

УДК 552.3 (571.56)

Геохимия нижнеюрских эффузивов Кобюминской системы впадин Верхоянского складчато-надвигового пояса

А.И. Киселев, Я.П.Шепелева, И.И.Колодезников

Геохимические особенности раннеюрских эффузивных пород Кобюминской системы впадин позволили определить природу вулканизма Южного Верхоянья.

Geochemical features of Early Jurassic volcanic rocks of The Kobuma system of hollows have allowed to determine a nature of volcanism of the Southern Verhoyn.

Кобюминская система впадин субширотного простирания находится в юго-восточной части Верхоянского складчато-надвигового пояса в междуречье Брюнгаде–Куйдусун. В тектоническом отношении она пространственно совпадает с Кобюминской системой складок, расположенной между Адыча-Эльгинским и Сунтарским поднятиями (рис. 1). Она объединяет несколько синклиналей и антиклиналей, главным образом приразломного характера, и блоковых структур типа грабен–синклиналей. Эта система сложена породами средней перми – верхней юры. Границами системы служат Брюнгадинский разлом на севере и Сунтар-Буор-Юрхаский на юге. На западе она срезает структуры Приохотской зоны Южно-Верхоянского синклинория, с меридиональными складками Кумбарино-Оганьинской зоны устанавливается торцовое сочленение по северному окончанию Юдомского разлома. Восточной границей системы служит Тас-Кыстабытский разлом.

В пределах Кобюминской системы складок четко обособляются две структурные зоны, характеризующиеся различным типом складчатости и проявления магматизма. Разделены они Кюентинским разломом. В западной зоне системы, сложенной отложениями верхней перми – средней юры, дислоцированными в крупные асимметричные линейные складки, широко развиты раннеюрские вулканогенные и интрузивные образования. В восточной зоне отсутствуют выходы пермских пород, широким распростра-

нением пользуются блоковые структуры типа грабен-синклиналей, а магматические образования представлены главным образом гранитоидами мелового возраста. В структурном плане западная зона Кобюминской системы складок расположена за северным окончанием Приохотской зоны Южно-Верхоянского синклинория, а восточная – непосредственно в пределах Эльги-Охотского антиклинория, лишь частично вдаваясь в Верхне-Индибирский синклинорий (рис. 1)

На территории Кобюминской системы впадин развиты нижнеюрские вулканогенно-осадочные отложения, представленные двумя типами разреза: восточным и западным. Восточный разрез, составленный по руч. Круг, является наиболее изученным. Здесь существенная роль принадлежит потокам базальтов, которые по химическому составу рядом исследователей отнесены к базальтам континентальных рифтов, сформированным в мелководном окраинном море.

Западный разрез изучен по руч. Луговая, где имеют широкое распространение базальты, туфы базальтов, ксенотуфы, туффиты и терригенные породы. В разрезе на долю лавовых потоков приходится менее 15 % от всей толщи вулканогенно-осадочных пород. Они представлены серыми, зеленовато-серыми и черными порфировыми или афировыми базальтами, реже оливиновыми базальтами и гиалобазальтами. Базальты отличаются относительным однообразием первичного минерального состава и различной степенью раскристаллизации основной массы и мезостаза с широким спектром различных базитовых микроструктур. Наряду с плотными, массивными текстурами обильны миндалекаменные до пористых шламовых разновидности. Соотношение миндалин и основной

КИСЕЛЕВ Александр Ильич – д.г.-м.н., в.н.с. Института земной коры СО РАН; ШЕПЕЛЕВА Яна Петровна – ассистент ГГИ ЯГУ; КОЛОДЕЗНИКОВ Игорь Иннокентьевич – д.г.-м.н., зав. кафедрой ЯГУ.

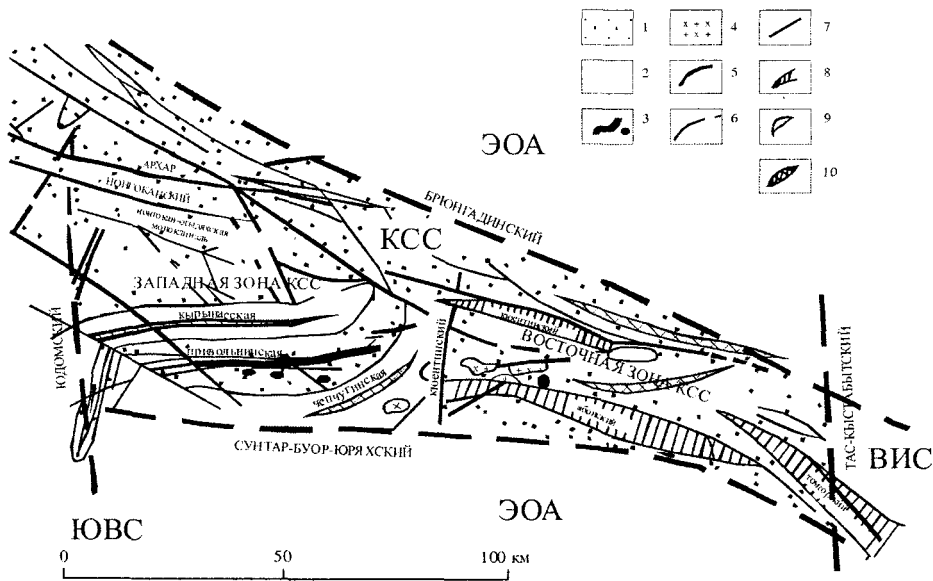


Рис. 1. Тектоническая схема Кобьюминской системы складок (по материалам Б.И. Попова, 1978): 1 – поле распространения триасовых – среднеюрских отложений; 2 – поле распространения пермских отложений; 3 – раннеюрские силлы, штоки, дайки; 4 – раннемеловые субвулканы (гранитоиды); 5 – внутригеосинклинальные граничные разломы; 6 – глубокие коровые разломы; 7 – разломы осадочной толщи; 8 – грабены; 9 – оси синклиналей; 10 – оси антиклиналей; КСС – Кобьюминская система складок; ЭОА – Эльги-Охотский антиклинорий; ЮВС – Южно-Верхоянский синклинорий; ВИС – Верхне-Инди́гирский синклинорий

апостекловатой массы значительно варьирует и в более пенистых лавах количество микроскопических миндалинов составляет до 70–80 %. Наиболее крупные полости по направлению от периферии к центру выполнены палагонитом, хлоритом, анальцимом и другими цеолитами, более поздним кальцитом, иногда халцедоном и кварцем. Многочисленны псевдоморфозные замещения по вкрапленникам плагиоклаза – лабрадора, оливина, титан-авгитового пироксена.

Базальты слагают сравнительно маломощные, не всегда выдержанные потоки (0,3–3 до 15 м) с субгоризонтальной или слабобугристой поверхностью или в ассоциации с туфами образуют грубо-стратифицированные пачки мощностью до 35 м.

Более редкими и маломощными являются эффузивно-обломочные породы – лаво- и гиалокластиты.

Преобладающая роль в данном типе разреза принадлежит пирокластическим породам, на долю которых приходится около 70 % от всей толщи. Пирокластические породы представлены туфами основного состава, туффитами и ксентуфами. Характерной особенностью туфов является преобладание агломератовых и лапиллиевых разновидностей, а также присутствие шлаковых разновидностей. В разрезе мощность туфов составляет от 1–5 м до 18–30 м, достигая иногда 130–360 м.

Представительные анализы эффузивных пород Кобьюминского грабена, отобранные по левому борту руч. Луговая, приведены в таблице. В целом породы на диаграмме: сумма щелочей – SiO₂ (TAS) относятся к петрохимическим сериям толеитовых и умеренно щелочных пород с коле-

банием составов от низкомагнезиальных базальтов до андезитов (рис. 2). Для базальтов установлены следующие вариации в содержании петрогенных окислов (мас. %): SiO₂ – 45,2–50,6 %, TiO₂ – 1,7–2,3 %, Al₂O₃ – 13–16,4 %, MgO – 3,7–7,3 %. Судя по высокому содержанию CO₂

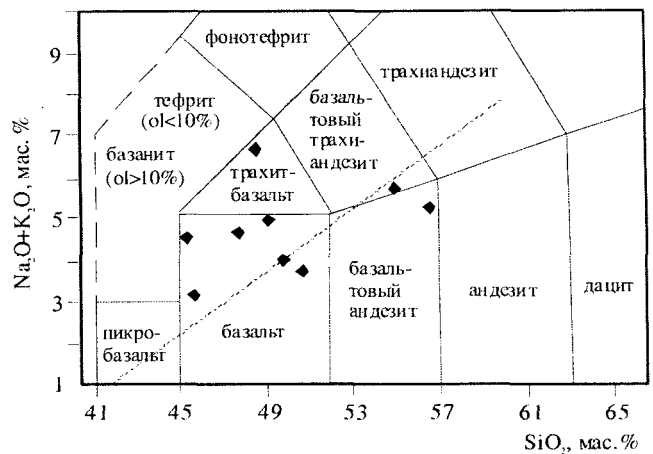


Рис. 2. Положение эффузивов Кобьюминского грабена на классификационной диаграмме (Na₂O+K₂O) – SiO₂. Пунктиром показана линия, разделяющая толеитовые и щелочные базальты [1]

(до 5,39 %) и потерь при прокаливании (п.п.п. до 5,25 %) в некоторых образцах, можно заключить, что исследуемые породы в разной степени испытывали низкоградный метаморфизм, а местами – наложенную карбонитизацию. Данное обстоятельство следует иметь в виду особенно при оценке кремнекислотности и щелочности вулкаников как главных классификационных признаков. Например, при пересчете на сухой остаток

Состав эффузивов Кобюминского грабена

	ш1-5/к-03	ш1-10/к-03	ш1-11/к-03	ш1-12/к-03	ш1-15/к-03	ш1-21/к-03	ш1-25/к-03	ш1-37/к-03	ш1-38/к-03
SiO ₂	45,58	49,76	45,23	47,64	54,88	56,50	50,63	48,45	49,00
TiO ₂	1,65	1,80	2,26	2,04	1,33	1,34	1,77	1,96	2,04
Al ₂ O ₃	12,90	13,90	16,42	14,90	12,74	9,45	13,42	14,75	15,30
Fe ₂ O ₃	2,20	2,75	5,85	2,86	1,95	2,47	1,42	1,26	2,12
FeO	11,54	9,73	5,25	10,27	7,83	4,70	10,27	10,04	9,79
MnO	0,14	0,13	0,08	0,11	0,07	0,12	0,12	0,16	0,13
MgO	7,34	6,79	3,74	5,39	5,50	2,25	4,69	5,54	5,49
CaO	8,38	8,13	9,06	8,51	2,81	8,93	9,00	7,60	8,16
Na ₂ O	2,29	3,10	3,71	3,76	5,11	2,29	2,85	5,81	3,90
K ₂ O	0,19	0,36	0,38	0,45	0,32	2,01	0,30	0,73	0,65
P ₂ O ₅	0,24	0,16	0,27	0,25	0,09	0,40	0,20	0,32	0,31
CO ₂	3,19	2,28	2,33	0,55	1,10	5,39	2,42	0,11	
п.п.п	4,01	0,39	4,15	2,34	5,25	2,98	2,47	2,98	2,58
Сумма	99,69	99,28	98,73	99,07	98,98	99,46	99,56	99,71	99,47
Sc	18,78	22,15	21,41	15,93	21,32	8,25	19,71	20,49	19,18
V	162,52	164,50	177,43	171,20	139,35	88,18	152,34	164,71	160,38
Cr	174,74	200,48	225,35	175,11	193,24	68,53	194,73	215,88	145,77
Co	45,09	42,56	34,30	37,82	42,13	23,56	41,07	32,24	31,99
Ni	126,05	89,46	57,57	61,50	106,52	46,30	97,86	60,21	57,72
Rb	2,27	5,91	5,53	7,44	10,43	33,91	6,11	8,30	15,45
Sr	309,81	277,03	568,39	339,75	734,29	1161,08	456,13	444,71	561,19
Y	15,98	17,49	20,27	11,69	17,33	15,69	16,59	19,46	19,60
Zr	72,14	82,27	70,87	78,11	68,21	143,73	80,12	124,75	136,85
Nb	15,94	10,19	19,72	17,65	10,62	47,76	11,18	31,10	30,54
Cs	0,81	0,23	0,24	0,13	9,82	3,35	1,74	0,10	0,92
Ba	106,34	203,36	245,71	148,36	176,69	682,58	313,89	403,72	426,39
La	10,90	7,84	16,45	9,02	11,69	36,53	8,87	19,41	18,59
Ce	23,53	17,59	34,67	18,21	25,89	74,61	19,29	41,40	39,00
Pr	3,39	2,46	4,51	2,43	3,49	8,14	2,74	5,09	4,84
Nd	13,63	11,01	18,08	9,91	14,13	28,40	11,92	19,21	18,45
Sm	3,77	3,40	4,68	2,61	4,24	5,40	3,50	4,84	4,63
Eu	1,40	1,37	1,69	0,94	1,65	1,67	1,36	1,80	1,75
Gd	4,65	4,43	5,65	3,14	5,27	5,60	4,32	5,91	5,43
Tb	0,67	0,70	0,80	0,43	0,82	0,63	0,63	0,78	0,79
Dy	3,68	3,83	4,36	2,50	4,31	3,55	3,60	4,32	4,30
Ho	0,71	0,77	0,84	0,48	0,78	0,66	0,70	0,82	0,82
Er	1,77	1,91	2,02	1,21	1,83	1,60	1,73	2,05	2,08
Tm	0,25	0,27	0,27	0,17	0,25	0,22	0,24	0,28	0,30
Yb	1,52	1,75	1,67	1,06	1,58	1,42	1,53	1,82	1,91
Lu	0,20	0,23	0,22	0,13	0,18	0,18	0,20	0,24	0,25
Hf	2,32	3,12	1,97	2,74	1,85	3,52	2,54	3,75	4,09
Ta	1,05	0,76	1,42	1,29	0,69	2,97	0,82	1,96	2,00
Pb	0,51	1,17	0,48	3,14	10,46	4,67	42,65	1,13	4,76
Th	1,30	0,95	2,16	1,04	1,33	5,74	1,09	2,62	2,70
U	0,37	0,34	0,48	0,49	0,55	1,27	0,36	0,67	0,68

Примечание. Силикатные анализы выполнены в ИЗК СО РАН (аналитик М.М. Смагунова). Состав микроэлементов определен методом ISP-MS на приборе ELEMENT-II в Байкальском аналитическом центре ИНЦ СО РАН (аналитик В.И. Ложкин).

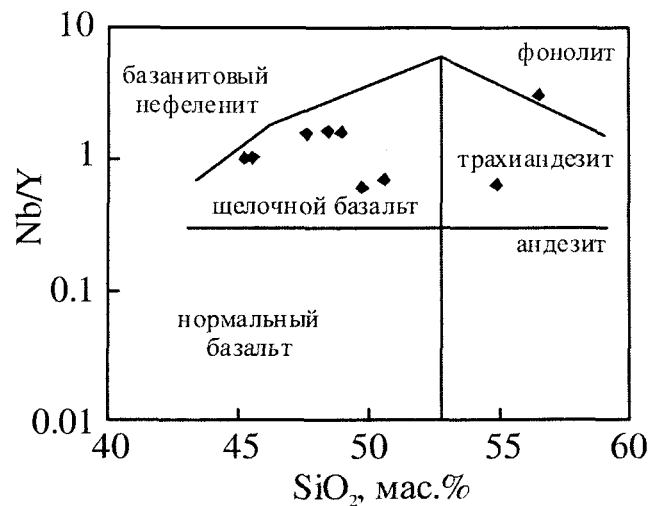


Рис. 3. Положение эффузивов Кобьюминского грабена на диаграмме Nb/Y – SiO₂ [2]

содержание SiO₂ увеличивается до 49 % (обр. ш1-5) и до 61 % (обр. ш1-21). Относительное увеличение щелочности при этом невелико. В целом базальты имеют отчетливо выраженную натровую специализацию. В отдельных случаях (обр. ш1-37) высокое содержание натрия (Na₂O – 5,81 %), вероятно, связано с альбитизацией. Образцы ш1-15

и ш1-21 по щелочности отвечают области перехода от базальтовых андезитов к базальтовым трахиандезитам, причем последний характеризуется повышенным содержанием калия. В настоящее время приводятся весомые доказательства высокой подвижности щелочей в гипергенных условиях, искажающих их первичное содержание в семействе базальтов. Для исключения этого фактора рассмотрим положение исследуемых пород на дискриминационной диаграмме Nb/Y – SiO₂ [2], в которой использованы Nb и Y, остающиеся неподвижными при вторичных изменениях. Здесь видна отчетливая приуроченность пород к щелочным базальтам и трахиандезитам (рис. 3).

При рассмотрении геохимической специфики собственно базальтов с помощью мультиэлементных диаграмм обращают на себя внимание значительные колебания в концентрациях мобильных крупноионных литофильных элементов (LILE), таких как Cs, Rb, K, Ba и Sr, которые могут зависеть от поведения флюидной фазы (таблица, рис. 4, 5). Содержания менее подвижных высокозарядных элементов (Sc, Y, Th, Pb, Zr, Hf, Nb, Ta) достаточно ограничены в своих вариациях,

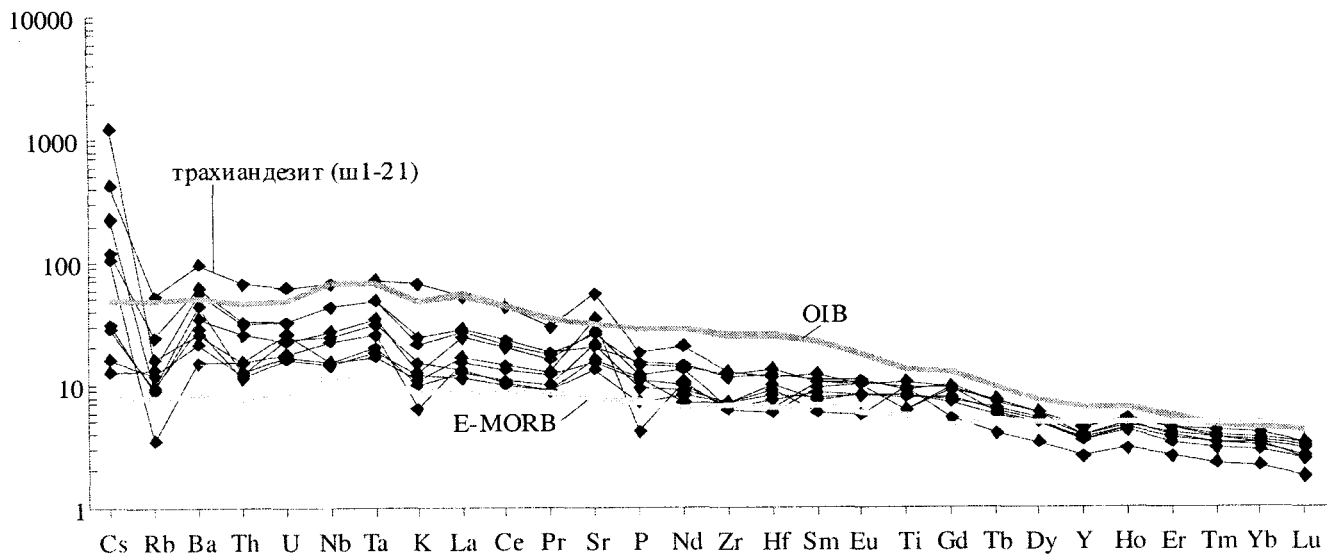


Рис. 4. Содержание редких элементов в эффузивах Кобьюминского грабена, нормализованных к составу примитивной мантии [3]

поскольку контролируются составом глубинного источника и процессами, такими как контаминация или фракционная кристаллизация инициальных расплавов. Значительные колебания в содержаниях свинца в базальтах в данном случае имеют вторичную природу и могут быть связаны с наложенной сульфидной минерализацией. Распределение содержаний редкоземельных элемен-

тов вулканитов, нормированных по составу примитивной мантии [3], отражено на рис. 5. Судя по наклону кривых, очевидно обогащение пород подвижными легкими редкими землями (LREE) вплоть до европия по отношению к тяжелым. Более высокое содержание LREE, а также крупноионных литофильных элементов (LILE) свойственно наиболее дифференцированным членам

базальтовой серии – трахиандезитам, что приближает их по содержанию микроэлементов к базальтам океанических островов (ОИВ). Собственно базальты в целом имеют более низкие концентрации как легких, так и тяжелых редкоземельных элементов по отношению к ОИВ при их нормировании к составу примитивной мантии, приближающиеся к обогащенным базальтам срединно-океанических хребтов (E-MORB). При сравнении вулканитов Кобюминских грабенов с базальтами океанических островов (ОИВ) мы акцентируем внимание на отсутствие в тех и других Nb – Ta минимума (рис. 4), что указывает на их генетическую связь с внутриплитным мантийным источником, более деплетированным, чем источник для ОИВ, и на слабое контаминирующее влияние коры.

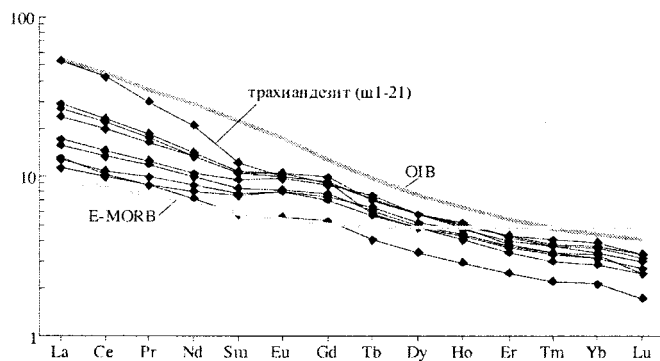


Рис. 5. Содержание редкоземельных элементов в эффузивах Кобюминского грабена, нормализованных к составу примитивной мантии [3]

Судя по величине магниевого числа $[Mg\# = Mg/(Mg+0,85 Fe^{++})]$ в базальтах (0,43–0,55), трахиандезитах (0,41) и изменчивому, но в целом низкому содержанию Ni (58–126 ppm в базальтах и 46 ppm в трахибазальтах) и Cr (146–225 ppm в толеитовых базальтах и 68 ppm в трахибазальтах), составы инициальных мантийных расплавов были существенно модифицированы в результате фракционирования и, возможно, за счет контаминации коровым материалом. Наличие порфирировых выделений в исследуемых эффузивах свидетельствует о том, что вариации их составов определялись фракционной кристаллизацией оливина, клинопироксена, плагиоклаза, оксидов титана и железа. Кристаллизация, очевидно, влияла и на фракционирование LILE. Ограниченный диапазон значений $(La/Sm)_N$ отношения, нормированных к примитивной мантии, в базальтах меняется мало (1,5–2,6), что согласуется с незначительными вариациями значений магниевого числа. Отсутствие европейской аномалии

в базальтах может быть обусловлено отсутствием выноса кристаллизующегося плагиоклаза из магматической системы и/или высокой фугитивностью кислорода в магматической камере расплава. Для трахиандезитов характерны более высокая степень фракционирования LREE и сопутствующее ему повышение значений $(La/Sm)_N = 4,4$. На поздних этапах эволюции расплава, сопровождаемого увеличением в нем концентрации воды, возможен переход от пироксен-плагиоклазового к амфибол-плагиоклазовому (+/- оксиды) фракционированию. На это указывает уменьшение в химическом составе трахиандезитов Fe и Ti. В отношении фракционирования полезно проанализировать значения Nb/Ta отношений (13,4–15,3) в эффузивах Кобюминских грабенов, которые меньше отношений для примитивной мантии (17,3), но больше, чем для коры (10,9) [2–4]. Повышение величины Nb/Ta отношения в трахиандезитах (16,1), вероятнее всего, связано с фракционированием Ti-содержащих минералов – ильменита и титаномагнетита, при кристаллизации которых происходило их более высокое обогащение танталом, чем ниобием, относительно сосуществующего расплава.

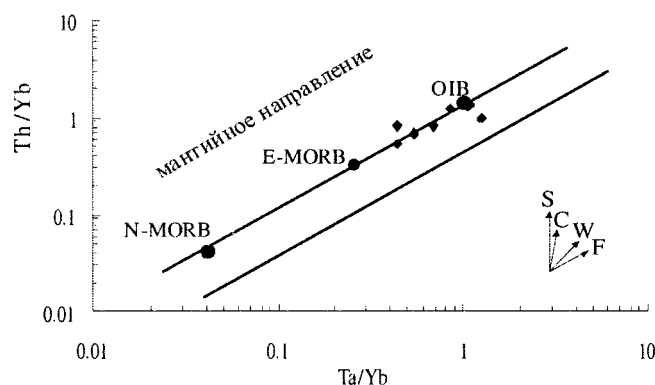


Рис. 6. Положение эффузивов Кобюминского грабена на диаграмме Th/Yb – Ta/Yb [5]. Векторы показывают направления возможных изменений состава инициальных расплавов: S – субдукционное обогащение, C – коровая контаминация, W – внутриплитное обогащение, F – фракционная кристаллизация

Возможность коровой контаминации можно оценить по содержанию в эффузивах Th, Ta и Yb. При ее реализации происходят относительное обогащение пород Th относительно Ta и повышение Th/Yb отношения [5]. На графике Th/Yb – Ta/Yb (рис. 6) исследуемые базальты образуют тренд, расположенный в пределах мантийного тренда, характеризующего вариации индикаторных отношений элементов в ряду N-MORB, E-MORB и ОИВ. При этом часть составов

базальтов тяготеет к ОИВ, а остальные занимают промежуточное положение между E-MORB и ОИВ. Положение базальтов относительно тренда мантийной корреляции исключает заметное влияние материала коры на состав исходных для них расплавов.

Исследованные эффузивы Кобюминской системы представляют область базальтового магматизма, локализованного в местах максимального растяжения – рифтовых впадинах и их ближайшем окружении. Полученные геохимические характеристики исследованных пород позволяют предполагать связь вулканизма Южного Верхоянья с плюмовой активностью. Геохимическая специфика эффузивов, вероятно, определялась смещением внутриплитного ОИВ-подобного плюмового компонента с компонентом, представляющим умеренно деплетированную мантию.

Литература

1. MacDonald G.A., Katsura T. Chemical com-

position of Hawaiian lavas // J. Petrol. – 1964. – V. 5, № 1. – P. 82–133.

2. Winchester J.A., Floyd P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation product using immobile elements // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1977. – V. 20, № 4. – P. 325–343.

3. Sun S.S., McDonough. Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the ocean basins. Geol. Soc. Spec. Publ. – 1989. – № 42. – P. 313–345.

4. Rudnick R.L., Fountain D.M. Nature and composition of the continental crust: a lower crust perspective // Rev. Geophys. – 1995. – V. 33. – P. 267–309.

5. Pearce J.A. The role of subcontinental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins // Continental basalt and mantle xenolith. Eds. C.J. Hawkesworth and H.J. Horry. Nantwich, Shiwa. – 1983. – P. 230–249.



УДК 550.84.092.1:553.261

Сравнительная характеристика архейских золоторудных месторождений

А.А. Сясько, Н.Н. Гриб, В.М. Никитин

Представлено сравнение золоторудного месторождения Колар (Индия) и Кур-Притрассовое (Россия). Показана высокая степень схожести размещающегося в породах зеленокаменного пояса докембрийского месторождения Индии и нового типа (для Алдано-Станового щита) золоторудного месторождения. Схожесть выражена во всех аспектах геологического строения – от региональной позиции до локальных рудных тел. Также представлены некоторые результаты геохимических исследований, на настоящий момент одного из эффективнейших, как минимум, инструментов исследований золоторудных месторождений.

A comparison between the Kolar Au deposit (India) and Kur-Prirassovoe (Russia) Au deposit is made in this article. Article are represent high identity of the green-stone allocated Indian's Precambrian deposits and the new type (for Aldan-Stanovoy craton) Au deposits. Identity are specified in all subject of the geological structure – from regional position to local ore body. Also represent some geochemical exploration results, as yet – one of the very effective tools in the prospecting of gold deposits, at the least.

Данная статья продолжает развитие темы исследований золотоносности докембрийских об-

разований Алдано-Станового щита. Так, в докладе «Описание и классификация архейских малосульфидных золото-кварцевых месторождений и пересмотр классификации золота Хоумстейка» [1] T.L. Klein и W.C. Day (Служба внутренних геологических изысканий США) излагают свой взгляд на строение и геологию архейских золо-

СЯСЬКО Андрей Александрович – к.т.н., доцент ТИ(ф) ЯГУ; ГРИБ Николай Николаевич – д.т.н., зам. директора ТИ(ф) ЯГУ; НИКИТИН Валерий Мефодиевич – д.т.н., директор ТИ(ф) ЯГУ.