

34. Marfin A.E., Ivanov A. V., Abramova, V.D., Anziferova T.N., Radomskaya T.A., Yakich T.Y., Bestemianova K. V. A trace element classification tree for chalcopyrite from Oktyabrsk deposit, Norilsk–Talnakh ore district, Russia: La-ICPMS study // *Minerals*, 2020. – V. 10. – P. 1–15.
35. Mavrogonatos C., Voudouris P., Zaccarini F., Klemme S., Berndt, J., Tarantola A., Melfos V., Spry P.G. Multi-stage introduction of precious and critical metals in pyrite: A case study from the Konos Hill and Pagoni Rachi porphyry/epithermal prospects, NE Greece // *Minerals*, 2020. – V. 10. – P. 1–29.
36. Mungall J.E., Brenan J.M., Godel B., Barnes S.J., Gaillard F. Transport of metals and sulphur in magmas by flotation of sulphide melt on vapour bubbles // *Nature Geoscience*, 2015. – V. 8. – P. 216–219.
37. Pals D.W., Spry P.G., Chrystoulis S. Invisible gold and tellurium in arsenic-rich pyrite from the emperor gold deposit, Fiji: Implications for gold distribution and deposition // *Economic Geology*, 2003. – V. 98. – P. 479–493.
38. Plotinskaya O.Y., Kovalenker V.A., Seltmann R., Stanley C.J. Te and Se mineralogy of the high-sulfidation Kochbulak and Kairagach epithermal gold telluride deposits (Kurama Ridge, Middle Tien Shan, Uzbekistan) // *Mineralogy and Petrology*, 2006. – V. 87. – P. 187–207.
39. Saunders J.A., Brueseke M.E. Volatility of Se and Te during subduction-related distillation and the geochemistry of epithermal ores of the Western United States // *Economic Geology*, 2012. – V. 107. – P. 165–172.
40. Saunders J.A., Unger D.L., Kamenov G.D., Fayek M., Hames W.E., Utterback W.C. Genesis of middle miocene yellowstone hotspot-related bonanza epithermal Au-Ag deposits, Northern Great Basin, USA // *Mineralium Deposita*, 2008. – V. 43. – P. 715–734.
41. Spry P.G., Foster F., Truckle J.S., Chadwick T.H. The mineralogy of the Golden Sunlight gold-silver telluride deposit, Whitehall, Montana, U.S.A // *Mineralogy and Petrology*, 1997. – V. 59. – P. 143–164.
42. Tolstykh N., Bukhanova D., Shapovalova M., Borovikov A., Podlipsky M. The Gold Mineralization of the Baranyevskoe Au-Ag Epithermal Deposit in Central Kamchatka // *Minerals*, 2021. – C. 1–23.
43. Tolstykh N., Vymazalová A., Tuhý M., Shapovalova M., Conditions of formation of Au–Se–Te mineralization in the Gaching ore occurrence (Maletoyvayam ore field), Kamchatka // *Mineralogical Magazine*, 2018. – V. 82. – P. 649–674.
44. Vikentyev I.V. Precious metal and telluride mineralogy of large volcanic-hosted massive sulfide deposits in the Urals / N Tolstykh, A. Vymazalová, M. Tuhý, M. Shapovalova // *Mineralogy and Petrology*, 2006. . – V. 87. – P. 305–326.
45. Yakich T.Y., Ananyev Y.S., Ruban A.S., Gavrilov R.Y., Lesnyak D.V., Levochskaia D.V., Savinova O.V., Rudmin M.A. // *Mineralogy of the Svetloye epithermal district, Okhotsk-Chukotka volcanic belt, and its insights for exploration. Ore Geology Reviews*, 2021. – P. 136.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОРУДЕНЕНИЯ В АЛБАЗИНСКОМ ЗОЛОТОРУДНОМ ПОЛЕ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

Арзамасова А.О.

Научный руководитель профессор Ворошилов В.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Албазинское золоторудное поле расположено в Хабаровском крае, на левобережье реки Амгунь. В геолого-структурном отношении район относится к Амгунскому террейну Нижнеамурской складчатой зоны, сформировавшейся в результате аккреции юрских окраинно-континентальных комплексов к Северо-Азиатскому кратону и Монголо-Охотскому поясу [1]. Месторождения рудного поля относятся к золото-малосульфидному минеральному типу золото-сульфидно-кварцевой формации [2]. Рудные тела представлены минерализованными зонами березитов и аргиллизитов, штокверками и жилами кварцевого и кварц-карбонатного состава. Общее количество сульфидов редко превышает 3 %. Среди первичных рудных минералов преобладают пирит и арсенопирит, реже встречаются халькопирит, галенит, фрейбергит, сфалерит, антимонит, пираргирит, молибденит, шеелит, еще реже – хромшпинелид, рутил, барит, титанит, джемсонит, гетероморфит, фторапатит [3].

В основу проведенного исследования положены результаты опробования первичных геохимических ореолов, выполненного ООО «Ресурсы Албазино», являющимся владельцем лицензии на разработку месторождения.

Оценка поведения химических элементов в процессе оруденения осуществлялась путем сравнения средних содержаний элементов в рудах, окolorудных ореолах и вмещающих породах разведанных и эксплуатирующихся участков месторождения. Поскольку промышленные руды выделяются только по результатам опробования, в основу разделения положены содержания золота в породах. К рудам отнесены пробы с содержанием золота более 0,5 г/т, к окolorудным ореолам – от 0,1 г/т до 0,5 г/т, к вмещающим породам – пробы с содержаниями золота ниже чувствительности анализа и без явно аномальных содержаний главных спутников золота – Ag, As, Sb, S.

Сравнение выборок с использованием многомерного непараметрического критерия Краскла-Уоллиса показывает, что практически все исследованные химические элементы в той или иной мере участвовали в гидротермальном процессе. По характеру связи с золотым оруденением все элементы можно объединить в 3 группы: 1) интенсивно накапливающиеся в рудах и окolorудных ореолах; 2) выщелачиваемые из центральных частей рудных зон и переотлагающиеся по их периферии; 3) устойчиво выносимые за пределы рудных тел и окolorудных ореолов. Приведенные на рисунке 1 диаграммы «ящик с усами» иллюстрируют это поведение на примере характерных представителей своих групп – As, Co и P.

Таблица

Концентрации химических элементов в рудах, первичных ореолах и вмещающих породах Албазинского золоторудного месторождения

Элемент	Руды (Au ≥ 0,5 г/т)			Первичный ореол (0,1 < Au < 0,5 г/т)			Вмещающие породы (Au < 0,05 г/т)		
	Среднее	Мин.	Макс.	Среднее	Мин.	Макс.	Среднее	Мин.	Макс.
Ag, 10 ⁻⁴ %	4,77	0,015	94,00	0,82	0,03	51,2	0,45	<0,01	50
As, 10 ⁻⁴ %	998	50	8930	197	50	4200	80	50	440
S, %	0,59	0,02	1,82	0,31	0,001	1,798	0,18	0,003	1,8
Mn, 10 ⁻⁴ %	577	100	1500	609	146	12120	466	100	10000
Ni, 10 ⁻³ %	1,17	0,25	6,32	1,39	0,25	10	1,31	0,25	10
Co, 10 ⁻³ %	0,92	0,25	2,68	1,21	0,25	13,92	1,02	0,25	5
Ti, 10 ⁻¹ %	1,82	0,40	4,12	2,39	0,5	7	2,29	0,5	7
V, 10 ⁻³ %	4,05	0,28	9,40	4,64	1	20	4,71	1	10
Cr, 10 ⁻³ %	3,18	0,21	21,36	2,97	0,06	17,12	3,18	<0,08	25,68
Mo, 10 ⁻⁴ %	0,76	0,50	5,00	1,04	0,5	20	0,89	0,5	17,4
W, 10 ⁻³ %	0,58	0,01	24,30	0,65	0	46,08	0,42	<0,01	8,6
Cu, 10 ⁻³ %	2,31	1,00	80,20	2,08	1	46,24	1,77	1	20
Pb, 10 ⁻⁴ %	17,6	5,0	56,8	18,65	3	50	19	2	50
Sb, 10 ⁻³ %	2,03	0,50	14,28	0,78	0,5	15	0,56	0,5	2
Bi, 10 ⁻³ %	0,50	0,50	0,50	0,51	0,5	2,4	0,51	0,5	1
Zn, 10 ⁻³ %	5,99	1,50	20,90	6,36	1,5	15	6,02	1,5	10
Sn, 10 ⁻³ %	1,56	0,50	16,20	1,62	0,5	3	1,67	0,5	3
Be, 10 ⁻³ %	1,07	1,00	2,00	1,05	1	2	1,02	1	2
Sc, 10 ⁻³ %	0,66	0,50	2,82	0,58	0,5	2	0,55	0,5	2,55
P, 10 ⁻² %	5,80	0,66	14,54	6,97	2,34	15	7,42	3	20
Li, 10 ⁻³ %	2,22	0,50	14,04	2,05	0,5	28,5	1,90	0,5	15,82
Ba, 10 ⁻² %	1,52	1,00	20,00	1,22	1	10	1,27	1	20
Tl, 10 ⁻³ %	0,55	0,50	1,00	0,56	0,5	1	0,53	0,5	1

Для выявления групп элементов со сходным поведением в процессе рудоотложения нами использован факторный анализ результатов опробования первичных геохимических ореолов [4]. В первичном геохимическом поле факторный анализ позволяет выделить 4 родственных по своему поведению группы элементов: фактор 1 (0,90Mn+0,79Ni+0,67Co+0,61Bi+0,52Mo); фактор 2 (0,91As+0,80Sb+0,78Au+0,70S+0,41Ag); фактор 3 (0,80Pb+0,70P+0,67Zn+0,64V); фактор 4 (0,93Cu+0,91W). Цифры соответствуют величине факторных нагрузок, то есть, отражают вклад конкретного элемента в интенсивность проявления геохимической ассоциации.

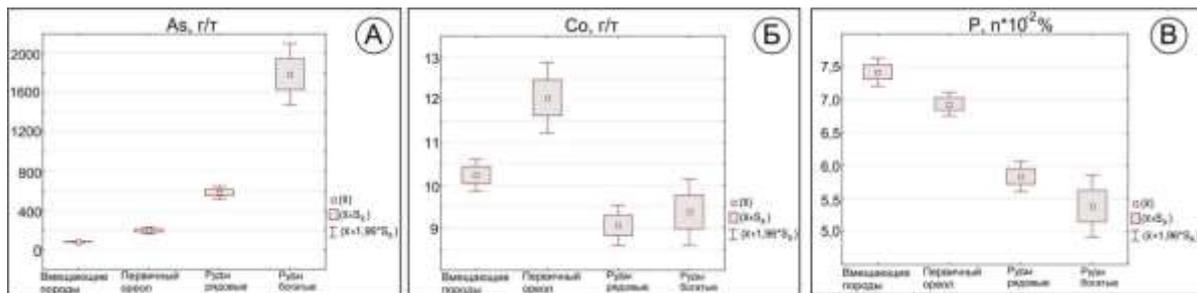


Рис. 1. Поведение химических элементов в рудном процессе на примере As, Co и P: А – привнос извне в зону рудоотложения; Б – вынос из центра рудных зон и переотложение на их периферии; В – вынос за пределы рудных зон; \bar{x} – среднее арифметическое; $S_{\bar{x}}$ – стандартное отклонение среднего арифметического

В факторе 2 объединяются Au и его главные элементы-спутники As, Sb, S, Ag. Показательно, что вклад Ag в дисперсию этого фактора существенно ниже, чем остальных элементов. Причину этого иллюстрирует рисунок 2. Аномалии Ag смещены относительно Au, As, Sb, S вниз по склонению рудных зон и могут служить индикатором нижнерудного среза. Элементы, контролируемые фактором 1 (Mn, Ni, Co, Mo, Bi) выносятся из области рудоотложения и накапливаются за пределами рудных зон, в их надрудной части (рис. 2). Ближе к зоне отложения золота, и тоже в надрудной части, отмечается накопление Cu и W.

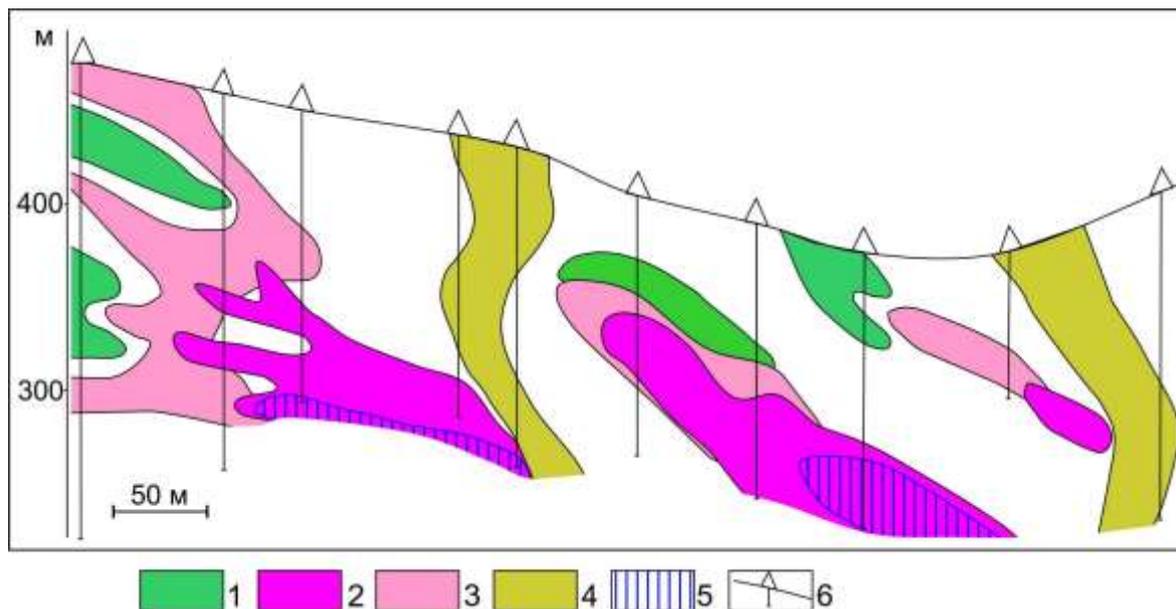


Рис. 2. Геохимическая зональность золоторудной зоны в разрезе Албазинского месторождения: геохимические ассоциации, выделенные факторным анализом: 1 – Mn, Ni, Co, Mo, Bi; 2 – As, Sb, Au, S, Ag; 3 – Pb, P, Zn, V; 4 – Cu, W; 5 – аномалии Ag; 6 – разведочные скважины

Поведение элементов, входящих в фактор 3 (Pb, P, Zn, V) отчетливо центробежное по отношению к рудной зоне. В разрезе эта ассоциация геометризуется в виде субвертикальных зон, вероятно, маркирующих рудоконтролирующие разломы.

В целом можно констатировать, что в процессе образования руд идет накопление, прежде всего, Au, Ag, As, Sb, S. Эти элементы, видимо, привносились гидротермальными растворами извне. Локальный привнос Cu, Pb, Bi, Sn, W, Mo, Zn, Mn, Co, Ni, V, P часто сочетается с участками выноса, что указывает на перераспределение этих элементов с заимствованием их из вмещающих пород. В пользу последнего говорит изначальная обогащенность некоторых пород перечисленными элементами за пределами месторождения. Соответственно, определенные группы элементов не только фиксируют участки золотого оруденения, являясь составной частью рудогенного геохимического поля, но и трассируют рудоконтролирующие структуры.

Литература

1. Ханчук А.И., Иванов В.В. Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40. – № 11. – С. 1635–1645.
2. Трушин С.И., Кириллов В.Е. Месторождение Албазино – новый для Дальнего Востока промышленный тип золотого оруденения // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 73. – С. 60–67.
3. Трушин С.И., Кириллов В.Е., Буханова Д.С., Чубаров В.М. Минералогические особенности золотых руд Албазинского и Ульбанского рудных районов (Хабаровский край) // Региональная геология и металлогения. – 2019. – № 78. – С. 91–97.
4. Ворошилов В.Г. Геохимические поля гидротермальных месторождений золота. – Томск: Изд-во СТТ, 2011. – 293 с.

ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЯКОВ КОЧКОВСКОЙ СВИТЫ В ПРЕДЕЛАХ ОБЬ-ТЫМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ, РОССИЯ)

Даулетова А.Б., Рудмин М.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Территория изучаемого бассейна с залежами континентальных железняков относится к междуречью рек Обь и Томь, которая располагается в восточной части Западно-Сибирской плиты. Обь-Тымская низменность полностью наследует мезозойско-кайнозойскую отрицательную структуру – Усть-Тымскую мегавпадину и является районом развития аккумулятивных и эрозивно-аккумулятивных речных террас реки Обь и ее крупных притоков [1]. Изучаемые железняки локализованы в разрезе Киреевского рудопроявления в верхних горизонтах кочковской свиты, отделяющей неогеновые отложения от плейстоценовых. Осадочная толща в пределах Киреевского проявления включает следующие литотипы: железняки, гравелиты, песчаники и алевропесчаники.

Минералы в отложениях Киреевского проявления подразделяются на аллотигенные (привнесенные), аутигенные (новообразованные) и глинистые. Основные аутигенные и глинистые минералы следующие (в порядке убывания): железистый хлорит (шамозит), сидерит, гётит (гидрогётит), каолинит, иллит, кальцит, доломит, пирит,