

УДК 553.411.491:550.42

ПЕТРОГЕНЕЗИС И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТО-ОБОГАЩЕННЫХ КОЛЧЕДАННЫХ СИСТЕМ РУДНО-АЛТАЙСКОГО МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОГО ПОЯСА

А.И. Гусев, А.Ф. Коробейников*

Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, г. Бийск

E-mail: anzerg@mail.ru

*Томский политехнический университет

E-mail: lev@tpu.ru

На основании авторских и литературных данных выявлены петрологические особенности рудогенерирующих золото-обогащенных колчеданных систем Рудно-Алтайского металлогенического пояса. Золото-обогащенные системы пояса приурочены к наиболее раннему этапу вулканической деятельности. Риолиты и риодациты Au-обогащенных колчеданных систем по геохимическим данным тяготеют к источнику обогащенной мантии.

Ключевые слова:

Вулканические толщи, эмс-эйфель, золото, аномальный океанический хребет, аномальная мантия.

Key words:

Volcanic suits, Emsian-Eifelian, gold, anomalous oceanic ridge, anomalous mantle.

Введение

В последнее десятилетие среди вулканогенных колчеданных месторождений выделяется самостоятельная группа объектов [1, 2], в которых золото имеет промышленное значение. Рудно-Алтайский металлогенический пояс протягивается с запада на восток (от Алтайского края России через Республику Казахстан до северо-западной части Китая) более чем на 2500 км при ширине от нескольких десятков км до 100 км. В Рудном Алтае золото-обогащенные колчеданные месторождения встречаются достаточно часто. В таких месторождениях золото и серебро извлекаются при переработке руд. Имеются и месторождения, в которых золото содержится в незначительных количествах. В этой связи возникла проблема изучения этих систем с оценкой петрологических критериев повышенной золотоносности.

Петрогенезис и геодинамическая обстановка формирования колчеданных месторождений

Как известно, в Рудном Алтае выделяется несколько временных уровней распространения стратифицированных вулканитов и колчеданного оруденения. При этом происходит омоложение возраста вулканогенных пород и руд в пределах Рудно-Алтайского металлогенического пояса от Лениногорского района в обе стороны на северо-запад (Алтайский край в России) и юго-восток (Китай). Золото-обогащенная минерализация ассоциирована с наиболее кислыми (мельничная и крюковская свиты) вулканическими центрами эмс-эйфельской вулканической фазы (Лениногорский, Зырянский и Змеиногорский рудные районы) [1]. Состав вулканитов приведен в табл. 1.

Вулканогенные массивные сульфидные (VMS) месторождения с заметно меньшими концентрациями золота Прииртышского, Золотушинского,

Рубцовского и Ашельского (Китай) рудных районов связаны с последующим живет-франскими бимодальными базальт-риолитовыми вулканическими породами. Кроме того, в пределах конкретных рудных узлов наблюдается закономерность — наиболее золото-обогащенными являются самые ранние производные вулканогенно-гидротермальной деятельности. Следует отметить, что в самых ранних и нижних горизонтах кислых лав (дацитах, риодацитах, риолитах) отмечаются самые высокие суммарные содержания редкоземельных элементов. При этом в лавах мельничной свиты (Российская часть Рудного Алтая) и в эффузивах крюковской свиты (Казахстанская часть Рудного Алтая) наблюдаются примерно одинаковые суммарные содержания TR.

Отношение La к Nb в кислых лавах Рудного Алтая разделяются на кластеры: самые ранние по времени формирования и наиболее золотоносные системы (Риддер-Сокольная, Змеиногорская, Зареченская, Майская и др.) имеют самые высокие значения отношения La/Nb (для крюковской свиты, вмещающей Риддер-Сокольное, Ново-Лениногорское и другие месторождения Казахстана отношение La/Nb варьирует от 3,75 до 5,33, среднее — 4,31; для мельничной свиты с Зареченским, Змеиногорским, Майским и другими месторождениями Российской части Рудного Алтая эти отношения колеблются от 1,32 до 5,78, (среднее значение — 3,1). Отношение La/Nb в лавах заводской (D₁) и каменевской свит (D₂₋₃) значительно ниже (от 1,62 до 2,1, среднее значение 1,79) (рис. 1).

Близкие отношения La/Nb отмечаются для лав, вмещающих аналогичное месторождение Ашеле (Китай). Колчеданные объекты, связанные с самым нижним стратиграфическим уровнем, средние по размерам и концентрации золота в них резко снижены. Следует отметить, что с этим уровнем

Таблица 1. Представительные результаты анализов кислых вулканитов в свитах Рудного Алтая (главные оксиды в мас. %, химические элементы – в г/т)

Оксиды, химические элементы и их отношения	Мельничная		Крюковская		Каменевская		Пихтовская	
	Риодацит	Риолит	Риодацит	Риолит	Риодацит	Риолит	Дацит	Риолит
SiO ₂	71,32	76,00	70,49	76,10	72,35	76,70	66,11	75,87
TiO ₂	0,24	0,13	0,25	0,14	0,21	0,12	0,39	0,13
Al ₂ O ₃	13,10	11,17	13,25	11,21	12,27	11,1	14,35	10,71
Fe ₂ O ₃ общ.	4,54	3,66	4,59	3,71	4,91	3,07	4,67	4,23
MnO	0,06	0,04	0,08	0,03	0,07	0,05	0,09	0,08
MgO	1,50	0,73	1,53	0,72	1,52	0,96	2,87	1,30
CaO	0,91	0,36	0,90	0,38	0,81	0,51	2,56	0,80
Na ₂ O	3,29	2,96	3,35	3,02	3,1	3,06	2,81	2,00
K ₂ O	3,21	4,3	3,38	4,4	3,24	3,48	1,84	2,30
P ₂ O ₅	0,09	0,08	0,10	0,06	0,10	0,02	0,13	0,03
Rb	112,30	107,60	121,30	110,30	52,10	51,50	31,50	29,40
Cs	9,40	0,62	9,10	0,59	8,00	1,90	6,10	1,20
Ba	607	585	622	604	440	305	91,70	88,40
Sr	145	40	153	41,80	132	23,50	97,20	20,80
Zr	110	291	107	295	88,1	120	74,4	135
Hf	4,20	8,70	4,70	9,10	2,42	4,65	2,21	4,07
Nb	7,00	12,50	6,60	11,50	4,80	8,50	3,90	6,50
Ta	0,51	0,81	0,50	0,90	0,30	0,57	0,29	0,61
Th	4,20	7,00	4,80	7,50	2,85	5,30	3,21	5,76
U	2,03	2,53	2,11	2,67	1,01	1,62	1,01	1,73
Y	66,20	76,00	65,30	77,00	21,70	29,10	19,40	22,30
La	39,80	40,90	40,70	41,10	12,20	13,80	8,97	10,70
Ce	84,40	87,00	85,60	88,50	30,10	33,40	21,10	23,30
Pr	11,30	12,30	11,60	12,40	3,80	4,02	2,45	3,730
Nd	48,10	49,40	49,80	50,60	16,50	17,00	10,50	11,80
Sm	9,60	10,80	9,40	10,50	3,75	4,50	2,56	3,83
Eu	1,89	1,85	1,88	1,77	1,20	0,51	0,68	0,53
Gd	9,80	11,3	9,60	10,80	3,88	5,10	2,72	4,27
Tb	1,83	1,96	1,98	2,02	0,68	0,90	0,49	0,57
Dy	10,10	12,40	10,30	12,70	3,81	5,70	3,33	4,96
Ho	2,47	2,66	2,53	2,71	0,86	1,20	0,79	0,95
Er	7,10	8,30	6,90	8,50	2,45	3,70	2,36	3,30
Tm	1,24	1,38	1,35	1,41	0,39	0,65	0,40	0,68
Yb	7,80	9,30	9,50	10,60	2,37	3,90	2,47	3,26
Lu	0,76	1,39	0,89	1,41	0,35	0,61	0,39	0,57
ΣTR	236,2	250,94	242,03	255,02	82,34	94,99	59,21	72,45
Co	17,00	5,30	17,40	5,60	16,10	2,80	11,30	2,10
Cr	131	125	128	122	110	119	35,0	27,4
Sc	8,40	4,20	9,10	4,50	22,1	10,4	18,8	9,50
Ga	19,4	17,1	18,2	17,4	17,5	15,1	16,0	14,1
Cu	99,3	65,2	85,7	67,8	60	32	17,0	8,50
Sn	3,57	3,88	3,82	4,05	4,13	4,21	5,60	6,10
W	1,00	1,10	1,20	1,30	2,30	2,80	3,10	3,70
Mo	1,01	1,09	1,05	1,12	2,40	2,90	2,85	3,10
Be	0,77	0,81	0,75	0,82	0,95	1,34	0,80	1,20
La/Nb	5,70	3,27	6,20	4,31	2,79	1,65	2,30	1,65
Zr/TiO ₂	0,10	0,45	0,09	0,27	0,02	0,30	190,7	0,13
Zr/Y	1,66	3,83	1,64	3,83	4,06	4,13	3,84	6,05
Nb/Y	0,11	0,16	0,10	0,15	0,22	0,30	0,20	0,29
Nb/Ta	13,70	15,40	13,20	12,80	16,70	13,85	13,40	5,90
La/Sm _{UCN}	0,62	0,57	0,57	0,58	0,55	0,49	0,53	0,42
La/Yb _N	3,40	2,90	2,80	2,56	3,70	2,48	2,40	2,17

Примечание. Анализы выполнены методами: петрогенные компоненты – рентгеноспектральный флуоресцентный (Лаборатория ИГМ СО РАН, г. Новосибирск), остальные компоненты – ISP-MS и ISP-AES в лаборатории ИМГРЭ (Москва); La/Yb_N – отношения нормированных содержаний лантана и иттербия на средние содержания в хондрите; La/Sm_{UCN} – значения отношений концентраций лантана и самария, нормализованные на верхнекоровые значения по [3].

в Змеиногорском районе связаны проявления суб-вулканического золото-серебряного оруденения (Черепановское месторождение). Подобные проявления Au-Ag оруденения, а также жильные месторождения золота (Сайду, Дулонасай и др.) отмечены на территории Китая.

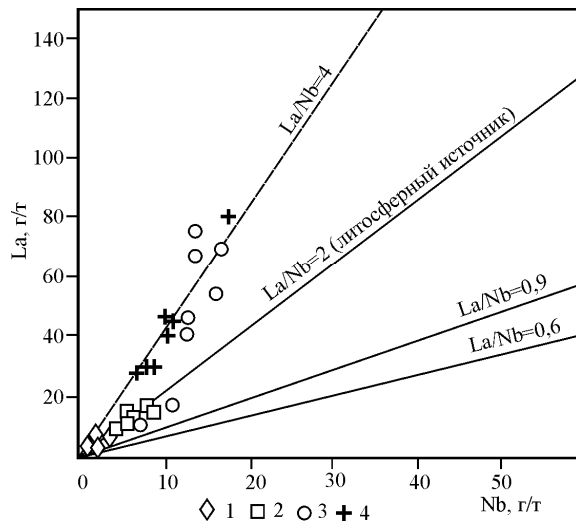


Рис. 1. Диаграмма La-Nb по [4] для кислых вулканогенных пород Рудного Алтая. Границы астеносфернопроизводных лав Бассейнов и Хребтов по [5]. Риолиты и риодациты разновозрастных свит Рудного Алтая: 1) пихтовской (D_3); 2) каменевской (D_{2-3}); 3) мельничной (D_{1-2}); 4) крюковской (D_{1-2})

На канонических диаграммах наблюдается разделение существенно золото-обогащенных и слабо-обогащенных систем Рудно-Алтайского пояса. При этом золото-обогащенные системы тяготеют к высоко-калиевой серии, генерированной в процессе частичного плавления гранатового перидотита, а слабо-обогащенные — к низко-калиевой, формирующейся в результате частичного плавления шпинелевого перидотита (рис. 2). Золото-обогащенные системы формировались при очень низкой степени частичного плавления, а слабо-обогащенные — при более высокой степени частичного плавления. Первые из них характеризуются повышенными содержаниями F и такими несовместимыми элементами, как Th, U, La, Ba, Ce, Y, Rb, Pb (табл. 1).

По соотношениям Zr/Y и хондрит-нормализованным отношениям La/Yb_N от ранних золото-обогащенных к более поздним слабо-обогащенным системам наблюдается тренд увеличения первого отношения и слабое снижение второго (табл. 1). Эти закономерности указывают на слабое увеличение степени частичного плавления мантийного субстрата при генерации слабо обогащенных золотом колчеданных объектов.

На диаграмме $Zr/TiO_2-Nb/Y$ золото-обогащенные системы располагаются, преимущественно в поле риолита — дацита и тяготеют к границе

раздела щелочных риолитов и нормальных риолитов — дацитов. Единичные анализы кислых лав попадают в поля трахитов и щелочных риолитов (рис. 3). На диаграмме соотношений Nb-Y самые ранние золотоносные системы попадают в поле обстановок внутриплитных и аномальных океанических хребтов, а единичные пробы — в поле океанических хребтов (рис. 3). Таким образом, вулканы Рудного Алтая по соотношениям immobileных микроэлементов не образуют единого поля на приведенных диаграммах, а распадаются на отчетливые кластеры, тяготеющие к разным геодинамическим обстановкам. Ранние золото-обогащенные дериваты попадают в поле аномальных внутриплитных обстановок и аномальных океанических хребтов, осложненных плюмом (имеют близость к А-типу), а поздние, начиная с живета, формировались в обстановке вулканических островных дуг и имеют четкие характеристики I-типа.

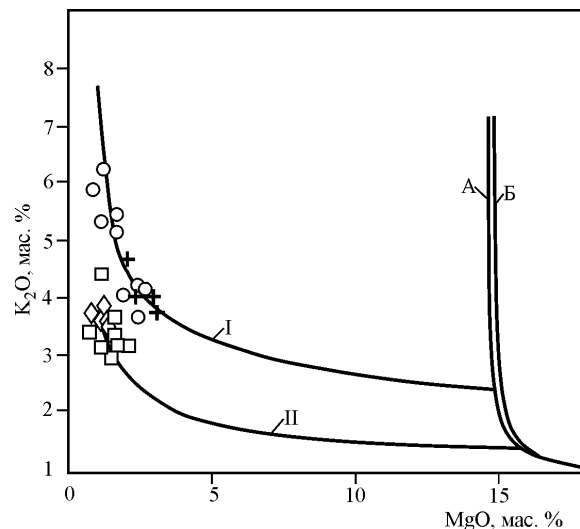


Рис. 2. Диаграмма K_2O-MgO по [4] для кислых вулканогенных пород Рудного Алтая. Мантийные источники: А — частичного плавления шпинелевого перидотита; Б — частичного плавления гранатового перидотита. Тренды фракционной кристаллизации: I) высококалиевой; II) низкокалиевой. Вертикальные линии частичного плавления перидотитов с использованием составов мантийных ксенолитов по [6]. Условные обозначения см. на рис. 1

Золото-обогащенные колчеданные объекты характеризуются относительно более высокими отношениями Ti/Sc и $Nb-Ta-Ta$ (рис. 4), подтверждая различия в их петрогенезисе.

На диаграмме $La_{UCN}-Sm_{UCN}$ [9] наблюдается также разделение разновозрастных кислых вулкаников Рудного Алтая. При этом, риолиты и риодациты золото-обогащенных колчеданных объектов тяготеют к источнику обогащенной мантии, в то время как незолотоносные образования ближе к источнику верхней коры (рис. 5).

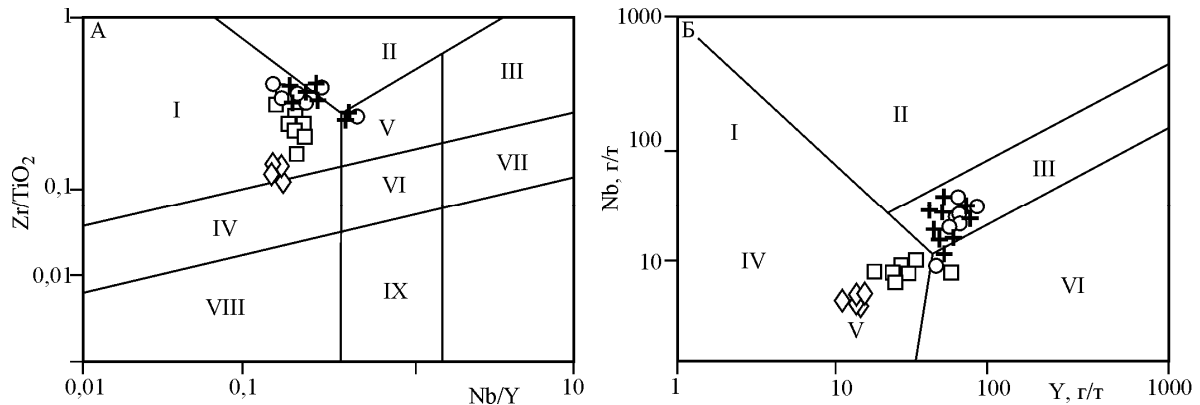


Рис. 3. Диаграммы Zr/TiO_2 -Nb/Y по [7] и Nb-Y по [8] для кислых вулканитов Рудного Алтая. А – поля петрографических разновидностей пород: I – риолиты/дациты; II – щелочные риолиты; III – фонолиты; IV – андезиты/базальты; V – трахиты; VI – трахиандезиты; VII – тефрифонолиты; VIII – базальты; IX – щелочные базальты. Б – поля стандартных типов гранитоидов: I – синколлизионные (S-тип); II – внутриплитовые (A – тип); III – аномальных океанических хребтов; IV – вулканических дуг (I-тип); V – мантийные (M-тип); VI – океанических хребтов (OR-тип). Условные обозначения см. на рис. 1

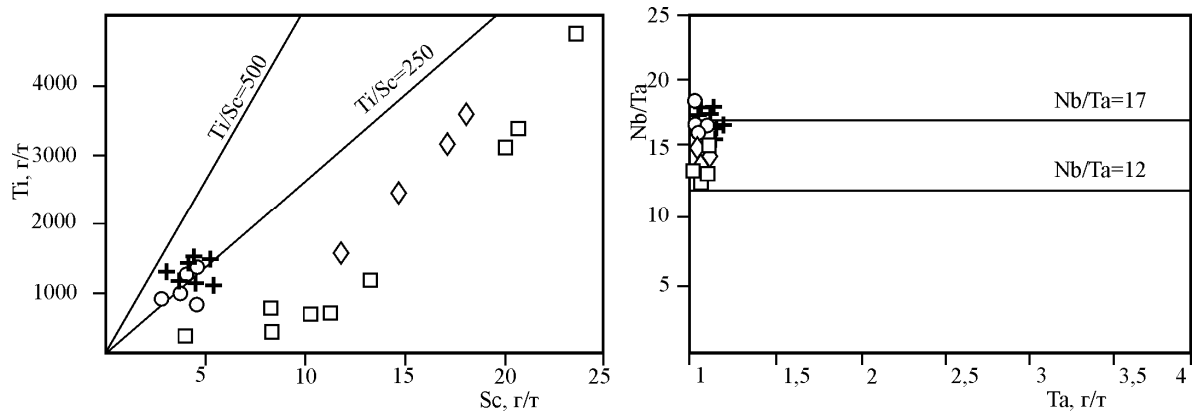


Рис. 4. Диаграммы Ti-Sc и Nb-Ta – Ta по [10] для кислых вулканитов Рудного Алтая. Условные обозначения см. на рис. 1

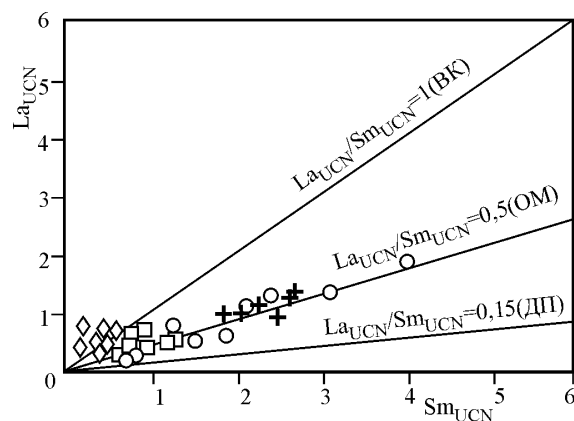


Рис. 5. Диаграмма La_{UCN} - Sm_{UCN} по [10] для кислых вулканитов Рудного Алтая. Соотношения La и Sm, нормированные на верхнекоровые значения (по [3]): BK – верхняя кора; OM – обогащенная мантия; ДП – деплетированная мантия. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

Интерпретация результатов

Геодинамическая позиция вулканитов и ассоциированных с ними массивных вулканогенных

колчеданных месторождений (VMS) имеет важное значение в прогнозе оруденения и понимании генезиса. Рудноалтайские объекты, в силу их сложного генезиса, не имеют однозначного толкования в их геодинамической позиции. Многие исследователи сопоставляют их с типом Куроко, типоморфным для энсиалических островных дуг [11]. Другие исследователи относят их к типу Андийской континентальной окраины и необоснованно сопоставляют с полиметаллическим оруденением типа «манто» [12].

Приведенные выше данные показывают, что вулканиты Рудного Алтая по соотношениям иммобильных микроэлементов не образуют единого поля на проанализированных соотношениях и диаграммах, а распадаются на отчетливые кластеры, тяготеющие к разным геодинамическим обстановкам: ранние золото-обогащенные дериваты попадают в поле анорогенных внутриплитных обстановок и аномальных океанических хребтов (имеют близость к А-типу) Джунгарского океанического бассейна, а поздние, начиная с живета, формировались в обстановке вулканических островных дуг и имеют четкие характеристики известково-щелочного типа.

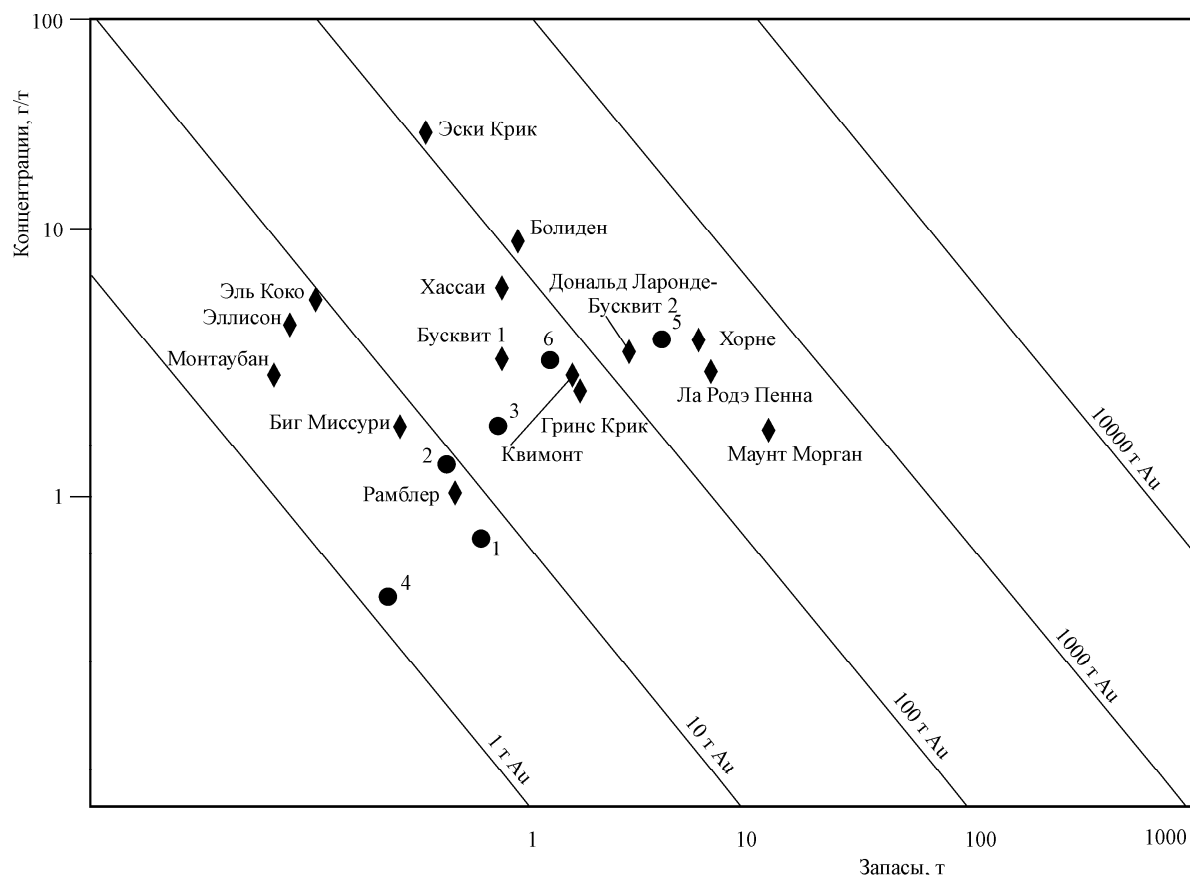


Рис. 6. Соотношение концентраций золота и запасов в золото-обогащенных вулканогенных месторождениях с учетом данных [13]. Месторождения России и Казахстана: 1) Корбалихинское; 2) Среднее; 3) Змеиногорское; 4) Золотушинское; 5) Риддер-Сокольное; 6) Абыз

По соотношениям запасов и концентраций золота в рудах, золото-колчеданные барит-полиметаллические месторождения Казахстана и России дают ряд объектов от мелких до крупных (рис. 6). Золото-обогащенные объекты Рудно-Алтайского полиметаллического пояса по концентрациям золота попадают в градации от 0,8 до 6 г/т. Запасы золота на месторождениях, за исключением Риддер-Сокольного, колеблются от 1 до 100 т, показывая ориентированный тренд увеличения и концентраций и запасов золота с северо-запада на юго-восток.

Выводы

Кислые вулканы и субвулканические образования золото-обогащенных колчеданных ме-

сторождений (VMS) в Рудно-Алтайском металлогеническом поясе относятся к самым ранним по времени формирования. Их геодинамическая обстановка формирования близка к внутриплитной и аномальных океанических хребтов, осложненных воздействием плюма, в то время как поздние вулканы (начиная с живета) и связанные с ними слабо золотоносные месторождения формировались в обстановке, близкой к вулканической островодужной. Образование золото-обогащенных колчеданных объектов проходило при весьма низкой степени частичного плавления мантийного источника, а слабо обогащенных золотом – при более высокой степени частичного плавления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И., Гусев Н.И. Золото-обогащенные магмо-рудно-метасоматические системы Рудного Алтая // Международный журнал экспериментального образования. – 2009. – № 3. – С. 19–22.
2. Chiaradia M., Tripodi D., et al. Geologic setting, mineralogy, and geochemistry of the Early Tertiary Au-rich volcanic-hosted massive sulfide deposit of La Plata, Western Cordillera, Ecuador // Economic Geology. – 2008. – V. 103. – № 2. – P. 161–183.
3. McLennan S.M. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2001. – V. 2. – № 3. – 24 p.
4. Putirka K., Busby C.J. The tectonic significance of high- K_2O volcanism in the Sierra Nevada, California // Geology. – 2007. – V. 35. – № 8. – P. 923–926.
5. DePaolo D.J., Daley E.E. Neodymium isotopes in basalts of the southwest Basin and Range and lithosphere thinning during continental extension // Chemical Geology. – 2000. – V. 169. – № 2. – P. 157–185.

6. Beard B.L., Glazner A.F. Trace elements and Sr and Nd isotopic composition of mantle xenoliths from the Big Pine volcanic field, California // *Journal of Geophysical Research*. – 1995. – V. 100. – № 8. – P. 4169–4179.
7. Winchester J.A., Floyd P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements // *Chemical Geology*. – 1977. – V. 20. – № 3. – P. 325–343.
8. Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // *Journal of Petrology*. – 1984. – V. 25. – № 8. – P. 956–983.
9. Piercey S.J., Peter J.M., Mortensen J.K., Paradis S., Murphy D.C., Tucker T.L. Petrology and U-Pb Geochronology of Footwall Porphyritic Rhyolites from the Wolverine Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Yukon, Canada: Implications for the genesis of Massive Sulfide Deposits in Continental Environments // *Economic Geology*. – 2008. – V. 103. – № 1. – P. 5 – 33.
10. Pearce J.F. A user's guide to basalt discrimination diagrams // *Geological Association of Canada Short Course Notes*. – 1996. – V. 12. – № 1. – P. 79–113.
11. Щерба Г.Н., Дьячков Б.А., Стучевский Н.И. и др. Большой Алтай: (геология и металлогения). В 3 книгах. Кн. 2. Металлогения. – Алматы: Еылым, 2000. – 400 с.
12. Туркин Ю.А., Федак С.И. Особенности локализации и геодинамическая позиция полиметаллического оруденения Рудного Алтая // *Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых: Матер. научной конф.* – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С. 115–119.
13. Dube B., Gosselin P., Hannington M., Galley A. Gold-rich volcanogenic massive sulphide deposits // *Geology Survey Canada*. – 2006. – V. 100. – № 1. – P. 23–37.

Поступила 06.10.2010 г.

УДК 553.411.071.242.4+550.4

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ ОКОЛОРУДНОГО МЕТАСОМАТИЗМА В ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ СУХОЙ ЛОГ (ЛЕНСКИЙ РАЙОН). Ч. 1. ОБЗОР ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУДОВМЕЩАЮЩЕГО СУБСТРАТА

И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко*, А.В. Верховин*

Томский политехнический университет

E-mail: kucherenko.o@sibmail.com

*ООО «Ленская золоторудная компания», г. Бодайбо

E-mail: Martynenko VG@polyusgold.com

В первой части статьи, состоящей из трех частей, приведены многовариантные результаты полувековых петрологических и геохимических исследований рудовмещающих черносланцевых толщ Сухого Лога – следствие использования неадекватных методов. Обращено внимание на целесообразность применения апробированных в других районах подходов и методов корректного решения проблемных вопросов.

Во второй части приведены результаты петрологических, в третьей – геохимических исследований и их обсуждение.

Ключевые слова:

Сухой Лог, черные сланцы, петрологические, геохимические исследования, проблемные вопросы.

Key words:

Sukhoi Log deposit, black shales rocks, petrologic, geochemic research, problem questions.

Постановка задачи

Происхождение крупнейшего в России поздне-палеозойского золоторудного месторождения Сухой Лог, образованного в позднерифейской толще углеродистых карбонатно-терригенных сланцев, как, впрочем, и других подобных месторождений «черносланцевого типа», представляет предмет многолетней дискуссии. К числу ключевых проблемных вопросов относятся два: об источниках сосредоточенного в рудах золота и о роли процессов седиментации, регионального метаморфизма и магматизма в формировании золотоносности (металлоносности) рудовмещающего субстрата, а последних двух процессов – и в иницировании гидротермального рудообразования

Сосуществование конкурирующих в течение многих лет четырех с вариантами гипотез образования месторождения, предполагающих генера-

цию металлоносных растворов в гранитных или базальтовых магматических очагах, экстракцию золота из пород метаморфогенными или магматогенными флюидами, ступенчатое накопление золота на этапах функционирования сменявших один другой геологических процессов, имеет свои причины.

Представляется очевидным то, что применяемые до сих пор методы исследований – реконструкции рудообразования в черных сланцах не обеспечивают получение корректных результатов. Чтобы понять причины этого, требуется изучать и анализировать накопленный опыт, в том числе и прежде всего с негативными результатами, с тем, чтобы корректировать известные, разрабатывать и апробировать новые подходы и новые методы. В отсутствие в прошлом, сейчас и в обозримом будущем прямых критериев диагностики происхож-