



Золоторудное месторождение Тунанца в трубке взрыва (Кордильера-Дель-Кондор, юго-восток Эквадора) и вопросы классификации подобных объектов

Х. П. Медина, П. А. Игнатов

Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия
juanmedinageologia@gmail.com, petrignatov@gmail.com

Впервые представлены оригинальные данные по месторождению Тунанца, расположенному в Кордильере-дель-Кондор, в Субандийской зоне на юго-востоке Эквадора. В исследование включены геологическая схема, описание вмещающих пород и минерализованных структур, что служит основой для первичной классификации месторождения и понимания его происхождения. Используются геологические материалы и документация по поверхностным обнажениям и подземным работам на месторождении Тунанца; петрографическое исследование включало анализ 96 шлифов. Используются литературные данные по аналогичным месторождениям. Получены важные характеристики месторождения и подобных объектов. Предложена классификация этих месторождений в зависимости от положения минерализации относительно трубки. Результаты демонстрируют взаимосвязь между месторождением и типом минерализованных структур и должны использоваться в качестве инструмента при поисках и классификации эпитермальных и порфириковых месторождений.

Ключевые слова: *брекчиевая трубка, классификация, золото, эпитермальный, Кордильера-дель-Кондор*

Tunantza breccia-pipe hosted gold deposit (Cordillera Del Condor, southeastern Ecuador) and issues of classification of similar deposits

J. P. Medina, P. A. Ignatov

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

For the first time, original data from the Tunantza deposit, located in the Cordillera del Cóndor in the Sub-Andean zone of southeastern Ecuador, are presented. The study includes a geological map, descriptions of host rocks and mineralized structures, which serve as the basis for the preliminary classification of the deposit and understanding its origin. Geological materials and documentation from surface outcrops and underground workings at the Tunantza deposit are used; the petrographic study involves the analysis of 96 thin sections. Literature data on similar deposits are used. Important characteristics of the deposit and similar objects are obtained. A classification of these deposits based on the position of mineralization relative to the pipe is proposed. The results demonstrate the relationship between the deposit and the type of mineralized structures and should be used as a tool in the exploration and classification of epithermal and porphyry deposits.

Keywords: *breccia-pipe, classification, gold, epithermal, Cordillera del Condor*

Введение

Порфириковые и эпитермальные месторождения представляют собой значимые источники меди и золота — двух металлов, ключевая роль которых в современной экономике обусловлена их промышленными свойствами, экономической ценностью и исторической значимостью, определяя их статус стратегических ресурсов и активов глобальной финансовой системы. Крупные месторождения данного генетического типа ассоциированы с брекчиевыми трубками магматическо-гидротермального или фреатомагматического генезиса, как, например, медно-молибденовое порфириковое месторождение El Teniente (Чили) с ресурсами свы-

ше 94 млн т меди (Séguret и др. 2013) либо эпитермальные месторождения Асуран (Филиппины) с добычей более 200 т золота (Figuerоа и др., 2022) и Крипл-Крик (США) с более чем 810 т извлеченного золота (Kadel-Harder и др., 2020), пространственно ассоциированные с Тихоокеанским рудным поясом, так же, как и месторождение Тунанца. Вместе с тем рудовмещающие брекчии отличаются значительной сложностью, что определяет их недостаточную изученность. В этой связи детальное изучение таких брекчий достаточно важно. Полученные данные позволили уточнить классификацию месторождений брекчий, предложенную Corbett (2017) и Sillitoe и др. (2005).

Для цитирования: Медина Х. П., Игнатов П. А. Золоторудное месторождение Тунанца в трубке взрыва (Кордильера-Дель-Кондор, юго-восток Эквадора) и вопросы классификации подобных объектов // Вестник геонаук. 2025. 11(371). С. 20–25. DOI: 10.19110/geov.2025.11.2

For citation: Medina J. P., Ignatov P. A. Tunantza breccia-pipe hosted gold deposit (Cordillera Del Condor, southeastern Ecuador) and issues of classification of similar deposit. Vestnik of Geosciences, 2025, 11(371), pp. 20–25, doi: 10.19110/geov.2025.11.2



Объект исследования

Золоторудное месторождение Тунанца, ранее известное как Пиунца, разрабатываемое по лицензии горного общества «Питука II», расположено на юге Эквадора, в провинции Самора-Чинчипе, в 9 км к юго-востоку от города Самора (78°53' в. д., 4°07' ю. ш.), в Кордильере-дель-Кондор. В этом же регионе находятся эпитермальное месторождение Фрута-дель-Норте, с запасами 9.91 млн унций золота и 15.0 млн унций серебра (Leary и др., 2016), медно-порфировый объект Мирадори с ресурсами 609 млн метрических тонн при содержании 0.58 % Cu, 3.2 млн унций золота и 22 млн унций серебра (Drobe и др., 2013), скарновое месторождение Намбиха и другие практически не изученные золотоносные зоны. К ним относится и месторождение Тунанца, которое представляет собой мелко-среднее эпитермальное месторождение, локализованное в трубе фреатомагматической брекчии.

Цель настоящего исследования — установить основные характеристики месторождения Тунанца для определения его типа. Для этого приведены геологическое описание объекта, характеристики минерализованных структур, результаты петрографических и минераграфических исследований. Также собрана информация по основным месторождениям золота и меди, связанным с брекчиевыми трубками, для их классификации.

Методы

Исследование основано на данных геолого-структурного анализа и изучения более чем 500 проб пород, руд и метасоматитов, отобранных из поверхностных выходов коренных пород, и на документации более чем 3000 погонных метров горных выработок месторождения золота Тунанца.

Библиографический обзор выполнен по месторождениям золота и меди, в которых основная минерализация связана с брекчиевыми трубками, ассоциированными с магматическими гидротермальными системами.

Петрографические и минералогические исследования включали макроскопическое изучение и диагностику текстур и структур пород и руд 315 образцов, отобранных на месторождении Тунанца.

Оптическая микроскопия. Изучено 96 образцов, из которых 47 прозрачных шлифов и 10 аншлифов соответствовали фрагментам руды и пробам из обогащенной зоны; остальные 39 прозрачных шлифов — по породам и метасоматитам. Исследования проводились на микроскопе Axioscope-5, оборудованном цифровой камерой и компьютером с программным обеспечением SIAMS, на кафедре геологии месторождений полезных ископаемых геологоразведочного факультета Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе РГГРУ — МГРИ.

Результаты и обсуждение

Геология месторождения Тунанца. Оно расположено на юго-востоке Эквадора, в Субандийской зоне, в пределах полимиктовой брекчиевой трубки взрывного происхождения типа фреатомагматической.

Брекчиевое тело прорывает в гранитные породы батолита Самора (рис. 1). Метаморфические породы неопротерозойско-палеозойского возраста образуют останицы кровли над батолитом, который на западе граничит с метаморфическими поясами, включающими триасовые породы, принадлежащие к Кордильере-Реаль (Leary и др., 2016). Данная зона интерпретируется как возможная область рифтогенеза пермско-триасового возраста, в которой происходило накопление осадочных пород, перекрытых щелочными вулканитами, которые несогласно залегают на морских карбонатных породах формации Сантьяго поздне-триасового-раннеюрского возраста (Leary и др., 2016).

Юрский калиево-щелочной вулканический пояс, простирающийся от севера Перу до Колумбии, включает батолит Самора длиной 200 км и шириной 50 км, имеющий северо-северо-восточное простирание. Он состоит из двух различных интрузивных комплексов: преимущественно однородных пластовых плутонов, представленных в основном среднезернистыми гранодиоритами, диоритами и тоналитами (Drobe и др., 2013; Leary и др., 2016), которые обнажаются на юго-западе в контакте с брекчиями, и субвулканических интрузий, даек и штоков, образующих пробки, обычно промежуточного (до фельзитового) состава, которые пересекают батолит в нескольких местах (Drobe и др., 2013; Leary и др., 2016) и выделяются своей связью с зонами медно-золотой минерализации (Drobe и др., 2013). Данный тип пород относится к риолитовым кварц-полевошпатовым порфирам, присутствующим внутри брекчии в виде обломков и неправильных блоков размером более 5 м, представляющих собой реликты гипабиссального тела, которое внедрилось в плутонические породы батолита Самора до образования брекчий (рис. 2).

Брекчии слагают неправильное тело с диаметром на поверхности около 1.4 км, с крутопадающими к центру контактами, указывающими на обратноконическую форму. Преимущественно это брекчии, содержащие хаотично распределённые обломки различного размера, включающие: риолитовый порфир, базальты, андезиты, гранодиорит, кварциты, гнейсы и в меньшей степени железистые туфы. Пересекаются гидротермальными брекчиями в виде субвертикальных жил, беспорядочно распределённых в теле брекчии. По комплексу признаков брекчии отнесены к фреатомагматическим.

Минерализация. Обогащённые зоны золоторудного месторождения Тунанца находятся в центральной части тела брекчий. Идентифицированы два типа минерализованных структур: 1 — минерализованные брекчии с сульфидной матрицей и обломками самой брекчии, образующие неправильные тела в виде удлиненных субвертикальных блоков, обычно около 20 м в поперечном сечении; 2 — тонкие, ~2 см, зигзагообразные сульфидно-кварцевые жилы с почти вертикальным падением и протяжённостью до 30 м. По отношению к первому типу минерализации они располагаются радиально, и отмечается незначительное увеличение их мощности вблизи него.

Рудные минералы включают пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, арсенопирит и в меньших количествах другие сульфиды, которые в совокупности составляют более 60 %. Жильные минералы представле-

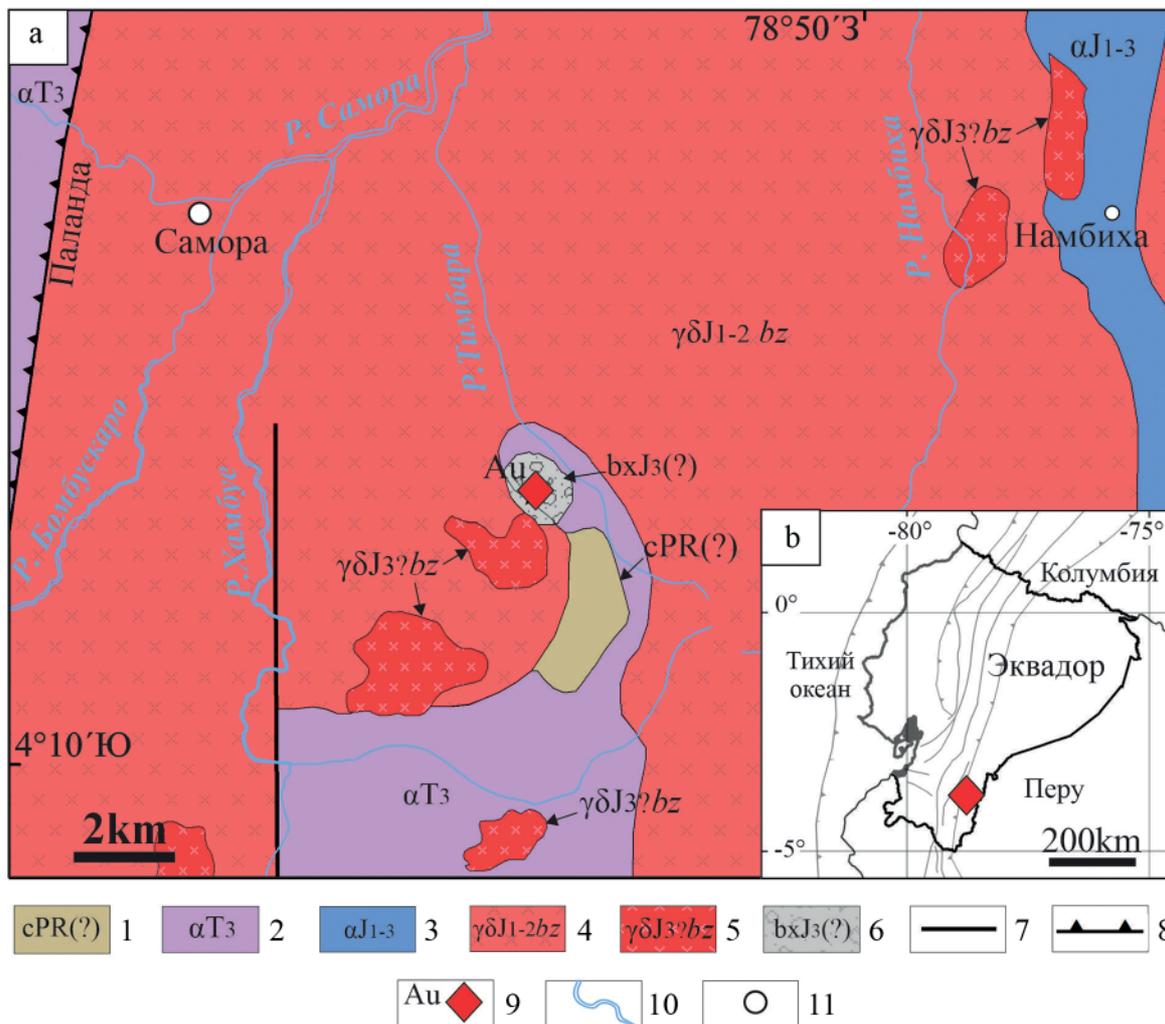


Рис. 1. Геологическая схема (а) и географическое расположение (б) золоторудного месторождения Тунанца. Составлена на основе данных (INEMIN, 1994; INIGEMM, 2017).

1 — сланцы и гнейсы; 2 — гнейсы, лавы и вулканиты; 3 — известково-щелочные лавы, вулканиты и скарны; 4 — гранодиориты батолита Самора; 5 — поздние интрузивы гранодиорита, диорита батолита Самора; 6 — фреатомагматические брекчии; 7 — главный разлом; 8 — сдвиговый разлом; 9 — месторождение Тунанца; 10 — реки; 11 — населенный пункт

Fig. 1. Geological scheme (a) and Geographic location (b) of the Tunantza gold deposit was developed based on data (INEMIN, 1994; INIGEMM, 2017).

1 — schists and gneiss; 2 — gneiss, lavas and volcanic rocks; 3 — calc-alkaline lavas, volcanic rocks and skarns; 4 — granodiorites of the Zamora batholith; 5 — late intrusive rocks (granodiorite, diorite) of the Zamora batholith; 6 — phreatomagmatic breccias; 7 — main fault; 8 — strike-slip fault; 9 — Tunantza deposit; 10 — rivers; 11 — town

ны кварцем и поздними карбонатами. Самородное золото присутствует в виде зёрен размером 20–80 мкм. Концентрация золота сильно варьирует в соотношении Ag/Au : 0.5, 1.0, 5.0.

Другие месторождения в брекчиях-трубках. Месторождения золота и меди, связанные с брекчиевыми трубками и ассоциированные с магматическими гидротермальными системами, включают в основном порфировые месторождения, такие как Эль-Теньенте в Чили (Séguret и др., 2013), и эпitherмальные, как Акупан на Филиппинах (Figueroa и др., 2022). В них проявлены сложные процессы геологической эволюции, включая наложение на порфировые месторождения. Запасы золота в рассматриваемых объектах варьируют от 15 т, как в Дяньфан в Китае (Tian и др., 2017), до более чем 1400 т в Ладолам, Папуа-Новая Гвинея (Blackwell и др., 2014). Почти все они расположены в Циркум-Тихоокеанском поясе (рис. 3).

Возраст этих месторождений изменяется от пермокарбонатового до плейстоценового. На поверхности брекчиевые трубки образуют тела неправильной формы с диаметрами от 200 до 5000 м, но обычно между 600 и 1600 м.

О классификации месторождений в брекчиях-трубках. Анализ собранных данных позволяет дифференцировать месторождения в зависимости от положения и формы рудных залежей. На этой основе предлагается выделять четыре типа месторождений:

1 — внутреннего заполнения, когда оруденение в виде жил, вкрапленности или их сочетаний распространено по всему объёму брекчиевого тела;

2 — центральный, когда прожилково-вкрапленная минерализованная матрица расположена в центральной части брекчиевых трубок, обычно в сопровождении окружающих жил. К этой группе относится месторождение Тунанца;



3 – периферический, когда рудные жилы и вкрапленная минерализация локализованы в зонах контакта между трубкой и вмещающими породами;
 4 – комбинированный, который включает два или более из вышеперечисленных типов. Может сочетаться с минерализацией за пределами брекчии в виде жил, пересекающих тело брекчиевой трубки с обогащенными зонами внутри брекчии, а также в виде жил, обогащённых блоков, вкрапленной минерализации во

вмещающих породах и минерализованных порфиров за пределами трубки.
 Выделено пять месторождений *центрального типа*, включая Туананца. Они характеризуются центральным оруденением, представляющим собой брекчиевые тела с сульфидной матрицей. Их характеристики суммированы в таблице 1. Все месторождения возраста эоцена или моложе, минерализация обычно включает пирит, халькопирит, галенит, сфалерит и само-

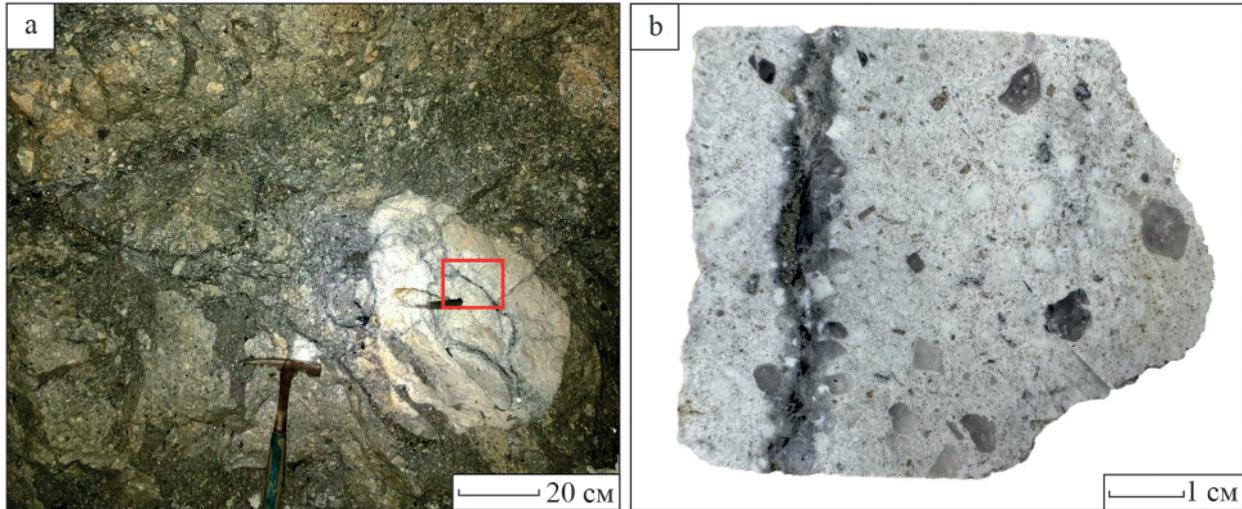


Рис. 2. Минерализованная брекчия месторождения Туананца: а – полукруглый обломок риолитового кварц-полевошпатового порфира; красная рамка показывает место отбора образца для фотографии б; б – прожилок сульфидов и кварца, пересекающий обломок риолитового кварц-полевошпатового порфира с кварц-серицитовым метасоматозом; крупные кристаллы кварца сохранились

Fig. 2. Mineralized breccia from the Tunantza deposit: a – subrounded fragment of rhyolitic quartz-feldspar porphyry; the red box indicates the location where the sample for photograph b was taken; b – sulfide and quartz veinlet cross-cutting the fragment of rhyolitic quartz-feldspar porphyry with quartz-sericitic alteration; coarse quartz crystals are preserved

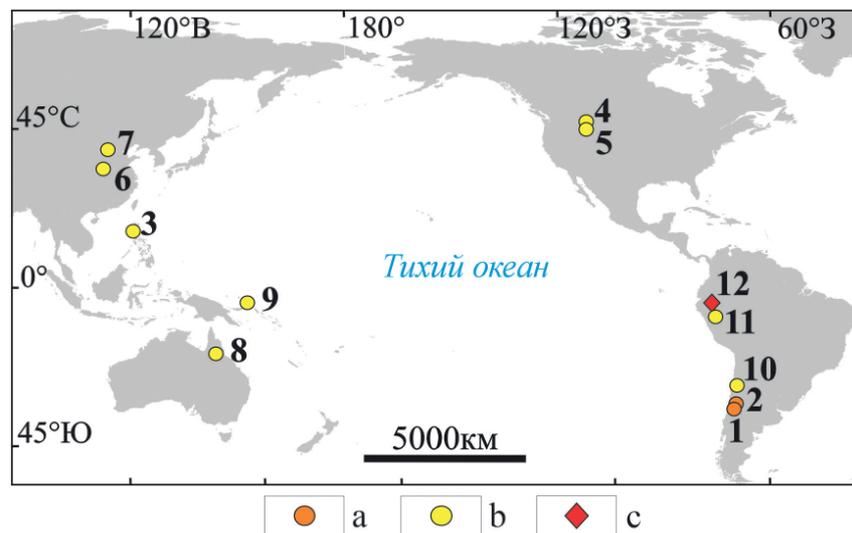


Рис. 3. Расположение месторождения Туананца и подобных объектов, связанных с брекчиевыми трубками. Составлено на основе анализа литературы, приведенной в данной статье: а – медно-молибденовый порфировый тип: 1 – Эль-Теньенте, Чили; 2 – Рио-Бланко-Лос-Бронсес, Чили; б, с – эпitherмальные: 3 – Акупан, Филиппины; 4 – Монтана Таннелс, США; 5 – Голден Санлайт, США; 6 – Дяньфан, Китай; 7 – Исинчжай, Китай; 8 – Кидстон, Австралия; 9 – Ладолам, Папуа – Новая Гвинея; 10 – Паскуа, Чили – Аргентина; 11 – Янакоча, Перу; 12 – Туананца, Эквадор

Fig. 3. Location of the Tunantza deposit and related objects associated with breccia pipes. Developed based on analysis of literature cited in this article. a – copper-molybdenum porphyry type: 1 – El Teniente, Chile; 2 – Rio Blanco-Los Bronces, Chile; b, c – epithermal type: 3 – Acupan, Philippines; 4 – Montana Tunnels, USA; 5 – Golden Sunlight, USA; 6 – Dianfang, China; 7 – Yixingzhai, China; 8 – Kidston, Australia; 9 – Ladolam, Papua New Guinea; 10 – Pascua, Chile-Argentina; 11 – Yanacocha, Peru; 12 – Tunantza, Ecuador



Таблица 1. Характеристика некоторых месторождений золота и меди в трубках брекчий (центрального типа)
Table 1. Characteristics of some breccia-pipe hosted gold and copper deposits (central type)

Месторождение, брекчия, страна Deposit, breccia, country	Запасы, средний диаметр брекчий Reserves, average breccia diameter	Тип месторождения, возраст Deposit type, age	Рудные минералы Ore minerals	Литература References
Ладолам, вулкан Луисе, Папуа – Новая Гвинея Ladolam, Luise Volcano, Papua New Guinea	>1400 т Au 4500 м	золотое эпитермальное, плиоплейстоцен Gold epithermal, Plio-Pleistocene	пирит, марказит, халькопирит, галенит, тетраэдрит, теннантит Pyrite, marcasite, chalcopyrite, galena, tetrahedrite, tennantite	Blackwell et al., 2014 Müller et al., 2003 Müller et al., 2002
Рио-Бланко-Лос-Бронсес, Донозо, Чили Río Blanco-Los Bronces, Donoso, Chile	> 50 млн т Cu 600 м	медно-молибденовое минерализованная брекчия, миоцен-плиоцен Copper-molybdenum mineralized breccia, Miocene-Pliocene	халькопирит, пирит, спекулярит, молибденит Chalcopyrite, pyrite, specularite, molybdenite	Skewes et al., 2003
Паскуа, Бреча Централь, Чили – Аргентина Pascua, Brecha Central, Chile-Argentina	125 т Au (в брекчии) 340 м	Au-Ag-Cu высокосульфидное эпитермальное, миоцен Au-Ag-Cu high-sulfide epithermal, Miocene	пирит, энаргит, самородное золото, барит, англезит Pyrite, enargite, native gold, barite, anglesite	Chouinard et al., 2005
Монтана Таннелс, США Montana Tunnels, USA	53 т Au 1000 м	Au-Ag-Pb-Zn эпитермальное, эоцен Au-Ag-Pb-Zn epithermal, Eocene	электрум, сфалерит, галенит Electrum, sphalerite, galena	Sillitoe et al., 1985 Gammons C., et al., 2020
Тунанца, Эквадор Tunanza, Ecuador	– 1400 м	золотое эпитермальное, поздняя юра – ранний мел (?) Gold epithermal, Late Jurassic-Early Cretaceous?	пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, арсенопирит Pyrite, sphalerite, chalcopyrite, galena, arsenopyrite	Настоящее исследование The present study

родное золото. Они ассоциированы с гранитоидными массивами. В случае месторождения Тунанца его возраст не установлен, но предварительно оценивается как позднеюрско-раннемеловой в соответствии с возрастом вмещающих пород.

Выводы

Золоторудное месторождение Тунанца залегает в сложном теле фреатомагматических брекчий. Оно классифицируется как эпитермальное в брекчиевой трубке, центрального типа и характеризуется минерализацией в виде обогащённых брекчий с сульфидной матрицей и концентрическими зигзагообразными жилами, расположенными в центральной зоне тела брекчиевой трубки. Другие месторождения данного типа характеризуются эоценовым или более молодым возрастом и связью с гранитными интрузиями и медно-порфировыми месторождениями, поэтому не исключено, что Тунанца также с ними связана.

Классификация месторождений в брекчиевых трубках, предложенная в данном исследовании, дополняет известные классификации, предложенные Sillitoe и др. (2005) для сульфидных эпитермальных и порфировых объектов, а также классификацию брекчий с этих месторождений, предложенную Corbett (2017).

Она может быть использована при прогнозно-поисковых работах на ранних стадиях, обеспечивая основу для выявления обогащённых зон и оценки потенциальных ресурсов месторождений.

Полученные результаты целесообразно использовать при поисках месторождений в качестве дополнения при классификации и характеристике эпитермальных и порфировых месторождений.

Литература / References

- Blackwell J. L., Cooke D. R., McPhie J., Simpson K. A. Lithofacies Associations and Evolution of the Volcanic Host Succession to the Minifie Ore Zone: Ladolam Gold Deposit, Lihir Island, Papua New Guinea. *Economic Geology*. 2014. V. 109 (4). P. 1137–1160. DOI: <https://doi.org/10.2113/econgeo.109.4.1137>
- Chouinard A., Williams-Jones A. E., Leonardson R. W., Hodgson C. J., Silva P., Téllez C., Vega J., Rojas F. Geology and Genesis of the Multistage High-Sulfidation Epithermal Pascua Au-Ag-Cu Deposit, Chile and Argentina. *Economic Geology*. 2005; 100 (3). P. 463–490. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.100.3.463>
- Corbett G. Epithermal Au-Ag and porphyry Cu-Au exploration – short course manual. Sept 2017. Online version. URL: www.corbettgeology.com



- Drobe J., Lindsay D., Stein H., Gabites J.* Geology, Mineralization, and Geochronological Constraints of the Mirador Cu-Au Porphyry District, Southeast Ecuador. *Economic Geology*. 2013. V. 108. P. 11–35. DOI: <https://doi.org/10.2113/econgeo.108.1.11>
- Figuerola A. J., Gabo-Ratio J. A., Manalo P. C. Takahashi R., Sato H., Ramos A.B.* Breccia and vein mineralization of the Balatoc Diatreme, Acupan gold deposit, Baguio Mineral District: An example of a diatreme-hosted epithermal deposit in the Philippines. *Ore Geology Reviews*, 2022, Volume 144, 104826. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104826>
- Gammons C., Korzeb S., Hargrave P.* Metallic ore deposit of Montana. MBMG Special Publication 122: Geology of Montana. 2020. Vol. 2: Special Topics. DOI: <https://doi.org/10.59691/LTWO3427>
- INEMIN.* Gobierno del Ecuador. Geological and metal occurrence maps of the southern cordillera Real and El Oro metamorphic belts. Escala 1:500 000. Instituto Ecuatoriano de Minería - INEMIN. Producción Cartográfica, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK. Ecuador. 1994.
- INIGEMM.* Hoja geológica Zamora. Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico del Ecuador. Proyecto de investigación geológica y disponibilidad de ocurrencias de recursos minerales en el territorio ecuatoriano. República del Ecuador. Hoja 77, escala 1:100000. 2017.
- Kadel-Harder I.M., Spry P.G., Dan Layton-Matthews, Voinot A., Von der Handt A., McCombs A.L.* Paragenetic relationships between low- and high-grade gold mineralization in the Cripple Creek Au-Te deposit, Colorado: Trace element studies of pyrite. *Ore Geology Reviews*. 2020. Volume 127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103847>.
- Leary S., Sillitoe R., Stewart P., Roa K., Nicolson B.* Discovery, Geology, and Origin of the Fruta del Norte Epithermal Gold-Silver Deposit, Southeastern Ecuador. *Economic Geology*. 2016. V. 111. No. 5. P. 1043–1072. DOI: <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.5.1043>
- Müller D., Kaminski K., Uhlig S., Graupner T., Herzig P., Hunt S.* The transition from porphyry- to epithermal-style gold mineralization at Ladolam, Lihir Island, Papua New Guinea: a reconnaissance study. *Mineralium Deposita*. 2002. V. 37. P. 61–74. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00126-001-0230-y>
- Müller D., Pettke T., Heinrich C.A.* Characteristic features of alkaline rocks hosting the Ladolam gold deposit, Lihir Island, Papua New Guinea. Conference: Mineral Exploration and Sustainable Development; Millpress, Rotterdam, Athens, Greece, 2003.
- Séguret S. A., Celhay F.* Geometric modeling of a Breccia pipe - comparing five approaches. *Apcom - Application of Computers and Operations research in the Mineral Industry*, 2013, 1. P. 257–266. URL: <https://minesparis-psl.hal.science/hal-00906751v1>
- Sillitoe R., Hedenquist J. W.* Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits. Special Publication: Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth, Stuart F. Simmons, Ian Graham. 2005. Volume 10. DOI: <https://doi.org/10.5382/SP.10.16>
- Sillitoe R. H., Graubeger G. L., Elliott J. E.* A diatreme-hosted gold deposit at Montana Tunnels, Montana. *Economic Geology*. 1985. V. 80 (6). P. 1707–1721. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.80.6.1707>
- Skewes M. A., Holmgren C., Stern C.R.* The Donoso copper-rich, tourmaline-bearing breccia pipe in central Chile: petrologic, fluid inclusion and stable isotope evidence for an origin from magmatic fluids. *Miner Deposita*. 2003, V. 38. P. 2–21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00126-002-0264-9>
- Tian Y., Sun J., Ye H., Mao J., Wang X., Bi M., Xia X.* Genesis of the Dianfang breccia-hosted gold deposit, western Henan Province, China: Constraints from geology, geochronology and geochemistry. *Ore Geology Reviews*, 2017, Volume 91, P. 963–980. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.08.011>.

Поступила в редакцию / Received 30.10.2025