

Распределение филлосиликатов в разрезе рудной толщи имеет неравномерный характер. Однако состав глинистой фракции в различных частях месторождения на одном стратиграфическом уровне имеет закономерный характер относительно областей карбонат-насыщенных железняков. В скважине с восточного участка месторождения в интервале глубин от 239.2 м до 232.3 м содержание минералов в глинистой фракции изменяется следующим образом: каолинит от 50.3 % до 57.5%, иллит от 29.8 % до 23.6 %, иллит-сметита от 10.9 % до 6.9 %, смектиты от 3.6 % до 8.2 %, хлорит от 5.5 % до 3.8 %. А в интервале глубин от 196.2 м до 192.3 м глинистые минералы изменяются в следующей тенденции: каолинит от 80.7 % до 57.1 %, иллит от 18.2 % до 14.0 %, иллит-сметит от 0 % до 22.0 %, смектиты от 0 % до 4.8 %, хлорит от 1.1 % до 2.1 %. В итоге изменение содержания каолинита в глинистой фракции имеет обратную корреляцию с содержанием иллит-сметита и смектита. При увеличении доли каолинита уменьшается доля иллит-сметита и смектитов.

Закономерные изменения минерального и химического состава филлосиликатного матрикса согласуются со сменой пространственных зон относительно притока карбонатного и рудного вещества. Увеличение доли каолинита в валовом составе глинистой фракции и увеличение доли железа в октаэдрических позициях минералов группы смектита являются основными признаками матрикса железняков в проксимальной зоне. Для оперативного определения проксимальной, промежуточной и дистальной зоны относительно рудообразующего процесса предлагается использовать индекс соотношения доли филлосиликатов 1М типа (каолинит) к основным разбухающим филлосиликатам 2М в глинистой фракции (К/М минеральный индекс).

Прибрежно-морская фациальная обстановка способствовала накоплению монтмориллонитового и иллитового матрикса осадка, который трансформировался в нонtronитовый и сапонитовый при активизации sipовых процессов с диффузией флюидный растворов через морские отложения. Проксимальная зона этого рудообразующего процесса характеризуется нонtronит-каолинит-хлоритовой ассоциацией филлосиликатного матрикса с сидеритом первой разновидности, промежуточная зона – монтмориллонит-иллит-сапонит-нонtronитовой с сидеритом второй разновидности, дистальная – иллит-монтмориллонитовой (иллит-сметитовой) с редкими включениями сидерита второй разновидности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 21-17-00019).

Литература

1. Kaufman A.J., Hayes J.M., Klein C. Primary and diagenetic controls of isotopic compositions of iron-formation carbonates // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Pergamon, 1990. – Vol. 54. – № 12. – P. 3461–3473.
2. Köhler I. et al. Biological carbon precursor to diagenetic siderite with spherical structures in iron formations // *Nature Communications*. – 2013. – Vol. 4. – P. 1–7
3. Mücke A. Chamosite, siderite and the environmental conditions of their formation in chamosite-type Phanerozoic ooidal ironstones // *Ore Geology Reviews*. – 2006. – Vol. 28. – № 2. – P. 235–249.
4. Smrzka D. et al. Oil seepage and carbonate formation: A case study from the southern Gulf of Mexico // *Sedimentology* / ed. Tosca N. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111), 2019. – P. sed.12593.
5. Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A. Compositional variation of glauconites in Upper Cretaceous-Paleogene sedimentary iron-ore deposits in South-eastern Western Siberia // *Sedimentary Geology*, 2017. – Vol. 355. – P. 20–30.
6. Белоус Н.Х. et al. Западно-Сибирский железорудный бассейн. Новосибирск: СО РАН СССР. – 1964. – 448 с.
7. Rudmin M., Mazurov A., Banerjee S. Origin of ooidal ironstones in relation to warming events: Cretaceous-Eocene Bakchar deposit, south-east Western Siberia // *Marine and Petroleum Geology*. Elsevier, 2019. – Vol. 100. – P. 309–325.
8. Рудмин М.А., Мазуров А.К. Оолитовые руды Бакcharского железорудного узла (Томская область) // *Доклады Академии наук*. 2016. – Vol. 471. – № 5. – С. 575–578.

ТЕЛЛУР И СЕЛЕН В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ: ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА, ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ И СВЯЗЬ С ОРУДЕНЕНИЕМ

Якич Т.Ю.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

С широким внедрением тонких минералогических и геохимических методов исследования вещества отдельные микроэлементы, в частности теллур и селен и их минеральные фазы, находившиеся долгое время за «бортом» интереса ученых, неожиданно попали в фокус внимания мирового научного сообщества, в частности, ввиду появления новых возможностей изучения этих элементов и их тесной генетической связи с элементами групп благородных металлов, а также рядом их химических свойств, отвечающих за контроль физико-химических условий в процессе рудообразования. Как правило, теллур и селен встречаются в различных минералах-хозяевах в виде микроэлементов. Особый интерес в этом смысле представляют сульфиды, сопровождающие элементы благородных металлов в одноименных месторождениях [13, 17, 19–20, 23, 26, 28]. В отдельных случаях теллур и селен могут объединяться с образованием ряда различных селенидов и теллуридов. При высокой концентрации на всем или в ограниченных частях месторождения теллуриды золота и серебра сами по себе могут составлять значительную долю общих золотоносных рудных минералов [16]. Известно около сотни таких объектов, из наиболее известных и детально описанных месторождений следует упомянуть следующие: Крипл Крик и м. Голден в США [33], Император на Фиджи [29], Дунпин в Китае [15], Акупан и Баджио на Филиппинах [16], Сакаримб в Румынии [14], Ельшица (Среднегорье, Болгария), Прасоловское (Курильские острова), Кочбулак (Узбекистан), Озерновское (Камчатка) [24, 30], Эми (Хабаровский край) [37], Малетойваям (Камчатка) [35]. В частности, в этих богатых рудах теллуриды и самородное золото связаны друг с другом. В то время как минералогия, содержащая следы теллуридов / селенидов, широко распространена во многих типах месторождений, месторождения, в которых Au (Ag)-теллуриды являются частью

эксплуатируемых руд, встречаются значительно реже (всего несколько десятков таких месторождений). Образование подобных месторождений связывают с отложением из флюидов, богатых теллуром, образующихся в определенных региональных условиях, например, обогащение теллуром мантии в щелочных условиях, либо из-за субдукции осадков океанического дна, богатых теллуром, как это можно наблюдать в пределах Тихоокеанского побережья.

Петрографические данные в сочетании с подробными исследованиями включения флюидов и изотопов в конечном итоге предполагают тесную связь между теллуридами и самородным золотом в эпitherмальных месторождениях. Кроме того, многочисленные исследования также демонстрируют, что механизмы транспортировки и осаждения золота в первую очередь связаны с поглощением золота расплавами теллура (или селена, висмута) в гидротермальных растворах [14–15]. Резкие изменения параметров флюидов, например, реакции сульфидирования-окисления на фронтах окислительно-восстановительных процессов (которые встречаются, например, в орогенных месторождениях золота), наиболее благоприятны для фракционирования теллуридных расплавов из рудных флюидов. Такой сценарий может также применяться к эпitherмальным месторождениям, расположенным над скрытыми порфировыми системами как описано Куком и Циобани [14] для месторождений группы Ларга в Румынии. Взаимосвязи между порфировыми и эпitherмальными рудами, обуславливаются тем, что флюиды с низкой плотностью поднимаются, смешиваются с неглубокими теплыми грунтовыми водами и осаждают металлы/металлоиды и связанные с ними элементы в эпitherмальных условиях. Текстуры рудных минералов в эпitherмальных месторождениях предполагают, что этот процесс, по-видимому, носит эпизодический характер и может происходить много раз в ходе эпitherмального рудогенеза [31, 32]. Выделение флюида с низкой плотностью из гораздо более соленого магматического флюида рядом с охлаждающей магматической камерой и над ней вызывает разделение летучих газов, металлов и металлоидов в паровую фазу. По мнению [10, 21–22, 28] теллуриды осаждаются из паровой фазы в процессе конденсации.

Появление теллуридов в орогенных и др. месторождениях золота связывают как с процессами регионального метаморфизма, так и с гидротермальными преобразованиями руд [2, 4, 36], также имеет место предположение, что они появляются как результат частичного плавления [1, 5], либо как продукты глубокой метаморфической дегазации летучих веществ. В течение последних двух десятилетий становится все более очевидным, что перенос металлов в паровой фазе (например, сверхкритические флюиды) является важным процессом в магматических условиях и может привести к образованию руды [18]. Первичная гидротермальная природа теллуридов, занимающих закономерное положение в зональности труб мезозойских и палеозойских курильщико-обоснована в ряде работ В.В. Масленникова [3, 11].

В платиноносных месторождениях предполагается, что элементы (Te, As, Bi, Sb) TABS представляют собой продукты фракционированной сульфидной жидкости и накапливаются совместно с ЭПГ [7–10]. В качестве альтернативы они могли кристаллизоваться из несмешивающейся жидкости, богатой TABS, которая отделялась от фракционированной жидкости, богатой сульфидом меди [19].

По одной из модели кристаллизация теллуридов ЭПГ из сульфидных расплавов появление несмесимой ЭПГ – насыщенной теллуридной жидкости в сульфидном расплаве может происходить при температуре 1015°С. Далее при 920°С из нее начинают кристаллизоваться теллуриды платины, а затем при 620...600°С – теллуриды палладия. Процессы взаимодействия, кристаллизующегося и остывающего сульфидного расплава и растворенного в нем теллура являются, по-видимому, причиной появления характерных кластерных скоплений тонкозернистых (не более 10 мкм) теллуридов, расположенных в ореоле вокруг сульфидных агрегатов. По данным Спиридонова [6] температура образования благородных металлов, и в частности теллуриды этих металлов возникли при температуре не более 490°С.

В России вопросами взаимосвязи теллура и селена с процессами рудогенеза в эпitherмальных месторождениях золота активно занимается группа ученых под руководством д.г.-м.н. Владимира Коваленкера и к.г.-м.н. Ольги Плотинской из Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (Москва). В своих работах В.А. Коваленкер обосновал и показал особое влияние вариаций активностей халькогенидов (S, Se, Te) и кислорода на поведение Au и Ag в рудообразующем процессе и образование минеральных ассоциаций с преобладанием либо сульфидов, либо селенидов, либо теллуридов. Изучением поведения рассеянных элементов в гидротермальных месторождениях. Н.Д. Толстых с соавторами детально изучил составы теллуридов и селенидов эпitherмальных месторождений Камчатки на примерах месторождений Малетойваам [35] и Бараньевское [34].

Из зарубежных ученых активно занимающихся изучением теллуридов и селенидов в золоторудных системах следует отметить также имена таких ученых как Нигель Кук (N.J. Cook), Кристина Циобанни (K.L. Ciobanni) и Пауль Спрай (P.G. Spry). В рамках Международного проекта 486 по геонаукам (2004-2008 гг.) сосредоточенном на характеристике минерализации, в которой присутствуют теллуриды и селениды, ученые представляли свои работы по различным объектам, главным образом золото-серебро-теллуридного типа. Этот научный проект стартовал в 2003 году и закончился в 2008, одним из представителей России в этом проекте выступал В.А. Коваленкер.

Что касается платиноносных месторождений и роли в них теллура и селена, эти вопросы поднимали такие ученые как Хелми, Кафанга, Хьюго, Эдуардо Мансур, Сараш Барнс [12, 20, 25].

Вопросами изучения поведения теллура и селена в сульфидных минералах, в частности в пирите, занимаются Мануэль Кейт, Даниэль Смит, и др. [21–23, 27].

Автором при изучении особенностей вещественного состава теллур/селеновой минерализации в эпitherмальных месторождениях Дальневосточного региона установлено, что различные теллуриды/селениды золота, серебра, никеля, ртути, висмута и т.д. приурочены к высококомедистым минеральным парагенезисам, и обнаруживают тесную пространственную связь с халькопиритом, блеклыми рудами теннантит-тетраэдритового состава и т.д. В этих совместных минеральных ассоциациях повышенное содержание меди фиксируется и в качестве элементов примесей в основных сульфидах – пирите, сфалерите, и находится в качестве примеси в самородном золоте [37]. Связь медных минералов и теллура/селена отражается и в обогащении теллуром пирита, блеклых руд теннантит-тетраэдритового ряда вплоть до появления голдфилдита.

Необходимость подобных исследований определяется не только тесной генетической связью теллура/селена с элементами группы золота и платины, но еще и стремительно растущим спросом на теллур/селен, используемых во многих областях промышленности: сектор зеленой энергетики (фотоэлектрическая/солнечная энергия), производство сплавов с повышенной прочностью, керамика, полупроводники и т.д.

На данный момент теллур/селен извлекают из анодных шламов как побочный продукт при добыче цветных металлов, что обеспечивает мало возможностей для увеличения его рыночного предложения на основе существующих методов извлечения. К примеру, годовое производство теллура в Заполярном филиале Норильска составляет не более трёх тонн, тогда как выпуск драгоценных металлов в концентратах и фэйнштейне – более 100 тонн, катодной меди – более 350 тысяч тонн. При такой ситуации дефицит теллура, вероятно, будет достигнут в ближайшем будущем [21].

Литература

9. Белогуб Е.В., Молошаг В.П., Новоселов К.А., Котляров В.А. Самородный висмут, цумоит и свинцовистый цумоит из Тарньерского медно-цинково-колчеданного месторождения (Северный Урал) // Записки российского минералогического общества. – 2010. – Т. 6. – С. 82–93.
10. Еремин Н.И. Дифференциация вулканогенного сульфидного оруденения. – М.: «Изд-во МГУ», 1983.–256 с.
11. Масленникова С.П., Масленников В.В. Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков» (на примере Урала) // Екатеринбург – Миасс: УрО РАН, 2007. – 312 с.
12. Молошаг В.П. Теллуридная минерализация колчеданных месторождений Урала: Новые данные // Литосфера. – 2011. – Т. 6. – С. 91–102.
13. Молошаг В.П., Грабежев А.И., Гуляев А.Т. Условия формирования теллуридов в рудах колчеданных медно-золото-порфириновых месторождений // Записки Всероссийского минералогического общества. – 2002. – Т. 5. – С. 40–54.
14. Спиридонов Э.М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – № 9. – С. 1356–1378.
15. Dare S.A.S., Barnes S.-J., Prichard H.M. The distribution of platinum group elements (PGE) and other chalcophile elements among sulfides from the Creighton Ni–Cu–PGE sulfide deposit, Sudbury, Canada, and the origin of palladium in pentlandite / S.A.S. Dare, S.-J. Barnes, H.M. Prichard // Mineral Deposita, 2010. – V. 45. – P. 765–793.
16. Dare S.A.S., Barnes S.-J., Prichard H.M., and Fisher P.C. Chalcophile and platinum-group element (PGE) concentrations in the sulfide minerals from the McCreedy East deposit, Sudbury, Canada, and the origin of PGE in pyrite / S.A.S. Dare, S.-J. Barnes, H.M. Prichard, and P.C. Fisher // Mineralium Deposita, 2011. – V. 46. – P. 381–407.
17. Dare S.A.S., Barnes S.-J., Prichard H.M., and Fisher P.C. Mineralogy and geochemistry of Cu-rich ores from the McCreedy East Ni-Cu-PGE deposit (Sudbury, Canada): Implications for the behavior of platinum group, and chalcophile elements at the end of crystallization of a sulfide liquid // Economic Geology, 2014 – V. 109. – P. 343–366.
18. Duran C.J., Barnes S.-J., Pleše P., Prašek M.K., Zientek M.L., Pagé P. Fractional crystallization-induced variations in sulfides from the Noril'sk-Talnakh mining district (polar Siberia, Russia). // Ore Geology Review, 2017. – V. 90. – P. 326–351.
19. Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Large R.R. Danyushevsky, L. V., Herrington, R. J., Stanley, C. J. Tellurium-bearing minerals in zoned sulfide chimneys from Cu?Zn massive sulfide deposits of the Urals. Russia // Mineralogy and Petrology, 2013. – V. 107. – P. 67–99.
20. Cafagna F. and Jugo P. J. An experimental study on the geochemical behavior of highly siderophile elements (HSE) and metalloids (As, Se, Sb, Te, Bi) in a mss-iss-pyrite system at 650° C: a possible magmatic origin for Co-HSE-bearing pyrite and the role of metalloid-rich phases in the fractionation of HSE // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2016. – V. 178. – P. 233–258.
21. Contact Metamorphic and Metasomatic Processes at the Kharaelakh Intrusion, Oktyabrsk Deposit, Norilsk-Talnakh Ore District: Application of Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry Dating of Perovskite, Apatite, Garnet, and Titanite / A. Marfin, A. Ivanov, V. Kamenetsky, A. Abersteiner, T. Yakich and T. Dudkin // Economic Geology. – 2020. – V. 115(6). – P. 1213-1226.
22. Cook, N.J., Ciobanu, C.L. Bismuth tellurides and sulphosalts from the Larga hydrothermal system, Metaliferi Mts, Romania: Paragenesis and genetic significance / N.J. Cook, C.L. Ciobanu // Mineralogical Magazine. – 2004. – V. 68. – P. 301–321.
23. Cook N.J., Ciobanu C.L., Mao J. Textural control on gold distribution in As-free pyrite from the Dongping, Huangtuliang and Hougou gold deposits, North China Craton (Hebei Province, China) // Chemical Geology. – 2009. – V. 264. – P. 101–121.
24. Cooke D.R., McPhail, A.D.C. Epithermal Au-Ag-Te mineralization, Acupan, Baguio district, Philippines: Numerical simulations of mineral deposition // Economic Geology. – 2001. – V. 96. – P. 109–131.
25. Hattori K.H., Arai, S. Clarke Barrie D.B. Selenium, tellurium, arsenic and antimony contents of primary mantle sulfides // Canadian Mineralogist. – 2002. – V. 40. – P. 637–650.
26. Heinrich C.A., Driesner T., Stefánsson A., Seward T.M. Magmatic vapor contraction and the transport of gold from the porphyry environment to epithermal ore deposits // Geology. – 2004. – V. 32 – P. 761–764.
27. Helmy H.M., Ballhaus C., Berndt J., Bockrath C., Wohlgemuth-Ueberwasser C. Formation of Pt, Pd and Ni tellurides: Experiments in sulfide-telluride systems // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2007. – V. 153. – P. 577–591.
28. Helmy H.M., Ballhaus C., Fonseca R.O.C., Leitzke F.P. Concentrations of Pt, Pd, S, As, Se and Te in silicate melts at sulfide, arsenide, selenide and telluride saturation: evidence of PGE complexing in silicate melts? // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2020. – V. 175. (65)
29. Keith M., Smith D.J., Jenkin G.R.J., Holwell D.A. Global Se and Te systematics in hydrothermal pyrite from different ore deposits: a review // Applied Earth Science. – 2017. – V. 126. – P. 70–71.
30. Keith M., Smith D.J., Jenkin G.R.T., Holwell D.A., Dye M.D. A review of Te and Se systematics in hydrothermal pyrite from precious metal deposits: Insights into ore-forming processes // Ore Geology Reviews. – 2018. – V. 96. – P. 269–282.
31. König S., Eickmann B., Zack T., Yierpan A., Wille, M., Taubald H., Schoenberg R. Redox induced sulfur-selenium isotope decoupling recorded in pyrite // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2019. – V. 244. – P. 24–39.
32. Kovalenker V.A., Safonov Y.G., Naumov V.B., Rusinov V.L. The epithermal gold-telluride Kochbulak deposit (Uzbekistan) Rusinov // Geology of Ore Deposits, 1997. – V. 39. – P.107–128.
33. Mansur, E.T., Barnes, S.J. The role of Te, As, Bi, Sn and Sb during the formation of platinum-group-element reef deposits: Examples from the Bushveld and Stillwater Complexes // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2020. – V. 272. – P. 235–258.

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., Chrystosoulis 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, околорудных 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 околорудным 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 околорудных ореолах; 2) выщелачиваемые из центральных частей рудных зон и переотлагающиеся по их периферии; 3) устойчиво выносимые за пределы рудных тел и околорудных ореолов. Приведенные на рисунке 1 диаграммы «ящик с усами» иллюстрируют это поведение на примере характерных представителей своих групп – As, Co и P.