

УДК 552.11: 552:551:550.42

ЗОЛОТОНОСНЫЕ КАРБОНАТИТЫ

¹Гусев А.И., ²Гусев Н.И.

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

²Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург,
e-mail: nikolay_gusev@vsegei.ru

Приведены данные по золотоносным карбонатитам России и зарубежья. Описаны карбонатиты Ковдора, Таймыра, Лулекоп, Палабора, Шпитцкоп, Каржил, Вэллэби, Баян-Обо, Маониупинг. Во всех случаях такие карбонатиты обнаруживают аномальные параметры флюидного режима, где отмечаются повышенные активности и парциальные давления CO₂, HCl, HF. В некоторых золотоносных карбонатитах отмечены повышенные содержания и активности гидросульфидных комплексов (HS⁻). Золотоносные карбонатиты обнаруживают признаки наложенного характера, повышенных температур (420°C) и давлений (2,5 кбар). Генерация сульфидных парагенезисов с золотом и платиноидами происходила из вскипающих флюидов и сопровождалось взрывным характером формирования с образованием флюидо-эксплозивных брекчий.

Ключевые слова: карбонатиты, сульфиды, золото, платиноиды, вскипание флюидов, флюидо-эксплозивные брекчий, высокие температуры и давления, высокие парциальные давления CO₂, HCl, HF

GOLD-RICH CARBONATITES

¹Gusev A.I., ²Gusev N.I.

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

²Russian Geologic Institute Karpinskii (VSEGEI), Saint-Petersburg, e-mail: nikolay_gusev@vsegei.ru

Data on gold rich carbonatites of Russia and foreign country lead. Carbonatites of Kovdor, Taimyr, Lulecopp, Phalaborva, Spitscop, Karjal, Vallaby, Bayan-Obo, Maoniuping described. So carbonatites disclose anomal parameters of fluid regime in all cases where there are marked high activity and partial pressure CO₂, HCl, HF. High contents and activity hydrosulfide complexes (HS⁻) marked in some gold-rich carbonatites. Gold-rich carbonatites disclose signs superimposed character, high temperatures (420°C) and pressures (2,5 kbar). Generation sulfide paragenesis with gold and platinoids elements happened from boils fluids and accompanied explosion character of forming with formation fluid-explosive breccias.

Keywords: carbonatites, sulfides, gold, platinoids, boiling of fluids, fluid-explosive breccias, high temperatures and partial pressure of CO₂, HCl, HF

Обычно карбонатиты вмещают оруденение редких земель, тантала, ниобия, железа. Однако в последнее время выделяются также своеобразные карбонатиты типа Палабора (Африка), с которыми связаны комплексные железо-оксидные медно-золоторудные месторождения [10, 11, 13] с промышленными концентрациями меди и золота. Формирование ийолит-карбонатитовых массивов типа Палабора (Лулекоп, Палабора, Шпитцкоп в ЮАР, Карджил в Канаде) являются древнейшими на Земле с радиологическим возрастом 1800±100 млн. лет в пределах Южно-Африканской и Северо-Американской протоплатформ с возрастом фундамента 3000-2600 млн. лет. Другим золотоносным карбонатитовым объектом является месторождение Вэллэби. Золото содержится и в карбонатитах уникального по запасам и комплексности руд месторождения Баян-Обо в Китае [6]. Повышенной золотоносностью обладают и другие месторождения карбонатитов. Актуальность исследования состоит в том, что карбонатиты имеют комплексный состав руд и обо-

гащённые золотом карбонатиты увеличивают экономическую ценность сырья. Целью настоящего исследования является сводка и обобщение золотоносности карбонатитов.

Результаты исследований. Карбонатиты Лулекоп имеют зональное строение, где от периферии к центру выделяются зоны: фельдшпатитовые пироксениты – слюдистые пироксениты – пегматоиды – карбонатиты и фоскориты – «трансгрессивные карбонатиты» с сульфидными меди. В рудных телах содержится ~25-30 объёмных % магнетита и 1-5 % сульфидных минералов, которые включают халькопирит и борнит с небольшими количествами кубанита и халькозина. Именно с сульфидными рудами на месторождении связано золото. Сульфидные минералы замещают магнетит и являются более поздними, чем магнетит. Наиболее концентрированное оруденение золота приурочено к центральной части карбонатитового массива, где собственно, золотоносные руды формируют трубообразное по вертикали и линзовидное удлинённое по форме тело в плане, залегающее сре-

ди карбонатитов и фоскоритов. Это рудное тело названо «трансгрессивными карбонатитами» с сульфидами меди, золотом и платиноидами. Метасоматические изменения носят щелочной характер и тяготеют к трубообразному брекчиевидному телу с сульфидами и золотом. Содержания меди в рудах превышают 0,5 %, золота от 0,5 до 120 г/т. На месторождении добывается 15 тонн руды и извлечением 641 кг золота ежегодно. Ассоциация элементов в рудах комплексная и охватывает ряд Cu-REE-P-F-Fe-U-Th- Au-элементы платиновой группы [11].

Следует указать, что недавно открытое гигантское месторождение золота Вэллэби в Восточном Голдфилде (Западная Австралия) пространственно и генетически связано с карбонатитовыми дайками магнетит-актинолит-хлорит-эпидотового состава с редким биотитом, имеющими трубообразную морфологию [15]. Дайки сопровождаются околорудными метасоматитами магнетит-актинолитового состава. Метасоматиты и дайковые образования пересечены золотой минерализацией. Последняя проявлена в виде брекчиевых жил. Большая часть золотой минерализации локализуется среди изменённых вмещающих пород. Золото ассоциирует с сульфидами (пирит, халькопирит, борнит). Содержания золота варьируют от 0,2 до 18 г/т.

Золото ассоциирует с сульфидами (пирит, халькопирит, борнит). Содержания золота варьируют от 0,2 до 18 г/т.

Приведены доказательства генетической связи золотой минерализации с карбонатитовыми дайками.

Во-первых, изотопные данные по Pb, Nd, Sr из интрузивных комплексов и рудосодержащих минералов подтверждают мантийное их происхождение с коровой contamination.

Во-вторых, дайковые комплексы показывают экстремальное обогащение лёгкими редкими землями, в тысячу раз превышающими таковые в хондритах; обогащение рядом крупно ионных элементов литофильной группы и негативными аномалиями некоторых высокочarged элементов – Nb, Ta, Zr, Hf, Ti. Эта необычная элементная ассоциация характерна и для магнетит-актинолитовых изменений.

В-третьих, состав шеелита, являющегося главным аксессуарным минералом золотосодержащих брекчиевых жил месторождения Вэллэби, показывает, что Eu присутствовал в нём в виде бивалентных катионов и что содержания Mo в шеелите

в среднем составляющее 11,7 г/т указывают на присутствие Mo^{6+} до W^{6+} , связанные с относительно окисленными флюидами, формировавшими рудные жилы.

Приведенные данные о связи золотого оруденения с карбонатитами А. Штольца по месторождению Вэллэби корректней следует рассматривать не генетическими, а парагенетическими, так как налицо влияние глубинного очага и трансмагматических флюидов на формирование и карбонатитовых даек, и золотой минерализации.

Карбонатитовое месторождение с золотом Баян-Обо (Китай). На месторождении выделяются магнетит-гематитовые брекчиевые руды с бастнезитом, флогопитом, Fe-Ti-Cr-Nb, Au- с сульфидами, флюоритом, монацитом. Рудные тела приурочены к мелким телам габброидов и щелочных габброидов и сиенитов, проецируемых на поверхность скрытым плутоном щелочных габброидов, сиенитов карбонатитового комплекса [2, 7]. Они сопровождаются флюидо-эксплозивными брекчиями. Перечисленные породные типы характеризуются аномальными параметрами флюидного режима, в котором наблюдаются повышенные активности и насыщенности хлором и гидросульфидным комплексом (HS^-), как это ранее было установлено для золотосодержащих карбонатитов Вэллэби [4]. Золото тесно ассоциирует с сульфидами. Концентрации золота варьируют от 0,1 до 56 г/т [7, 14]. В целом карбонатиты месторождения Баян-Обо обнаруживают все признаки месторождений типа IOCG [3, 13].

Карбонатитовое месторождение Маонипинг в провинции Сычуань в Китае содержит золото в ассоциации с платиноидами в местах присутствия сульфидной минерализации. По 7 образцам карбонатитов определены (в мг/т): Ir 0,5-0,78, Ru 1,61-6,75, Rh 0,08-0,14, Pt 2,62-12,15, Pd 1,11-3,65, Au 1,24-8,61 [17]. Авторы считают, что кроме серы и сульфидов в карбонатитовых расплавах могут значительно модифицировать модель распределения платиновых группы элементов (ПГЭ) и золота в карбонатитовых расплавах такие компоненты, как летучие и сплавы, которые могут формироваться при переносе металлов. Отмечено, что ПГЭ могут переноситься в расплавах карбонатитов такими летучими, как фториды и хлориды [8, 16].

В России повышенной золотосодержащестью обладают карбонатиты месторождения Ковдор. В Ковдорском железорудном месторождении (Хибины) выделяются

кальцит-магнетитовые руды с зеленым флогопитом как магматического, так и постмагматического этапа. Для первых характерно образование флогопитовой каймы по форстериту и отсутствие стремления к мономинеральности. Для вторых стремление к мономинеральности является характерной чертой, что проявляется в их гнездовом строении. В гнездовых кальцит-магнетитовых рудах форстерит является устойчивым минералом.

Магнетит-редкометалльные и доломит-магнетитовые руды имеют гнездовое строение и, по аналогии с гнездовыми кальцит-магнетитовыми рудами с зеленым флогопитом, предположительно сформированы на постмагматическом этапе и являются метасоматическими.

Для карбонатитов Ковдора, как и для других аналогичных по составу карбонатитов и руд, обосновывается следующий механизм мантийно-корового взаимодействия. Как известно, кроме пород железорудного комплекса, сформированных в магматический этап, в Ковдорском месторождении присутствуют породы послемагматического этапа: кальцит-магнетитовые руды 2-го подтипа, магнетит-редкометалльные и доломит-магнетитовые руды. Все они имеют гнездовое строение с мономинеральными гнездами карбоната, окруженными друзовой оторочкой магнетита. Формирование мономинеральных зон является характерной чертой метасоматитов послемагматического этапа [5]. В кальцитовых карбонатитах 2-го подтипа форстерит является обычным, равновесным с кальцитом, минералом, поэтому этот парагенезис можно использовать как индикатор образования карбонатитов послемагматического этапа. Некоторые исследователи считали гнездовые кальцит-магнетитовые руды тыловой зоной метасоматической колонки Главного рудного тела. Однако эти руды формируются не только по любым породам Главной рудной залежи, но и во вмещающих слюдяно-клинопироксеновых породах. В последнем случае вокруг них развиты существенно форстеритовые породы без апатита, что доказывает существенный привнос фосфора только в магматический этап. Привнос железа, по-видимому, также осуществлялся только в магматический этап, а в постмагматический происходило только его перетолжение, как и апатита. С более поздним этапом становления карбонатитов связано формирование наложенного золото-сульфидного оруденения с платиноидами в виде

прожилков и вкрапленности, местами сопровождающихся кварцевыми оторочками. Содержания золота в рудах варьируют от 0,5 до 12 г/т.

Повышенные концентрации золота отмечены в ранне мезозойских карбонатитах полуострова Таймыр в жильно-прожилковых карбонатитовых образованиях с сульфидами (пирит, пирротин), магнетитом, гематитом, гётитом, сфалеритом, галенитом, шеелитом, халькопиритом, арсенопиритом, герсдорфитом, киноварью и борнитом. В сульфидизированных карбонатитах содержатся (г/т): Au -0,1-0,4, Ag свыше 40, Hg – 40, Pt-0,04, Pd – 0,024. Концентрации свинца составляют до 7,17 %, цинка – до 7,94 %. Золото обнаружено также в пирите, пирротине, Ni-Co арсенидах, сфалерите от 0,6 до 4,9 г/т [12]. Авторы считают, что карбонатиты формировались из вскипающих флюидов при температуре 420°C и давлении 2,5 кбар.

Повышенные концентрации золота в карбонатитах зафиксированы на некоторых месторождениях Южной Африки, а также на месторождениях Бразилии в тесной ассоциации с платиновой группой элементов: Тапира, Салитрэ I, Каталао II, Ипанема с возрастом от 70 до 123 млн. лет. Во всех случаях отмечены высокие концентрации золота: 1 – в трубообразных телах брекчий, имевших явно взрывной характер, 2- повсеместное присутствие наложенной сульфидной минерализации, 3 – карбонатиты имели фоскоритовый состав [9].

Интерпретация результатов. Генерация золотого оруденения, связанного с карбонатитогенезом, имеет специфические черты, среди которых ведущую роль играют мантийно-коровое флюид-расплавное взаимодействие и флюиды, насыщенные соляной кислотой с высокой фугитивностью HCl (помимо HF, как это обычно характерно для не золотоносных карбонатитов), также высокая восстановленность флюидов [1]. Для Южно-Африканских золотоносных карбонатитов, предполагается участие и гидросульфидного механизма переноса золота в растворах. Для Западно-Австралийского золоторудного месторождения Вэллэби характерен взрывной механизм формирования рудоносных жил с образованием брекчий. Во флюидах ведущую роль играли комплексы хлора в переносе золота в растворах.

Привнос рудных элементов во всех рассмотренных карбонатитах с золотом наиболее логично связать с трансмагматическими

флюидами, способными переносить рудные компоненты и равновесными с карбонатитовым расплавом. При вступлении флюидов карбонатитовых магм во вмещающие породы земной коры, по-видимому, происходит мантийно-коровое взаимодействие, и как следствие, повышение в мантийных флюидах фугитивности кислорода и активности кальция за счет кислотно-основного взаимодействия компонентов в соответствии с принципом Д.С. Коржинского, что и вызывает метасоматическое отложение рудных компонентов (железа в виде магнетита и фосфора в виде апатита) в отдельных местах колонки метасоматитов магматической стадии процессов карбонатизации. Наложенная гидротермальная минерализация представлена золото-сульфидными образованиями, формирование которых связано с переносом золота во флюидах не только хлоридными и фторидными комплексами, но и в виде гидросульфида (HS^-) [4].

Заключение

Примеры золотоносных карбонатитов показали, что чаще всего золотоносные рудные тела таких карбонатитов являются наложенными на более ранние карбонатитовые образования и приурочены к флюидо-эксплозивным брекчиям, указывающим на взрывной механизм их формирования и пересыщенность их летучими компонентами, что приводило к взрывным явлениям. Флюиды таких карбонатитовых систем характеризовались высокой насыщенностью углекислотой, HCl , (HS^-), высокой температурой (420°C) и давлением (2,5 кбар). Формирование сульфидных парагенезисов с золотом нередко происходило из вскипающих флюидов. Часто золотоносные карбонатиты, обогащенные сульфидами, содержат платиноиды. Формирование карбонатитов с сульфидными парагенезисами с золотом и платиноидами предполагают длительный период образования подобных месторождений.

Список литературы

1. Гусев А.И., Гусев Н.И. Мантийно-короевое взаимодействие в процессах генерации карбонатитов по изотопным данным стронция и неодима // *Успехи современного естествознания*, 2011. – № 4. – С. 23-26.
2. Гусев А.И. Петрология золотогенерирующего магматизма. – М.: Изд-во РАН, 2012. – 165 с.
3. Гусев Н.И., Николаева Л.С., Гусев А.И. Верхнепалеозойские и мезозойские железокислые медно-золоторудные системы юго-запада Алтае-Саянского региона Сибири // *Региональная геология и металлогения*, 2006. – № 29. – С. 116-126.
4. Коробейников А.Ф., Гусев А.И. Петрология и флюидный режим некоторых карбонатитовых массивов // *Известия Томского политехнического университета*, 2011. – Т. 319. – №1. – С. 24-29.
5. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов / Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – С. 335 – 546.
6. Chen S. Xu X., Wang Y., Zhang P. REE- iron deposit, skarn, and gold deposit in Bayan Obo, Inner Mongolia Autonomous Region, China / *Field trip guidebook T002*, 15-th IMA annual meeting, July. – Beijing, 1990. – 10 p.
7. Drew L.I., Quigrun M., Weijun S. The Bayan Obo iron-rare earth-niobium deposits, Inner Mongolia, China // *Alkaline igneous rocks and carbonatites*. // *Lithos*, 1990. – V. 26. – Pp. 43-65.
8. Fleet M.E., Wu T.W. Volatile transport of platinum-group elements in sulfide-chloride assemblages at 1000°C // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1993. – V. 57. – Pp. 3519-3531.
9. Fontana J. Phoscorite-Carbonatite Pipe Complexes: a promising new platinum group element target in Brasil // *Platinum Metals Rev.*, 2006. – V. 50. – № 3. – Pp. 130-138.
10. Gandhi S.S. Magmatic-hydrothermal Fe oxide±Cu±Au deposits: classification for a digital database and an overview of selected districts // *Economic Geology*. – 2005. – Vol. 121. – № 2. – P. 154 – 204.
11. Groves D.I., Vielreier N.M. The Phalaborwa (Palabora) carbonatite-hosted magnetite-copper sulphide deposit, South Africa: an end-member of the iron oxide-copper-gold-rare earth element deposit group? // *Mineralium deposita*. – 2001. – Vol. 36. – № 2. – P. 189 – 194.
12. Petrov O.V., Proskurin V.F. Early Mesozoic Carbonatites in Folded Formations of the Taimyr Peninsula // *Doklady Earth Sciences*, 2010. – V. 435. – № 2. – Pp. 1592-1595.
13. Porter T.M. Hydrothermal Iron Oxide Copper Gold and Related Deposits: A Global Perspective. – PGC Publishing Adelaide. – 2000. – 350 p.
14. Smith M., Chengyu W. The geology and genesis of the Bayan Obo Fe-REE-Nb deposit: a review // *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: a Global Perspective*. – Adelaide: PGC Publishing, 2000. – V. 1. – Pp. 271-281.
15. Stoltze A.M. A genetic link between carbonatite magmatism and gold mineralization at the Wallaby gold deposit, Eastern Goldfields, Western Australia // *32 International Geologic Congress*. – Florence, 2004. – Abstracts. – P. 512.
16. Wood S.A. Thermodynamic calculations of the volatility of the PGE: the PGE content of fluids at magmatic temperatures // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1987. – V. 51. – pp. 3041-3054.
17. Xu Ch., Huang Zh., Liu C. et al. PGE geochemistry of carbonatites in Maoniuping REE deposit, Sichuan Province, China: Preliminary study // *Geochemical journal*, 2003. – V. 37. – Pp. 391-399.