

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П. и др. Геодинамика формирования каледонид Центрально-Азиатского складчатого пояса // Доклады РАН. 2003. Т. 389, № 3. С. 354–359.

Boynton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // Rare earth element geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 63–114.

Dobretsov N.L., Buslov M.M., Uchio Y. Fragments of oceanic islands in accretion-collision areas of Gorny Altai and Salair, southern Siberia, Russia: early stages of continental crustal growth of the Siberian continent in Vendian-Early Cambrian time // Journal of Asian Earth Sciences. 2004. V. 23, № 5. P. 673–690.

Izokh A.E., Agafonov L.V., Borisenko A.S. et al. Kuznetsk Alatau-Altai platinum-bearing belt in west Altai-Sayan fold region (Russia-West Mongolia) // Metallogeny of the Pacific Northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins / ed. by A.I. Khanchuk et al. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 350–352.

Izokh A.E., Polyakov G.V., Vishnevsky A.V. et al. Age of ultramafic-mafic magmatism of Western Mongolia // Large Igneous Provinces of Asia: mantle plumes and metallogeny: Proceedings of the international symposium. Novosibirsk, 2009. P. 137–140.

Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: Its evolution and composition. London: Blackwell, 1985. 312 p.

Safonova I.Y., Buslov M.M., Iwata K., Kokh D.A. Fragments of Vendian-early Carboniferous oceanic crust of the Paleo-Asian Ocean in foldbelts of the Altai-Sayan region of Central Asia: Geochemistry, biostratigraphy and structural setting // Gondwana Research. 2004. V. 7, No. 3. P. 771–790.

Авторы:

Крук Николай Николаевич, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия. E-mail: kruk@igm.nsc.ru

Изох Андрей Эмильевич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией петрологии и рудоносности магматических формаций, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

Куйбида Максим Леонидович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

Крук Елена Анатольевна, ведущий инженер лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

Geosphere Research, 2017, 1, 39–49. DOI: 10.17223/25421379/2/5

N.N. Kruk^{1,2}, A.E. Izokh^{1,2}, M.L. Kuibida¹, E.A. Kruk¹

¹ *V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS, Novosibirsk, Russia*

² *Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia*

GEOCHEMISTRY OF SEDIMENTARY ROCKS OF CHEMAL FORMATION (GORNÝ ALTAI): A CONTRIBUTION TO THE PROBLEM OF THE NATURE OF MIDDLE-CAMBRIAN MAGMATISM IN THE WESTERN PART OF CENTRAL ASIA

Late Neoproterozoic – Early Paleozoic history of the western part of Central Asia Orogenic Belt is divided into two stages: the island-arc (Vendian – Early Cambrian) and accretion-collision, simultaneous to the formation of LIP (Late Cambrian – Ordovician). The boundary of these stages (Middle Cambrian) is characterized by the cessation of activity in the island arcs and active magmatism areas offset deep into the Siberian continent. On the western periphery of the Altai-Sayan region at this time formed the local areas of the diopside-porphyry basalt and picrites of unclear nature. One of these areas situated in the Katun zone of the Altai Mountains.

The paper presents data on the petrographic and geochemical characteristics of the sedimentary rocks of Chemal suite of Katun block of the Altai Mountains. This strata is formed at the turn of the early and middle Cambrian. It covers Late Neoproterozoic and Early Cambrian formation of Katun seamount and is overlapped by lava and tuffs of Middle Cambrian and diopside-porphyry basalts.

The sandstones and siltstones of Chermal suites have a low silica content (46–53 wt. % SiO_2). They are rich in Fe_2O_3 (10–12 wt. %), depleted in TiO_2 (<0.9 wt %), Al_2O_3 (<16 % wt. %), have low contents of HFSE (Y – 14–30 ppm; Zr – 40–160 ppm; Hf – 1–3.5 ppm; Ta – 0.07–0.12 ppm; Nb – 1.7–5.5 ppm) and REE (27–87 ppm). The characters are slightly asymmetric REE-patterns with (La/Yb) N = 1.5–2.6 without anomalies in Eu, selective depletion of Ta, Nb and Ti, enrichment Sr. On a set of fragments in sandstones and chemical composition rainfall Chermal suite close to the diopside-porphyry basalts. They are very different from both MORB and OIB-like basalts of the Katun seamount, and from the Early Cambrian island arc – related sedimentary rocks of Altai. The diopside-porphyry basalts were the only source of material for sedimentary rocks. Formation of Chermal suite rocks occurred in the intraoceanic environment without brings clastic material from the continent or island arcs. Synchronicity of volcanism and sedimentation with deformations of Early Cambrian strata indicates a manifestation of magmatic activity during the crowding of oceanic basin. The manifestation of the diopside-porphyry basalts in oceanic basins and the Altai Mountains of Western Mongolia and simultaneous formation of alkaline complexes with carbonatites on the Siberian continent indicates that this magmatic evince marked the termination of subduction processes and the initial stage of formation of Cambro-Ordovician LIP in Central Asia.

Keywords: Geochemistry of sedimentary rocks, the Altai Mountains, the early Paleozoic, large igneous provinces.

REFERENCES

- Belousov A.F., Kochkin Yu.N., Polyakova Z.G. *Vulkanicheskie kompleksi rifeyskoy i nizhnego paleozoya Gornogo Altaya, Gornoi Shorii i Salairskogo kryazha* [Volcanic complexes of Riphean and lower Palaeozoic in the Altai Mountains, Mountain Shoria and Salair Ridge] // Trudy IIGG SO AN SSSR. Moscow. Nauka. 1969. № 22, 283 p. In Russian.
- Berzin N.A., Coleman R.G., Dobretsov N.L. et al. Geodynamic map of the Western part of the Paleo-Asian Ocean // Russian Geology and Geophysics. 1994. V. 38. pp. 5–22.
- Buslov M.M., Watanabe T. Intracollision collision and its role in the evolution of an accretionary wedge: the Kurai zone of Gorny Altai, Central Asia // Russian Geology and Geophysics. 1996. V. 36. pp. 83–94.
- Vinkman M.K. *Stratigraficheskaya shema dokembriyskikh i nizhnekaledonskikh otlozheniy Gornogo Altaya* [Stratigraphic scheme of Precambrian sediments and Early Caledonian strata's of the Gorny Altai] // Materialy po geologii Sibiri. Moscow: Gosnauchtekhizdat, 1958, V. 61, pp. 5–23. In Russian.
- Vladimirov A.G., Kozlov S.M., Shokalsky S.P. et al. The basic boundaries of granitoid magmatism in Kuznetsk Alatau, Altai and Kalba (according to data of U-Pb isotope dating) // Russian Geology and Geophysics, 2001, V. 42, pp. 1149–1170.
- Volkova N.I., Sklyarov E.V. High-pressure complexes of Central Asian Fold Belt: geologic setting, geochemistry, and geodynamic implications // Russian Geology and Geophysics. 2007. V. 48. pp. 83–90.
- Vrublevskii V.A., Gertner I.F., Zhuravlev D.Z. et al. The Sm-Nd isotopic age and source of comagmatic alkaline mafic rocks and carbonatites of Kuznetsk Alatau // Doklady Earth Sciences. 2003. V. 391. pp. 832–835.
- Vrublevsky V.V., Gertner I.F., Vladimirov A.G. et al. Geochronological boundaries and geodynamic interpretation of alkaline-mafic magmatism in Kuznetsk Alatau // Doklady Earth Sciences. 2004. V. 398. pp. 990–994.
- Vrublevskii V. V., Izokh A. E., Polyakov G. V. et al. Early Paleozoic alkaline magmatism of the Altai Mountains: Ar-40-Ar-39 geochronology data for the Edel'veys complex // Doklady Earth Sciences. 2009. V. 427. pp. 846–850.
- Gibsher A.S., Esin S.V., Izokh A.E. et al. Cambrian diopside-bearing basalts of the Cheposh zone in Gorny Altai: A model for fractionation of hybrid magmas in intermediate magmatic chambers // Russian Geology and Geophysics. 1997. V. 38. pp. 1760–1772.
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii mashtaba 1 : 200 000* [State geological map of the Russian Federation scale 1 : 200 000]. Izdanie vtoroe. Seriya Altayskaya. List M-45-II (Gorno-Altaysk) / V.A. Krivchichikov, P.F. Selin, G.G. Rusanov. St.-Petersburg: Isd-vo kartfabriki VSEGEI. 2004. 202 p.
- Dobretsov N.L., Buslov M.M., Safonova I.Y. et al. Fragments of oceanic island in the Kurai and Katun' accretionary wedges of Gorny Altai // Russian Geology and Geophysics. 2004. V. 45. pp. 1381–1403.
- Dobretsov N.L., Buslov M.M. Late Cambrian-Ordovician tectonics and geodynamics of Central Asia // Russian Geology and Geophysics. 2007. V. 48. pp. 71–82.
- Dobretsov N.L. Early Paleozoic tectonics and geodynamics of Central Asia: role of mantle plumes // Russian Geology and Geophysics. 2011. V. 52. pp. 1539–1552.
- Zybin V.A. *Etalon Ust'-Seminskogo kompleksa porfirovykh basal'tov i trakhibasalt'tov (Gornyi Altay)* [Etalon of the Ust-Seminsky complex of porphyry basalts and trachybasalts (Gorny Altai)]. Novosibirsk: Isd-vo SNIIGGiMS. 2006. 227 p. In Russian.
- Izokh A.E., Vishnevskii A.V., Polyakov G.V. et al. The Ureg Nuur Pt-bearing volcanoplutonic picrite-basalt association in the Mongolian Altay as evidence for a Cambrian-Ordovician Large Igneous Province // Russian Geology and Geophysics. 2010. V. 51. pp. 521–533.
- Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Kovach V.P. i dr. *Koroobrazuyushchie processi pri formirovani Tsentral'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa: Sm-Nd izotopnye dannye* [Crust-forming magmatic processes in the formation of the Central Asian fold belt: Sm-Nd isotope data] // Geotektonika. 1999. № 3. pp. 21–41. In Russian.
- Kruk N.N., Kruk E.A., Nikolaeva I.V. *Veshchestvennyy sostav i istotniki rannekembriyskikh osadotnykh porod Altae-Severosayanskogo Vulkanicheskogo poyasa* [Composition and sources of the Early Cambrian sedimentary rocks of Altai-Norht Sayan volcanic belt] // Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentral'no-Aziatskogo podvignogo poyasa (ot okeana k kontinentu): materialy nauch. Sovetchniya po Programme fundam. Issledovaniy ONZ RAN. Vyp. 7. Irkutsk: IZK SO RAN. 2009. T. 1. pp. 146–148. In Russian.
- Kruk N.N., Vladimirov A.G., Babin G.A. et al. Continental crust of the Gorny Altai: nature and composition of protoliths // Russian Geology and Geophysics. 2010. V. 51. pp. 431–446.
- Kruk N. N. Continental crust of Gorny Altai: stages of formation and evolution; indicative role of granitoids // Russian Geology and Geophysics. 2015. V. 56. pp. 1097–1113.
- Oyunchimeg T., Izokh A.E., Vishnevsky A.V. et al. Isoferroplatinum mineral assemblage from the Burgastain Gol placer (Western Mongolia) // Russian Geology and Geophysics. 2009. V. 50. pp. 863–872.
- Repina L.N., Romanenko E.V. *Trilobity i stratigrafiya nignego kembriya Altaya* [Trilobites and stratigraphy of the Lower Cambrian of Altai]. Moscow: Nauka, 1978. 304 p. In Russian.

- Rudnev S.N., Vladimirov A.G., Ponomarchuk V.A. et al. Early Paleozoic granitoid batholiths of the Altai-Sayan folded region (Lateral-temporal zoning and sources) // *Doklady Earth Sciences*. 2004. V. 396. pp. 492–495.
- Safonova I.Yu., Buslov M.M., Kokh D.A. i dr. *Fragmentsy okeanicheskoy kory Paleo-Aziatskogo okeana v Gornom Altaye i Vostotnom Kazakhstane: geokhimiya i strukturnoye pologeniye* [Fragments of oceanic crust of the Paleo-Asian Ocean in Gorny Altai and Eastern Kazakhstan: Geochemistry and structural setting] // *Litosfera*. 2004. № 3. pp. 84–96. In Russian.
- Safonova I.Yu., Buslov M. M., Simonov V.A. et al. Geochemistry, petrogenesis and geodynamic origin of basalts from the Katun' accretionary complex of Gorny Altai (southwestern Siberia) // *Russian Geology and Geophysics*. 2011. V. 52. pp. 421–442.
- Khain V.E., Tychkov S.A., Vladimirov A.G. Collision orogenesis: a model for the detachment of a subducted oceanic lithosphere plateaus as a result of continental collision // *Russian Geology and Geophysics*. 1996. V. 37. pp. 5–16.
- Shokal'skiy S.P., Babin G.A., Vladimirov A.G. i dr. *Korrelatsiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov zapadnoi chasti Altae-Sayanskoi skladchatoi oblasti* [Correlation of magmatic and metamorphic complexes of the western part of the Altai-Sayan folded area]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, filial "GEO". 2000. 188 p. In Russian.
- Yarmolyuk V.V., Kovalenko V.I., Kovach V.P. et al. Geodynamics of Caledonide formation in the the Central Asian fold belt // *Doklady Earth Sciences*. 2003. V. 389. pp. 354–359.
- Boynton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // *Rare earth element geochemistry*. Amsterdam: Elsevier. 1984. pp. 63–114.
- Dobretsov N.L., Buslov M.M., Uchio Y. Fragments of oceanic islands in accretion-collision areas of Gorny Altai and Salair, southern Siberia, Russia: early stages of continental crustal growth of the Siberian continent in Vendian-Early Cambrian time // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2004. V. 23. № 5. pp. 673–690.
- Izokh A.E., Agafonov L.V., Borisenko A.S. et al. Kuznetsk Alatau-Altai platinum-bearing belt in west Altai-Sayan fold region (Russia-West Mongolia) // *Metallogeny of the Pacific Northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins* / Edited by A.I. Khanchuk et al., Vladivostok: Dalnauka, 2004. pp. 350–352.
- Izokh A.E., Polyakov G.V., Vishnevsky A.V. et al. Age of ultramafic-mafic magmatism of Western Mongolia // *Large Igneous Provinces of Asia: mantle plumes and metallogeny: Proceedings of the international symposium*. Novosibirsk, 2009. pp. 137–140.
- Taylor S.R., McLennan S.M. *The continental crust: Its evolution and composition*. London: Blackwell. 1985. 312 p.
- Safonova I.Y., Buslov M.M., Iwata K., Kokh D.A. Fragments of Vendian-early Carboniferous oceanic crust of the Paleo-Asian Ocean in foldbelts of the Altai-Sayan region of Central Asia: Geochemistry, biostratigraphy and structural setting // *Gondwana Research*. 2004. V. 7. pp. 771–790.

Authors:

Kruk Nikolai N., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: aakruk@mail.ru

Izokh Andrei E., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Head of Laboratory, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS, Novosibirsk, Russia

Kuibida Maxim L., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS, Novosibirsk, Russia

Kruk Elena A., Lead Engineer, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS, Novosibirsk, Russia