

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.43 : 551.26

**Палеотектоническая позиция базальтоидных
вулcano-плутонических поясов
с меднопорфировыми месторождениями****Мигачёв И. Ф., Звездов В. С., Конкин В. Д.**

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», г. Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены геотектоническая позиция и строение базальтоидных вулcano-плутонических поясов (ВПП) с медно- и золото-меднопорфировыми месторождениями. Среди них выделены океанические и периокеанические пояса, входящие в состав энсиматических островных дуг и образовавшиеся на поздней стадии развития последних после инверсии базальтоидных прогибов, и рифтогенные, возникшие в островодужных океанических обстановках на поздней стадии заполнения спрединговых зон. ВПП первых двух типов с золото-меднопорфировыми месторождениями располагаются над конвергентными границами тектонических плит в надсубдукционной позиции, пояса третьего – образуют протяжённые линейные зоны в пределах отдельных рифтовых структур и содержат небольшие по масштабам меднопорфировые объекты с убогими содержаниями золота и молибдена. В качестве примеров описаны ВПП энсиматических островных дуг: Санда, Филиппинского архипелага, Новобританской, Соломоновой, Аляски, Антильской и пояса рифтогенных зон Южного Урала – Ирендыкский и Новоалексеевский. Охарактеризованы вулcano-плутонические ассоциации, участвующие в строении этих ВПП, включая продуктивные на меднопорфировое оруденение, а также структурно-вещественные комплексы их фундамента. Отмечено, что неоднократные проявления магматизма при длительном развитии энсиматических островных дуг приводят к возникновению в их пределах нескольких базальтоидных ВПП с золото-меднопорфировыми месторождениями, в то время как в рифтогенной обстановке базальтоидные пояса с меднопорфировыми объектами формируются однократно.

Ключевые слова: меднопорфировые месторождения, вулcano-плутонические пояса, энсиматические островные дуги, рифтогенные структуры, магматические серии, ассоциации, формации.

Для цитирования: Мигачёв И. Ф., Звездов В. С., Конкин В. Д. Палеотектоническая позиция базальтоидных вулcano-плутонических поясов с меднопорфировыми месторождениями. Руды и металлы. 2024. № 3. С. 28–46. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10012.

**Paleotectonic setting of basaltoid volcano-plutonic belts
with porphyry copper deposits****Migachev I. F., Zvezdov V. S., Konkin V. D.**

FSBI "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals", Moscow, Russia

Annotation. The article considers geotectonic position and geological features of basaltoid volcano-plutonic belts (VPBs) associated with porphyry copper and gold-copper deposits. Three types of the belts, the oceanic, peri-oceanic, and riftogenic ones, are distinguished among these VPBs. The oceanic and peri-oceanic belts were incorporated into the composition of ensimatic island arcs and formed at a late stage of their development, after inversion of the basaltoid troughs. The riftogenic belts appeared in island-arc oceanic settings at a late stage of filling the spreading zones. VPBs of the first two types with porphyry gold-copper deposits are located over the convergent boundaries of tectonic plates in an above-subduction position, while belts of the third type form extended linear zones within individual rift structures and contain small-scale porphyry copper objects with poor gold and molybdenum contents. As examples of the structures, the Sunda, Philippine archipelago, New British, Solomon, Alaska, and Antilles ensimatic island arcs and the Irendyk and Novoalekseevsky belts of rift zones of the Southern Urals are described. Volcanic-plutonic associations participating in the structure of these VPBs (including those productive for porphyry copper mineralization), as well as structural-lithological complexes of their basement, are characterized. It is noted that repeated magmatism manifestations during the long-term development of the ensimatic island arcs lead to appearance of several basaltoid VPBs with porphyry gold-copper deposits, while basaltoid belts with porphyry copper objects in the rift settings are formed only once.

Keywords: porphyry copper deposits, volcano-plutonic belts, ensimatic island arcs, riftogenic structures, magmatic series, associations, formations.

For citation: Migachev I. F., Zvezdov V. S., Konkin V. D. Paleotectonic setting of basaltoid volcano-plutonic belts with porphyry copper deposits. Ores and metals, 2024, № 3, pp. 28–46. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10012.



Месторождения меднопорфиrowого типа располагаются в специфических геоструктурах – вулканоплутонических поясах (ВПП) двух типов: базальтоидных и андезитоидных [3–5].

Базальтоидные ВПП представляют собой элементы энзиматических островных дуг (ОД), которые развиваются на океанической коре, представленной недифференцированными основными лавами толеитовой серии с базит-гипербазитовыми образованиями. Первая стадия формирования этих дуг заключается в возникновении базальтоидных прогибов с дифференцированными формациями внутренних островодужных зон, нередко содержащих месторождения колчеданных руд. Завершение данной стадии характеризуется инверсией прогибов, иногда складчатостью и возникновением архипелагов островов, часть из которых и представляют собой базальтоидные ВПП. Эти пояса сложены вулканоплутоническими ассоциациями (ВПА), образованными базальт-андезит-базальтовыми и габбро-диорит-кварц-диорит-тоналит-плаггиогранитными формациями. Такие ассоциации, по существу, завершают натровые серии базальтоидного магматизма и закономерно сменяют во времени и по латерали однородные базальтовые и колчеданосные контрастные и непрерывные формации.

В базальтоидных ВПП в тесной пространственно-временной связи с слагающими их ВПА находятся месторождения золото-меднопорфиrowого рудно-формационного типа, которые характеризуются рядом принципиальных особенностей: существенно натровым составом рудоносных интрузивных массивов, отсутствием или весьма незначительными содержаниями молибдена в рудах при их повышенной золотоносности, рисунком метасоматической и рудной зональности, соответствующим «диоритовой» модели В. Холлистера, а также определённым набором сопряжённых рудных формаций в структуре меднопорфиrowых рудно-магматических систем с комплексной металлогенией [2, 8]. В то же время, несмотря на сходные черты происхождения и строения базальтоидных ВПП и состава сла-

гающих их магматических комплексов, формирование таких поясов происходило в нескольких различных тектонических обстановках – океанической, периокеанической и рифтогенной.

К *первым* отнесены ВПП островных дуг, находящихся непосредственно над зоной субдукции. Они сложены породами толеитовой и известково-щелочной серий, имеют океанический базитовый субстрат и натровый профиль магматизма. Продуктивные ВПА составляют базальт-андезит-дацитовая и габбро-диорит-тоналит-плаггиогранитная формации с порфиrowыми диоритами либо кварцевыми диоритами рудоносной фазы. Меднопорфиrowые месторождения (МПМ) обладают повышенными содержаниями и запасами золота при практически полном отсутствии молибдена.

Ярким примером таких поясов с золото-меднопорфиrowыми месторождениями (Бату Хайджау, Тумпангпиту, Эланг, Хью'ю) и проявлениями является островная дуга Санда (Восточная Зондская дуга, Индонезия) на границе Евразийской и Индо-Австралийской плит. Она протягивается на 1800 км в широтном направлении от о. Ява на западе до островов Сумбава, Флорес и Банда на востоке (рис. 1). Подробная характеристика геологического строения, тектоники, магматизма и металлогении этой дуги проведена в обобщающей работе Э. Марионо с соавторами [13].

Названные крупные золото-меднопорфиrowые месторождения находятся в восточном сегменте ОД, которая развивалась на тонкой океанической коре в отличии от западного её сегмента (о. Ява), сформировавшегося на коре континентального типа, где в основании дуги залегают породы мелового и палеоценового возраста, которые также установлены в районе месторождения Тумпангпиту (зёрна циркона с изотопным возрастом $98,5 \pm 1$ и $98,5 \pm 0,8$ млн лет) [14].

В восточной части ОД установлено пять магматических поясов (ВПП): дотретичный, палеоцен-эоценовый, олигоцен-раннемиоценовый, позднемиоцен-плиоценовый и базальтовый четвертичный. На западе дуги образова-

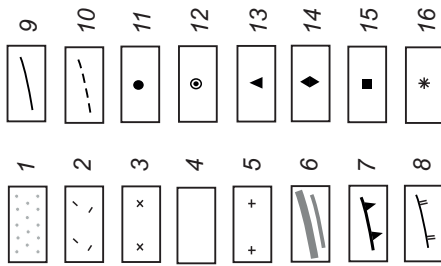
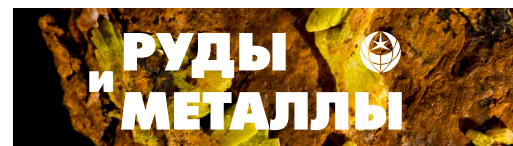


Рис. 1. Островная дуга Санда с золото-меднопорфировыми и сопряжёнными эпитермальными, скарновыми и стратойдными месторождениями золота, серебра и цветных металлов, а также предшествующим медно-цинково-колчеданным месторождением [13]:

тип фундамента: 1 – океанический островодужный, 2 – блок Лукония, 3 – континентальный Австралийской плиты, 4 – океанический Индийской плиты, 5 – раннемеловой дуги Санда; 6 – оси островных дуг; 7 – зона субдукции; 8 – поднятие Ру (океаническое плато); 9 – зоны разломов; 10 – границы центров океанического спрединга; *типы месторождений:* 11 – золото-меднопорфировые, 12 – эпитермальные золото-серебряные LS-типа, 13 – эпитермальные золото-медные и золото-серебряные HS-типа, 14 – стратойдные в осадочных толщах, 15 – золото-медные скарновые, 16 – медно-цинковые колчеданные (VMS)

Fig. 1. The Sunda island arc with porphyry gold-copper deposits and related epithermal, skarn, and stratoid deposits of gold, silver, and base metals, as well as with their preceding copper-zinc VMS deposit [13]:

basement type: 1 – oceanic island arc, 2 – Luconia block, 3 – continental, of the Australian plate, 4 – oceanic, of the Indian plate, 5 – of the Early Cretaceous Sunda arc; 6 – island arc axes; 7 – subduction zone; 8 – Roo Rise (oceanic plateau); 9 – fault zones; 10 – boundaries of oceanic spreading centers; *mineral deposit types:* 11 – porphyry gold-copper, 12 – epithermal gold-silver of LS-type, 13 – epithermal gold-copper and gold-silver of HS-type, 14 – stratoid in sedimentary strata, 15 – skarn gold-copper, 16 – copper-zinc volcanogenic massive sulfide (VMS)



ния поясов наложены друг на друга, а на востоке отделены друг от друга. Ранний магматизм ограничен Западной Явой. Палеоцен-эоценовые и эоцен-миоценовые магматиты в основном расположены на о. Ява, миоцен-плиоценовые – в восточном сегменте ОД. В районе месторождения Тумпангпиту на участках коренных обнажений площадью от 0,3 до 10 км² последовательность их формирования следующая: дорудные диориты с равнотермальной структурой (основная фаза рудоносного комплекса?) и комплекс порфировых тоналитовых интрузий – 4,83±0,4 (четвёртая фаза) до 4,03±0,65 млн лет (шестая фаза).

В западном сегменте дуги сосредоточены эпитеpmальные золото-серебряные месторождения типа «высокой сульфидизации» (HS-тип) [11]. Крупные золото-меднопорфировые объекты расположены вдоль её восточного сегмента. К их особенностям относятся низкие содержания калия в рудоносных интрузивах, преобладание биотита над калишпатом в метасоматических зонах, замещение актинолита хлоритом, появление олигоклаза (вместо калишпата) в центральных биотит-магнетитовых зонах, угнетённое развитие узких зон более поздних кварц-серицит-пиритовых метасоматитов [18].

В целом выделяется три этапа образования меднопорфировых месторождений дуги Санда: олигоцен-миоценовый (> 15 млн лет), средне-позднемиоценовый (15–5 млн лет) и плиоцен-плейстоценовый (5–1,5 млн лет). Рудопроявления первого этапа известны лишь на о. Ява. Низкосортные рудные проявления второго этапа известны на островах Ява, Ломбок и Сумбаву. И лишь в течении третьего этапа образовались крупные (до гигантских) золото-меднопорфировые объекты восточной части ОД. В это же время происходило формирование крупных эпитеpmальных серебряных объектов Западной Явы.

В строении рудных районов (Бату-Хайджау, Эланг и др.) принимают участие вулканогенно-осадочные породы (вулканиты представлены преимущественно андезитами). В основании сложенных ими толщ залегают вулканомиктовые песчаники и аргиллиты, а верхние

горизонты представлены вулканическими брекчиями, песчаниками и конгломератами. Присутствуют прослои мелководных известняков и известковистых алевролитов. Возраст этих толщ от 21 до 15 млн лет. В районе Тумпангпиту закартированы турбидиты и мелководные морские осадки с возрастом от 20,67±0,47 до 16,68±0,35 млн лет.

В строении ВПП описываемой ОД выделены многочисленные вулканоплутонические центры, в срединной части которых расположены интрузивы рудоносных комплексов с золото-меднопорфировыми месторождениями, а в периферийной – вулканогенные образования преимущественно андезитового состава. Плиоцен-плейстоценовые центры располагаются примерно в 80 км друг от друга по оси ВПП в широтном направлении (рис. 2).

Рудоносные порфировые интрузивы на месторождениях обычно состоят из 2–5 фаз. Как правило, по составу это кварцевые диориты и тоналиты. Они имеют «карандашную» форму, диаметр от 200 до 1200 м, протяжённость по вертикали более 2 км. Временные диапазоны их формирования: от 3,55±0,13 до 3,52±0,14 млн лет в районе Бату-Хайджау; от 2,51±0,13 до 2,38±0,18 млн лет в Эланге. В то же время в западной части дуги (Брамбанг, Селедон) подобные интрузивные комплексы имеют возраст от 6,15 до 7,28 и 7,22 млн лет. Возраст пострудных дацитов Эланга – 2,1±0,11 млн лет.

Э. Мариано и др. [16] полагают, что возраст в 5 млн лет представляет собой границу между крупными золото-меднопорфировыми и эпитеpmальными золото-серебряными месторождениями и мелкими непромышленными объектами тех же типов. Действительно, все крупные и гигантские объекты моложе 5 млн лет: Тумпангпиту от 4,83±0,40 до 4,03±0,65 млн лет; Бату-Хайджау от 3,76±0,10 до 3,67±0,12 млн лет; Эланг от 2,51±0,13 до 2,38±0,18 млн лет.

Вышеизложенное позволяет отметить следующее:

- в истории формирования островной дуги Санда ВПП с меднопорфировым и золото-меднопорфировым оруденением образовывались

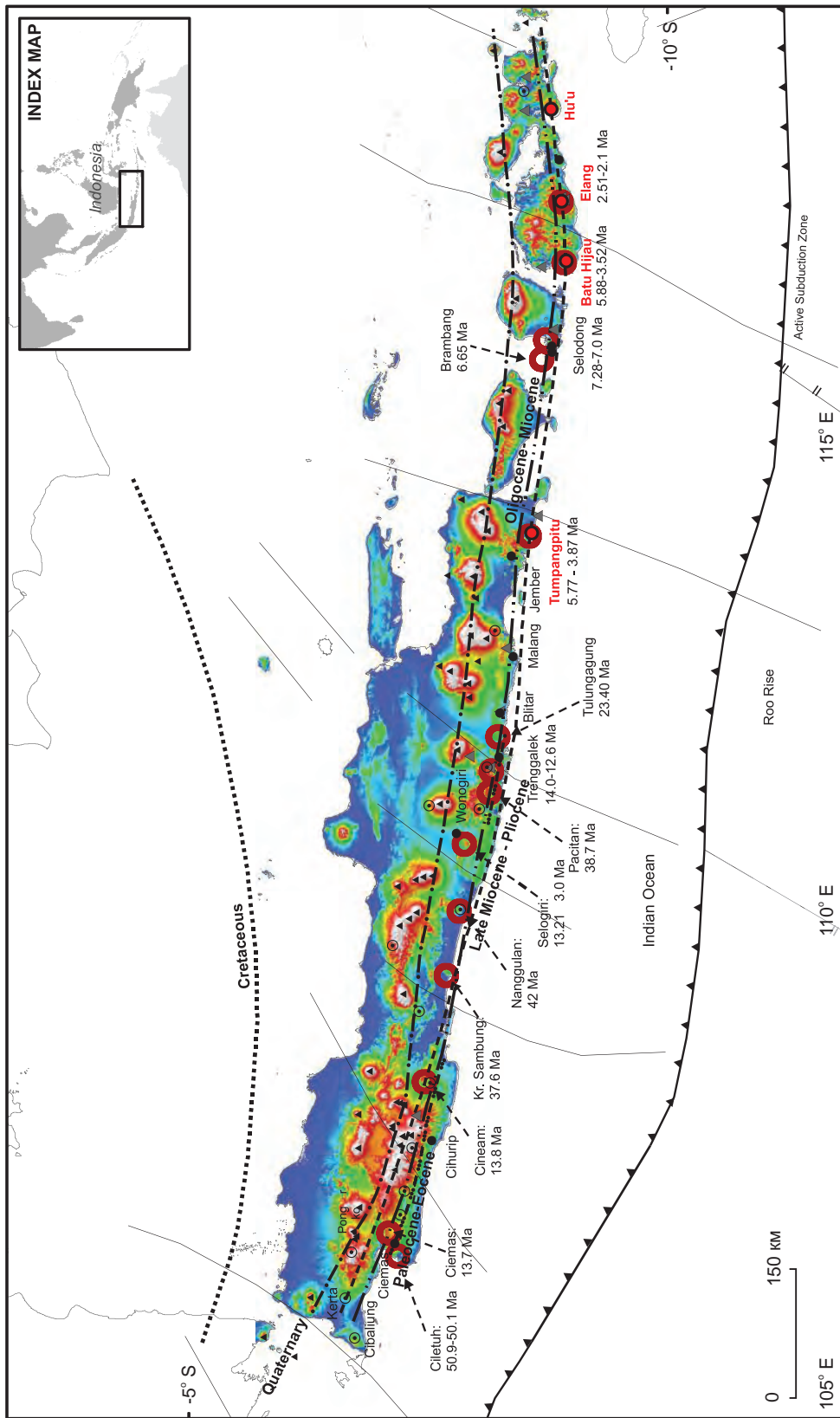
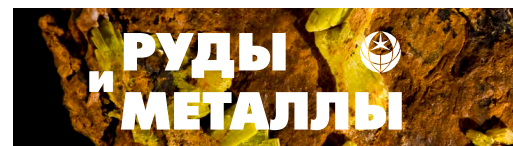


Рис. 2. Вулкано-плутонические центры с рудными месторождениями островной дуги Санда [16]:

1 – активные вулканы; 2 – линейменты; осевые линии ВПП разных возрастов: 3 – K_1 , 4 – P_1-P_2 , 5 – P_3-N_1 , 6 – N_1-N_2 , 7 – Q; 8 – интрузивные комплексы; 9 – золото-меднопорфировые гигантские и крупные месторождения (a), рудопроявления (b); остальные усл. обозн. см. рис. 1

Fig. 2. Volcano-plutonic centers with ore deposits of the Sunda island arc [16]:

1 – active volcanoes; 2 – lineaments; axial lines of VPBs of different ages: 3 – K_1 , 4 – P_1-P_2 , 5 – P_3-N_1 , 6 – N_1-N_2 , 7 – Q; 8 – intrusive complexes; 9 – porphyry gold-copper objects: (a) giant and large ore deposits, (b) ore occurrences, for other symbols see Fig. 1



не менее трёх раз: в палеоцен-эоцене, олигоцен-раннем миоцене и позднем миоцене-плиоцене. Для самого молодого пояса характерно омоложение плутоногенных рудогенных процессов с запада на восток. Все крупные и гигантские золото-меднопорфировые месторождения восточного сегмента дуги имеют возраст моложе 5 млн лет и сформированы на коре океанического типа;

- особенностью строения ВПП являются редуцированное развитие вулканогенных образований (андезиты) и концентрация натровых диорит-тоналитовых рудоносных интрузивов, в том числе диоритовых и тоналитовых порфиров, с которыми ассоциируют золото-меднопорфировые месторождения в так называемых «магматических центрах». Центры отстоят друг от друга по оси поясов с шагом примерно в 80 км;

- ВПП с крупными и гигантскими золото-меднопорфировыми месторождениями, а также с мелкими непромышленными объектами того же геолого-промышленного типа могут в первом приближении рассматриваться в качестве базальтоидных;

- большинство исследователей [13, 16, 18] связывают возникновение и развитие дуги Санда с существованием Зондской субдукционной зоны, что не вызывает сомнений и определяет положение этой ОД и входящих в её структуры базальтоидных ВПП как надсубдукционное. В то же время дуга, предположительно, представляет собой проекцию на поверхность границы Евразийской и Индо-Австралийской литосферных плит.

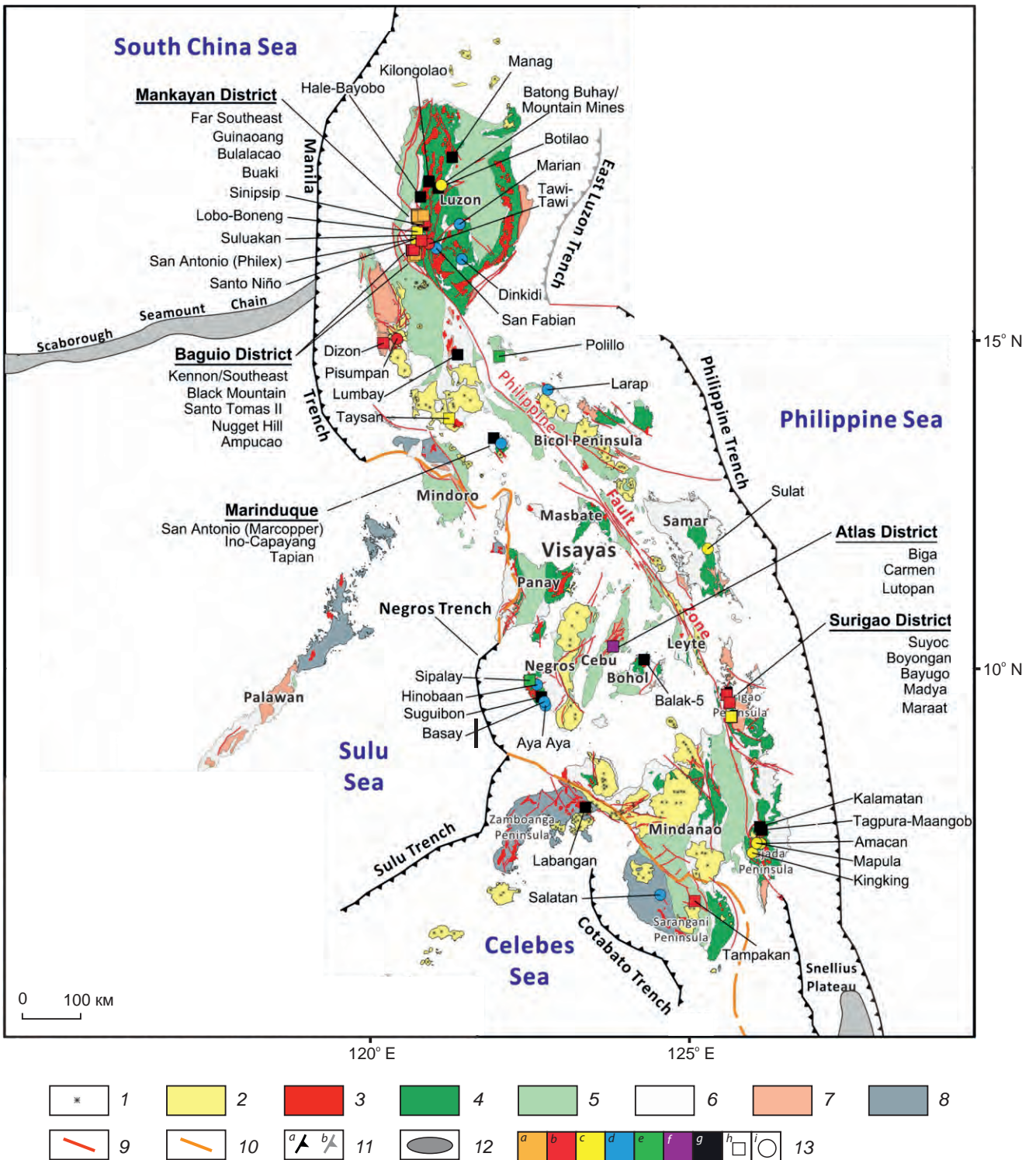
К *периокеаническим* относится большинство базальтоидных ВПП с месторождениями золото-меднопорфирового типа. Такие пояса расположены в периокеанических островодужных структурах, где они нередко представляют собой внешние барьерные зоны. Одним из примеров являются базальтоидные ВПП Филиппинского архипелага на границе Евразийской и Филиппинской плит. Здесь выделен так называемый Филиппинский мобильный пояс (МП), протягивающийся в меридиональном направлении от о. Лусон на севере до о. Минданао на юге, а в его преде-

лах – рудные районы Манканьян, Багио, Маридукью, Атлас, Суригао и др. более чем с 50 золото-меднопорфировыми и сопряжёнными с ними эпитермальными золото-медными (HS-типа) и золото-серебряными (IS- и LS-типов) месторождениями и проявлениями (рис. 3).

К западу от МП располагается Поливанский микроконтинет, включающий о. Миндоро, море Сулу с о. Палаван и северо-восток о. Калимантан. С востока к МП примыкает менее мобильная зона, ограниченная Филиппинским жёлобом. В основании микроконтинентального блока и фрагментарно на флангах МП развиты доюрские метаморфические толщи – гнейсы, кристаллические сланцы, песчаники, филлиты, что подтверждает его континентальную природу [10]. В то же время в фундаменте МП залегают метавулканы зеленосланцевой фации метаморфизма и ультрамафические основные породы, включая серпентиниты, габбро и амфиболиты. Эти образования рассматриваются в качестве океанической коры.

Детальное геологическое изучение выше-названных рудных районов последних десятилетий с изотопным определением возраста рудовмещающих пород и руд [10, 11, 14, 19] позволило более обоснованно установить геологическую позицию и время формирования золото-меднопорфировых месторождений Филиппин.

В центральной части Филиппин в рудном районе Атлас (острова Себу и Бохол) с месторождениями Атлас, Бига, Кармен, Лутопан и Балак-5 [19] меднопорфировое оруденение обнаруживает пространственно-временные связи с кварц-диоритовыми порфиритами. Возраст интрузивов $108,5 \pm 1,6$ млн лет (U-Pb метод), а оруденения – $110,2 \pm 5,6$ млн лет (Re-Os по пириту), что соответствует верхней границе раннего мела. Здесь же на доюрском основании ВПП несогласно залегает нижнемеловая толща формации Конси, состоящая из базальтов, андезитов, вулканокластических песчаников с прослоями известняков. Эти породы перекрыты отложениями формации Пандан – конгломератами, песчаниками, глинистыми



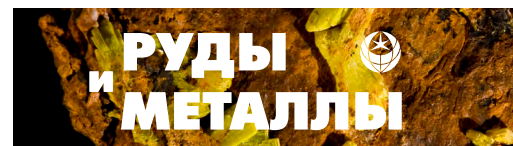


Рис. 3. Региональная геология и распределение разновозрастных золото-меднопорфировых месторождений Филиппинского архипелага [10]:

1 – современные вулканы; 2 – вулканиды, N_3 – Q ; 3 – третичные интрузивы; 4 – островные вулканиды, P_1 – N_1 ; 5 – осадочные бассейны, P_3 – Q_{IV} ; 6 – нерасчленённые геологические единицы; породы фундамента: 7 – офиолитовые комплексы, K_1 – P , 8 – домеловые континентальные метаморфические породы; 9 – главные разломы; 10 – коллизионные зоны (сутуры); 11 – зоны субдукции (*a* – активной, *b* – неактивной); 12 – подводные плато и хребты; 13 – возраст порфировых месторождений, млн лет: *a* – 0,1–1,6 (Q), *b* – 1,6–5,3 (N_2), *c* – 5,3–11,2 (N_3^2), *d* – 11,2–23,7 (N_1^1 – N_1^2), *e* – 23,7–36,6 (P_3), *f* – 97,5–113 (K_1al), *g* – нет данных, *h* – точное радиоизотопное определение возраста, *i* – оценка возраста по геологической обстановке и/или косвенным данным

Fig. 3 Regional geology and distribution of porphyry gold-copper deposits of different ages in the Philippine Archipelago [10]:

1 – recent volcanoes; 2 – volcanics, N_3 – Q ; 3 – Tertiary intrusions; 4 – island-arc volcanics, P_1 – N_1 ; 5 – sedimentary basins, P_3 – Q_{IV} ; 6 – undivided geological units; basement rocks: 7 – ophiolite complexes, K_1 – P , 8 – pre-Cretaceous continental metamorphic rock; 9 – major faults; 10 – collision zones (sutures); 11 – subduction zones (*a* – active, *b* – inactive); 12 – submarine plateaus and ridge; 13 – age of porphyry deposits, million years: *a* – 0,1–1,6 (Q), *b* – 1,6–5,3 (N_2), *c* – 5,3–11,2 (N_3^2), *d* – 11,2–23,7 (N_1^1 – N_1^2), *e* – 23,7–36,6 (P_3), *f* – 97,5–113 (K_1al), *g* – no data, *h* – precise radioisotope age determination, *i* – age estimate based on geological setting and/or indirect data

сланцами с прослоями углей. И те, и другие прорваны рудоносными штоками кварцевых диоритов и их порфировых разностей.

Правомерно предположить, что осадочно-вулканогенные толщи формации Конси и кварц-диоритовые плутониты образуют единую, продуктивную на золото-меднопорфировые руды, ВПА раннемелового базальтоидного ВПП, сформированного на океанической коре. Молассы формации Пандан «фиксируют» временной интервал между образованием вулканогенной и плутоногенной составляющих этой ВПА. Примечательно, что базальт-андезитовые породы мелового возраста были обнаружены также на севере Филиппин (о. Катандуанес) и на юго-востоке островов Лусон и Рапу-Рапу, что позволяет предположить более широкое площадное развитие базальтоидного ВПП мелового возраста.

Большая часть золото-меднопорфировых месторождений Филиппин, в т. ч. крупных, сосредоточена в восточной части архипелага – на севере Восточно-Филиппинского ВПП (запад о. Лусон) в рудных районах Манканьян и Багио (см. рис. 3). Они описаны в серии публикаций [10–12, 15].

К наиболее ранним образованиям этих районов относятся позднеэоценовые базаль-

тоиды и их пирокласты серии Лепанто ($35,3 \pm 1,0$ млн лет и $33,7 \pm 0,7$ млн лет). Они прорваны крупным батолитообразным телом (центральный Кордильерский батолит) габбро-диорит-тоналитового комплекса Багон позднего эоцена ($34,05 \pm 0,5$ млн лет, $34,8 \pm 0,7$ млн лет). Олигоцен-раннемиоценовые породы формации Балили – вулканокласты, брекчии, конгломераты (возможно молассовые образования) несогласно перекрывают вулканиды Лепанто и нередко содержат обломки диоритов и тоналитов Баган. Разрез завершают плиоцен-плейстоценовые андезит-дацитовые толщи (в основном пирокласты) формаций Имбангуида ($2,19 \pm 0,12$ млн лет, $1,82 \pm 0,36$ млн лет) и Бало ($1,43 \pm 0,21$ млн лет). В последних фиксируются обломки кварцевых диоритов с меднопорфировой минерализацией. Породы толщи Имбангуида прорваны многочисленными телами кварцевых диоритовых порфиров-дацит-порфиров, с которыми ассоциирует меднопорфировое оруденение [15].

С определённой долей условности можно предположить, что в северной части Восточно-Филиппинского пояса проявлены две ВПА, продуктивные на золото-меднопорфировые руды. В первую (позднеэоценовую) входят вулканиды серии Лепанто и плутоногенные породы

комплекса Багон, с поздними порфировыми фазами которого, по-видимому, связано формирование меднопорфировых проявлений среднего миоцена Мариан, Динкиди, Сан-Фабиан (23–12 млн лет). Вторая (плиоцен-плейстоценовая) включает вулканогенно-пирокластические толщи Имбангуида и Бало и малые интрузивные тела кварцевых диорит-порфиров и дацит-порфиров. С этой ВПА связывается образование большинства месторождений вышеназванных рудных районов.

По существу, выделенные ВПА в структурно-металлогеническом понимании отвечают самостоятельным базальтоидным ВПП.

В южной части Восточно-Филиппинского пояса расположен рудный район Суригао с месторождениями Суеок, Бойонган, Байуго, Мадья, Марсаг [11]. Здесь к образованиям фундамента ВПП отнесены толща конгломератов, песчаников, мраморов и сланцев («Консепьонский сланец») предположительно мелового возраста, а также мел-палеоценовый офиолитовый комплекс Суригао (см. рис. 3). Позднеэоценовая Маданлогская формация состоит из конгломератов, сланцев и известняков, несогласно залегающих на комплексах основания пояса. Широко распространены образования формации Бакуаг, среди которых преобладают базальты и их брекчии, в верхних частях разреза переслаивающиеся с известняками и углеродистыми сланцами. Возраст пород формации определён как поздний олигоцен–ранний миоцен. Более поздняя турбидитовая формация (Мазелоуд), представленная переслаивающимися алевритовыми аргиллитами, граувакками, мергелями с горизонтными базальтов, скорее всего имеет среднемиоценовый возраст. Среди пород миоценовой формации Мабухай преобладают андезиты – вулканокласты и брекчии; фиксируются горизонты дацитов, известняков и алевролитов. В основании разреза формации закартирована толща базальных конгломератов, несогласно залегающих на породах турбидитовой формации. Позднемиоценовые-плиоценовые известняки формации Тимамана несогласно залегают на образованиях формации Бакуаг. Предполагается, что их отложение происхо-

дило непосредственно перед внедрением плейстоценовых диоритов и диоритовых порфиров комплекса Боюонган, с которым связывается рудообразование.

На месторождениях Боюонган-Байуго магматиты этого комплекса представлены диоритовыми порфирами: предрудными ($2,31 \pm 0,1 \div 2,23 \pm 0,1$ млн лет) и пострудными ($2,19 \pm 0,16$ и $2,09 \pm 0,20$ млн лет), возраст которых определён U-Pb методом по циркону. Возраст штока диоритов (возможно, основная фаза комплекса), прорывающего породы формации Мабухай, составляет $3,23 \pm 0,2$ млн лет, а молибденита из кварцевых жил – $2,120 \pm 0,007$ и $2,115 \pm 0,008$ млн лет (по Ar-Ar методу).

Д. Брэкстон с соавторами [12] рассматривает образование вулканитов формации Мабухай и диоритов комплекса Боюонган как проявление единого магматического процесса, что позволяет объединить их в единую рудоносную ВПА, отвечающую базальтоидному ВПП, с которой связано формирование плиоценовых золото-меднопорфировых объектов Восточно-Филиппинского пояса.

Не преследуя цель детального рассмотрения структуры и истории развития заложенной на океанической коре Филиппинской ОД, определяемой рядом исследователей [10, 11, 17] как коллаж разнородных тектонических блоков, отметим на основе проанализированных нами публикаций следующее:

- продуктивные на золото-меднопорфировые руды магматические формации базальтоидных ВПП возникали несколько раз: на границе раннего и позднего мела в западной части архипелага; в позднем эоцене на севере о. Лусон; в миоцен-плиоцене (плейстоцене) на востоке архипелага в пределах Восточно-Филиппинского пояса;
- рудоносные плутоногенные комплексы во всех случаях представлены породами известково-щелочной серии натрового профиля – диоритами–кварцевыми диоритами с порфировыми фазами того же состава. Для Лутопанского кварц-диоритового штока месторождения Атлас, по $\Sigma Hf(t)$ циркона, Sr-Nd изотопным данным и La/Yb отношению Ю. Зангом и др. [19] сделано предположение о том, что рудо-

носный магматический очаг располагался или в нижней части континентальной коры или на её границе с астеносферой. При этом магма существовала в условиях высокой летучести кислорода, высокой концентрации H_2O и низких температур;

- представляется, что определяющими факторами геологической позиции Филиппинской ОД является её надсубдукционное положение непосредственно над конвергентной границей океанической (Филиппинской) и континентальной (Евразийской) литосферных плит. Неоднократное проявление рудоносного магматизма, по-видимому, обусловлено взбросо-сдвиговыми деформациями по этой геотектонической зоне при субдукционных, коллизионных и орогенных процессах, приводящих в конечном итоге к возникновению и приоткрыванию магмавыводящих разломов.

Филиппинская островная дуга с золото-меднопорфировыми месторождениями может рассматриваться в качестве эталонной структуры для определения палеотектонической позиции периокеанических базальтоидных ВПП. Установленные для неё особенности геологического строения и металлогении характерны также для Новобританской и Соломоновой базальтоидных ОД на границе Австралийской и Тихоокеанской плит (рис. 4).

Наиболее древние образования Новобританской дуги – вулканы основного состава (базальты и андезитобазальты), датированные эоценом. Перекрывающие их вулканогенные породы олигоцена принадлежат к известково-щелочной серии. Золото-меднопорфировые месторождения Плесиуми, Эсис и Кулу расположены в трёх разобщённых узлах, отвечающих позднеолигоценным–среднемиоценовым интрузивным массивам [3, 5].

Интрузивные образования, завершавшие островодужный этап развития о. Новая Британия, имеют отчётливо выраженный натровый профиль. Во всех массивах устанавливается эволюция составов от габбро к кварцевым диоритам и более редким тоналитам. Обстоятельный анализ петрохимических особенностей интрузивов Новобританской ОД, проведённый Р. Хайном и Д. Мэсоном [3], показал

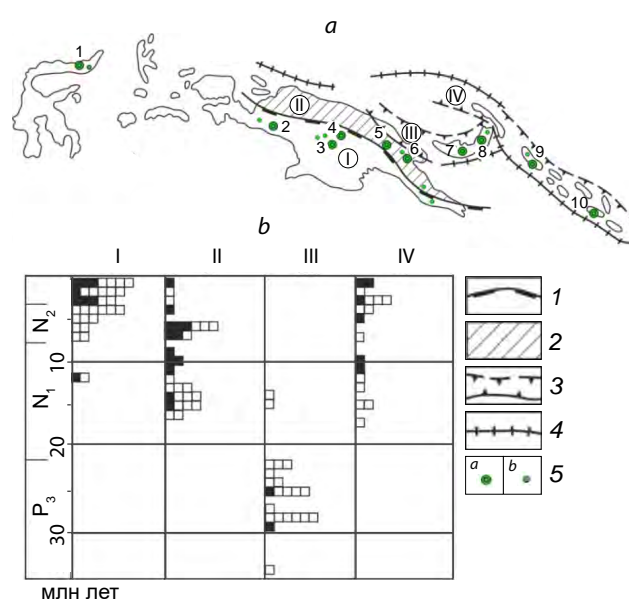


Рис. 4. Схема размещения золото-меднопорфировых месторождений юго-восточной части Филиппино-Новогвинейской провинции (а) и эволюция возраста вулcano-плутонических поясов (б), по Д. Мэсону, Дж. Макдональду, С. Титли и Т. Хайдрику [2] с дополнениями:

1 – граница Австралийского континентального блока (I); 2 – мобильный пояс севера Папуа-Новой Гвинеи (II); 3 – границы островных дуг: III – Новобританской, IV – Соломоновой; 4 – оси глубоководных желобов; 5 – меднопорфировые месторождения (а), значительные рудопроявления (б). Цифрами обозначены месторождения: 1 – Кабанг Кири (Томбуилилато), 2 – Грасберг, 3 – Ок Теди, 4 – Фрида Ривер, 5 – Яндера, 6 – Голпу, 7 – Плесиуми, 8 – Эсис, 9 – Пангуна, 10 – Колоула

Fig. 4. Schematic map showing the distribution of porphyry gold-copper deposits in the southeastern Philippines-New Guinea province (a) and evolution of the age of volcano-plutonic belts (b); modified after D. Mason, J. MacDonald, S. Tittle and T. Heidrick [2]:

1 – boundary of the Australian continental block (I); 2 – mobile belt of northern Papua New Guinea (II); 3 – boundaries of the island arcs: III – New British, IV – Solomon; 4 – axes of deep-sea trenches; 5 – porphyry copper objects: (a) ore deposits, (b) significant ore occurrences. The deposits are indicated by numbers: 1 – Kabang Kiri (Tombuililato), 2 – Grasberg, 3 – Ok Tedi, 4 – Frida River, 5 – Yandera, 6 – Golpu, 7 – Plesiumi, 8 – Esis, 9 – Panguna, 10 – Koloula

принципиальное отличие принадлежащих ей плутонитов от интрузивных и вулканогенных пород окраинно-континентальных (аккреционных) андезитовидных ВПП. Резкое преобладание натрия над калием, низкие значения отношения рубидия к стронцию и невысокие концентрации никеля, хрома и кобальта в интрузивах района привели к выводу о связи магматизма с частичным плавлением комплексов базитового слоя земной коры на глубинах 20–40 км, сопровождавшимся фракционированием образующегося расплава.

Островная дуга Соломоновых островов сложена несколькими ВПА, сформировавшимися во временном интервале от начала миоцена до плейстоцена включительно. Наиболее древние образования представлены мезозойскими базальтоидами. На о. Гуадалканал широко развиты вулканиты базальтового и андезибазальтового состава мощностью более 2,5 км, датируемые поздним олигоценом–ранним миоценом. Плиоцен-голоценовые лавы базальтов и дацитов слагают узкий пояс на западной окраине острова. На о. Бугенвиль значительную часть пояса образуют андезиты группы Киета с изотопным возрастом 4–5 млн лет. Интрузивные породы этого региона имеют натровую специализацию, проявленную во всех разностях – от габбро до диоритов, кварцевых диоритов и более поздних гранодиоритов.

Плутонический комплекс Колоула имеет весьма сложное строение. С ним связано одноименное месторождение. А. Чивас и И. Макдогал [3] выделили 26 фаз интрузивного магматизма, которые отнесены к двум циклам с временем проявления 4,5 и 2,4 млн лет. Породы раннего цикла составляли ряд габбро-диориты – кварцевые диориты – гранодиориты. Во втором цикле происходила эволюция состава фаз от кварцевых диоритов к тоналитам при ярко выраженном натровом профиле. Гидротермальные изменения датируются периодом от 2 до 1,5 млн лет.

Месторождение Пангуна на о. Бугенвиль локализовано в экзоконтактовой зоне массива роговообманковых диоритов–кварцевых диоритов. Их возраст 4–5 млн лет, а прорываю-

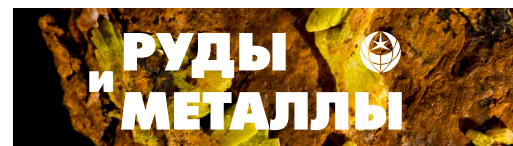
щих их гранодиорит-порфиров, с которыми сопряжено золото-меднопорфировое оруденение, – 3,4±0,3 млн лет.

Все названные островные дуги и слагающие их базальтоидные ВПП приурочены к конвергентным границам литосферных плит, занимают надсубдукционную позицию и являются производными базитовых магматических очагов, что объясняет определённое сходство их геологического строения и характеристик расположенных в их пределах МПМ.

На Аляске островные дуги с базальтоидными ВПП находятся вблизи границы Северо-Американской и Тихоокеанской плит над зонами субдукции. Расположенные в их пределах меднопорфировые месторождения, по данным В. Холлистера, С. Анцалоне, Д. Рихтера [3, 4], сопряжены с массивами диоритов, роговообманковых диоритов, реже гранатсодержащих диоритов, которые входят в состав раннеюрских, позднеюрско-раннемеловых и третичных островодужных ВПА, вулканогенная часть которых представлена базальтами, андезибазальтами и андезитами. Месторождения и рудопроявления (Костелло Крик, Грабстейк, Индиан Пасс Лейк, Баумтофф и др.) этой минерагенической провинции по петрологии и рудно-метасоматической зональности соответствуют «диоритовой» модели В. Холлистера.

Периокеанический Прибрежный ВПП Аляски сформирован вулканогенными толщами пенсильванско-пермского возраста, которые В. Холлистер и др. [3, 5] относят к островодужным комплексам, образованным на океанической коре. Эти комплексы перекрыты терригенными и карбонатными морскими отложениями и базальтоидными вулканитами триаса. Более молодые вулканогенные образования рассматриваются как продукты раннеюрской, позднеюрско-раннемеловой и третичной островодужных систем, последовательно наращивавших окраину континента начиная с триаса.

Для интрузивных пород пояса установлено пять отрезков формирования: 285–282, 179–154, 117–105, 83–85 и 41–25 млн лет. Четыре первых отрезка совпадают со временем су-



ществования островных дуг, а соответствующие интрузивы входят в базальтоидные ВПА.

Месторождения приурочены к штокам диоритов и диоритовых порфириров раннетриасового (Грабстейк), раннеюрского (Индиан Пасс Лейк), мелового (Баумтофф, Птармиган Крик – 114 млн лет) и третичного возраста (Костелло Крик). Все они рассматриваются как часть островодужных ВПА, продуцирующих месторождения, которые отвечают «диоритовой» модели.

К этому же типу принадлежат наиболее молодые месторождения (Пирамид, Драй Крик) провинции, находящиеся в структурах Алеутской островной дуги (Островного ВПП) и описанные Р. Армстронгом и др. [3, 5].

Месторождение Пирамид приурочено к штоку кварцевых диоритовых порфириров (абсолютный возраст 6,2 млн лет), прорывающему олигоценные островодужные вулканы андезитового и андезит-базальтового состава и испытывавшему биотитизацию и серицитизацию. На месторождении Драй Крик минерализация ассоциирует со штоком кварцевых диоритов (возраст 3,3 млн лет), внедрившимся в юрские толщи. Минерализация представлена халькопиритом, пиритом и магнетитом; отмечаются следы молибденита и золота. От внутренних частей штока к периферии месторождения происходит смена зоны биотитизации зоной серицитизации, за которой располагается обширный ореол пропицитизации и пиритизации.

В Панамской части Центрально-Американской провинции С. Кезлером и другими исследователями [3] выделены две существенно различные группы медно-порфировых месторождений. К первой отнесены объекты, сопряжённые с интрузивами, завершающими островодужный вулканизм и формирующиеся в интервале 70–50 млн лет. Такие месторождения известны на северо-востоке страны (Рио Пинто, Патикан, Наваганди), где они находятся в рудных районах островодужных базальтоидных ВПП. Второй группе принадлежат месторождения более молодого андезитовидного ВПП, наложенного на островодужные комплексы. Известные в его пределах ме-

сторождения (Серро Колорадо, Чорча) связаны с интрузивами преимущественно гранодиоритового состава. Что же касается месторождения Петакилья, то позиция его остаётся недостаточно ясной из доступных публикаций.

В северной части Карибского региона, на границе Южно- и Северо-Американской литосферных плит, С. Кезлером, Л. Джонсом и Р. Валкером [3, 5] выделен меловой–раннекайнозойский базальтоидный пояс, сформированный на мезозойском океаническом субстрате. Ему соответствует Антильская металлогеническая провинция (Пуэрто-Рико, Ямайка), в пределах которой известна серия небольших медно-порфировых месторождений – Рио Виви, Танама, Ла Муда, Коппер Майн Пойнт и др.

Участвующие в геологическом строении региона раннемеловые образования представлены продуктами инициального островодужного магматизма – спилитами и кварцевыми кератофирами, ассоциирующими с кремнистыми отложениями. Более поздние вулканы андезит-базальтового и дацитового состава в ассоциации с терригенными и карбонатными отложениями отвечают завершению собственно базальтоидного этапа развития в конце мела–раннем кайнозое при миграции этого режима в пространстве с омоложением к востоку.

Все известные в провинции месторождения сопряжены с интрузивами кварцевых диоритов, принадлежащих островодужной андезит-базальт-диоритовой ВПА.

Месторождения Рио Виви, Танама и Кайон ассоциируют со штоками кварц-роговообманковых диоритов, прорывающими поздне-меловые и позднеэоценовые вулканогенные толщи и относимыми к эоцену. На других островах архипелага известны более древние рудоносные интрузивы кварцевых диоритов. Так, для штока Терре Неуве, к которому приурочено месторождение Мене на Гаити, изотопный возраст – 66 млн лет, для штока Гиппер Ридж с месторождением Кочкора на Ямайке – 85 млн лет.

В целом, возраст интрузивов кварцевых диоритов, несущих меднопорфировую минерализацию, «укладывается» в диапазон 90–

40 млн лет. С. Кезлер с соавторами относит месторождения и рудопоявления провинции к островодужному типу, а специфику их петрологических и геохимических характеристик объясняет мантийным происхождением магматических расплавов, ограниченно взаимодействовавших с интрузируемой океанической корой.

Палеотектоническая позиция океанических и периокеанических островных дуг и входящих в их состав базальтоидных ВПП с медно- и золото-меднопорфировыми месторождениями в определённой степени сходна. Вместе с тем, океанические ОД отличаются большей протяжённостью, линейной формой и строением поясов.

В принципиально иной палеотектонической обстановке формируются базальтоидные ВПП с меднопорфировыми объектами Уральской металлогенической провинции. Преследуя определённую цель – установление палеотектонического положения этих поясов в структуре Уральской складчатой системы, авторы не считают необходимым детально рассматривать различные точки зрения на те или иные достаточно спорные вопросы, касающиеся истории развития Урала и геологических аспектов его строения. В этом отношении можно сослаться на подробный критический анализ ключевых моментов развития и геологии Уральского региона, а также представлений различных исследователей по основным дискуссионным проблемам, проведённый А. И. Кривцовым [3]. Следует отметить при этом, что рифтогенная природа возникновения и существования океанических структур Урала не вызывает принципиальных возражений у большинства тектонистов и геологов.

По мнению А. И. Кривцова [3–6], на Урале базальтоидные ВПП (базальт-андезит-базальтовые и диорит-кварц-диорит-плагиогранитные формации) завершают развитие однородной базальтовой (океанической коры?), раннеостроводужных контрастных и непрерывных колчеданосных формаций и надстраивают их разрезы. В отдельных случаях такие пояса располагаются непосредственно

на породах недифференцированной формации. При этом, как было показано М. Б. Бородавской с соавторами [1], базальтоидные ВПП, формируясь в островодужных обстановках, не занимают надсубдукционного положения, а отвечают поздним стадиям заполнения рифтогенных («спрединговых») зон, переживших океанический режим становления.

Наиболее известен Ирландский пояс в Западно-Магнитогорской металлогенической зоне Уральской провинции, протягивающийся в меридиональном направлении более чем на 1000 км при ширине от 15–20 до 50–70 км (рис. 5). В комплексах его основания обнаружен целый ряд месторождений колчеданного семейства, для которых характерна высокая сохранность синвулканических структурных форм при отсутствии складчатых деформаций. Кроме того, в этом районе базальт-андезит-базальтовая и непрерывная колчеданосная формации обладают некоторым общим временным диапазоном становления, а начало накопления пород более поздней из них частично совпадает с завершением ранней при частичном их совмещении в отдельных блоках [1, 3, 5, 6].

Ирландский ВПП ($D_1-D_2e_2$) выражен системой протяжённых гряд вулканических построек, которые на южном фланге распадаются на отдельные вулканические сооружения и ареалы удалённых вулканомиктовых фаций. Пояс сложен вулканитами базальт-андезит-базальтовой формации (D_1-D_2e). Интрузивные комагматы вулканитов слагают штокообразные тела и дайки (D_2e_2) габбро-диорит-плагиогранитовой формации. Базальт-андезит-базальтовая и габбро-диорит-плагиогранитовая формации образуют ВПА, продуктивную на меднопорфировые и золото-сульфидно-кварцевые руды (рис. 6).

На северном и западном флангах описываемого пояса в выступах фундамента развиты многочисленные массивы плутонитов рудоносной формации и сконцентрированы небольшие меднопорфировые месторождения (Поляковское, Дунгурай, Нуралинское, Салаватское, Вознесенское) и проявления (Троицкое, Ново-Берёзовское, Узункулевское и др.),

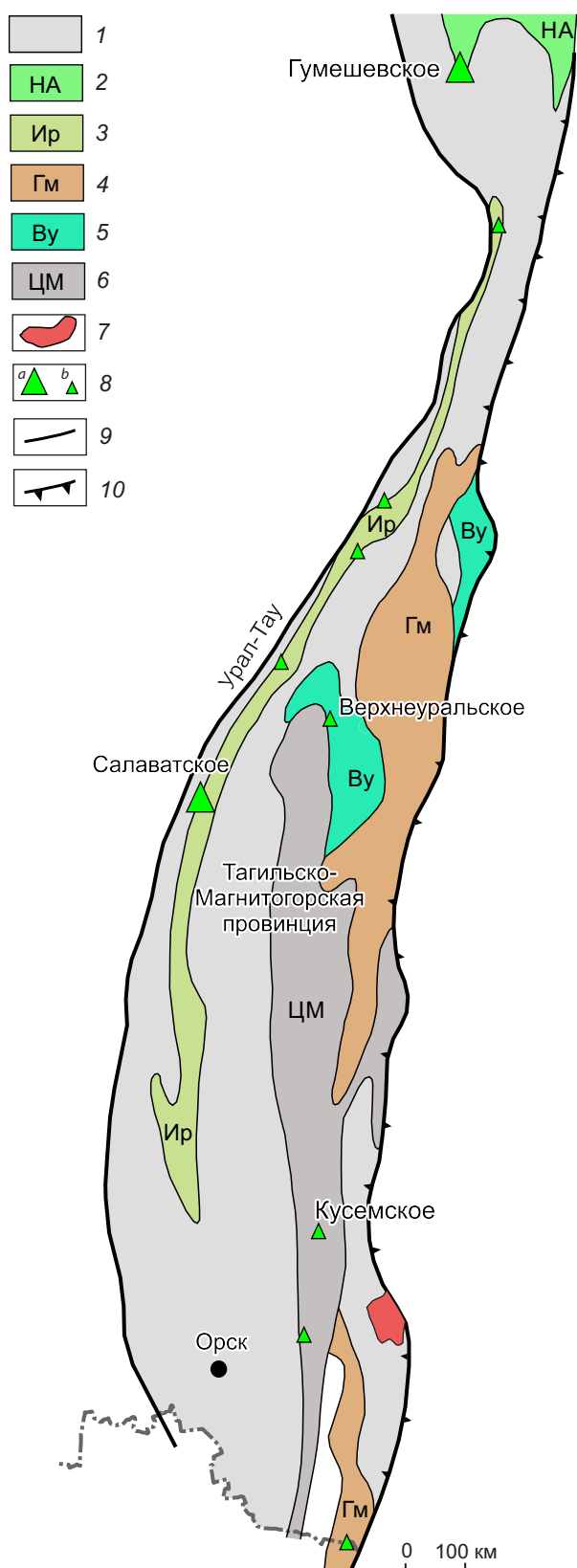
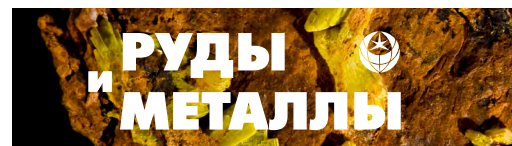


Рис. 5. Тагильско-Магнитогорская металлогеническая провинция Южного Урала с вулcano-плутоническими и плутоническими поясами [9]:

1 – Тагильско-Магнитогорская металлогеническая провинция; базальтоидные ВПП: 2 – Новоалексеевский (НА), D_{1-2} , 3 – Ирендыкский (Ир), D_2 , 4 – Гумбейский (Гм), D_{2-3} , 5 – Верхнеуральский (Бу), D_3-C_1 , 6 – Центрально-Магнитогорский (ЦМ), C_1 ; 7 – гранитоидный массив Восточно-Уральского плутонического пояса, C_1 ; 8 – меднопорфировые объекты (a – месторождения, b – проявления); 9 – глубинные и крупные региональные разломы; 10 – граница меднопорфировых провинций

Fig. 5. Tagil-Magnitogorsk metallogenic province of the Southern Urals with volcano-plutonic and plutonic belts [9]:

1 – Tagil-Magnitogorsk metallogenic province; Basaltoid volcano-plutonic belts: 2 – Novoalekseevsky (HA), D_{1-2} , 3 – Irendyk (Ир), D_2 , 4 – Gumbey (Гм), D_{2-3} , 5 – Verkhneuraly (Бу), D_3-C_1 , 6 – Central Magnitogorsk (ЦМ), C_1 ; 7 – granitoid massif of Vostochno-Uraly plutonic belt, C_1 ; 8 – porphyry copper objects (a – ore deposits, b – ore occurrences); 9 – major deep and large regional faults; 10 – boundaries of porphyry copper provinces

локализованные в эндо- и экзоконтактных частях штоков и даек порфировидных диоритов, кварцевых диоритов, диорит-порфиритов. С интрузивами этого комплекса сопряжены также мелкие месторождения золото-сульфидно-кварцевой (Красная жила) и золото-порфировой (Тыелгинское, Наилинское и др.) формаций. Золотоносные стратоидные залежи ряда месторождений (Камышканское, Малый Каран) приурочены к литолого-стратиграфическому уровню нижней части разреза базальт-андезибазальтовой формации.

Показательно, что для меднопорфировых месторождений Ирендыкского пояса характерны сравнительно небольшие ресурсы меди (до 1 млн тонн Cu), весьма убогие содержания золота (сотые доли г/т) и молибдена (сотые доли %).

На рисунках 5 и 7 показан фрагмент Новоалексеевского базальтоидного ВПП, который продолжается в структурах Среднего Урала. Пояс представлен вулканитами базальт-андезит-базальтовой и плутонитами габбро-ди-

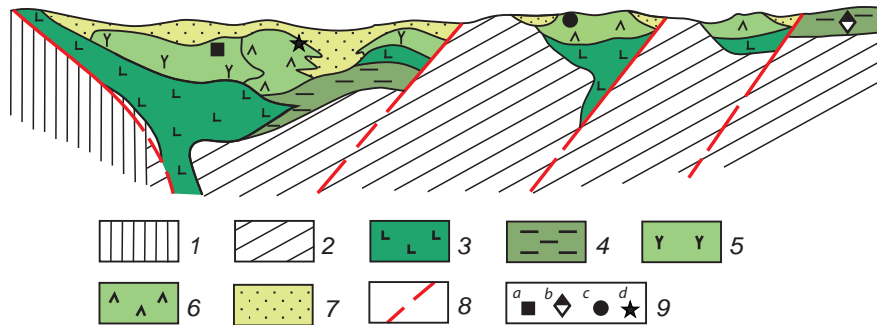


Рис. 6. Принципиальная схема строения Ирландского базальтоидного вулканоплутонического пояса на Южном Урале с установленными в его пределах основными типами месторождений [6]:

1 – докембрийские отложения; 2 – осадочные и вулканогенно-осадочные образования досредне-ордовикского возраста; 3 – базальтоиды недифференцированной формации в ассоциации с углисто-глинистыми и кремнистыми отложениями; 4 – углисто-глинистые и кремнистые отложения; 5 – вулканы контрастной и непрерывной колчеданоносных формаций; 6 – вулканы базальт-андезит-базальтовой формации базальтоидных поясов; 7 – осадочные отложения, включая флишоиды и турбидиты; 8 – глубинные разломы; 9 – месторождения (а – цинково-медноколчеданные, b – железо-марганцевые, c – меднопорфировые, d – жильные полиметаллические)

Fig. 6. Generalized scheme showing the structure of the Irendyk basaltoid volcano-plutonic belt in the Southern Urals with the main types of ore deposits identified within its boundaries [6]:

1 – Precambrian deposits; 2 – sedimentary and volcanosedimentary formations of pre-Middle Ordovician age; 3 – basaltoids of the undifferentiated formation (magmatic association) with related carbonaceous-clayey and cherty deposits; 4 – carbonaceous-clayey and cherty deposits; 5 – volcanics of the contrast and continuous VMS-bearing formations; 6 – volcanics of the basalt-andesite-basaltic formation of basaltoid belts; 7 – sedimentary deposits, including flyschoids and turbidites; 8 – deep faults; 9 – ore deposits (a – zinc-copper VMS, b – iron-manganese, c – porphyry copper, d – vein-type polymetallic)

орит-плагиогранитной формаций нижнедевонского возраста. С массивами плутоидов ассоциируют месторождения скарново-магнетитовой, медно-скарновой, меднопорфировой и золото-сульфидно-скарновой формаций.

К этому же типу геоструктур можно, с достаточной степенью условности, отнести Кони-Тайгоносскую (Удско-Мургалскую) раздвигово-шовную (рифтогенную) зону, отделяющую Охотоморскую литосферную плиту от Азиатского континента [7]. По существу, она представляет собой своеобразную структуру островодужного типа («андезитовая геосинклиналь», по В. Ф. Белому, или Удско-Мургалская островная дуга, по Л. М. Парфёнову) палеозойско-мезозойского возраста. В её пределах с позднего палеозоя по неокончилось формирование островодужных комплексов: вулканогенных и вулканогенно-терригенных базальт-андезитовых (Т- J_2 и J_3 - K_1),

базальтовых и габбро-гранодиорит-тоналит-плагиогранитных (K_1), участвующих в строении одноимённого ВПП, на которые в позднемеловое время были наложены структурно-вещественные комплексы андезитовидного Охотско-Чукотского ВПП.

В юго-западном сегменте Удско-Мургалского ВПП, входящего в состав описываемой рифтогенной островной дуги (в пределах Кони-Пьягинского полуострова), известны несколько меднопорфировых проявлений – Лора (наиболее крупное), Прямой, Икрумунское, Викинг, Антара, Тальниковое I и II и другие, которые в пространстве и времени ассоциируют с порфировыми фазами диорит-гранодиорит-тоналитовых интрузивов. В Северо-Западном (Чукотском) отрезке этого пояса с интрузивными массивами той же формации сопряжены меднопорфировые проявления Базовое и Моренное. Все названные рудопроявления

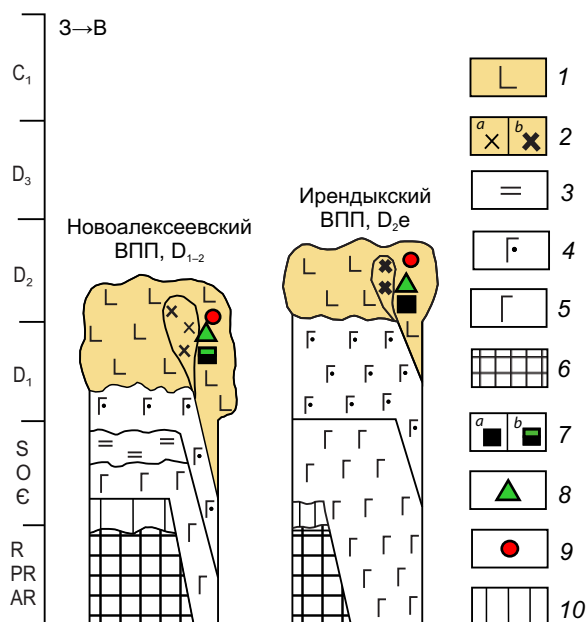
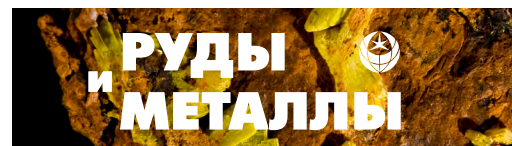


Рис. 7. Формационно-металлогенические ряды Новоалексеевского и Ирендыкского базальтоидных вулканоплутонических поясов [9]:

1 – базальт-андезибазальтовая и базальтовая формации ВПП; 2 – плутоногенные формации ВПП: габбро-диорит-(тоналит)-плагиогранитовая серия (a), в том числе габбро-диоритовая, диоритовая, диорит-плагиогранитовая и габбро-плагиогранодиорит-адамеллитовая формация (b), продуктивные на меднопорфировое и сопряжённое оруденение; 3 – терригенная формация; формационные комплексы фундамента ВПП: 4 – дифференцированные базальт-триолитовые колчеданоносные, 5 – однородные базальтовые и кремнисто-базальтовые (в сочетании с базит-гипербазитовыми и без них), 6 – гнейсовые и кристаллосланцевые (архейские и протерозойские); месторождения ВПП и их фундамента: 7 – скарновые (a – магнетитовые, b – медно-магнетитовые и меднорудные), 8 – меднопорфировые, 9 – золото-сульфидно-кварцевые жильно-штоткверковые и золото-порфировые; 10 – перерывы в осадконакоплении и магматизме

Fig. 7. Formational-metallogenic series of the Novoalekseevsky and Irendyk basaltoid volcano-plutonic belts [9]:

1 – basalt-andesibasalt and basalt volcanic associations of the VPBs; 2 – plutogenic formations (associations) of the VPBs, productive for porphyry copper and related mineralization: (a) gabbro-diorite-(tonalite)-plagiogranite series, including (b) gabbro-diorite, diorite, diorite-plagiogranite, and gabbro-plagiogranodiorite-adamellite formations; 3 – terrigenous formation; formational complexes of the VPB basement: 4 – differentiated basalt-rhyolite VMS-bearing, 5 – homogeneous basaltic and cherty-basalt (in combination with mafic-ultramafic rocks and without them), 6 – gneiss and crystalline schist (Archean and Proterozoic); ore deposits of the VPBs and their basement: 7 – skarn (a – magnetite, b – copper-magnetite and copper), 8 – porphyry copper, 9 – gold-sulfide-quartz vein-stockwork and porphyry gold; 10 – interruptions in sedimentation and magmatism

явления характеризуются низкими содержаниями меди при практически полном отсутствии золота и молибдена.

На основе проанализированных материалов по геотектоническому положению, строению и металлогении базальтоидных ВПП можно сделать следующие выводы.

1. Базальтоидные ВПП с золото-меднопорфировым и меднопорфировым оруденением образуются в позднюю стадию формирования островных дуг, что и определяет их геотектоническое положение.

2. Островные дуги с такими поясами формируются в различных палеотектонических обстановках – периокеанических, океанических и внутриконтинентальных рифтогенных

океанических. В первых двух обстановках базальтоидные ВПП располагаются над конвергентными границами тектонических плит (в надсубдукционной позиции), что, как кажется, имеет решающее значение для их образования. В рифтогенных обстановках возникновения островных дуг и принадлежащих им базальтоидных поясов формируются непрерывные временные серии заполнения рифтогенных («спрединговых») зон, переживших океанический режим развития.

3. В истории развития островных дуг в первых двух обстановках базальтоидные ВПП с золото-меднопорфировыми месторождениями могут возникать несколько раз в течение длительных временных интервалов. В тре-

твей, рифтогенной, базальтоидные пояса с меднопорфировыми объектами формируются однократно.

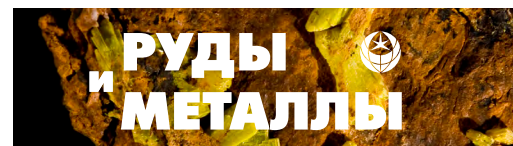
4. В базальтоидных ВПП периокеанических и океанических островных дуг различного возраста возникают как мелкие, так и крупные золото-меднопорфировые месторождения с незначительными содержаниями молибдена. В поясах рифтогенных структур образуются преимущественно мелкие меднопорфировые месторождения и проявления с убогими содержаниями золота и молибдена.

Последнее обстоятельство, с большей долей условности, может быть связано с существованием единых рудоносных магматических очагов в ранние и поздние этапы развития островных дуг и истощением их потенциала при формировании медноколчеданных месторождений. При этом лишь остаточные порции рудного вещества могли быть реализованы при формировании меднопорфировых объектов.

Авторы благодарны Т. А. Чуриловой за помощь в оформлении иллюстраций статьи.

Список литературы

1. *Бородаевская М. Б., Кривцов А. И.* О структурной и возрастной асимметрии Урала на ранних стадиях герцинского развития // Доклады АН СССР. – 1974. – Т. 217, № 1. – С. 161–164.
2. *Звездов В. С., Мигачёв И. Ф., Минина О. В.* Комплексные медно-порфировые рудно-магматические системы андезитоидных и базальтоидных вулcano-плутонических поясов // Отечественная геология. – 2023. – № 5. – С. 35–71.
3. *Кривцов А. И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М.: Недра, 1983. – 255 с.
4. *Кривцов А. И.* Металлогения андезитоидных вулcano-плутонических поясов. Часть II. – М.: Минприроды РФ, Геокарт, ЦНИГРИ, 1999. – 268 с.
5. *Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Попов В. С.* Медно-порфировые месторождения мира. – М.: Недра, 1986. – 235 с.
6. *Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов.* Вып. «Медь» / А. И. Кривцов, И. Ф. Мигачев, А. Г. Волчков, Р. Н. Володин, В. С. Звездов, О. В. Минина, Ю. В. Никешин. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 212 с.
7. *Мигачев И. Ф.* Палеотектоническая позиция мезозойских вулcano-плутонических поясов востока России // Отечественная геология. – 2009. – № 4. – С. 18–29.
8. *Мигачёв И. Ф., Звездов В. С., Минина О. В.* Формационные типы медно-порфировых месторождений и их рудно-магматические системы // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 26–48.
9. *Минина О. В., Мигачёв И. Ф.* Медно-порфировые провинции и зоны Южного Урала (прогнозно-металлогеническое районирование) // Отечественная геология. – 2018. – № 4. – С. 26–41.
10. *Aurelio M. A.* Shear partitioning in the Philippines: Constraints from Philippine Fault and global positioning system data // The Island Arc. – 2000. – № 9. – P. 584–597.
11. *Braxton D. P., Cooke D. R., Dunlap J., Norman M., Reiners P., Stein H., Waters P.* From crucible to graben in 2.3 Ma: A high-resolution geochronological study of porphyry life cycles, Boyongan-Bayugo copper-gold deposits, Philippines // Geology. – 2012. – V. 40, № 5. – P. 471–474.
12. *Braxton D. P., Cooke D. R., Ignacio A. M., Waters P. J.* Geology of the Boyongan and Bayugo porphyry Cu-Au deposits: an emerging porphyry district in Northeast Mindanao, Philippines // Economic Geology. – 2018. – № 113 (1). – P. 83–131.
13. *Carlile J. C., Mitchell A. H. G.* Magmatic arcs and associated gold and copper mineralization in Indonesia // Journal of Geochemical Exploration. – 1994. – V. 50. – P. 91–142.
14. *Harrison R. L., Maryono A., Norris M. S., Rohrlach B. D., Cooke D. R., Thompson J. M., Creaser R. A.* Geochronology of the Tumpangpitu Porphyry Au-Cu-Mo and High-Sulfidation Epithermal Au-Ag-Cu Deposit: Evidence for Pre- and Postmineralization Diatremes in the Tujuh Bukit District, Southeast Java, Indonesia // Economic Geology. – 2018. – V. 113. – P. 163–192.
15. *Hedenquist J. W., Arribas A. J., Aoki M.* Zonation of Sulfate and Sulfide Minerals and Isotopic Composition in the Far Southeast Porphyry and Lepanto Epithermal Cu-Au Deposits, Philippines // Resource Geology. – 2017. – V. 67, № 2. – P. 174–196.



16. Maryono A., Harrison R. L., Cook D. R., Rompo I., Terence G. H. Tectonics and Geology of Porphyry Cu-Au Deposits along the Eastern Sunda Magmatic Arc, Indonesia // *Economic Geology*. – 2018. – V. 113. – P. 7–38.
17. Ozawa A., Tagami T., Listanco E. L., Arpa C. B., Sudod M. Initiation and propagation of subduction along the Philippine Trench: evidence from the temporal and spatial distribution of volcanoes // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2004. – № 23. – P. 105–111.
18. Stijadji L.D., Kajino S., Imai A., Watanabe K. Cenozoic Island arc magmatism in Java Island (Sunda Arc, Indonesia): clues on relationships between geodynamics of volcanic centers and ore mineralization // *Resource Geology*. – 2006. – V. 56, № 3. – P. 267–292.
19. Zhang Y., Tian J., Hollings P., Gong L., Alburo I., Berador A. E., Francisco D. G., Li J., Chen H. Mesozoic porphyry Cu-Au mineralization and associated adakite-like magmatism in the Philippines: insights from the giant Atlas deposit // *Mineralium Deposita*. – 2020. – № 55. – P. 881–900.

References

1. Borodaevskaya M. B., Krivtsov A. I. O strukturnoi i vozrastnoi asimmetrii Urala na rannikh stadiyakh gertsinskogo razvitiya [On the structural and age asymmetry of the Urals at the early stages of the Hercynian development], *Doklady AN SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences]*, 1974, V. 217, No 1, pp. 161–164. (In Russ.).
2. Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V. Kompleksnye medno-porfirovyje rudno-magmatische sistemy andezitoidnykh i bazal'toidnykh vulkanoplutonicheskikh pojasov [Complex copper-porphyry ore-magmatic systems of andesitic and basaltoid volcano-plutonic belts], *Otechestvennaya geologiya [National geology]*, 2023, No 5, pp. 35–71. (In Russ.).
3. Krivtsov A. I. Geologicheskie osnovy prognozirovaniya i poiskov medno-porfirovykh mestorozhdenii [Geological foundations for forecasting and prospecting for copper-porphyry deposits], Moscow, Nedra Publ., 1983, 255 p.
4. Krivtsov A. I. Metallogeniya andezitoidnykh vulkano-plutonicheskikh pojasov. Chast' II [Metallogeny of andesitic volcano-plutonic belts. Part II], Moscow, Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, Geokart, TsNIGRI Publ., 1999, 268 p.
5. Krivtsov A. I., Migachev I. F., Popov V. S. Medno-porfirovyje mestorozhdeniya mira [Copper-porphyry deposits of the world], Moscow, Nedra Publ., 1986, 235 p.
6. Krivtsov A. I., Migachev I. F., Volchkov A. G., Volodin R. N., Zvezdov V. S., Minina O. V., Nikeshin Yu. V. Metodicheskoe rukovodstvo po otsenke prognoznykh resursov almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov. Vyp. Med' [Methodological guide for assessing the predicted resources of diamonds, precious and non-ferrous metals. Issue "Copper"], Moscow, TsNIGRI Publ., 2002, 212 p.
7. Migachev I. F. Paleotektonicheskaya pozitsiya mezozoiskikh vulkanoplutonicheskikh pojasov vostochno Rossii [Paleotectonic position of Mesozoic volcano-plutonic belts of eastern Russia], *Otechestvennaya geologiya [National geology]*, 2009, No 4, pp. 18–29. (In Russ.).
8. Migachev I. F., Zvezdov V. S., Minina O. V. Formatsionnye tipy medno-porfirovykh mestorozhdenii i ikh rudno-magmatische sistemy [Formation types of porphyry copper deposits and their ore-magmatic systems], *Otechestvennaya geologiya [National geology]*, 2022, No 1, pp. 26–48. (In Russ.).
9. Minina O. V., Migachev I. F. Medno-porfirovyje provintsii i zony Yuzhnogo Urala (prognozno-metallogenicheskoe raionirovanie) [Porphyry copper provinces and zones of the Southern Urals (forecast-metallogenetic zoning)], *Otechestvennaya geologiya [National geology]*, 2018, No 4, pp. 26–41. (In Russ.).
10. Aurelio M. A. Shear partitioning in the Philippines: Constraints from Philippine Fault and global positioning system data, *The Island Arc*, 2000, No 9, pp. 584–597.
11. Braxton D. P., Cooke D. R., Dunlap J., Norman M., Reiners P., Stein H., Waters P. From crucible to graben in 2.3 Ma: A high-resolution geochronological study of porphyry life cycles, Boyongan-Bayugo copper-gold deposits, Philippines, *Geology*, 2012, V. 40, No 5, pp. 471–474.
12. Braxton D. P., Cooke D. R., Ignacio A. M., Waters P. J. Geology of the Boyongan and Bayugo porphyry Cu-Au deposits: an emerging porphyry district in Northeast Mindanao, Philippines, *Economic Geology*, 2018, No 113 (1), pp. 83–131.

13. Carlile J. C., Mitchell A. H. G. Magmatic arcs and associated gold and copper mineralization in Indonesia, *Journal of Geochemical Exploration*, 1994, V. 50, pp. 91–142.
14. Harrison R. L., Maryono A., Norris M. S., Rohrlach B. D., Cooke D. R., Thompson J. M., Creaser R. A. Geochronology of the Tumpangpitu Porphyry Au-Cu-Mo and High-Sulfidation Epithermal Au-Ag-Cu Deposit: Evidence for Pre- and Post-mineralization Diatremes in the Tujuh Bukit District, Southeast Java, Indonesia, *Economic Geology*, 2018, V. 113, pp. 163–192.
15. Hedenquist J. W., Arribas A. J., Aoki M. Zonation of Sulfate and Sulfide Minerals and Isotopic Composition in the Far Southeast Porphyry and Lepanto Epithermal Cu-Au Deposits, Philippines, *Resource Geology*, 2017, V. 67, No 2, pp. 174–196.
16. Maryono A., Harrison R. L., Cook D. R., Rompo I., Terence G. H. Tectonics and Geology of Porphyry Cu-Au Deposits along the Eastern Sunda Magmatic Arc, Indonesia, *Economic Geology*, 2018, V. 113, pp. 7–38.
17. Ozawa A., Tagami T., Listanco E. L., Arpa C. B., Sudod M. Initiation and propagation of subduction along the Philippine Trench: evidence from the temporal and spatial distribution of volcanoes, *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, No 23, pp. 105–111.
18. Stijadji L.D., Kajino S., Imai A., Watanabe K. Cenozoic Island arc magmatism in Java Island (Sunda Arc, Indonesia): clues on relationships between geodynamics of volcanic centers and ore mineralization, *Resource Geology*, 2006, V. 56, No 3, pp. 267–292.
19. Zhang Y., Tian J., Hollings P., Gong L., Alburo I., Berador A. E., Francisco D. G., Li J., Chen H. Mesozoic porphyry Cu-Au mineralization and associated adakite-like magmatism in the Philippines: insights from the giant Atlas deposit, *Mineralium Deposita*, 2020, No 55, pp. 881–900.

Мигачёв Игорь Фёдорович (migatchev@tsnigri.ru)

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, советник

Звездов Вадим Станиславович

доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела

Конкин Виктор Дмитриевич

доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», г. Москва, Россия