

УДК 552.11:553.3.4

МАГМО-РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АКТУРУ В ГОРНОМ АЛТАЕ

¹Гусев А.И., ²Коробейников А.Ф., ²Пшеничкин А.Я., ²Домаренко В.А.

¹Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,
e-mail: anzerg@mail.ru;

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

Приведены новые данные по флюидному режиму рудогенерирующего магматизма и химическому составу руд Актуринской магмо-рудно-метасоматической системы (МРМС) проявления в Горном Алтае. Кварцевые диориты Актуринской МРМС характеризуются оптимальным режимом магматогенных флюидов и судя по величинам фугитивности кислорода, воды и восстановленности флюидов потенциально перспективны не только на формирование золотого, но и медного оруденения. Впервые в рудах Верхне-Актуринского участка обнаружены значимые содержания золота, платины, палладия, рения. Активность серы во флюидах увеличивалась от ранних стадий к поздним.

Ключевые слова: гранитоиды, флюидный режим, парциальное давление кислорода, воды, скарны, жилы, руды, изотопы серы, Cu, Au, Pt, Pd, Re

MAGMO-ORE-METASOMATIC SYSTEM AKTURU IN MOUNTAIN ALTAI

¹Gusev A.I., ²Korobeinikov A.F., ²Pshenichkin A.J., ²Domarenko V.A.

¹The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru;

²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: lev@tpu.ru

New data on fluid regime ore generation of magmatism and chemical composition of ores Akturinskaja magmo-ore-metasomatic system (MOMS) manifestation of Mountain Altai lead. Quartz diorites of Akturinskaja (MOMS) characterized by optimal regime of magmatic fluids and judging on sizes fugacity of oxygenium, water and reduced of fluids potentially perspective on forming gold ore mineralization and copper ore mineralization so. The significant contents of gold, platinum, palladium and renium disclosed in ores of High-Akturinskiy site. The active of sulfur in fluids increased from early to late stages.

Keywords: granitoids, fluid regime, parical pressure of oxygenium, water, skarns, lodes, ores, isotopes of sulfur, Cu, Au, Pt, Pd, Re

Магмо-рудно-метасоматические системы (МРМС) разного профиля представляют собой комплексные системы, в которых магматизм, метасоматоз и рудогенез динамически взаимосвязаны и определяют важнейшие связи магматизма и оруденения [3]. Актуальность исследования МРМС определяется тем, что оно затрагивает фундаментальную проблему связи рудогенерирующего магматизма и оруденения. Цель исследования – изучить Актуринскую МРМС, в которой помимо ранее описывавшихся медно-золотых руд, установлены повышенные концентрации платиноидов и рения.

Комплексная актуринская медно-благородно-металльная система

Актуринская МРМС приурочена к Курайской зоне. Магматической составляющей Актуринской системы является Актуринский интрузивный массив, сложенный диоритами, гранодиоритами, гранитами. Потенциальная рудоносность магматитов определяется параметрами флюидного режима. По некоторым рудогенерирующим магматитам Курайской зоны, в том числе и Актуринской МРМС, впервые определены параметры флюидного режима, по-

зволяющие оценивать их потенциальную рудоносность. Некоторые параметры флюидного режима и петрохимические показатели магматитов, играющие определяющую роль в рудогенезе Курайской рудной зоны, приведены в табл. 1.

Гранитоиды Актуринской МРМС относятся к слабо-контаминированному I-WS типу. Кварцевые диориты Актуринской МРМС характеризуются оптимальным режимом магматогенных флюидов и судя по величинам фугитивности кислорода и восстановленности флюидов потенциально перспективны не только на формирование золотого, но и медного оруденения. Из всех проанализированных пород кварцевые диориты Актуринской МРМС характеризуются самыми высокими показателями кислотности среды ($Y_b = 193,2$). По этим признакам, а также и тем, что кварцевые диориты и гранодиориты относятся к I- типу гранитов слабо контаминированному, они имеют некоторое сходство с Синюхинской МРМС, которая также генерировала сложное медно-золоторудное оруденение. Система характеризовалась высокой окисленностью и кристаллизация кварцевых диоритов Актуринской МРМС осуществлялась выше

магнетит-гематитового буфера. Большинство же параметров флюидного режима Актуринской МРМС весьма близки к таковым для гранитоидов петротипического Тополь-

нинского массива, с которым связано золото-медно-скарновое и золото-черносланцевое оруденение Солонешенского рудного района [2, 4].

Таблица 1

Некоторые параметры флюидного режима гранитоидов Курайской зоны
(фугитивности и парциальные давления даны в барах)

Рудогенерирующие магматиты (типы гранитов)	$T, ^\circ\text{C}$	$\lg f\text{O}_2$	$f\text{H}_2\text{O}$	$p\text{H}_2\text{O}$	$p\text{CO}_2$	$\frac{p\text{H}_2\text{O} + p\text{CO}_2}{p\text{H}_2\text{O}}$	$\lg f\text{HF}/f\text{HCl}$	M_{HF}	$k_{\text{вос}}$	Y_b
Актуринская магмо-рудно-метасоматическая система (МРМС)										
Кварцевые диориты (I-WC)	780	-7,1	933	1050	1450	2,38	-2,42	-0,025	0,19	193,2
Гранодиориты	760	-8,5	955	1100	1500	1,73	-2,5	-0,12	0,25	193,5
Тыдугемская МРМС										
Дайки гранит-порфиров (А)	680	-9,9	370	750	250	1,22	-0,86	-0,41	0,11	191,9
Коксаирская МРМС										
Субвулканические гранит-порфиры (А)	640	-8,8	580	900	600	1,67	-0,81	0,36	0,13	192,2
Таджилинская МРМС										
Гранодиориты (I-МС)	685	-15,5	765	1000	1400	2,4	-1,98	-0,058	0,72	190,8
Кызылорская МРМС										
Керсантиты (дай-ка) (SH)	745	-11,1	972	1110	1690	2,52	-3,28	0,23	0,45	186,6

Примечание. $T, ^\circ\text{C}$ – температура кристаллизации в градусах; $\lg f\text{O}_2$ – логарифм фугитивности кислорода; $f\text{H}_2\text{O}$ – фугитивность воды; $p\text{H}_2\text{O}$, $p\text{CO}_2$ – парциальные давления воды и углекислоты, соответственно; $\lg f\text{HF}/f\text{HCl}$ – отношение фугитивностей плавиковой и соляной кислот во флюидах; $\frac{p\text{H}_2\text{O} + p\text{CO}_2}{p\text{H}_2\text{O}}$ – отношение суммы парциальных давлений углекислоты и воды к парциальному давлению воды; $K_{\text{вос}}$ – коэффициент восстановленности флюидов по Ф.А. Летникову; Y_b – условный потенциал ионизации биотита по В.А. Жарикову; M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты во флюиде (моль/дм³) по А. Аксюк [1]; типы гранитоидов: I-WC- I – тип гранитов слабо загрязненный; I-МС – I-тип гранитов умеренно-загрязненный; А – анорогенный А-тип гранитов; SH-шошонитовая серия.

В пределах рудного поля выделяются 2 участка: Актуринский и Верхне-Актуринский. Рудная составляющая Актуринской МРМС представлена скарновыми телами, распространенными в пределах Актуринского массива и его экзоконтактах, от небольших (первые метры и десятки метров) изометричных тел, до линейных – мощностью до 70 м и протяженностью более 500 м. Основную роль среди метасоматитов имеют скарны. Скарнируются интрузивные образования в виде вкрапленности геденбергита, а также экзоконтактовые известняки баратальской свиты, крупные ксенолиты последних в образованиях массива, зоны дробления. Основная часть массива, кроме северного и северо-восточного окончания перекрыта ледниковыми – катафлю-

виальными образованиями Курайской впадины, поэтому информативность в плане скарнообразования Актуринского массива не полноценна, общая площадь скарнов 0,09 кв.км. Для скарнов характерна вкрапленность халькопирита (до 10%) с типичным налетом малахита по трещинкам, содержание золота (данные спектрального анализа) от 0,3 до 2,0 г/т, Cu 0,5 – 1,0%, Ag до 50 г/т, Zn до 1%, Bi до 0,1%. Повышенные содержания золота (до 0,2 г/т) отмечаются и в гранодиоритах, в одной из протолок гранат-эпидотовых скарнов в пределах массива установлены два знака золота размерами 0,1×0,05 мм.

Более представитель и детально изучен золото-скарновый тип на проявлении Актуру, расположенном в 1,5 км севернее

Актуринского массива, что, кстати, также указывает на ориентировку глубинной части массива. Участок Актuru приурочен к месту предполагаемой древней выработки «чудского» периода (до нашей эры). Северо-западная часть участка перекрыта аллювиальными и пролювиальными отложениями русла р. Актuru, внешне неизмененные известняки баратальской свиты, по мнению авторов, по полого падающему разлому надвинуты на ороговикованные базальтоиды арыджанской свиты. В подошве нарушения выделена зона мегабрекчий протяженностью 300 км, при средней мощности 30 м, представлена обломками (до нескольких метров) образований арыджанской и баратальской свит цементированных скарновым материалом. Зона рудных скарнов выделена висячем боку мегабрекчий и подстилает плоскость нарушения, прослежена на 200 м, при мощности

8 м, в зоне присутствуют наиболее минерализованные скарны в виде жилообразных тел мощностью 0,15-0,4 м. Минерализация в виде малахита (до 30%), реже азурита, пирита, пирротина, халькопирита, халькозина, бисмутина и прожилково-шшировые выделения гетитезированного халькопирита. В пробах-протоколках отмечен шеелит в количестве до 0,36 г/куб.м. Для волластонит-содержащих скарнов зоны мегабрекчий характерно присутствие вольфрамит (гюбнерита). По данным спектрального анализа бороздовых проб установлены содержания: Au до 0,8 г/т, Ag до 34,96 г/т, Bi от 0,05 до 0,36%, Cu от 1 до 1,55%, W до 0,05%.

На Верхнеактуринском участке инверсионным вольтамперометрическим анализом нескольких случайных проб определены кроме золота (49-120 мг/т), платина 1-7 мг/т, палладий 2-4 мг/т, рений 20-50 мг/т (табл. 2).

Таблица 2

Концентрации благородных металлов (мг/т) в пробах Верхнеактуринского участка

№ п/п	№ проб	Материал проб	Au, мг/т	Pt, мг/т	Pd, мг/т	Re, г/т
1	Акт-1	Кварцит с пиритом	49,65	7,0	3,8	20,6
2	Акт-2	Метасоматит с м/кр пиритом	117,68	1,2	4,4	50,3
3	Акт-3	Кварц с пиритом	120,19	2,4	2,1	34,8
Среднее			95,84	3,53	3,33	35,23

Примечание. Анализы выполнены в Инновационном научно-образовательном центре «Золото-платина» Томского политехнического университета: Au – аналитик Кряжов А.Н. (атомно-абсорбционный метод); Pt – аналитик Устинова Э.М., Pd – аналитик Покриева Е.Г., Re – аналитик Оськина Ю.А. (инверсионным вольтамперометрическим методом).

Проведена оценка прогнозных ресурсов по методу аналогии с Фаифановским месторождением золото-сульфидно-скарновой формации Синюхинского рудного поля [2]. По подобию коэффициента вертикальной зональности установлен надрудный уровень эрозионного среза. Прогнозные ресурсы золота по категории P_2 на участке Актuru составили – 5,34 тонны. Участок рекомендован для проведения поисково-оценочных работ первой очереди с применением поискового бурения.

В последние годы в пределах диоритов Актуринского штока выявлено порфировое оруденение, представленное прожилково-вкрапленной минерализацией кварца с пиритом, халькопиритом, борнитом, реже – арсенопиритом. В пробах этого типа оруденения определены содержания меди от 0,5 до 1,7%, золота – от 0,1 до 1,8 г/т, молибдена – от 0,1 до 0,3%, рения от 50 до 200 г/т. Этот тип оруденения требует опои-

скования и выявления его параметров. Повышенные концентрации рения указывают на наличие на этом участке порфирового оруденения масштабного типа.

К северу от основного Актуринского участка в 15 км находится Верхне-Актуринский участок.

К северу от Актуринского гранодиоритового массива, в правобережье р. Актuru, в образованиях баратальской свиты, значительно меньшей степени в отложениях арыджанской свиты, верхнего протерозоя выделены ряд пунктов минерализации комплексной ртуть-золото-серебросодержащей флюорит-полиметаллическо-медной минерализации. Они проявлены в виде отдельно сгруппированных многочисленных (до 40) коренных проявлений минерализованных кварцевых, реже карбонатно-кварцевых жил.

Рудная минерализация представлена окисленными халькопиритом, галенитом, черными оксидами меди и мелкими вклю-

чениями сфалерита. При анализе проб-протолок, кроме этого, установлены: церрусит, арсенопирит, киноварь, куприт, блеклая руда, халькозин, англезит, бисмутит, вивантит, золото. По данным спектрального анализа установлены содержания: Cu – до 1 %, в отдельных случаях более 2%; Zn до 1-3 %; Ag от следов до 0,01 %, в отдельных пробах до 100 г/т, As – 0,1 %; Hg – 0,003 %; Bi – 0,03 %; Au – 0,01-0,1 г/т; W – в одной пробе 0,02 %. В полированных шлифах, отмечена высокая степень окисления рудных минералов и в той или иной степени влияние окисления на обеднение руд многими рудными элементами, о чем свидетельствует наличие пор выщелачивания и повышенное содержание некоторых элементов (например, Zn до 1-3 %) без видимой минерализации содержащих их минералов.

Площадными геохимическими работами по рыхлым образованиям выделены ряд ореолов меди (большая часть комплексных – Cu-As) с невысокими значениями содержания меди – 0,0058 % и ряд точечных аномалий с содержанием Cu 0,01-0,02 %. В основном это подтверждение первичных проявлений рудной минерализации. Определенный интерес вызывают несколько групповых точечных аномалий Ag с содержанием 0,001-0,007 %; в этом плане приме-

чательна строго линейная (условная длина 800 м) группа аномальных точек на западе участка в пределах образований арыджанской свиты.

При шлиховом опробовании в 10 шлихах отмечены содержания золота 1-2 знака, приуроченные, в основном к линейной вторичной аномалии серебра, в пределах образований арыджанской свиты. Золото установлено в отдельных протолочках и геохимических пробах с минерализованным кварцем (последние – в двух пробах, с содержанием 0,1 и 0,01 г/т Au).

Данными работами, в 15 км севернее крайних коренных выходов Актуринского массива, в основании правого борта р. Актру, обнаружена предположительно древняя горная выработка – в западине 5×5 м многочисленные обломки дайки кислого состава (?) с минерализацией меди, представленной сплошной пропиткой малахита и азурита, еденичными вкрапленниками халькопирита. Обломки в значительной степени лимонитизированы с дендритами марганца. По спектральному анализу: Cu >> 1 %; Zn > 0,05 %; Ag > 100 г/т; Mo – 0,001 %; Bi > 0,03 %; Pb > 0,002 %; Au – 0,1 г/т.

Геохимические характеристики оруденения Актуринского и Верхне-Актуринского участков приведены в табл. 3.

Таблица 3

Геохимические характеристики рудных участков Актуринского рудного поля

Участки	Скарны		Пневматолито-гидротермальный этап		Продуктивная минерализация			Пробность золота ‰	$\delta^{34}\text{S}$ в сульфидах ‰
	T, °C	Соленость вес % NaCl	T, °C	Соленость вес % NaCl	T, °C	Соленость вес % NaCl	Состав включений		
Актуринский	510-660	42	250-480	4,1-5,2	220-330	0,3-3,3	B, CO ₂ , SO ₂ , HF, HCl	920-988	+1,2 ÷ +3,2
Верхне-Актуринский					200-310	0,5-4,8	CO ₂ , SO ₂ , HCl, B, HF	820-910	+0,9 ÷ +3,7

Анализ таблицы показывает: 1 – на Актуринском участке проявлены ранние скарновый и пневматолито-гидротермальный этапы, указывающие на более глубокий эрозийный срез этого участка; 2 – по температурам образования Верхне-Актуринский участок может действительно представлять периферическую часть единой МРМС относительно Актуринского гранитоидного массива. На Верхне-Актуринском участке

пробность золота несколько ниже, чем на Актуринском. Значения $\delta^{34}\text{S}$ в сульфидах обоих участков дают узкий интервал значений, указывающих на не контаминированный мантийный источник серы.

На диаграмме $\text{Lg } a\text{S}_2 - T^{\circ}\text{C}$ наблюдается увеличение активности серы во растворах по мере снижения температуры кристаллизации от арсенопирита к пиротину и пирит-халькопиритовой ассоциации (рисунок).

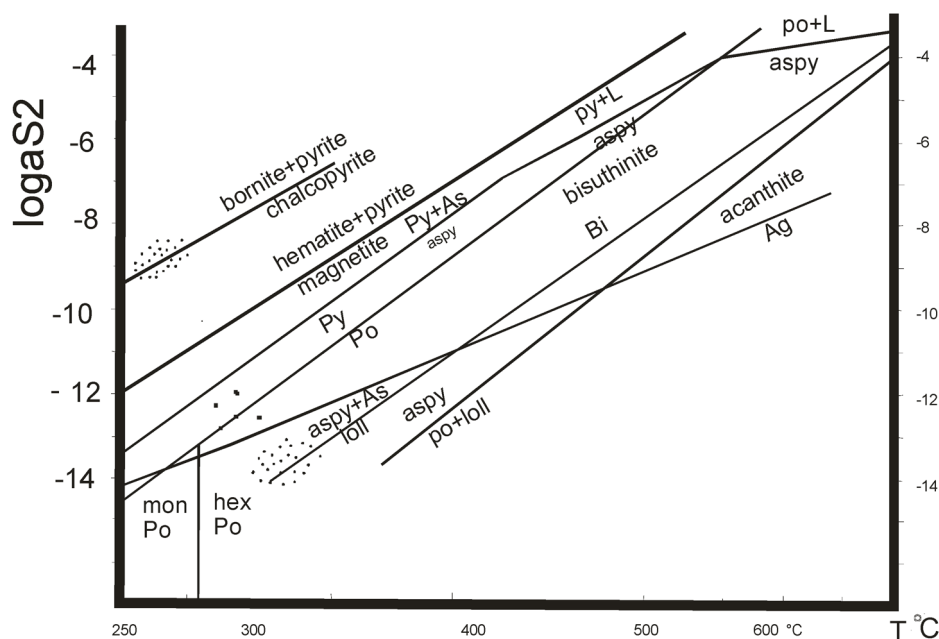


Диаграмма a_{S_2} -температура по [8] для стадий оруденения Актуринской МРМС.
Py – пирит, *po* – пирротин, *aspy* – арсенипирит, *loll* – лёллингит, *L* – жидкость. Сгущением точек показаны поля соотношений активности серы и температур для разных стадий

Интерпретация результатов. Полученные данные по Актуринской МРМС показывают, что эта система находит близкие признаки к скарновым объектам Синюхинского [2] и Тарданского [6] месторождений. По составу руды Актуринской МРМС также относятся к «би-продуктивным» объектам, как и большинство изученных золото-медно-скарновых месторождений Горного Алтая, Горной Шории и Тувы [5]. В Актуринском проявлении помимо, меди и золота, отмечены платина, палладий, рений, что повышает ценность руд.

Закключение

Актуринская МРМС показывает типичные черты многих объектов комплексных скарновых месторождений западной части Алтае-Саянской складчатой области [Коробейников]. Актуринское рудное поле не доизучено, хотя имеет перспективы на комплексные золото-медно-скарновые с платиноидами и рением руды и медно-золото-порфировое оруденение.

Список литературы

1. Аксюк А.М. Экспериментально обоснованные геотермометры и режим фтора в гранитных флюидах // Петрология. – 2000. – Т.10. – №6. – С. 630-644.
2. Гусев А.И. Интрузивный магматизм Синюхинского золоторудного узла // Геология и геофизика, 1994. – №11. – С.28-40.
3. Гусев А.И. Металлогения золота: на примере Горного Алтая и Горной Шории. –Gamburgh: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 370 с.
4. Гусев А.И., Гусев Н.И., Табакаева Е.М., Дзагоева Е.А., Кукоева М.А. Петрология и рудоносность магмо-рудно-метасоматических систем Солонешенского рудного района Алтая. – Бийск: АГАО, 2013. – 204 с.
5. Гусев А.И. Типизация золото-содержащих скарновых объектов Горного Алтая // Успехи современного естествознания, 2013. – № 11. – С. 108-113.
6. Гусев А.И. Золотое оруденение Тарданского рудного узла Восточной Тувы // Современные наукоёмкие технологии, 2014. – №3. – С. 35-40.
7. Коробейников А.Ф., Ананьев Ю.С., Гусев А.И., Ворошилов В.Г., Номоконова Г.Г. Рудно-метасоматическая и геохимическая зональность золоторудных полей и месторождений складчатых поясов Сибири. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. – 457 с.
8. Barton P.B., Skinner B.J. Sulfide mineral stabilities // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. – New York. – 1979. – P.278-403.