

Тектоническая позиция и возможные геодинамические обстановки формирования вулcano-плутонических поясов с медно-порфировыми месторождениями

Аннотация. Медно-порфировые месторождения сосредоточены в вулcano-плутонических поясах (ВПП) – базальтоидных (БВПП) и андезитoidных (АВПП). Первые из них представляют собой самостоятельные элементы островных дуг и нередко образуют их барьерные зоны. Они сложены породами толеитовой и натриевой известково-щелочной серий и могут быть разделены на океанические, периокеанические и внутриконтинентальные рифтогенные. С вулcano-плутоническими ассоциациями (ВПА) поясов первого и второго типов связаны Au-Cu-порфировые объекты со сравнительно высокими содержаниями Cu и Au в рудах, с ВПА третьего – Cu-порфировые с низкими концентрациями Cu, Au и Mo. Океанические и периокеанические БВПП формируются над конвергентными границами литосферных плит в надсубдукционных обстановках. Рифтогенные БВПП, примером которых являются пояса Уральской провинции, образуются во внутриконтинентальных рифтах и располагаются над базальтоидными прогибами или на их «плечах».

Андезитoidные ВПП представляют собой линейные протяжённые окраинно- и внутриконтинентальные геоструктуры, образовавшиеся на субстрате различного состава и возраста в орогенно-активизационном режиме. Для них характерен K-Na, Na-K и существенно K профиль магматизма (известково-щелочной, субщелочной, щелочной серий) и широкий спектр рудных месторождений, включая Cu-Mo-, Au-Mo-Cu- и Au-(Mo)-Cu-порфировые. АВПП сопряжены в своём развитии с островными дугами, от которых их отделяют тыловые (задуговые) прогибы с осадочным или вулканогенно-осадочным заполнением.

Анализ палеотектонической позиции АВПП в латеральных рядах глобальных геоструктур – окраинно-, меж- и внутриконтинентальных подвижных поясов показал, что в своём развитии они находятся в закономерной пространственно-временной связи с элементами строения и эволюции этих геоструктур. При этом АВПП располагаются в окраинно-континентальных обстановках либо на микроконтинентах и возникают после коллизионных и аккреционных событий, фиксирующих завершение существования подвижных поясов. Линейная конфигурация и значительная протяжённость АВПП скорее всего обусловлена положением зон субдукции.

Специфическую позицию занимают АВПП Тибетского орогена. Их формирование произошло вне связи с другими геоструктурами подвижного пояса – при постколлизионном растяжении земной коры и апвеллинге астеносферы (пояс Гангдезе) или за счёт астеносферных диапиров в зонах подвижных границ плит (сутур) в постколлизионный и субдукционный этапы при проявлении масштабных сдвиговых деформаций (пояс Юлонг-Айляошань).

Ключевые слова: медно-порфировые месторождения, вулcano-плутонические пояса океанические, периокеанические, рифтовые, базальтоидные, андезитoidные, коллизия, субдукция, астеносферные диапиры, окраинно- и внутриконтинентальные геодинамические обстановки, подвижные пояса, сутуры.

МИГАЧЁВ ИГОРЬ ФЁДОРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, советник, migatchev@tsnigri.ru

ЗВЕЗДОВ ВАДИМ СТАНИСЛАВОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела, zvezdov@tsnigri.ru

КОНКИН ВИКТОР ДМИТРИЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, konkin@tsnigri.ru

КУЛИКОВ ДАНИЛА АЛЕКСЕЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора, kulikov@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

Tectonic position and possible geodynamic settings of formation of volcano-plutonic belts with porphyry copper mineralization

I. F. MIGACHEV, V. S. ZVEZDOV, V. D. KONKIN, D. A. KULIKOV

Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals" (FSBI "TSNIGRI"), Moscow

Abstract. Porphyry copper deposits are related to volcano-plutonic belts (VPB), the basaltoid and andesitoid ones. The basaltoid VPB (BVPB) represent individual elements of island arcs and often make up their barrier zones. They are composed of the tholeiitic and sodium calc-alkaline series rocks and may be subdivided into the oceanic, perioceanic, and intraoceanic riftogenic types. Volcano-plutonic associations (VPA) of the belts of the first and second types are associated with Au-Cu porphyry deposits with relatively high Cu and Au grades in their ores, while VPA of the third type are associated with Cu-porphyry deposits with low concentrations of Cu, Au, and Mo. The oceanic and perioceanic BVPB form above convergent plate boundaries in suprasubduction settings. The riftogenic BVPB, exemplified by VPB of the Ural Province, form in intracontinental rifts and are located above basaltoid troughs or on their "shoulders".

The andesitoid VPB (AVPB) represent linear, extended marginal and intracontinental geostructures formed on substrates of various composition and age in the orogenic reactivation regime. They are characterized by K-Na, Na-K, and substantially K magmatic profiles (of the calc-alkaline, subalkaline, and alkaline petrologic series) and by a wide range of ore deposits, including Cu-Mo, Au-Mo-Cu, and Au-(Mo)-Cu porphyries. AVPB are associated in their development with island arcs, from which they are separated by back-arc basins with sedimentary or volcanosedimentary infills. Similar basins can also be located in the back of AVPB, separating them from areas with a platform-type development regime.

Analysis of the paleotectonic position of AVPB along the lateral structural rows within the global geostructures, such as the marginal, inter-, and intracontinental mobile belts, has demonstrated a regular spatiotemporal relationship of the belts with the structural and evolutionary elements of these geostructures. AVPB are located in continental marginal settings or on microcontinents and appear after collisional and accretionary events that mark the end of existence of the mobile belts. The linear configuration and significant extent of AVPB are most likely determined by location of the subduction zones.

The AVPB of the Tibetan Orogen take a unique position. They formed independently of other geostructures of the mobile belt, during the post-collisional crustal stretching and asthenosphere upwelling (Gangdese belt) or due to asthenospheric diapirs in zones of mobile plate boundaries (sutures) in the post-collisional and subduction stages during large-scale shear deformations (Yulong-Ailaoshan belt).

Ключевые слова: porphyry copper deposits, oceanic, perioceanic, rift, basaltoid, andesitoid volcano-plutonic belts, collision, subduction, asthenospheric diapirs, marginal and intracontinental geodynamic settings, mobile belts, sutures.

Автором термина «вулcano-плутонические пояса» может считаться Е. К. Устиев. В его работах по Северо-Востоку России было показано, что в определённых геотектонических обстановках вулканогенные и плутоногенные геологические формации образуют устойчивые пространственно-временные сообщества – вулcano-плутонические ассоциации. Последние формируют самостоятельные, специфические геоструктурные элементы – вулcano-плутонические пояса, которые закономерно сочетаются с другими тектоническими элементами подвижных поясов.

К сожалению, в последние годы ранее оформившиеся представления о позиции и природе вулcano-плутонических поясов стали «размываться» вследствие недостаточно строгих терминологических и методических подходов. В ряде публикаций вместо понятия вулcano-плутонические используются термины вулканические и вулканогенные пояса, что влечёт за собой избыточно расширительные интерпретации. В некоторых работах в качестве ВПП рассматриваются зоны развития платформенных трапповых и некоторых других вулcano-плутонических ассоциаций, что лишает

соответствующие геотектонические и металлогенические построения необходимой строгости и приводит к избыточным противоречиям.

С другой стороны, сами вулканоплутонические пояса нередко обозначаются достаточно противоречивыми терминами – активная окраина, магматическая дуга, вулканическая дуга, что также не способствует однозначности восприятия соответствующих описаний.

А. И. Кривцовым с соавторами было показано, что в целом медно-порфировые месторождения мира при прожилково-вкрапленном характере руд и однотипности набора основных рудообразующих компонентов отчётливо различаются по целому ряду признаков, которые отражают обстановки рудообразования [2, 4].

Месторождения медно-порфирового семейства располагаются в геоструктурах двух типов – в базальтоидных ВПП, входящих в состав островодужных структур, и в андезитоидных ВПП (АВПП), формирующихся в орогенно-активизационном режиме в подвижных поясах на субстрате, различном по составу и времени образования.

Базальтоидные ВПП с Au-Cu- и Cu-порфировыми месторождениями представляют собой элементы энсиматических островных дуг (ОД), развивавшихся на океанической коре при субдукционных, рифтогенных и сопровождающих их магматических процессах. Такие пояса сложены в основном породами толеитовой и известково-щелочной серий натриевого профиля. По геотектонической позиции, строению и составу магматических комплексов эти пояса могут быть разделены на океанические и периокеанические над-субдукционные и рифтовые [7].

С вулканоплутоническими ассоциациями, слагающими островодужные ВПП первых двух обстановок, генетически связаны Au-Cu-порфировые и сопряжённые с ними в объёме единых систем скарновые и эпитеpmальные месторождения цветных и благородных металлов. Руды Au-Cu-порфировых объектов характеризуются повышенной золотоносностью, довольно высокими содержаниями Cu при практически полном отсутствии Mo. С ВПА рифтогенных базальтоидных поясов ассоциируют Cu-порфировые объекты с низкими содержаниями Cu, Au и Mo.

К *океаническим* отнесены островодужные ВПП, сформированные непосредственно над конвергентными границами литосферных плит. Вулканоплутонические ассоциации, участвующие в

их строении, составлены базальт-андезит-дацитовый и габбро-диорит-тоналитовой формациями. Завершающие порфировые фазы рудоносной существенно натриевой плутоногенной формации представлены порфировидными диоритами, кварцевыми диоритами, диоритовыми порфиридами. Руды медно-порфировых месторождений (МПП) обладают повышенными содержаниями Au при аномально низких Mo. Ярким примером являются пять разновозрастных (от раннего мела до плейстоцена) поясов островной дуги Санда (Восточная Зондская дуга, Индонезия) на границе Евразийской и Индо-Австралийской плит, протягивающейся на 1800 км в широтном направлении от о. Ява на западе до островов Сумбава, Флорес и Банда на востоке. Они состоят из отдельных вулканоплутонических центров с Au-Cu-порфировыми месторождениями и сопряжёнными Au-Cu-скарновыми и эпитеpmальными Au-Cu и Au-Ag объектами типов «высокой» (HS), «средней» (IS) и «низкой» (LS) сульфидизации.

К *периокеаническим* относится большинство базальтоидных ВПП с месторождениями Au-Cu-порфирового типа. Такие пояса возникают при субдукции океанической коры под континентальную и располагаются в пеокеанических островодужных структурах (между фронтальными прогибами, примыкающими к желобам, и внутренними (тыловыми) зонами островодужного пространства), нередко представляя собой их внешние барьерные зоны. Здесь проявлен известково-щелочной магматизм натриевого профиля. ВПА, продуктивная на Au-Cu-порфировые руды (с высокими содержаниями Au), представлена базальт-андезитобазальтовой и габбро-диорит-кварцево-диоритовой формациями с рудоносными фазами кварцевых диоритовых порфиритов и плагиогранит-порфиров.

Примером являются базальтоидные ВПП Филиппинского архипелага на границе Евразийской и Филиппинской плит, принадлежащие к так называемому Филиппинскому Мобильному поясу, протягивающемуся в меридиональном направлении от о. Лусон на севере до о. Минданао на юге. Рудоносные магматические формации этих поясов возникали несколько раз во временном интервале от раннего мела до плейстоцена, отражая цикличность островодужного магматизма, но во всех случаях они представлены породами натриевой известково-щелочной серии – диоритами-кварцевыми диоритами с порфировыми фаза-

ми того же состава и их излившимися аналогами. Ещё один пример подобных ВПП в Юго-Восточной Азии – пояса Новобританской (месторождения Плесиуми, Эсис и Кулу) и Соломоновой (Пангуна, Колуола) островных дуг на границе Индо-Австралийской и Тихоокеанской плит.

К этому же периокеаническому типу относятся базальтоидные ВПП Прибрежного минерагенического пояса запада Аляски, находящиеся над зонами субдукции вблизи границы Северо-Американской и Тихоокеанской плит. Расположенные в их пределах МПМ (Костелло Крик, Грабстейк, Ипдиан Пасс Лейк, Баумтофф и др.), по данным В. Холлистера, С. Анчалоне, Д. Рихтера [11], сопряжены с массивами диоритов, рогово-обманковых диоритов, реже гранатсодержащих диоритов, которые входят в состав раннетриасовых, раннеюрских, позднеюрско-раннемеловых и третичных островодужных ВПА, вулканогенная часть которых представлена базальтами, андезитобазальтами и андезитами.

Периокеанические базальтоидные пояса с Au-Cu-порфировыми объектами также выделены в структурах Алеутской (Островной ВПП с месторождениями Пирамид, Драй Крик), Центрально-Американской (Панама – Рио Пинто, Патикан, Наваганди) и Антильской (Пуэрто-Рико, Ямайка – Рио Виви, Танама, Ла Му да, Коппер Майн Пойнт) островных дуг на границе Южно- и Северо-Американской литосферных плит [2].

Палеотектоническая позиция океанических и периокеанических островных дуг и входящих в их состав базальтоидных ВПП с Au-Cu-порфировыми месторождениями в определённой степени сходны. Все вышеназванные ОД с поясами этого типа приурочены к конвергентным границам литосферных плит, занимают надсубдукционную позицию и являются производными базитовых магматических очагов океанической ЗК. Вместе с тем ВПП океанических ОД отличаются большей протяжённостью, линейной формой и отчасти строением в сравнении с периокеаническими [7].

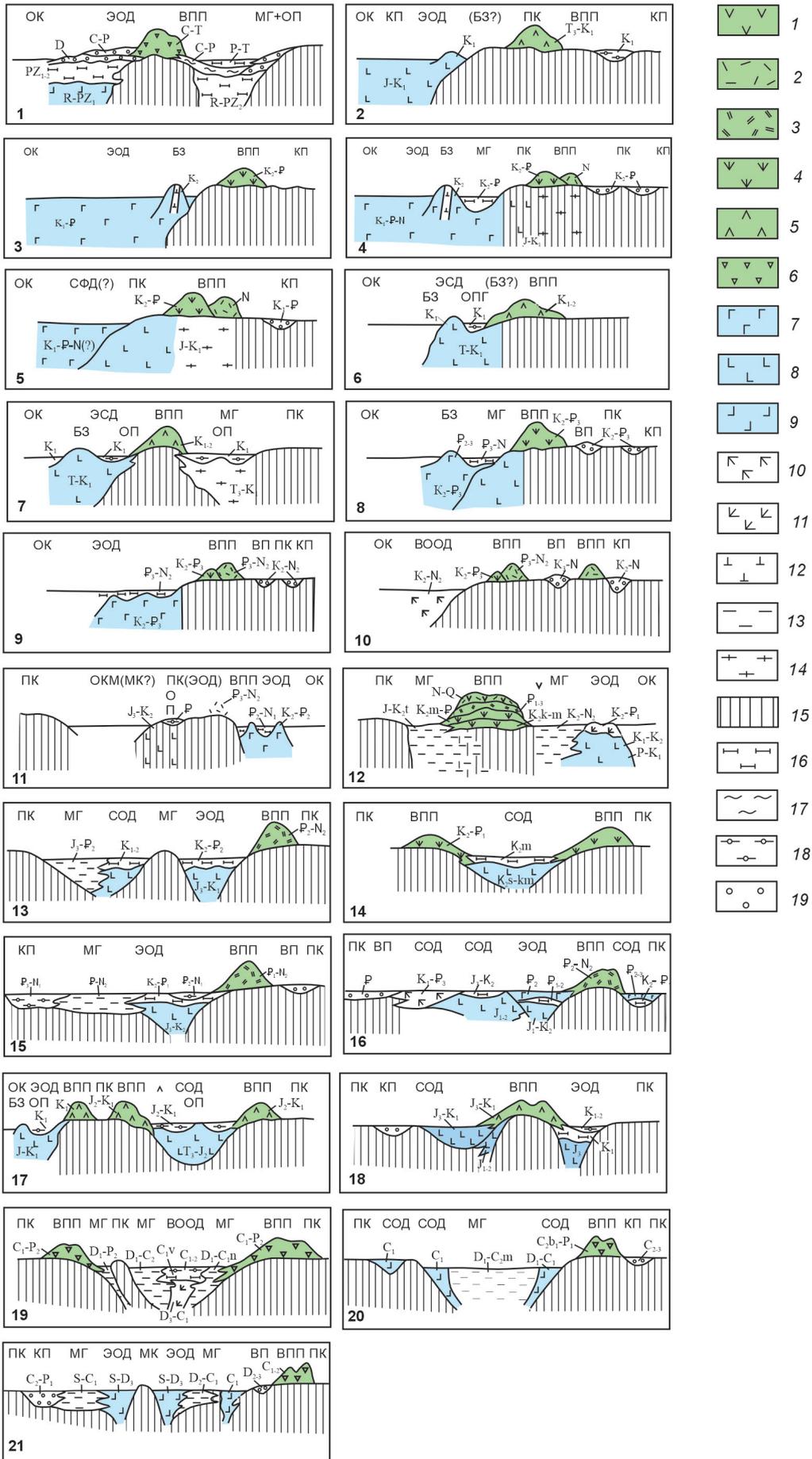
В принципиально иной палеотектонической обстановке формируются рифтогенные базальтоидные ВПП с медно-порфировыми и скарново-медно-порфировыми объектами Уральской металлогенической провинции. Во внутриконтинентальных океанических рифтах глубокого заложения такие пояса – Ирендыкский (месторождения Салаватское, Вознесенское, Круглогор-

ское), Новоалексеевский (Гумешевское), Верхнеуральский (одноимённое), Именновский (Воскресенское), Малоуральский (Новогоднее-Монто) – располагаются как непосредственно над претерпевшими орогенную инверсию базальтоидными прогибами, так и на их флангах («плечах»). Продуктивная на медно-порфировые руды ВПА завершает натриевые серии базальтоидного магматизма и сменяет во времени однородную базальтовую и дифференцированные колчеданоносные контрастную и непрерывную формации. Вулканогенная часть ВПА представлена базальт-андезитобазальтовой или андезитобазальт-андезитовой формациями, плутоногенная – габбро-диорит-плагиогранитовой и габбро-диорит-тоналит (гранодиорит)-плагиогранитовой. Руды МПМ характеризуются малыми содержаниями Au и Mo.

К этому же типу геоструктур с определённой степенью условности, можно отнести Кони-Тайгоносскую (Удско-Мургальскую) раздвиговошовную (рифтогенную) зону, отделяющую Охотоморскую литосферную плиту от Азиатского континента. По существу, она представляет собой своеобразную структуру островодужного типа [5]. В её пределах с позднего палеозоя по неоконформировались островодужные комплексы – вулканогенные и вулканогенно-терригенные базальт-андезитовые (Т-J₂ и J₃-K₁), базальтовые и габбро-гранодиорит-тоналит-плагиогранитные (K₁), участвующие в строении одноимённого ВПП. На них в позднемеловое время были наложены формации андезитовидного Охотско-Чукотского пояса.

В юго-западном сегменте Удско-Мургальского ВПП (на Кони-Пьягинском полуострове) известны несколько медно-порфировых проявлений – Лора (наиболее крупное), Прямой, Икрумунское, Викинг, Антара, Тальниковое I и II и другие, которые ассоциируют с порфировыми фазами диорит-гранодиорит-тоналитовых интрузивов. В Северо-Западном (Чукотском) отрезке этого пояса с интрузивными массивами той же формации сопряжены медно-порфировые проявления Базовое и Моренное. Все названные рудопроявления характеризуются низкими содержаниями Cu и Mo при практическом отсутствии Au.

В истории развития ОД в первых двух обстановках базальтоидные ВПП с Au-Cu-порфировыми месторождениями, в том числе крупными, образовывались несколько раз в течение длительных временных интервалов, что отражает цикличность островодужного магматизма.



В третьей, рифтогенной, базальтоидные пояса возникали однократно. Здесь формировались преимущественно мелкие Cu-порфировые объекты с убогими содержаниями металлов, что, вероятно, можно объяснить истощением потенциала рудоносных магматических очагов – продуцентов предшествующих медноколчеданных месторождений [7].

Андезитоидные ВПП представляют собой линейные протяжённые окраинно- и внутриконтинентальные геоструктуры, образовавшиеся на субстрате различного состава и возраста в орогенно-активизационном режиме. Для них характерен К-Na, Na-K и существенно К профиль магматизма (известково-щелочной, субщелочной, щелочной серий) и широкий спектр рудных месторождений, включая Cu-Mo-, Au-Mo-Cu- и Au-(Mo)-Cu-порфировые. Под термином «андезитоидные ВПП», введённом в свое время А. И. Кривцовым [2], понимаются области распространения ВПА преимущественно андезитодиорит-гранодиоритового и трахиандезитового-монзонитового профиля.

Вулкано-плутонические пояса представляют собой единые по происхождению и геотектонической позиции геоструктуры, достаточно широко распространённые на фанерозойском отрезке истории Земли.

Очевидные различия в позициях Южно- и Северо-Американских ВПП привели многих исследователей к выводу о существовании андийского (собственно окраинно-континентального) и неандийского (фактически внутриконтинентального) стилия формирования поясов. Внутриконтинентальную позицию занимает и ряд палеозойских вулкано-плутонических поясов на территории Средней Азии и России.

Исходя из реально наблюдаемых соотношений геоструктур с различными режимами развития и используя принцип актуализма, упомянутые и другие исследователи показали, что вулкано-плутонические пояса занимают окраинно-континентальное (периокеаническое) положение и сопряжены в своём развитии с островными дугами, от которых их отделяют тыловые (задуговые) прогибы с осадочным или вулканоосадочным заполнением. В свою очередь подобные прогибы могут располагаться и в тылу вулкано-плутонических поясов, отделяя их от областей с собственно платформенным (кратонным) режимом развития.

Таким образом, обоснована сопряжённость различных геоструктур в виде пространственно-временных латеральных рядов в рамках отдельных тектоно-магматических циклов (ТМЦ). В поли-

Рис. 1. Позиции андезитоидных ВПП в латеральных геоструктурных рядах подвижных поясов (упрощённая схема). По [6]:

подвижные пояса (ПП) и области (ПО), вулкано-плутонические пояса: 1–12 – окраинно-континентальные ПП: 1–5 – Андийский ПП, ВПП: 1 – палеозойский, 2 – юрско-раннемеловой, 3 – поздне-меловой-палеогеновый (Панама), 4 – поздне-меловой-палеогеновый и неогеновый (Колумбийско-Эквадорский сегмент), 5 – поздне-меловой-палеогеновый и неогеновый (Боливийско-Перуанский и Чилийско-Аргентинский сегменты), 6–10 – Кордильерский ПП, ВПП: 6–7 – поздне-меловой: 6 – Аляскинский и 7 – Мексиканский сегменты, 8 – раннемеловой-палеогеновый, 9–10 – палеоген-неогеновый; Олюторско-Камчатская ПО: 11 – Центрально-Камчатский ВПП; Сихотэ-Алинская–Сахалино-Хоккайдская ПО: 12 – Сихотэ-Алинский ВПП; 13–16 – межконтинентальный ПП Тетис, ВПП: 13 – Сербско-Македонский, 14 – Среднегорская зона, 15 – Центрально-Иранский и 16 – Закавказский; 17–21 – внутриконтинентальные ПП и ПО: Кордильерский ПП: 17 – мезозойский ВПП (Уайтхорст-Нечако); Алазейско-Олойская ПО: 18 – Курьинский ВПП; Джунгаро-Балхашская ПО: 19 – Балхашско-Илийский ВПП; Южно-Тянь-Шанская ПО: 20 – Бельтау-Кураминский ВПП; Уральский ПП: 21 – Валерьяновский ВПП; вулкано-плутонические пояса: 1 – неоген-четвертичные, 2 – неогеновые, 3 – палеоген-неогеновые, 4 – поздне-меловые-палеогеновые, 5 – триасово-юрские, юрские и юрско-раннемеловые, 6 – верхнепалеозойские (каменноугольно-пермские); 7–9 – энсиматические и энсиалические островодужные структуры: 7 – мел-палеогеновые, 8 – юрско-меловые, 9 – палеозойские; 10–11 – вулканоосадочные энсиалические островодужные структуры: 10 – поздне-меловые-палеогеновые (-неогеновые), 11 – триасово-юрско-меловые; 12 – интрузивные зоны барьерных зон энсиматических островодужных структур; 13 – миогеосинклинали различного возраста; 14 – мезозойско-кайнозойские миогеосинклинали окраинно-континентальных ПП; 15 – консолидированные блоки с континентальной корой; 16–19 – формации и формационные комплексы: 16 – флишевые и флишиодные, 17 – нижнемолассовые, 18 – нижне-верхнемолассовые, 19 – верхнемолассовые; ЭОД – энсиматическая островодужная структура, БЗ – барьерные островных дуг, СОД – энсиалическая островодужная структура, ВООД – вулканоосадочная энсиалическая островодужная структура, МГ – миогеосинклиналь, ОП – остаточные прогибы островодужных структур, ПК – палеоконтиненты, МК – микроконтиненты (срединные массивы), КП – краевые прогибы, ВП – внутренние прогибы, ВПП – вулкано-плутонические пояса, ОК – океан, ОКМ – окраинные моря

циклических подвижных или тектонических поясах (ПП) геоструктурные ряды поздних тектономагматических циклов обнаруживают латеральное смещение относительно более ранних, что приводит к пространственному совмещению разнотипных и разновременных геоструктур.

В целях конкретизации палеотектонической позиции андезитовидных вулканоплутонических поясов (АВПП) было рассмотрено строение подвижных поясов, областей и систем окраинно-, меж- и внутриконтинентальных типов [6]. Фактографической основой послужили составленные автором формационные ряды, структурно-тектонические и структурно-формационные карты и схемы масштаба 1 : 5 000 000 (Северная и Южная Америки, Тетис-Евразийский пояс), 1 : 1 000 000 (Юг Урала, Джунгария, Южный Тянь-Шань). Кроме того, были привлечены материалы по вулканоплутоническим поясам Забайкалья и Приамурья, Алтае-Саянской области, Киргизии, севера и юга Монгольской Народной Республики, Панагюрского района Народной Республики Болгария.

На результирующей схеме (рис. 1) показаны палеотектонические позиции вулканоплутонических поясов в латеральных геоструктурных рядах различных ПП.

В полициклических окраинно-континентальных подвижных поясах АВПП, обладая резко выраженной линейной формой, формируются на краю континента и в зоне его шельфа (см. рис. 1, позиции 1–12). Чаще они непосредственно примыкают к островным дугам (см. рис. 1, позиции 2, 3, 5, 8–11), реже отделяются от них миогеосинклинальными прогибами окраинных морей (см. рис. 1, позиции 4, 6, 12). Типовой латеральный геоструктурный ряд выглядит следующим образом: океан – жёлоб – энсиматическая островная дуга с барьерной зоной – (миогеосинклиналь окраинного моря) – АВПП в краевой части континента – краевой прогиб. Некоторые пояса (рис. 1, позиции 1 и 7) развиваются на микроконтинентах. Для таких обстановок характерен следующий ряд геоструктур: океан – жёлоб – энсиматическая островная дуга – микроконтинент с АВПП – миогеосинклиналь окраинных морей – палеоконтинент.

Формирование геоструктурных рядов начинается с образования островных дуг, которые представляют собой наиболее длительно развивающиеся их элементы. Как правило, андезитовидные

вулканоплутонические пояса обладают меньшей длительностью существования и начинают формироваться после заложения островных дуг или одновременно с накоплением в последних пород базальтовой, спилит-диабазовой, вулканогенно-кремнисто-сланцевой формаций (см. рис. 1, позиции 2–5, 8, 10) или позже во время отложения флишеидных комплексов (см. рис. 1, позиции 9, 11, 12). Реже АВПП начинают развиваться после замыкания островных дуг, когда в их пределах существуют остаточные прогибы, выполненные ниже-верхне-моцассовыми отложениями (см. рис. 1, позиции 1, 6, 7).

Миогеосинклинали и краевые прогибы обычно обладают более длительным периодом развития, чем андезитовидные вулканоплутонические пояса, но более кратким по отношению к островным дугам. Вместе с тем образование миогеосинклиналей начинается, как правило, позже островных дуг, но раньше поясов, а краевые прогибы субсинхронны или островным дугам, или АВПП.

Наиболее крупные Сербо-Македонский и Центрально-Иранский линейные андезитовидные пояса межконтинентального Тетис-Евразийского подвижного пояса формируются на краю палеоконтинентов на «плечах» островных дуг и входят в следующий геоструктурный ряд: палеоконтинент – передовой прогиб – миогеосинклиналь – (микроконтинент) – энсиматическая островная дуга – ВПП на краю палеоконтинента – тыловой прогиб (см. рис. 1, позиции 13, 15). Палеотектоническая позиция сравнительно небольших позднемиоценовых-палеогеновых, палеогеновых и неогеновых вулканоплутонических поясов Карпато-Балканской области – Среднегорского (см. рис. 1, позиция 14), Тимакского, Банатского, Апусени-Металлифери, Внутренне-Карпатского – определяется их симметричными или асимметричными положениями в структурах рамы протяжённых энсиматических островных дуг с «накатом» на консолидированные блоки последних.

Во всех перечисленных случаях время образования поясов начинается после заложения островных дуг, когда в пределах последних завершается накопление флиша или уже существуют остаточные ниже-верхнемоцассовые бассейны. Тыловые и передовые прогибы обычно синхронны поясам, а миогеосинклинали – островным дугам или АВПП. Островные дуги и часть миогеосинклиналей завершают своё развитие рань-

ше андезитовидных поясов, тыловых и передовых прогибов.

В отличие от большинства вулcano-плутонических поясов Тетиса Закавказский пояс развивается на микроконтиненте, окружённом островодужными структурами (см. рис. 1, позиция 16). Формирование пояса происходило одновременно с накоплением флишевых толщ в Аджаро-Триалетской и вулканитов в Еревано-Ордубадской зонах, в момент инверсии Севано-Акеринской островной дуги. Развитие пояса продолжалось после замыкания всех островных дуг.

Внутриконтинентальные подвижные пояса по латерали ограничены краевыми частями палеоконтинентов, на которых (включая континентальный склон) в качестве пограничных геоструктур формируются вулcano-плутонические пояса или краевые прогибы (см. рис. 1, позиции 17–21). В зависимости от конфигурации ПП (линейные или мозаичные, по Г. М. Власову) вулcano-плутонические пояса обладают или прямолинейной (см. рис. 1, позиции 20, 21), или подковообразной формой (см. рис. 1, позиции 17, 19). В последнем случае они как бы окаймляют островодужное пространство и в поперечном разрезе ПП выглядят как симметрично расположенные ВПП.

Вулcano-плутонические пояса расположены или в тылу островных дуг (см. рис. 1, позиции 20, 21) или отделены от них миогеосинклинальными прогибами (см. рис. 1, позиция 19). Латеральные геоструктурные ряды достаточно просты, но разнообразны:

1. ВПП на палеоконтиненте – миогеосинклиналь – островная дуга – миогеосинклиналь – ВПП на палеоконтиненте – тыловой прогиб (см. рис. 1, позиция 19).

2. Палеоконтинент – островная дуга – миогеосинклиналь – островная дуга – палеоконтинент с ВПП – тыловой прогиб (см. рис. 1, позиция 20).

3. Передовой прогиб – миогеосинклиналь – срединный массив (островная дуга предшествующего ТМЦ) – миогеосинклиналь – островная дуга – внутренний прогиб на палеоконтиненте – ВПП – палеоконтинент (см. рис. 1, позиция 21).

4. ВПП на палеоконтиненте – островная дуга – ВПП на палеоконтиненте (см. рис. 1, позиция 17).

Длительность существования островных дуг и миогеосинклиналей заметно превышает время формирования АВПП того же цикла, которым в

первом приближении субсинхронны передовые и краевые прогибы. Во всех случаях образование вулcano-плутонических поясов «запаздывает» по отношению к островным дугам и происходит после их инверсии во время существования в их пределах остаточных прогибов.

Следовательно, тектоническая позиция АВПП определяется их принадлежностью к подвижным поясам или их сегментам, в качестве самостоятельных геоструктурных элементов, находящихся в закономерной пространственно-временной связи с другими геоструктурами ПП. При этом АВПП располагаются в окраинно-континентальных обстановках или на микроконтинентах.

Таким образом, окраинно- и внутриконтинентальные АВПП завершают развитие подвижных поясов или их сегментов. При этом слагающие их породы слабо дислоцированы или совсем не подвержены складчатости и метаморфическим преобразованиям. АВПП формируются после коллизионных и постаккреционных событий, фиксирующих окончание существования подвижных поясов. Вместе с тем их линейная конфигурация и значительная протяжённость, скорее всего, обусловлены взаимосвязью АВПП с различными элементами зон субдукции. Подобная взаимосвязь, её причины и последствия широко обсуждались многими исследователями [1, 9] и концентрированно изложены в известной монографии В. Е. Хаина и М. Г. Ломизе [10] (рис. 2).

В частности, скорее всего породы погружающегося слэба провоцируют (являются триггерным механизмом) образование первичных магм, которые затем в виде флюидно-магматических колонн (клиньев или апвелинга астеносферы) проникают в верхние части земной коры. При этом такие колонны по мере их продвижения могут фракционировать с образованием промежуточных магматических очагов, а в конечном итоге рудно-магматических на их самом верхнем уровне.

Следует отметить, что механизм и условия формирования первичных магм за счёт взаимодействия субдукционных вещественных комплексов с мантией, астеносферой и корой продолжают широко обсуждаться.

При этом в ВПП на континентальной коре, как отмечает Т. Н. Фролова [9], господствуют андезиты и кислые породы известково-щелочной серии андезит-дацит-диоритгранодиоритового ряда. В то же время в АВПП с медно-порфировыми

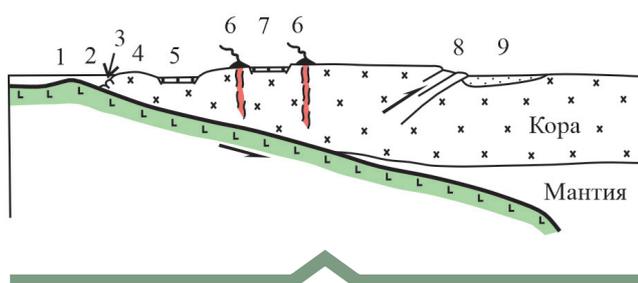


Рис. 2. Схема латеральных структурных рядов Андской окраины. По [10], с дополнением:

1 – краевой вал; 2 – глубоководный жёлоб; 3 – аккреционная призма; 4 – подводная терраса или береговой хребет; 5 – продольная долина; 6 – главный вулканический хребет; 7 – рифтогенная впадина; 8 – тыловая система взбросо-надвиговых деформаций; 9 – тыловый предгорный прогиб

ми месторождениями кроме рудоносных пород адакитовых серий достаточно широко развиты вулканоплутонические ассоциации трахиандезитов-диорит-монцитонитов-монцитонитов. Так из трёхсот учтённых месторождений в восьмидесяти семи рудоносными являются образования монцитонитового ряда.

Существование первичных андезитовидных магм почти не вызывает сомнений. Среди существующих моделей петрогенезиса андезитовидных магм наиболее полно сумме геофизических, петрохимических, геохимических и изотопных данных отвечает гипотеза, выдвинутая Р. Торпом, П. Поттсом и П. Франсисом, учитывающая схему А. Рингвуда и основанная на изучении андезитовидного магматизма Анд. Согласно этим авторам, андезитовые магмы представляют собой результат сложного взаимодействия процессов парциального плавления, фракционной кристаллизации и контаминации на мантийных глубинах, а также контаминации и фракционной кристаллизации в коре. Эта гипотеза не противоречит возможности возникновения промежуточных рудогенерирующих очагов андезитового состава в нижних и средних частях коры при прохождении через неё магматической колонны.

В то же время представления о монцитонитовидных магмах дискутируются довольно длительное время. Преобладало предположение о контаминации, гибридном и смешении магм при участии как мантийных, так и коровых компонентов, латеральной неоднородности плавящейся ман-

тии [9, 10]. Наряду с этим существует представление о возможности отнесения монцитонитовидных пород к шошонитовым сериям. В этом случае все образования монцитонитового состава АВПП считаются производным первичной шошонитовой магмы [8].

Специфическую тектоническую позицию занимают ВПП в Тибетском орогене (террейн Лхаса) (рис. 3). Здесь присутствует ВПП Гангдесе с месторождениями Au-Mo-Cu типа, которые сформировались как орогенные системы, возникшие в результате мезозойского столкновения континентов Индии и Азии, закрытия океана Тетис и последующими коллизионными и аккреционными процессами [8, 12, 13, 14]. Здесь проявлялись три тектонических и металлогенических этапа [8]: 1) конвергентной коллизии (65–41 млн лет); 2) позднеколлизионной трансформной окраины 40–26 млн лет; 3) постколлизионного растяжения (~ 25–0 млн лет). С последним этапом связано формирование большинства крупных Mo-Cu-порфировых систем. Cu-порфировые месторождения концентрируются в ВПП Гангдесе, который сформировался в 2 этапа [13]: палеоцен-эоценовый, когда образовались три мелких Mo-Cu-порфировых месторождения (49,2–62,4 млн лет). Этот магматизм и рудообразование отражают заключительную стадию субдукции океанической литосферы под южным Тибетом (рис. 4). Подавляющее большинство, в том числе сверхкрупных, медно-порфировых месторождений ВПП Гангдесе сформировалось во второй олигоцен-миоценовый этап в процессе постколлизионного растяжения и апвеллинга астеносферы (астеносферный диапир) (см. рис. 4). Рудоносный магматизм обоих этапов представлен интрузивами монцитонитового состава и аналогичными им по составу вулканогенными образованиями.

Близкую тектоническую позицию занимает ВПП Юлонг и Айляошань (скорее всего, это единый ВПП) в Тибете (см. рисунки 3, 5). ВПП образовался в постколлизионный этап (46–35 млн лет) при развитии сдвиговых деформаций планетарного масштаба, контролируемых сутурной границей между Индокитайской плитой и Южно-Китайской платформой.

Магматические породы и МПМ образовались при внедрении магмы в докембрийские кристаллические породы, перекрытые верхнепалеозойскими морскими осадками и мезозойскими карбонатными и обломочными породами [3, 8]. Рудоносный интрузивный комплекс представлен мон-

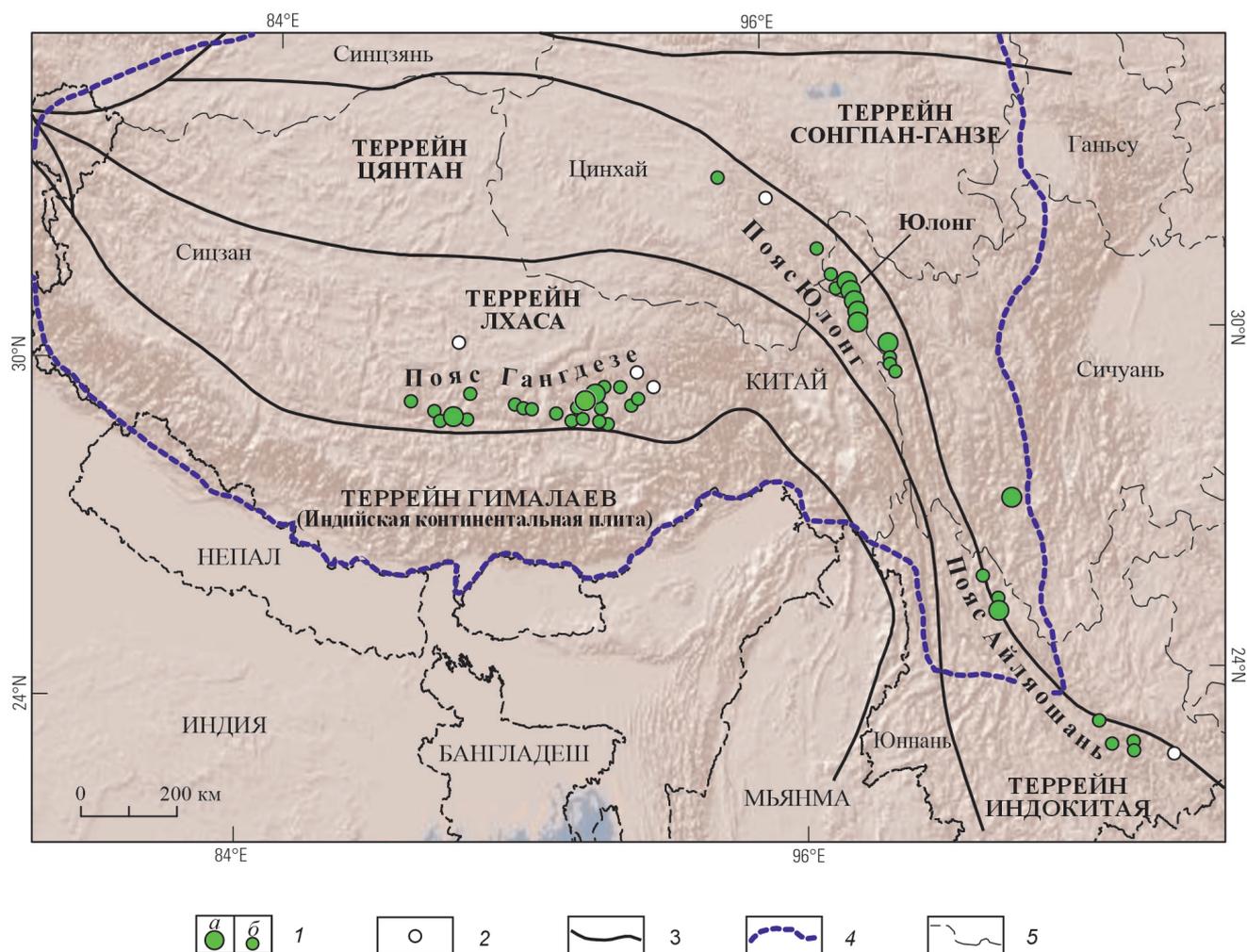


Рис. 3. Карта, на которой показаны террейны, ограничивающие их разломы и швы Тибетского плато. По [12]:

1 – медно-порфировые: месторождения (а) и проявления (б); 2 – прочие проявления; 3 – сутурные швы и другие разломы; 4 – граница Тибетского плато; 5 – границы провинций Китая

цогранодиорит-порфирами более щелочными, чем в ВПП Гангдзесе. Известны пять основных месторождений с Мо-Си составом руд. Причиной образования ВПП служит подъём астеносферы (диапир) в корнях крупных сквозькоровых разломов.

В целом образование ВПП произошло вне связи с другими структурными элементами ПП. Они формировались за счёт астеносферных диапиров в зонах подвижных (сутурных) границ плит в постколлизийный и субдукционный этапы на фоне развития крупных сдвиговых деформаций.

Выводы:

1. МПП принадлежат самостоятельным геоструктурам – вулcano-плутоническим поясам базальтоидных и андезитоидных типов.

2. Базальтоидные ВПП входят в состав островных дуг, нередко образуя их барьерные зоны, что определяет их геотектоническую позицию. Вместе с тем островные дуги, включая периокеанические и океанические БВПП с МПП, занимают надсубдукционную позицию и приурочены к конвергентным границам литосферных плит. Рифто-

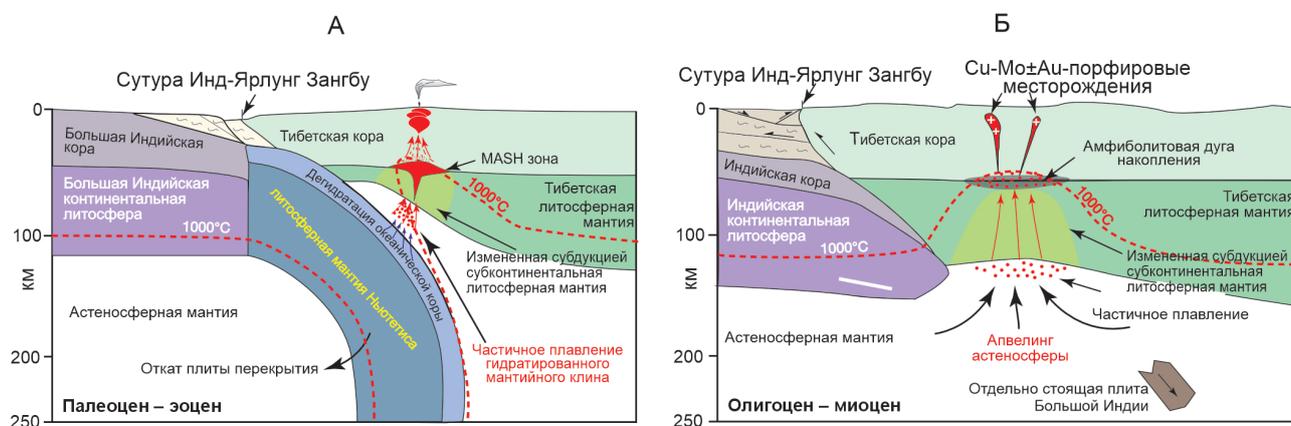


Рис. 4. Мультипликационные поперечные разрезы, иллюстрирующие предполагаемый петрогенезис кайнозойских магматических пород в Гангдесском поясе:

А – Гангдесская континентальная дуга: палеоцен-эоценовый магматизм был вызван откатом слэба Нютетиса и образовался в результате частичного плавления гидратированного мантийного клина (MASH = плавление, ассимиляция, накопление и гомогенизация); Б – миоценовый магматизм был вызван отколом слэба Большой Индии и подъёмом астеносферных расплавов и образовался в результате частичного плавления модифицированной субдукции тибетской литосферы. Порфировые $\text{Cu-Mo}\pm\text{Au}$ месторождения образовались из гидросодержащих магм при внедрении в верхние слои земной коры; глубины залегания Мохо, границы индийской литосферы с астеносферой и тибетской границы литосферы с астеносферой были оценены на основе сейсмических исследований [12]

генные БВПП Уральской провинции образуются во внутриконтинентальных океанических рифтах глубокого заложения над претерпевшими орогенную инверсию базальтоидными прогибами или на их флангах («плечах»).

3. Андезитоидные ВПП представляют собой протяжённые линейные окраинно- и внутриконтинентальные геоструктуры. Они закономерно пространственно и во времени сопряжены с другими геоструктурными элементами подвижных или тектонических поясов, образуя с ними пространственно-временные латеральные ряды, что характеризует их тектоническую позицию. ВПП завершают развитие подвижных поясов или их сегментов и образуются после завершения коллизионных и аккреционных событий. Скорее всего, их формирование связано с развитием различ-

ных элементов зон субдукции, которые провоцируют образование первичных магматических очагов различного состава.

4. Специфическую тектоническую позицию занимают ВПП Тибетского орогена, формирующиеся вне латеральных геоструктурных рядов, после мезозойского столкновения Индии и Азии, закрытия океана Тетис и последующих коллизионных и аккреционных процессов. Крупные медно-порфировые месторождения ВПП Гангдесе сформировались в процессе постколлизионного растяжения и апвеллинга астеносферы. ВПП Юлонг и Айляошань сформировались несколько ранее, но тоже в постколлизионной обстановке в результате подъёма астеносферы в корнях крупных сквозькоровых разломов в пределах подвижных границ плит (сутуры).

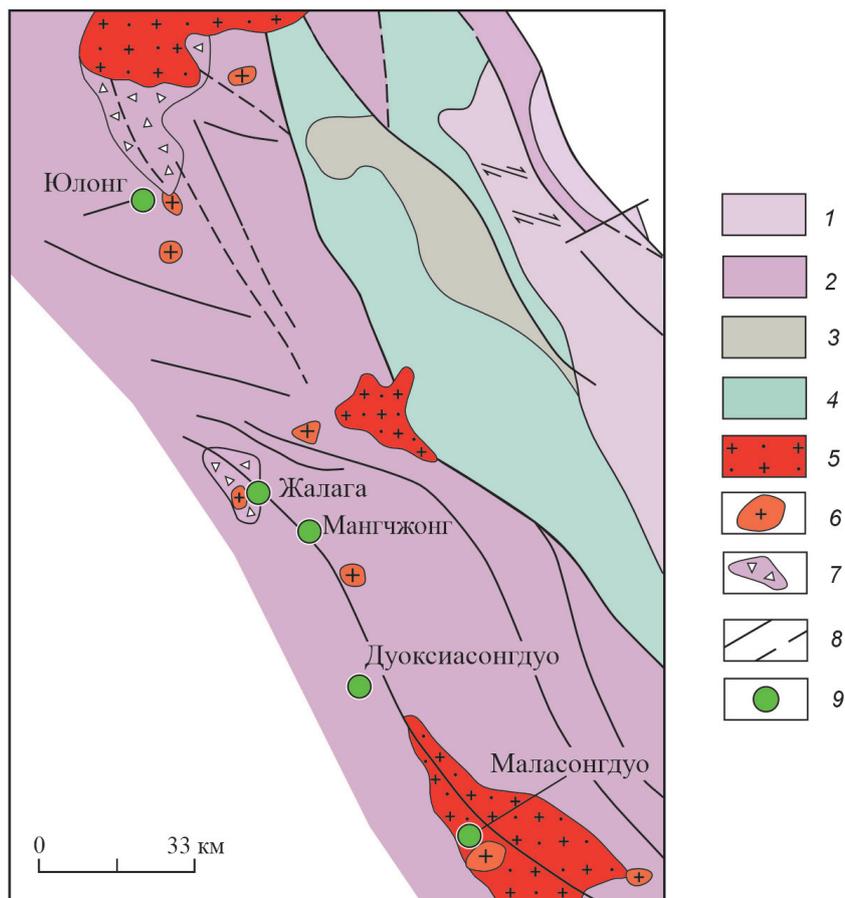


Рис. 5. Размещение медно-порфировых месторождений группы Юлонг. По [3]:

нижнетриасовые: 1 – песчаники, сланцы и 2 – пестроцветные песчаники, известняки; 3 – каменноугольно-пермские глинисто-карбонатные и вулканогенные отложения; 4 – нижнеордовикские песчаники, сланцы, мрамора; 5 – яньшанские гранитоиды; 6 – гималайские гранитоиды; 7 – брекчиевые тела; 8 – разломы; 9 – месторождения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Короновский Н. В., Демина Л. И. Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. – М. : КДУ, 2011. – 234 с.
2. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М. : Недра, 1938. – 255 с.
3. Кривцов А. И. Металлогения андезитовых вулканоплутонических поясов. – М. : Геокарт, ГЕОС, 2007. – 587 с.
4. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачёв И. Ф., Минина О. В. Медно-порфировые месторождения. Сер. Модели месторождений цветных и благородных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
5. Мигачёв И. Ф. Палеотектоническая позиция мезозойских вулканоплутонических поясов востока России // Отечественная геология. – 2009. – № 4. – С. 18–29.
6. Мигачёв И. Ф. Положение андезитовидных вулканоплутонических поясов в латеральных геоструктурных рядах // Отечественная геология. – 2014. – № 6. – С. 3–11.
7. Мигачёв И. Ф., Звездов В. С., Конкин В. Д. Палеотектоническая позиция базальтоидных вулканоплутонических поясов с медно-порфировыми месторождениями // Руды и металлы. – 2024. – № 3. – С. 28–46.

8. Соловьев С. Г. Металлогения шохонитового магматизма. – Т. I. – М. : Научный мир, 2014. – 528 с.
9. Фролова Т. И., Буриков И. А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 320 с.
10. Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М. : КДУ, 2010. – 560 с.
11. Hollister V. F., Anzalone S. A., Richter D. H. Porphyry copper deposits of southern Alaska and contiguous Yukon Territory // Can. Min. and Met. Bull. – 1975. – V. 68, № 756. – P. 104–112.
12. Ludington S., Hammarstrom J. M., Robinson G. R. [et. al.] Porphyry Copper Assessment of the Tibetan Plateau, China // Scientific Investigations Report 2010–5090–F. – 2010. – 73 p.
13. Wang R., Richards J. P., Hou Z. [et. al.] Magmatic water content – the key to oligo-miocene porphyry Cu-Mo ± Au formation in the eastern Gangdese belt, Tibet // Economic Geology. – 2014. – V. 109, № 5. – P. 1315–1339.
14. Yin A., Harrison T. M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2000. – V. 28, № 1. – pp. 211–280.

REFERENCES

1. Koronovskiy N. V., Demina L. I. Magmatizm kak indikator geodinamicheskikh obstanovok [Magmatism as an indicator of geodynamic conditions], Moscow, KDU publ., 2011, 234 p. (In Russ.)
2. Krivtsov A. I. Geologicheskiye osnovy prognozirovaniya i poiskov medno-porfirovykh mestorozhdeniy [Geological foundations of forecasting and prospecting for copper-porphyry deposits], Moscow, Nedra publ., 1983, 255 p. (In Russ.)
3. Krivtsov A. I. Metallogeniya andezitovykh vulkano-plutonicheskikh pojasov [Metallogeny of andesite volcano-plutonic belts], Moscow, Geokart, GEOS publ., 2007, 587 p. (In Russ.)
4. Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V. Medno-porfirovyye mestorozhdeniya. Ser. Modeli mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov [Copper-porphyry deposits. Series: Models of deposits of non-ferrous and noble metals], Moscow, TSNIGRI publ., 2001, 232 p. (In Russ.)
5. Migachev I. F. Paleotektonicheskaya pozitsiya mezo-zoyskikh vulkano-plutonicheskikh pojasov vostoka Rossii [Paleotectonic position of Mesozoic volcano-plutonic belts of eastern Russia], Otechestvennaya geologiya, 2009, No. 4, pp. 18–29. (In Russ.)
6. Migachev I. F. Polozheniye andezitoidnykh vulkano-plutonicheskikh pojasov v lateralnykh geostrukturnykh ryadakh [Position of andesitic volcano-plutonic belts in lateral geostructural series], Otechestvennaya geologiya, 2014, No. 6, pp. 3–11. (In Russ.)
7. Migachev I. F., Zvezdov V. S., Konkin V. D. Paleotektonicheskaya pozitsiya bazaltoidnykh vulkano-plutonicheskikh pojasov s mednoporfirovymi mestorozhdeniyami [Paleotectonic position of basaltoid volcano-plutonic belts with porphyry copper deposits], Rudy i metally, 2024, No. 3, pp. 28–46. (In Russ.)
8. Solovyev S. G. Metallogeniya shoshonitovogo magmatizma [Metallogeny of shoshonite magmatism], V. 1, Moscow, Nauchnyy mir publ., 2014, 528 p. (In Russ.)
9. Frolova T. I., Burikov I. A. Magmaticheskiye formatsii sovremennykh geotektonicheskikh obstanovok [Magmatic formations of modern geotectonic settings], Moscow, MGU publ., 1997, 320 p. (In Russ.)
10. Khain V. Ye., Lomize M. G. Geotektonika s osnovami geodinamiki [Geotectonics with the Basics of Geodynamics], Moscow, KDU publ., 2010, 560 p. (In Russ.)
11. Hollister V. F., Anzalone S. A., Richter D. H. Porphyry copper deposits of southern Alaska and contiguous Yukon Territory, Can. Min. and Met. Bull., 1975, V. 68, No. 756, pp. 104–112.
12. Ludington S., Hammarstrom J. M., Robinson G. R. [et. al.] Porphyry Copper Assessment of the Tibetan Plateau, China, Scientific Investigations Report 2010–5090–F, 2010, 73 p.
13. Wang R., Richards J. P., Hou Z. [et. al.] Magmatic water content – the key to oligo-miocene porphyry Cu-Mo ± Au formation in the eastern Gangdese belt, Tibet, Economic Geology, 2014, V. 109, No. 5, pp. 1315–1339.
14. Yin A., Harrison T. M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, V. 28, No. 1, pp. 211–280.

Статья поступила в редакцию 06.11.25; одобрена после рецензирования 14.11.25; принята к публикации 14.11.25.
The article was submitted 06.11.25; approved after reviewing 14.11.25; accepted for publication 14.11.25.