

УДК 551.24/551.21/553.261

DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-1-5-20

## Некоторые геодинамические аспекты связи металлогении с магматической зональностью орогенных вулканоплутонических поясов

А. М. Курчавов

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН),  
119017, г. Москва, пер. Старомонетный, 35, e-mail: Kurchavov.kam38@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.05.2022 г., принята к печати 22.11.2022 г.

**Объект исследований.** Орогенные окраинно-континентальные и коллизионные вулканоплутонические пояса, зональность магматизма и металлогении в их пределах, связь эндогенной металлогении с магматической зональностью и геодинамикой формирования поясов. **Материалы и методы.** Многолетние исследования девонского и верхнепалеозойского поясов Казахстана, мел-палеогенового пояса Сихотэ-Алиня, анализ изменения вещественных параметров магматитов, выделение фронтальной и тыловой частей поясов и особенностей расположения металлогенических зон в их пределах, данные по другим поясам мира. **Результаты.** Для окраинно-континентальных поясов установлена асимметричная смена магматитов толеитовой и низкокальцевой ветви известково-щелочной петрохимической серии фронтальной зоны пояса на магматиты высококальцевой ветви известково-щелочной и шононитовой серий тыловой зоны (девонской и верхнепалеозойской пояса Казахстана). В том же направлении меняется элементный, а также генетический тип месторождений: колчеданные медно-полиметаллические фронтальной зоны сменяются на молибден-медно-порфировые тыловой зоны (близ границы с фронтальной зоной) и затем на редкометалльные. Это свойственно также Андийскому и Охотско-Чукотскому поясам. Коллизионным поясам присуща симметричная зональность со сменой от редкометалльных месторождений в центре на медно-полиметаллические по краям (Монголия). В ряде случаев (Сихотэ-Алинь и Япония) сплошность окраинно-континентального пояса нарушается в результате мантийного диапира (или плюма), возникает симметричная магматическая и металлогеническая зональности со сменой полиметаллических проявлений (близ границы океан–континент) на редкометалльные в удалении. **Выводы.** Изменение вещественных параметров магматитов окраинно-континентальных поясов коррелирует с удалением их ареалов от зоны перехода океан–континент вглубь последнего. При этом медно-полиметаллические колчеданные рудные формации сменяются на медно-порфировые и далее на редкометалльные в этом направлении. Это связано с субдукционными процессами. Для коллизионной обстановки характерна симметричная зональность вещественных магматических параметров по отношению к зоне сгущивания и симметричное расположение металлогенических зон со сменой редкометалльных месторождений в зоне сгущивания на медные и полиметаллические по обрамлению. Эти данные важны для металлогенического прогнозирования, а также для палеотектонических реконструкций.

**Ключевые слова:** орогенные вулканоплутонические пояса окраинно-континентальные и коллизионные, магматическая зональность, металлогеническая зональность, геодинамика формирования поясов

### Источник финансирования

Работы проводились при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 96-05-64535, 01-05-64626, 14-05-92000), программ фундаментальных исследований Президиума РАН (программы № 13, 2003–2005 гг.; № 1, 2006–2009 гг.; № 4, 2010–2014 гг.; № 18, 2016–2018 гг.), а также базовой тематики НИР ИГЕМ РАН (Петрология магматизма конвергентных и внутриплитных обстановок: эволюция магматизма в ходе формирования крупных континентальных блоков. Рег. № ЕГИСУ НИОКТР 121041500222-4)

## Geodynamic aspects of the metallogeny-magmatic zonality relationship of orogenic volcanic-plutonic belts

Anatoly M. Kurchavov

Institute of the Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS (IGEM RAS), 35 Staromonetnyi lane,  
Moscow 119017, Russia, e-mail: Kurchavov.kam38@yandex.ru

Received 18.05.2022, accepted 22.11.2022

**Для цитирования:** Курчавов А.М. (2023) Некоторые геодинамические аспекты связи металлогении с магматической зональностью орогенных вулканоплутонических поясов. *Литосфера*, 23(1), 5–20. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-1-5-20>

**For citation:** Kurchavov A.M. (2023) Geodynamic aspects of the metallogeny-magmatic zonality relationship of orogenic volcanic-plutonic belts. *Lithosphere (Russia)*, 23(1), 5–20. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-1-5-20>

**Research subject.** The orogenic marginal-continental and collisional volcanic-plutonic belts, and the zonality of magmatism and metallogeny within them, as well as the relationship of endogenous metallogeny with magmatic zonality and geodynamics of belt formation. **Materials and methods** include the long-term studies of the Devonian and Upper-Paleozoic belts of Kazakhstan and the Cretaceous-Paleogenic belt of Sikhote-Alin; an analysis of the alterations in the material parameters of magmatites; the identification of the front and rear parts of the belts and the arrangement features of metallogenic zones within their limits; and the data on other belts of the world. **Results.** For the marginal continental belts, an asymmetric change of the tholeiitic and low-potassium magmatites of the calcareous-alkaline petrochemical series of the frontal zone of the belt into the magmatites of the high-potassium branch of the calcareous-alkaline and shoshonite series of the rear zone (Devonian and Upper Paleozoic belts of Kazakhstan) has been established. In the same direction, the elemental, as well as the genetic type of deposits changes: pyrite copper-polymetallic frontal zones are replaced by molybdenum-copper-porphyry rear zones (near the border with the frontal zone) and then by rare metal ones. This is also characteristic of the Andean and Okhotsk-Chukchi belts. The collision belts are characterised by symmetrical zonality with a change from rare metal deposits in the centre to copper-polymetallic deposits at the edges (Mongolia). In some cases (Sikhote-Alin and Japan), the continuity of the marginal-continental belt is disrupted as a result of the mantle diapir (or plume), symmetrical magmatic and metallogenic zonality occurs with the change of polymetallic manifestations (near the ocean-continent boundary) to rare-metal ones in the distance. **Conclusions.** The change in the material parameters of the magmatites of the marginal-continental belts correlates with the removal of their ranges from the ocean-continent transition zone to the interior of the latter. In this case, copper-polymetallic pyrite ore formations are replaced by copper-porphyry and then by rare metal ones in this direction. This is due to subduction processes. The collision situation is characterised by a symmetrical zonality of material magmatic parameters with respect to the crowding zone and a symmetrical arrangement of metallogenic zones with a change of rare metal deposits in the crowding zone to copper and polymetallic along the frame. These data are important for metallogenic prediction, as well as for palaeotectonic reconstructions.

**Keywords:** *marginal-continental and collisional orogenic volcanic-plutonic belts, magmatic zonality, metallogenic zonality, geodynamics of belt formation*

#### Funding information

*The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects No. 96-05-64535, 01-05-64626, and 14-05-92000), the programs of fundamental research of the Presidium of the Russian Academy of Sciences (programs No. 13, 2003–2005; No. 1, 2006–2009; No. 4, 2010–2014; No. 18, 2016–2018), as well as the basic research topic of IGM RAS (Petrology of magmatism of convergent and intraplate environments: evolution of magmatism during the formation of large continental blocks. EGISU R&D registration number 121041500222-4)*

#### Acknowledgements

Long-term studies of the zonality of orogenic belts and the features of the placement of endogenous deposits in their limits were carried out in close collaboration with A.A. Mossakovsky, V.A. Baskina and M.K. Bakhteev, to whose blessed memory this article is dedicated.

## ВВЕДЕНИЕ

Раскрытие роли движений литосферных плит в становлении земной коры по-новому поставило вопросы о связи металлогении с магматизмом геологических структур. Она оказалась более многогранной и не всегда однозначной, в ряде случаев кардинально меняющей сложившиеся представления о взаимосвязи металлогении и магматических процессов в ходе эволюции складчатых сооружений.

В данной статье на примере орогенных вулканоплутонических поясов рассматриваются некоторые выявленные особенности связи эндогенной металлогении поясов с их магматической зональностью и геодинамикой формирования, позволяющими использовать эти данные для более всестороннего анализа роли глубинных геологических явлений в становлении современного облика

складчатых структур, их металлогенической специфики и целенаправленного металлогенического прогнозирования. Эти особенности важны также и для палеотектонических реконструкций, использованию которых в настоящее время уделяется недостаточное внимание.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Работа основана на многолетних полевых исследованиях девонского и верхнепалеозойского поясов Казахстана, мел-палеогенового пояса Сихотэ-Алиня, анализе изменения по латерали вещественных параметров магматитов, выделении фронтальной и тыловой частей поясов и особенностей расположения металлогенических зон в их пределах. Привлечены материалы по изучению зональности магматизма и металлогении орогенных поясов других регионов.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу исследований зональности вулканоплутонических поясов, как правило, были положены особенности строения вулканитов или изменения тех или иных петрохимических параметров разновозрастных равнокислотных пород вкрест простирания поясов. Так было установлено нарастание калия в породах от океана вглубь континента для Кордильер Северной Америки (Dickinson, Natherton, 1967; Christiansen, Lipman, 1972) или для Охотско-Чукотского пояса (Белый, 1978). Наш опыт показал, что более эффективный способ выявления зональности поясов заключается в прослеживании по латерали изменений сериальных петрохимических параметров разновозрастных магматических образований. Это детально было сделано для девонских орогенных магматитов всего ареала их распространения в Центральном Казахстане (Курчавов и др., 2000). С этой целью использовалась TAS-диаграмма, верхняя часть которой представляет собой классификационную диаграмму (Петрографический кодекс России..., 2009), дополненную вниз по содержанию оксида калия, где выделены поля развития толеитовой, известково-щелочной (низкокалиевой и высококалиевой ветвей), шощонитовой петрохимических серий. Выявленные в конкретных массивах петрохимические типы пород (по содержанию щелочей и их петрохимической сериальной принадлежности) наносились условными знаками на геологическую основу с конкретными контурами распространения ареалов развития разных стадий девонского орогенного магматизма. Использовано более 6000 анализов пород, достаточно равномерно распределенных в пределах выхода девонских магматитов Центрального Казахстана. Это позволило составить карты (масштаб 1 : 1 000 000) распространения формаций пород, выделенных по кремнезему (последовательно дифференцированные, контрастные, монопородные), с учетом сериальной петрохимической (по содержанию калия) принадлежности слагающих их пород. По данной методике ранее проанализированы также особенности латерального изменения сериальной петрохимической специфики пород других вулканических поясов Азии (Курчавов и др., 1999).

На уже выделенные петрохимические зоны наносились проявления эндогенного оруденения соответствующего возраста. Так была установлена металлогеническая зональность девонского и верхнепалеозойского вулканоплутонических поясов Казахстана. В других случаях анализировались особенности распространения типов гранитоидов и связанных с ними месторождений с удалением от зоны перехода море–континент (Сихотэ-Алинь и юго-запад Японии) или характер со вмещения металлогенических зон с выделенны-

ми структурами скупивания или коллизии (Монголия). В результате намечены новые интересные моменты связи металлогении, магматизма и геодинамических процессов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Под орогенными понимаются линейно вытянутые ареалы вулканитов и комагматичных им интрузивов, возникающих в континентальную стадию развития складчатых поясов в условиях горного расчлененного рельефа в ассоциации с моласами.

Все они связаны с взаимодействием литосферных плит. При субдукции океанической плиты под консолидированную континентальную плиту возникают окраинно-континентальные (или надсубдукционные) орогенные магматические пояса. Они формируются на континенте вдоль границы с подвижной областью, распространяясь далеко внутрь континента. Примером таких поясов служат девонские и верхнепалеозойские наземные вулканиты Центрально-Азиатского складчатого пояса, мезокайнозойские вулканиты Тихоокеанского обрамления (Андийский, Охотско-Чукотский, Восточно-Сихотэ-Алинский пояса и др.).

При субдукции океанической плиты под островодужные энсиалические структуры также возникают наземные (орогенные) вулканоплутонические пояса. Примером служат позднекайнозойские магматиты Камчатки или девонский континентальный вулканоплутонический пояс хребтов Чингиз и Тарбагатай в Казахстане.

Пояса другого типа (коллизионные, переходящие во внутриплитные) формируются в процессе коллизии континентальных плит и развития магматизма в континентальных условиях. Ярким примером являются позднекайнозойские наземные магматиты Альпийского пояса или позднепалеозойские вулканиты и сопряженные с ними гранитоиды Монголии.

Во всех случаях магматиты меняют свои петрохимические характеристики вкрест простирания поясов, формируя зональность разного типа.

### **Петрохимическая и металлогеническая зональность орогенных окраинно-континентальных вулканоплутонических поясов**

В их пределах отчетливо обособляется фронтальная и тыловая (или внутриконтинентальная) зоны пояса. Зональность проявляется сменой пород преимущественно низкокалиевой ветви известково-щелочной петрохимической серии на фронте пояса (по границе с подвижной областью) на породы высококалиевой ветви этой серии и шощонитовой серии в тыловой зоне (ареале развития

пород во внутренней части консолидированных структур). В этом же направлении происходит смена эндогенных рудных месторождений.

Ярким примером связи зональности магматизма и металлогении служат хорошо изученные орогенные окраинно-континентальные вулканоплутонические пояса Казахстана (Металлогения Казахстана..., 1978а, б, 1981; Медно-порфировые месторождения, 1986; Курчавов и др., 2000, 2002; Сейтмуратова и др., 2013; Гранкин и др., 2018; Антонюк, Исмаилов, 2019; и др.).

Особенно детально была изучена зональность девонского пояса Казахстана и связь с ней металлогенических зон (Курчавов и др., 2002) (рис. 1, 2). На всех стадиях формирования данного пояса отчетливо прослеживается возрастание роли пород калиевых петрохимических серий от его фронтальной части к тыловой, что придает поясу асимметричное строение.

Смена петрохимических зон по латерали сопровождается изменением их металлогенической специфики: с Pb-Zn и Cu руд колчеданного типа на фронте пояса, тесно связанными с вулканитами (широко представленными субвулканическими проявлениями) и локализованными в зоне перехода от морских фаций к континентальным, на медно-порфировые руды на границе тыловой зоны с фронтальной (здесь появляются гранитоиды монцонитового типа). В тыловой зоне девонского пояса расположены уже преимущественно редкометалльные месторождения в тесной связи с лейкократовыми и аляскитовыми гранитами, среди которых известны крупные оловянные месторождения Сарымбет и Донецкое (Курчавов, Хамзин, 2017).

От фронтальной части пояса к тыловой происходит смена не только элементного состава месторождений, но и типов месторождений одного и того же элемента. Особенно ярко это проявлено на поздней стадии формирования девонского пояса (см. рис. 2).

Промышленно значимые медно-порфировые месторождения Казахстана располагаются в пределах тыловых зон вулканических поясов, близ их границы с фронтальной зоной (см. рис. 2, 3). Полиметаллические и медно-колчеданные месторождения концентрируются во фронтальной зоне пояса по границе с прилегающей подвижной областью. Это свойственно как девонскому, так и позднепалеозойскому вулканическому поясу.

В этом отношении показательно также расположение крупнейших медно-порфировых месторождений в Андийском поясе (рис. 4). Они локализованы в удалении от зоны океан-континент примерно на 200 км вглубь консолидированного континента, в то время как колчеданные месторождения тяготеют к зоне перехода к Тихому океану.

Изменение характера месторождений меди от колчеданного типа на порфировые отмечается так-

же и для некоторых сегментов Охотско-Чукотского орогенного вулканоплутонического пояса (рис. 5) (Сидоров и др., 2019). Подобная односторонне направленная зональность обычно связывается с субдукционными процессами.

Представляется, что одним из необходимых условий для формирования крупных медно-порфировых месторождений является длительно сохраняющаяся стабильность тектонической обстановки. Такая обстановка более свойственна тыловым зонам поясов, чем фронтальным зонам с их большей лабильностью.

### **Нарушение зональности окраинно-континентальных вулканоплутонических поясов**

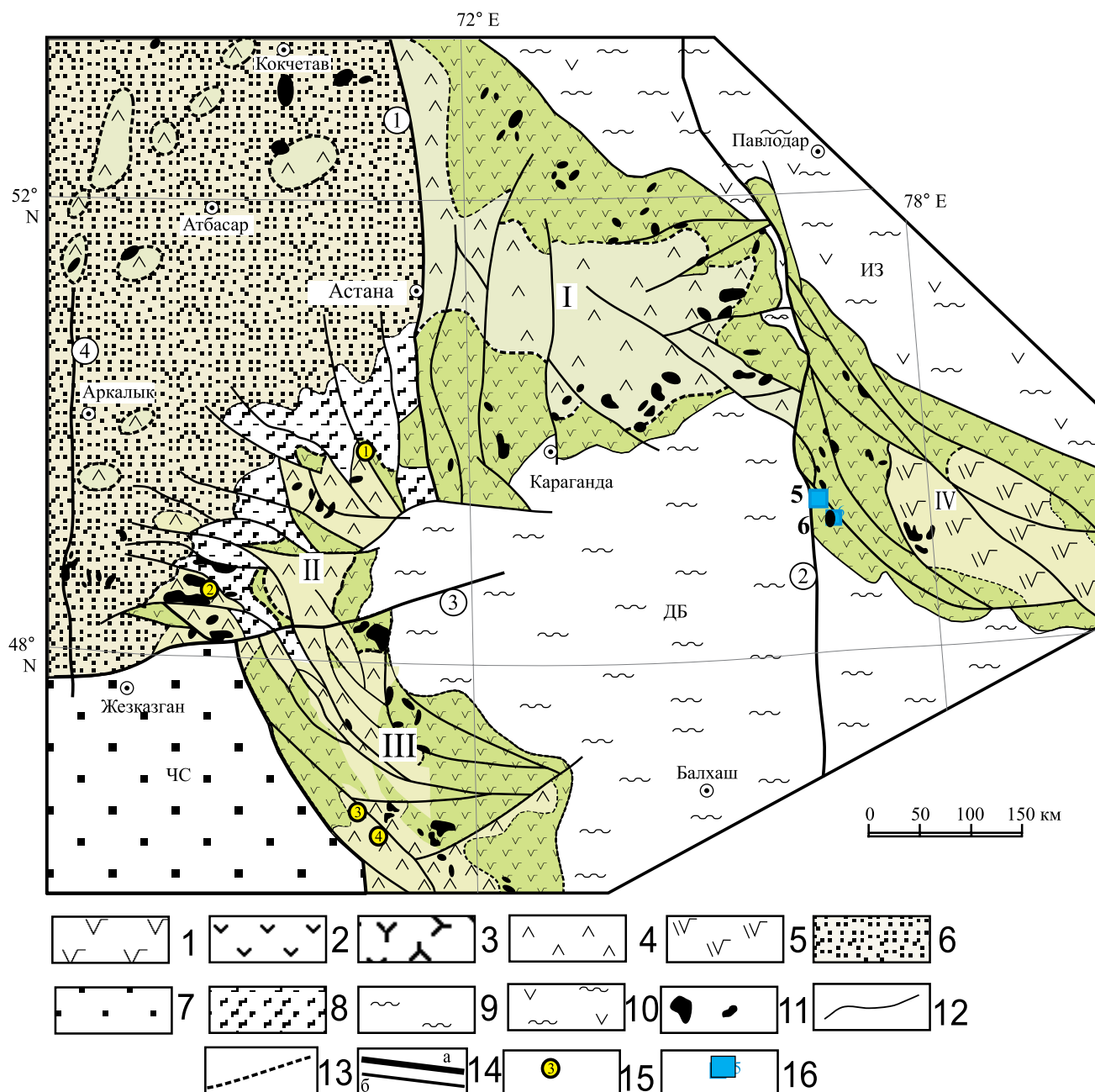
При субдукции океанической коры под энциалические островодужные структуры в пределах последних также формируются наземные (орогенные) вулканоплутонические пояса, сходные по своему строению и составу продуктов магматизма с окраинно-континентальными поясами. Главными отличиями являются симметричная зональность магматизма таких поясов и менее щелочной характер пород по сравнению с окраинно-континентальными поясами. Ярким примером служат детально изученные девонские наземные магматиты хребтов Чингиз и Тарбагатай в Казахстане. В осевой части данной островодужной структуры распространены магматиты преимущественно высококалиевой ветви известково-щелочной петрохимической серии, в то время как по периферии этой структуры распространены продукты низкокалиевой ветви известково-щелочной петрохимической серии и толеитовой серии (см. рис. 1, 2). Такая симметричность расположения магматических зон, возможно, связана с перескоком зоны субдукции.

Для некоторых окраинно-континентальных поясов или их сегментов установлено, что односторонняя магматическая и металлогеническая зональность может быть составной частью более сложной зональности симметричного типа.

Это детально было рассмотрено В.А. Баскиной для Сихотэ-Алиня и юго-западной Японии (Baskina, 1996; Курчавов др., 1998, 1999).

Данный пояс многими исследователями рассматривается как модельное звено системы окраинно-континентальных поясов востока Азии, связываемых с субдукцией тихоокеанских океанических плит под континент. Одним из оснований таких представлений служит достаточно четкая латеральная магматическая зональность данного пояса.

Южному Сихотэ-Алиню свойствен преимущественно доэоценовый кремнекислый магматизм. Общий объем андезитов и базитов в разрезе не превышает 10 %. При этом они локализируются главным образом близ западной границы пояса,

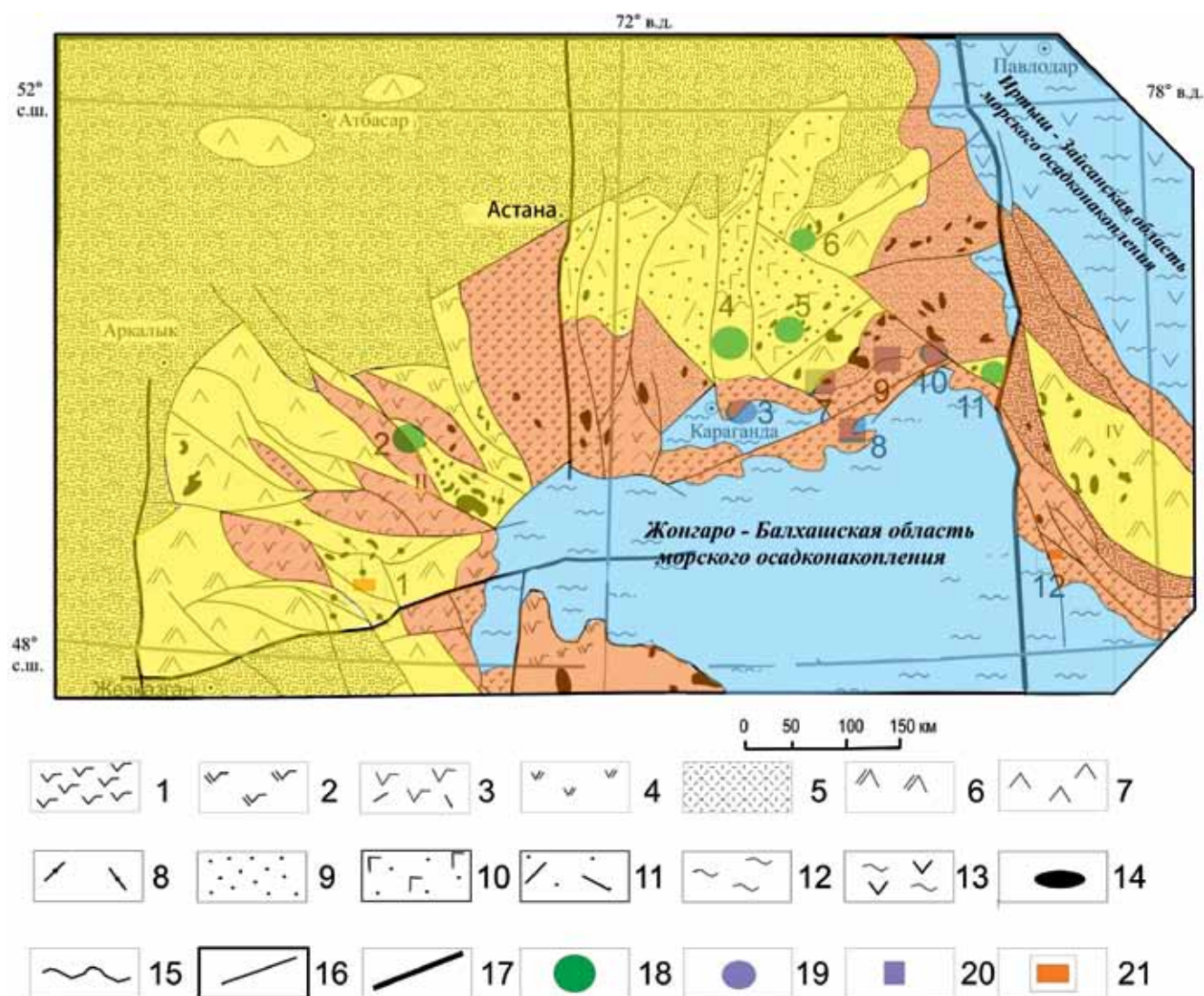


**Рис. 1.** Современное распространение раннеорогенных ассоциаций пород (низы нижнего девона) девонско-го вулканоплутонического пояса Центрального Казахстана и эндогенных рудных месторождений этой ста-дии развития, по (Курчапов и др., 2000, 2002) с изменениями.

Темно-зеленым цветом выделены вулканы фронтальной зоны пояса, светло-зеленым – тыловой зоны. 1–5 – ассоци-ации вулканогенных пород: 1–3 – известково-щелочные с подчиненными толеитовыми разновидностями (1 – базальт-андезит-базальт-андезитовая, 2 – андезит-базальт-андезит-андезитовая с дацитами и риолитами, 3 – андезит-дацит-риолитовая); 4, 5 – известково-щелочные повышенной калиеистости и шононитовые (4 – трахибазальт-трахиандезит-тра-хитовая с подчиненными базальтами, андезит-базальтами и андезитами, 5 – трахиандезит-трахидацит-трахириолитовая с подчиненными дацитами и риолитами); 6 – терригенная моласса; 7 – терригенные континентальные и, возможно, при-брежно-морские отложения; 8 – терригенные субаквальные отложения; 9, 10 – морские отложения: 9 – преимуществен-но терригенные, 10 – терригенные и вулканогенные; 11 – интрузивные массивы; 12, 13 – границы распространения ас-социаций пород; 14 – разломы (а – глубинные; цифры в кружках: 1 – Целиноградский, 2 – Центрально-Казахстанский, 3 – Успенский, 4 – Улутауский; 6 – прочие); 15, 16 – рудные месторождения: 15 – золото-кварцево-жильные (1 – Кенжа-рык, 2 – Жалтырбулак, 3 – Жаксы, 4 – Алтынсай), 16 – золотоколчеданно-полиметаллические (5 – Абыз), медно-кол-чеданно-полиметаллические (6 – Беркара). ЧС – Чу-Сарысу-Сарысу-Тенгизская впадина, ДБ – Жонгаро-Балхашская и ИЗ – Иртыш-Зайсанская области морского осадконакопления. Римские цифры в квадрате: I–III – активная окраина каледонского континента (сегмен-ты девонского вулканоплутонического пояса: I – Северо-Восточный, II – Сарысу-Тенгизский, III – Бетпакадалинский), IV – островная дуга энсалического типа (Чингиз-Тарбагатайская).

**Fig. 1.** Contemporary distribution of the early-orogenic associations (Lower Devonian) of the Devonian volcano-plutonic belt in Central Kazakhstan, and endogenous ore deposits of this stage, according to (Kurchavov et al., 2000, 2002) with some simplification.

The volcanic rocks of the frontal zone of the belt are highlighted in dark green, and the rear zone is highlighted in light green. 1–5 – associations: 1–3 – calc-alkaline with subordinate tholeiite varieties (1 – basalt-andesibasalt-andesite, 2 – andesibasalt-andesite-andesidacite with dacites and rhyodacites, 3 – andesite-dacite-rhyolite); 4, 5 – calc-alkaline predominantly of an elevated potassium content and shoshonite (4 – trahybasalt-trachyandesibasalt-trachyte with subordinate basalts, andesibasalts, and andesites; 5 – trahyandesite-trahydacite-trahyrhyolite with dacites and rhyolites); 6 – terrigenous molassa; 7 – terrigenous continental and possibly coastal-marine deposits; 8 – subaqual terrigenous; 9, 10 – marine deposits: 9 – predominantly terrigenous, 10 – terrigenous and volcanogenous; 11 – intrusive massifs; 12, 13 – boundaries between associations; 14 – faults (a – deep-seated); figures in circles: 1 – Tselinogradsk, 2 – Central Kazakhstan, 3 – Uspensk, 4 – Ulutaus; 6 – other); 15, 16 – endogenous ore deposits: 15 – gold-quartz vein (1 – Kenzharyk, 2 – Zhaltyrbulak, 3 – Zhaksy, 4 – Altynsai), 16 – gold-pollymetallic massive sulfide (5 – Abyz), copper massive sulfide (6 – Berkara). CH – Chu-Sarysui depression, DB – Zhongar-Balkhash, IS – Irtysh-Zaisan mobile regions. Roman figures in squares: I–III – active margin of the Caledonian continent (segments of the volcanic belt: I – Severo-Vostochnyi, II – Sarysu-Tengiz, III – Betpakdalin), IV – ensialic island arc (Chingiz-Tarbagatay segment).



**Рис. 2.** Положение промышленно важных месторождений, связанных с поздней стадией (живет-фран) формирования девонского вулканоплутонического пояса Центрального Казахстана, по (Антонюк, Исмаилов, 2019; Гранкин и др., 2018; Курчаков и др., 2000, 2002; Курчаков, Хамзин, 2017) с изменениями.

Темно-желтым цветом выделены вулканы фронтальной зоны пояса, светло-желтым – тыловой зоны. 1–8 – ассоциации пород: известково-щелочной серии нормальной щелочности: 1 – базальт-андезибазальт-андезитовая, 2 – андезит-дацит-риолитовая, 3 – контрастная андезибазальт-риолит-риодацитовая, 4 – последовательно дифференцированная

андезит-дацит-риолитовая, 5 – риодацит-риолитовая; 6–8 – известково-щелочной серии повышенной щелочности и калиевости: 6 – трахиандезит-трахидацит-трахириолитовая с дацитами и риолитами, 7 – трахибазальт-трахиандезит-базальт-трахиандезит-трахитовая с базальтами, андезибазальтами и андезитами, 8 – трахидацит-трахириолитовая; 9–11 – терригенные отложения: 9 – терригенная моласса, 10 – то же с трахибазальтами, трахиандезибазальтами, реже с трахириодацитами, 11 – то же с трахириодацитами и трахириолитами; 12, 13 – морские отложения: 12 – преимущественно терригенные, 13 – терригенные с вулканитами; 14 – интрузивные массивы; 15 – границы ассоциаций пород; 16, 17 – разломы: 16 – региональные, 17 – глубинные; 18–21 – месторождения: 18 – медно-порфировые, 19 – колчеданные медно-полиметаллические, 20 – колчеданные полиметаллические, 21 – золоторудные.

Цифрами обозначены месторождения: медно-порфировые: 2 – Заречное, 4 – Нурказган, 5 – Сатпаевское, 6 – Аяккод-жан, 11 – Коктасжал; медно-колчеданные: 3 – Спасская группа, 10 – Шоптыколь; колчеданные медно-полиметаллические: 7 – Хаджиказган, 8 – Кызылшоки, 9 – Коктасжартас; золотые: 1 – Ушшоки, 12 – Прогресс.

**Fig. 2.** The position of industrially important deposits associated with the late stage (glivet – fran) of the formation of the Devonian volcanic-plutonic belt of Central Kazakhstan, according to (Antonyuk, Ismailov, 2019; Grankin et al., 2018; Kurchavov et al., 2000, 2002; Kurchavov, Khamzin, 2017) with changes.

The volcanites of the frontal zone of the belt are highlighted in yellow dark, the rear zone is highlighted in light yellow. 1–8 – associations of rocks: calcareous-alkaline series of normal alkalinity: 1 – basalt-andesibasalt-andesite, 2 – andesite-dacite-rhyolite, 3 – contrasting andesibasalt-rhyolite-rhyodacite, 4 – sequentially differentiated andesite-dacite-rhyolite, 5 – rhyodacite-rhyolite; 6–8 – calcareous-alkaline series of increased alkalinity and potassium content: 6 – trachyandesite-trachydacite-trachyriolite with dacites and rhyolites, 7 – trachybasalt-trachyandesibasalt-trachyandesite-trachyte with basalts, andesibasalts and andesites, 8 – trachydacite-trachyriolite; 9–11 – terrigenous deposits: 9 – terrigenous molasses, 10 – the same with trachybasalts, trachyandesibasalts, less often with trachyriodacites, 11 – the same with trachyriodacites and trachyriolites; 12, 13 – marine sediments: 12 – mostly terrigenous, 13 – terrigenous with volcanites; 14 – intrusive massifs; 15 – boundaries of rock associations; 16, 17 – faults: 16 – regional, 17 – deep; 18–21 – deposits: 18 – porphyry copper, 19 – pyrite copper-polymetallic, 20 – pyrite polymetallic, 21 – gold ore.

The figures indicate deposits: copper-porphyry: 2 – Zarechnoye, 4 – Nurkazgan, 5 – Satpayevskoye, 6 – Ayakkodzhan, 11 – Koktaszhal; copper-pyrites: 3 – Spasskaya group, 10 – Shoptykol; pyrites copper-polymetallic: 7 – Khadzhikazgan, 8 – Kyzylshoky, 9 – Koktaszartas; gold: 1 – Ushshoky, 12 – Progress.

т.е. в его тыловой, а не во фронтальной части. Среди кремнекислых магматических пород на западе пояса преобладают сеноман-сенонские риолиты и деллениты и комагматичные им гранитоиды (возраст 95–75 млн лет). Последние представлены преимущественно ильменитовыми разностями I-типа, реже – S-типа. Для магматизма этой части пояса характерна металлогеническая специализация на олово и вольфрам (рис. 6).

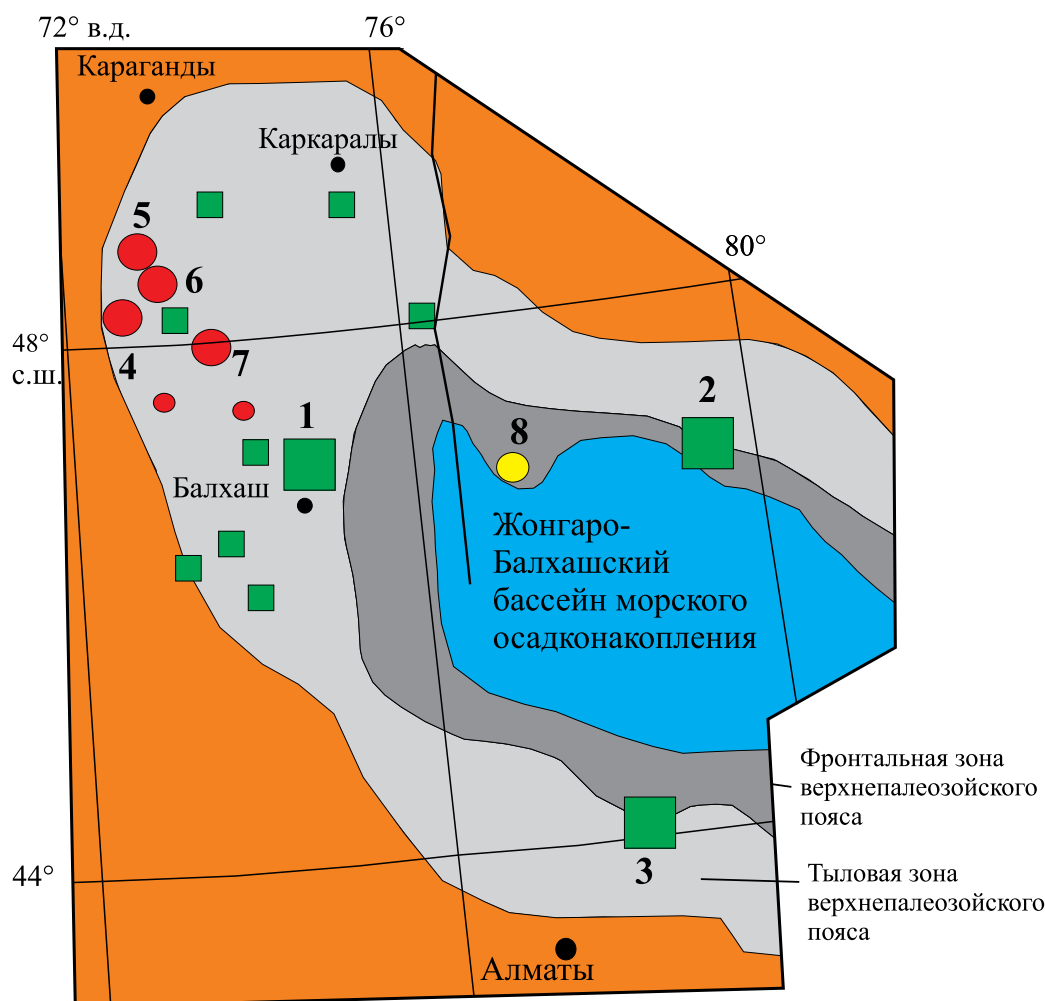
В прилегающих к Японскому морю частях пояса и в прибрежной акватории моря преобладают палеогеновые магматиты (возрастом 70–50 млн лет). Они представлены уже магнетитовыми разностями I-типа. Этой части пояса свойственна специализация на свинец, цинк, молибден, золото.

В целом от берега Японского моря вглубь азиатского континента возрастают общая щелочность магматитов, значения кали-натровых и рубидиево-калиевых отношений в них, увеличивается концентрация лития, фтора, падает окисленность пород. То есть происходят именно те изменения вещественных параметров пород, которые считаются характерными при переходе от фронтальных частей надсубдукционных поясов к их тыловым частям.

Однако было бы нецелесообразным рассматривать зональность магматизма южного Сихотэ-Алиня обособленно от таковой в юго-западной Японии. Считается доказанным, что после массовой раннемезозойской аккреции как Сихотэ-Алинь, так и юго-западная Япония были частью единой Евразийской плиты, где в позднем мелу – палеогене образовался окраинно-континентальный вулканиче-

ский пояс, причем позиция падающей к ЗСЗ сейсмофокальной зоны в течение этого времени была стабильной. Как полагают, реликты выхода мел-палеогеновой сейсмофокальной зоны обнаруживаются в поясе Симанто в юго-западной Японии. Затем, при раскрытии Японского моря, два звена пояса были разобщены.

Ожидаемая в таком случае направленная латеральная изменчивость состава и возраста эндогенных образований с переходом от фронтальных к тыловым частям некогда единого пояса в рассматриваемом сегменте отсутствует. Напротив, имеет место зеркально-симметричная зональность мел-палеогеновых магматических и рудных образований по отношению к Японскому морю. Обе части пояса (юг Восточного Сихотэ-Алиня и юго-западная Япония), каждая шириной 150–200 км, заложены на сиалической коре мощностью до 40 км, включающей в себя блоки докембрия. В юго-западной Японии (как и на юге Сихотэ-Алиня) в меловых–палеогеновых разрезах преобладают кислые и умеренно кислые вулканиты. Их мощность достигает 3 км, а общий объем андезитов в разрезах не превышает 10–15 %. На ранних стадиях заложения пояса (в альбе–сеномане) здесь развиты известково-щелочные и калиевые андезиты. Они распространены в тыловой и осевой частях ареала, т. е. в области, примыкающей к Японскому морю. В удалении от Японского моря в предполагаемой фронтальной, притихоокеанской, части пояса (зона Саньо) вулканиты и гранитоиды более древние (95–75 млн лет). Они относятся к ильменито-



**Рис. 3.** Положение промышленно важных позднепалеозойских месторождений Казахстана.

Темно-серым цветом показана фронтальная зона орогенного верхнепалеозойского вулканоплутонического пояса: базальт-андезибазальт-андезит-дацит-риолитовая серия пород низкокальциевой ветки известково-щелочной петрохимической и толеитовой серий; светло-серым цветом показана тыловая зона пояса с развитием андезибазальт-андезит-дацит-риолитовой серии пород высококальциевой ветки известково-щелочной петрохимической и частично шшонитовой серий. Оранжевым цветом показан комплекс образований каледонид. Месторождения: 1–3 – медно-порфировые (1 – Кобындрат, 2 – Актогай, 3 – Коксай), 4–7 – редкометалльные (4 – Коктенколь, 5 – Достар, 6 – Верхние Кайракты, 7 – Акчатау), 8 – скарново-гидротермальные медно-полиметаллические (Саякская группа).

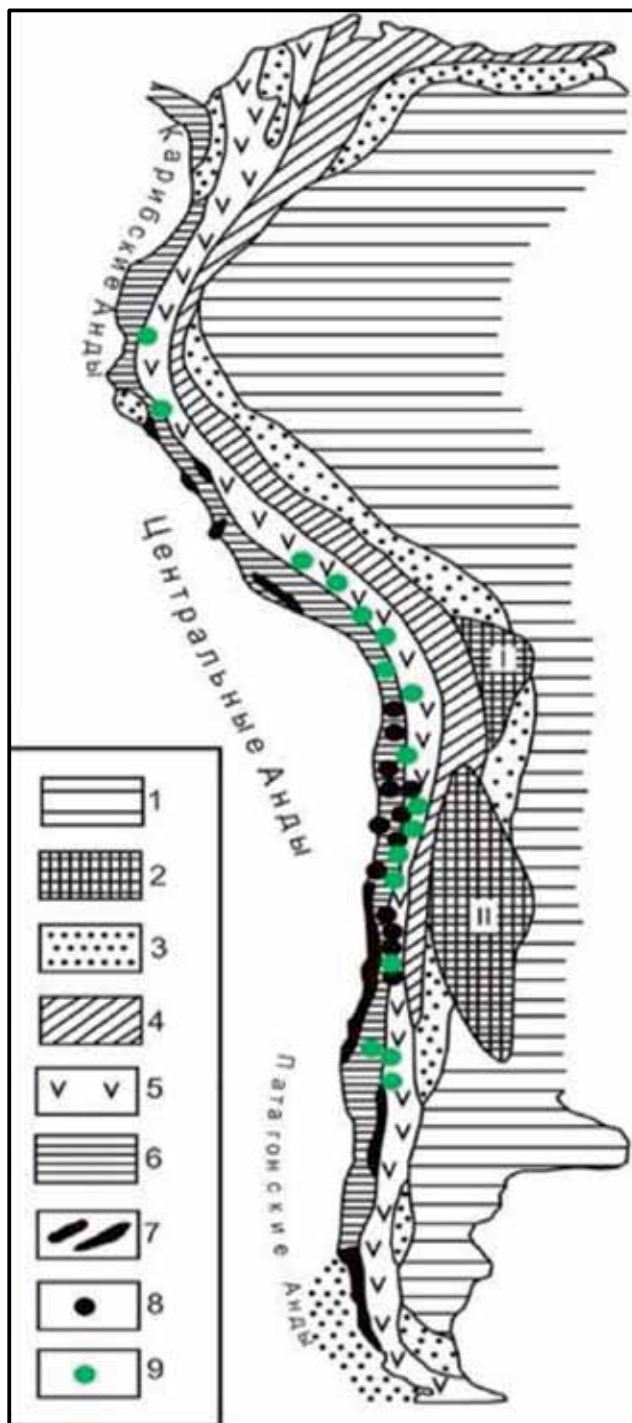
**Fig. 3.** Position of Late Paleozoic ore deposits in Kazakhstan.

The front zone of the orogenic Upper Paleozoic volcano-plutonic belt is shown in dark gray: basalt-andesibazalt-andesite-dacite-rhyolite series of rocks of the low-potassium branch of the lime-alkaline petrochemical and the toleite series; a light gray color shows the rear zone of the belt with the development of an andesibazalt-andesite-dacite-rhyolite series of rocks of the high-potassium branch of the lime-alkaline petrochemical and a partially shoshonite series. The complex of caledonid formations is shown in orange. Ore deposits: 1–3 – copper-porphyry (1 – Konyrat, 2 – Aktogay, 3 – Koksay), 4–7 – rare metal (4 – Koktenkol, 5 – Dostar, 6 – Verkhnie Kayrakty, 7 – Akchatau), 8 – scarlet-hydrothermal copper-polymetallic (Sayak group).

вой серии I-типа, относительно обогащены K, Rb, F, Li, Sn. С ними связано оловянное, вольфрамовое, медное оруденение.

Таким образом, важные характеристики магматических и рудных образований на юго-западе Японии и во внутриконтинентальной (особенно в области Центрального шва) части Сихотэ-Алинского пояса совпадают. Вблизи Японского моря

как в юго-западной Японии, так и в Сихотэ-Алине преобладают палеогеновые (70–50 млн лет) ассоциации магматитов I-типа, магнетитовой серии, обедненные минерализаторами, имеющие более низкие значения (0.705–0.706) начальных отношений изотопов стронция. В обоих ареалах вдоль побережья Японского моря симметрично располагаются выходы эоценовых (50–40 млн лет) гранофи-



**Рис. 4.** Положение крупнейших медно-порфировых месторождений Анд, по (Petersen, 1973; Сейтмуратова и др., 2013).

1 – древняя платформа; 2 – массивы: I – срединный массив Пуна на герцинском основании, II – крайний массив Пампа на докембрийском основании; 3–6 – тектонические зоны Анд: 3 – передовые прогибы, 4 – Восточные Кордильеры, 5 – Западные Кордильеры, 6 – Притихоокеанская зона; 7 – ларамийские гранитоиды; 8, 9 – месторождения: 8 – медно-колчеданные, 9 – медно-порфировые.

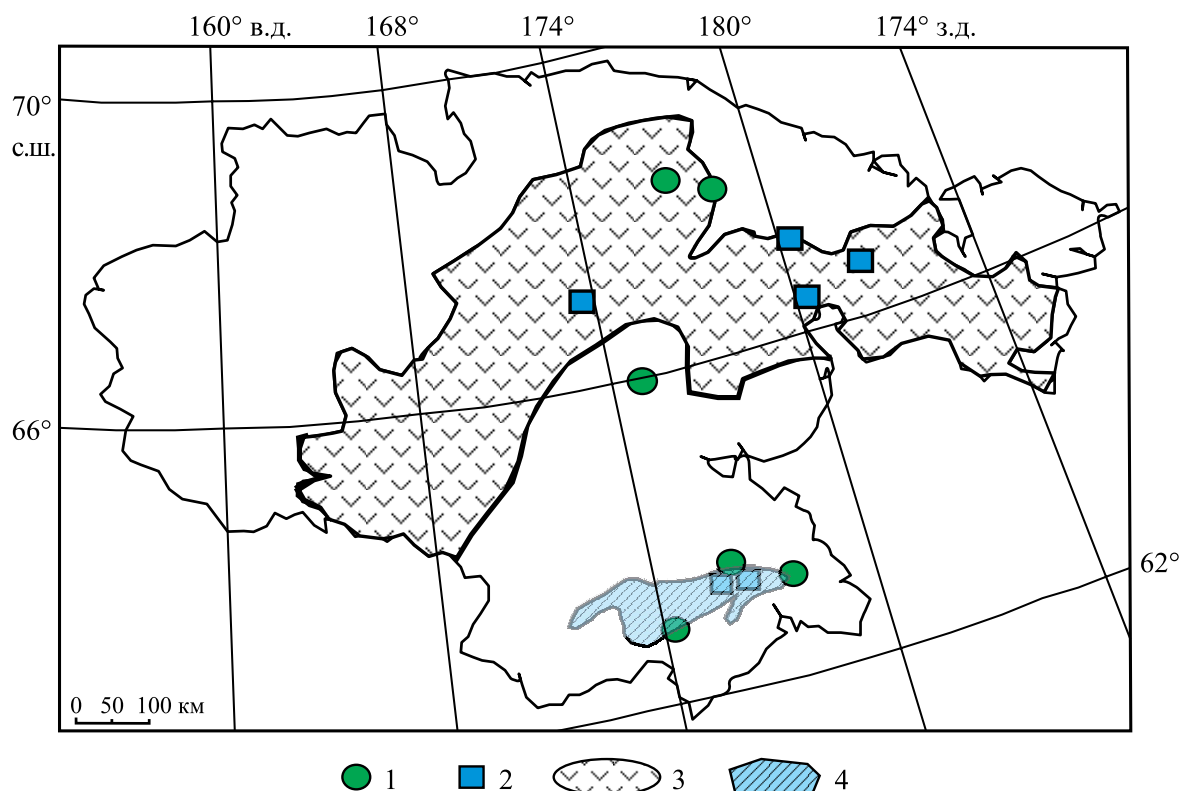
**Fig. 4.** The position of the largest copper-porphyry deposits of the Andes, according to (Petersen, 1973; Seitmuratova et al., 2013).

1 – ancient platform; 2 – arrays: I – the middle Puna massif on the Hercynian base; II – the Pampa marginal massif on the Precambrian base; 3–6 – tectonic zones of the Andes: 3 – advanced deflections, 4 – Eastern Cordillera, 5 – Western Cordillera, 6 – Pacific zone; 7 – Laramian granitoids; 8, 9 – deposits: 8 – copper-pyrite, 9 – copper-porphyry.

ров и субщелочных гранитов. Свинцово-цинковые и молибденовые месторождения мелового–палеогенового возраста Японии тяготеют к япономорскому побережью. Отметим также наличие субэвральных известково-щелочных андезитов, дацитов и риолитов эоцен-олигоцена (46–32 млн лет) на подводной возвышенности Ямато (Васильев, 1989).

Такая симметричная зональность принципиально отличается от установленных закономерностей проявления надсубдукционного магматизма, и поэтому механизмы субдукции океанической коры в качестве ее причины не могут быть приняты. Судя по изотопно-геохронологическим данным, симметричная зональность возникла на самых ранних стадиях формирования окраинно-континентального вулканического пояса, задолго до образования Япономорского окраинного бассейна. Но между тем зеркально-симметричный характер этой зональности по отношению к Японскому морю заставляет предполагать существование генетической связи между более ранними процессами, обусловившими симметричную зональность в вулканическом поясе, и более поздними процессами, вызвавшими деструктивное раскрытие Япономорского окраинного бассейна. Первые процессы были как бы предвестниками вторых.

Представляется, что общей причиной тех и других процессов было зарождение под данным участком притихоокеанской континентальной окраины Евразии мантийного диапира (или плюма) и его последующий подъем. Размер и форма этого диапира, по-видимому, определили конфигурацию, симметричный характер и местоположение различных по петрохимическим и металлогеническим особенностям зон Южного сегмента Сихотэ-Алинского вулканического пояса, а также центростремительную тенденцию их омоложения. Мощный поток тепла, исходящий от диапира, способствовал реомобилизации сиалического фундамента вулканического пояса и массовому выплавлению кислых магм, продукты которых, как было показано выше, преобладают в составе сенон-палеогеновых магматических продуктов Южного Сихотэ-Алия и Японии. По мере подъема диапира над его кровлей в литосфере усиливались процессы растяжения, которые сначала способствовали повышенной проницаемости коры для базитовых магм, а затем привели к ее разрыву и раздвигу.



**Рис. 5.** Размещение медных месторождений на Чукотке, по (Сидоров и др., 2013) с сокращениями.

Медные месторождения: 1 – порфировые медно-молибденовые, 2 – медно-колчеданные; 3 – вулканический пояс; 4 – Майницкая зона, потенциально перспективная на выявление колчеданных месторождений типа Куроко.

**Fig. 5.** Placement of copper mesopotamia in Chukotka, according to (Sidorov et al., 2013) with abbreviations.

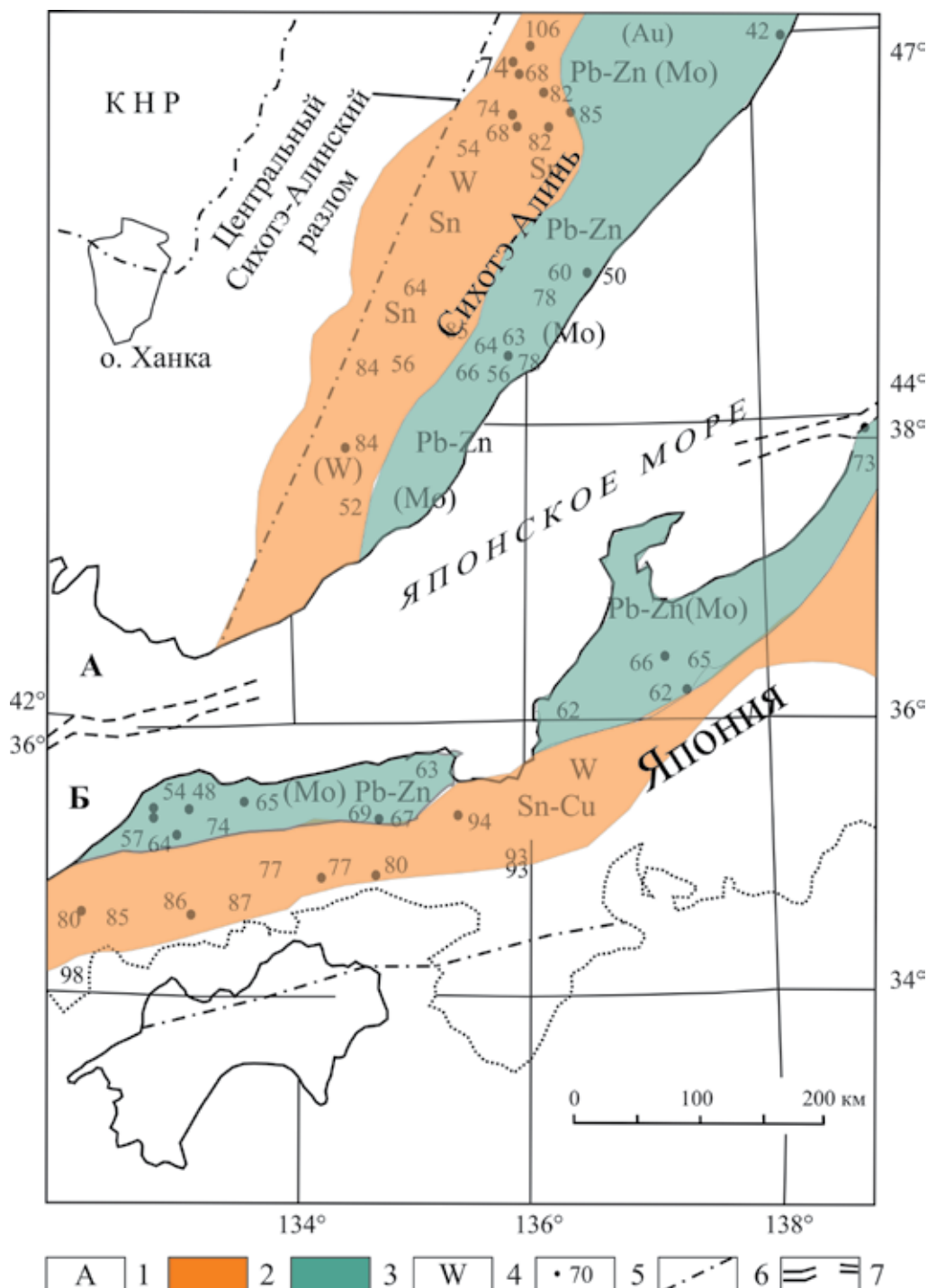
Copper ore deposits: 1 – porphyry copper-molybdenum, 2 – copper-pyrite; 3 – volcanic belt; 4 – Mainitskaya zone, potentially promising for the identification of pyrite deposits of the Kuroko type.

В результате отколовшийся от материка японский фрагмент вулканического пояса вместе со своим фундаментом в миоцене был отодвинут в сторону Тихого океана, а в его тылу образовался Япономорский окраинный бассейн. Таким образом, данному ареалу магматизма свойственна симметрично-зеркальная магматическая и металлогеническая зональность по отношению к Японскому морю. Это связано с воздействием мантийного диапира (или плюма) на континентальную окраину.

#### **Зональность коллизионных орогенных вулканоплутонических поясов**

Ярким примером коллизионных поясов являются хорошо изученные верхнепалеозойские магматиты и связанная с ними металлогения Монголии (Коваленко и др., 1990; Коваленко, Ярмолюк, 1990; Эволюция..., 1990; Gerel, Munkhsengel, 2005; Kirwin et al., 2005; Vyamba et al., 2018). Своеобразие расположения металлогенических зон в Монголь-

ском сегменте Евразийского позднепалеозойского вулканического пояса было обосновано А.А. Моссаковским (Курчавов и др., 1998, 1999). Монгольский сегмент Евразийского верхнепалеозойского вулканического пояса заложился во второй половине раннего карбона на юго-восточном крае Северо-Евразийского палеоконтинента и претерпел смену зональности магматизма в ходе своего формирования. В карбоне вдоль южной границы палеоконтинента существовала субдукционная зона, в которой стала поглощаться океаническая кора прилежащего с юга позднепалеозойского океана Палеотетис. Магматическая зональность и ее связь с мантийным диапиризмом здесь ранее были отмечены В.И. Коваленко, В.В. Ярмолюком и др. Свойственная данному сегменту в карбоне асимметричная магматическая зональность с нарастанием щелочности с юга на север позднее, в перми, приобретает черты симметричности: в центральной части формируется Хангайский батолит известково-щелочного типа, а севернее и южнее в это время –

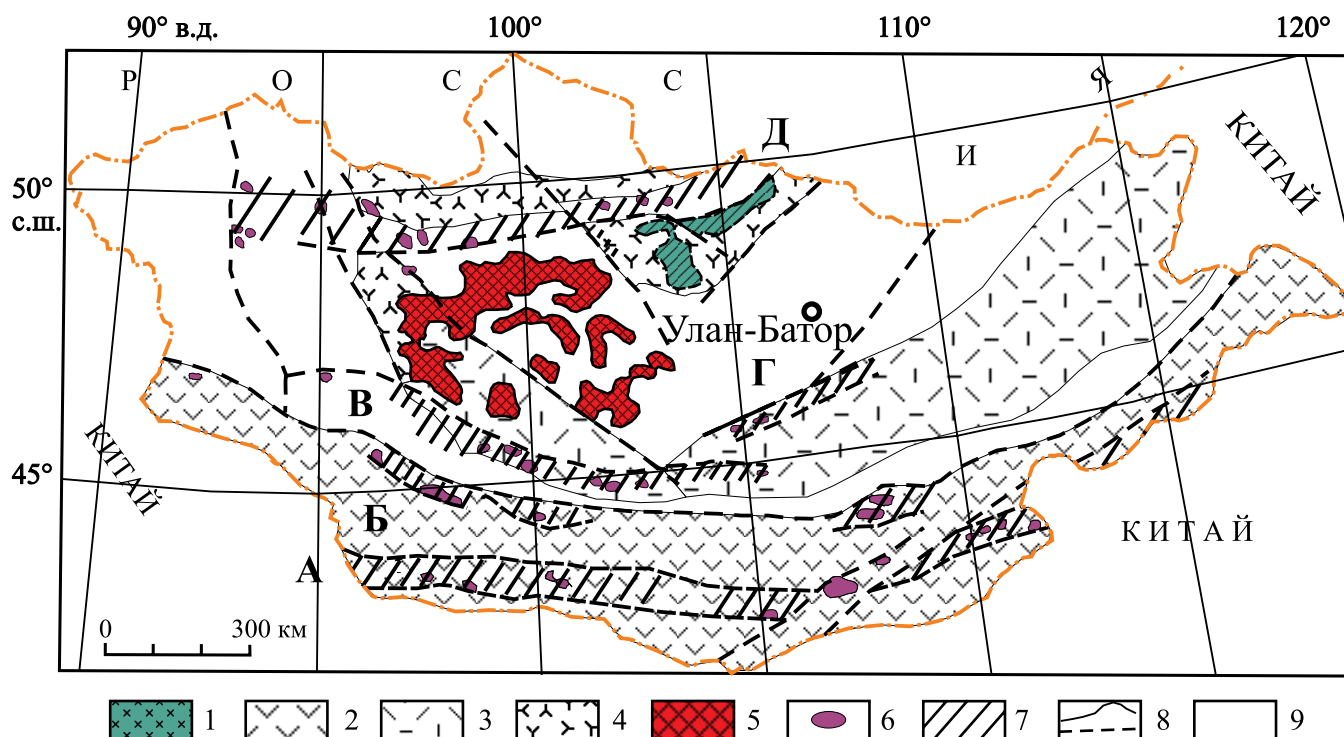


**Рис. 6.** Схема зонального размещения типов гранитов и рудных месторождений Сихотэ-Алиня России (А) и юго-западной Японии (Б). Составлена В.А. Баскиной (Курчавов и др., 1999).

1 – пояс позднекрейдовыми ильменитового типа гранитов; 2 – пояс палеогеновых магнетитового типа гранитов; 3 – место-  
рождения главных элементов; 4 – возраст рудных месторождений для Японии, по (Ishichara et al., 1988); 5 – разломы;  
6 – разрыв положения по Японскому морю.

**Fig. 6.** Schematic map showing the zonal distribution pattern of granites and ore deposits Sikhote-Alin, Russia (A) and Southwestern Japan (Б), compiled by V.A. Baskina (Kurchavov et al., 1999).

1 – belt of Late Cretaceous ilmenite-type granites; 2 – belt of Paleogene magnetite-type granites; 3 – major-element ore deposits;  
4 – age of ore deposits, according to (Ishichara et al., 1988); 5 – faults; 6 – pull-apart line for the Sea of Japan area.



**Рис. 7.** Схема размещения каменноугольно-пермских магматических образований в Монгольском сегменте Евразийского позднепалеозойского окраинно-континентального вулканического пояса, по (Kovalenko et al., 1995) с изменениями.

Пермские рифтовые зоны: А – Гоби-Тяньшаньская, Б – Главного Монгольского линеймента, В – Гоби-Алтайская, Г – Северо-Монгольская – Трансбайкальская, Д – Северо-Гобийская. 1 – пермские субщелочные базальты; 2 – вулканиты известково-щелочной серии нормальной щелочности: андезибазальты, андезиты, дациты и риодациты второй половины раннего карбона – среднего карбона (Южно-Монгольский пояс); 3 – раннепермские базальты, андезиты, дациты и риолиты (Центрально-Монгольский пояс); 4 – вулканиты известково-щелочной серии повышенной щелочности: позднекаменноугольные–раннепермские андезибазальты, трахибазальты, трахиандезиты, риолиты (Северо-Монгольский пояс); 5 – Хангайские граниты; 6 – щелочные граниты; 7 – границы рифтовых зон (пермские бимодальные базальт-пантеллерит-командитовые ассоциации); 8 – границы вулканических полей, разломы; 9 – подстилающие образования.

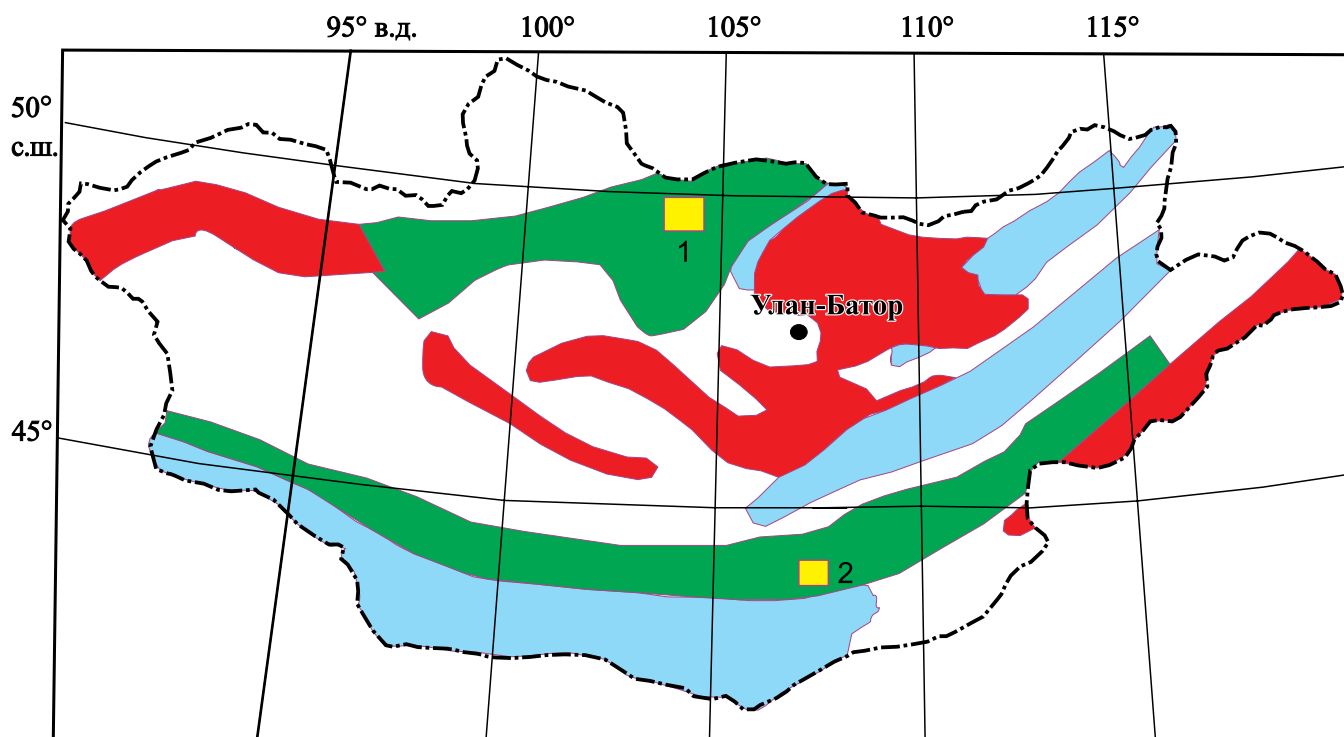
**Fig. 7.** Distribution of Carboniferous-Permian magmatic formations in the Mongolian segment of the Eurasian Late Paleozoic marginal-continental volcanic belt. Compiled by (Kovalenko et al., 1995) with changes.

Permian rift zones: А – Gobi-Tianshan, Б – Main Mongolian lineament, В – Gobi-Altai, Г – North Mongolian-Transbaikalian, Д – North Gobi. 1 – Permian subalkaline basalts; 2 – calcareous-alkaline volcanites of normal alkalinity: andesibasalts, andesites, dacites and rhyodacites of the second half of the Early Carboniferous – Middle Carboniferous (South Mongolian belt); 3 – Early Permian basalts, andesites, dacites and rhyolites (Central Mongolian belt); 4 – calcareous-alkaline volcanites series of increased alkalinity: late Carboniferous – Early Permian andesibasalts, trachybasalts, trachyandesites, rhyolites (North Mongolian belt); 5 – Khangai granites; 6 – alkaline granites; 7 – rift zone boundaries (Permian bimodal basalt – pantellerite-comendite associations); 8 – boundaries of volcanic fields, faults; 9 – underlying formations.

бимодальные ассоциации. Это связано с коллизийными процессами. В условиях сжатия при межконтинентальной коллизии континентальная плита, перекрывающая срединно-океаническую рифтовую зону и питающий ее мантийный диапир, не смогла расколоться и стала утолщаться. В условиях межконтинентальной коллизии, скупивания и возрастания вертикальной мощности отложений это выразилось в реомобилизации сиалической коры и образовании гранитов. В перми вместо стандартной асимметричной зональности она приобретает уже черты симметричности: в центре форми-

руется Хангайский батолит известково-щелочного типа, а севернее и южнее его в это время – бимодальные ассоциации (рис. 7).

В этом же направлении меняется и металлогеническая специфика. В центре располагаются редкометалльные месторождения, связанные с гранитоидами, а к югу и к северу от них формируются месторождения полиметаллические и меди. Последние представлены крупными месторождениями порфирового типа: Эрдэнэт на севере и Шутэн на юге (рис. 8).



**Рис. 8.** Расположение металлогенических зон верхнего палеозоя – низов мезозоя в Монголии, по (Коваленко и др., 1990; Kirwin at al., 2005).

Цветом выделены зоны оруденения: красным – редкометалльного, зеленым – медно-порфирового, голубым – полиметаллического. Промышленные медно-порфировые месторождения: 1 – Эрдэнэт, 2 – Шутээн.

**Fig. 8.** Position of metallogenic zones of Upper Paleozoic – Under Mesozoic in Mongolia, according to (Kovalenko et al., 1990; Kirwin et al., 2005).

The zones of mineralization are highlighted in color: red – rare metal, green – copper-porphyry, blue – polymetallic. Industrial copper-porphyry deposits: 1 – Erdenet, 2 – Shuteen.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Сходная односторонняя и однотипная латеральная изменчивость и зональность ключевых индикаторных параметров магматических образований (кремнекислотность, щелочность пород, кали-натровых отношений в них, типов гранитоидов и т.д.) отмечается для орогенных окраинно-континентальных вулканоплутонических поясов разного возраста. Изменение вещественных параметров вулканогенных и интрузивных пород происходит с удалением их ареалов от зоны перехода океан–континент вглубь консолидированных частей последнего и трактуется как результат взаимодействия континентальных и океанических плит под воздействием субдукционных процессов. В этом же направлении происходит смена халькофильных рудных формаций на редкометалльные.

Современный рисунок такой односторонней изменчивости вещественных параметров пород может нарушаться различиями в геологической исто-

рии блоков как в доорогенный период, так и на стадии формирования окраинно-континентального пояса. Нарушение также может быть связано с более поздними перемещениями блоков.

Поэтому выявление изначальной зональности требует всестороннего анализа, в том числе особенностей расположения эндогенных рудных объектов, для выделения предполагаемой фронтальной зоны вулканических поясов и, соответственно, границы океан–континент (Самыгин и др., 2015; Косарев и др., 2021; Курчавов, 2022).

Один из надежных приемов установления зональности магматизма и выявления фронтальных зон поясов – картирование петрохимической сериальной принадлежности ассоциаций магматитов разных хронологических уровней в пределах всего ареала распространения магматизма. Для более полной и надежной идентификации геодинамических обстановок формирования поясов и палеотектонических реконструкций важна роль металлогенических данных. В современных исследованиях это еще не нашло должного применения.

Такой комплексный подход позволяет выявить принципиально новые моменты в строении, характере сегментированности и истории формирования даже хорошо изученных вулканических поясов и особенностей расположения металлогенических зон в их пределах.

При нарушении сплошности окраинно-континентальных поясов в результате подъема мантийного диапира (или плюма) в его пределах формируется симметричная магматическая и металлогеническая зональность со сменой от зоны раздвига полиметаллических колчеданных месторождений на медно-порфировые и затем на редкометалльные. Подобная симметричная металлогеническая зональность является индикатором зон деструкции. Симметричная металлогеническая зональность характерна также для коллизионных поясов, но расположение зон прямо противоположное: в центре (в зоне скупивания) формируются гранитоиды, сопровождаемые редкометалльными месторождениями, в то время как в удалении в обе стороны от центра появляются медно-порфировые, а затем полиметаллические месторождения колчеданного типа.

Так, при сходности магматической зональности Монгольского сегмента с Южным Сихотэ-Алинем и юго-западной Японией и обусловленности ее в обоих случаях воздействием поднимающегося мантийного диапира (или плюма) геодинамические последствия были разными. На Дальнем Востоке это происходило в окраинно-континентальной обстановке, что способствовало растяжению над диапиром коры континентальной окраины, ее раздвигу и образованию окраинного моря с субокеанической корой. В Монголии, наоборот, при сильнейшем сжатии вследствие утолщения коры в центральной части проявилось гранито- и сводообразование.

Это отразилось и на металлогении. Если в Южном Сихотэ-Алине и юго-западной Японии Pb-Zn и Mo месторождения группируются в центре, Sn-W – по периферии, то в Монгольском сегменте расположение зон обратное: над диапиром в области распространения гранитоидных плутонов располагаются Sn-W месторождения, а по периферии – Cu-Mo.

Использование особенностей смены металлогенических зон по латерали позволяет надежнее идентифицировать геодинамическую сущность сходной по типу проявления магматической зональности.

### Благодарности

Многолетние исследования зональности орогенных поясов и особенностей размещения эндогенных месторождений в их пределах проводились в тесном содружестве с А.А. Моссаковским, В.А. Баскиной и М.К. Бахтевым, светлой памяти которых посвящается эта статья.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонюк Р.М., Исмаилов Х.К. (2019) Промышленные месторождения металлических полезных ископаемых Центрального Казахстана. Геодинамическая позиция, строение, состав руд. Караганда: PAPIRUS, 85 с.
- Белый В.Ф. (1978) Формации и тектоника Охотско-Чукотского вулканического пояса. М.: Наука, 213 с.
- Васильев Б.И. (1989). Вопросы строения и развития лова Тихого океана. *Тихоокеан. геология*, (4), 3-10.
- Гранкин М.С., Мальченко Е.Г., Бекжанов Г.Р., Курчавов А.М., Жуков Н.М. (2018) Рудоносность вулканоплутонических поясов Центрального Казахстана. *Геология и недропользование Казахстана*, 2(2), 29-33.
- Коваленко В.И., Ярмолюк В.В. (1990) Эволюция магматизма в структурах Монголии. *Эволюция геологических процессов и металлогения Монголии. Труды совместной Советско-Монгольской научно-исследовательской экспедиции*. Вып. 49. М.: Наука, 23-54.
- Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Самойлов В.С. и др. (1990) Новые рудные проявления и металлогенические провинции Монголии. *Эволюция геологических процессов и металлогения Монголии. Труды совместной Советско-Монгольской научно-исследовательской экспедиции*. Вып. 49. М.: Наука. 187-212.
- Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б., Шафигуллина Г.Т. (2021) Геодинамические условия вулканизма и колчеданообразования в Магнитогорской мегазоне в позднеэмское-раннеэфельское время. *Литосфера*, (6), 775-804. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-21-6-775-804>
- Курчавов А.М. (2022) Геодинамические аспекты зональности магматизма и металлогении орогенных вулканоплутонических поясов. *Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы – 2022*. Мат-лы ЛIII Тектонич. совещ. Т. 1. М.: ГЕОС, 258-262. ISBN 978-5-89118-864-4
- Курчавов А.М., Баскина В.А., Бахтеев М.К., Моссаковский А.А. (1999) Проблемы геодинамической и палеотектонической интерпретации петрохимической зональности вулканических поясов. *Геотектоника*, (1), 64-80.
- Курчавов А.М., Баскина В.А., Моссаковский А.А. (1998) Геодинамические аспекты формирования металлогенической зональности орогенных окраинно-континентальных вулканических поясов. *Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления*. Мат-лы II Всеросс. металлогенического совещ. Иркутск: Ин-т геохимии СО РАН, Сантей, 294-295.
- Курчавов А.М., Гранкин М.С., Мальченко Е.Г., Жуковский В.И., Хамзин Б.С., Мазуров А.К., Хамза С.Х. (2000) Зональность, сегментированность и палеогеодинамика девонского вулканического пояса Центрального Казахстана. *Геотектоника*, (4), 32-43.
- Курчавов А.М., Гранкин М.С., Мальченко Е.Г., Хамзин С.Х., Мазуров А.К. (2002) Металлогеническая зональность девонского вулканоплутонического пояса Центрального Казахстана. *Геол. рудн. месторождений*, 44(1), 22-30.
- Курчавов А.М., Хамзин Б.С. (2017) Главнейшие рубежи рудообразования в орогенных структурах каледонид Северного и Центрального Казахстана. *Изв. национальной академии наук Республики Казахстан*.

- Сер. геологии и техн. наук, **3**(423), 24-34.
- Медно-порфировые месторождения. (1986) Сер.: Балхашский сегмент. Алма-Ата: Наука КазССР, 200 с.
- Металлогения Казахстана. Рудные формации. Месторождения руд меди. (1978а) Алма-Ата: Наука КазССР, 191 с.
- Металлогения Казахстана. Рудные формации. Месторождения руд свинца и цинка / А.А. Абдулин, А.К. Каюпов, В.Г. Ли и др. (1978б) Алма-Ата: Наука КазССР, 267 с.
- Металлогения Казахстана. Рудные формации. Месторождения руд редких металлов. (1981) Алма-Ата: Наука КазССР, 208 с.
- Металлогения Монгольской Народной Республики (медь, молибден). (1985) Новосибирск: Ротапринт, 40 с.
- Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. (2009) (Отв. ред. Л.П. Шарпенко) СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 200 с.
- Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н., Курчавов А.М. (2015) Тектоническое развитие Казахстана и Тянь-Шаня в неопротерозое и в раннем-среднем палеозое. *Геотектоника*, (3), 66-92.
- Сейтмуратова Э.Ю., Жунусов А.А., Аршамов Я.К., Сайдашева Ф.Ф., Жакупова Ш.А., Парфенова Л.П., Баратов Р.Т., Даутбеков Д. (2013) Перспективы направления поисков промышленных медно-порфировых месторождений в Акшатау-Коныратском рудном районе. *НАН РК, сер. геологии и техн. наук*, (3), 24-35.
- Сидоров А.А., Волков А.В., Галямов А.Л. (2019) О глобальной металлогенической зональности Тихоокеанского рудного пояса. *Вулканология и сейсмология*, (6), 23-35. DOI:https://doi.org/10.31857/S0203-03062019623-35
- Эволюция геологических процессов и металлогения Монголии. (1990) М.: Наука, 240 с.
- Baskina V. (1996) Mirror – image zonality of magmatism and ore deposits around the Japan Sea. *Recent Advances in Marine Science & Technology* 96. Narendra Saxena (ed.). Honolulu, 45-54.
- Byamba J., Mironov Yu.B., Jamsrandorge. (2018) Mongolian geodynamics and uranium metallogenesis. Ulaanbaatar, Soyombo printing, 324 p. (In Mongol).
- Christiansen R.L., Lipman P.W. (1972) Cenozoic volcanism and plate tectonic evolution of the western United States. *Phil. Trans Roy. Soc. Lond.*, **A-271**, 249-284.
- Dickinson W.R., Hatherton T. (1967) Andesitic volcanism and seismicity around the Pacific. *Science*, **157**(3790), 64-80.
- Gerel O., Munkhsengel B. (2005) Erdenetiin Ovoo Copper-Molybdenum Porphyry Deposit in Northern Mongolia. *Super Porphyry Copper & Gold Deposits – A Global Perspective*. (Ed. T.M. Porter). PGC Publishing, Adelaide. V. 2. P. 525-543.
- Ishihara S., Shibata K., Uchiumi S. (1988) K-Ar ages of ore deposits related to Cretaceous – Paleogene granitoids – summary in 1987. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **39**, 81-94.
- Kirwin D.J., Forster I., Kavalieris I. et al. (2005) The Oyu Tolgoi copper-gold porphyry deposits. South Gobi, Mongolia. *Geodynamics and Metallogeny of Mongolia with a special Emphasis on Copper and Gold Deposits*. (Eds R. Seltmann, O. Gerel, D. Kirwin). IAGOD Guidebook series 11, CERCAMS/NHM. London, 155-168.
- Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B., Shafigullina G.T. (2021) Geodynamic conditions of volcanism and pyrite formation in the Magnitogorsk megazone in the Late Emsian-Early Eiffel time. *Lithosphere*, (6), 775-804. (In Russ.) https://doi.org/10.24930/1681-9004-2021-216-775-804
- Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V. (1990) Evolution of magmatism in the structures of Mongolia. *Evolution of geological processes and metallogeny of Mongolia. Proceedings of the joint Soviet-Mongolian scientific research expedition*. Iss. 49. Moscow, Nauka Publ., 23-54. (In Russ.)
- Kovalenko V., Yarmolyuk V., Bogatkov O. (1995) Magmatism, geodynamics and metallogeny of Central Asia. Moscow, MIKO – Commercial Herald Publishers, 275 p.
- Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Samoilov V.S. et al. (1990) New ore manifestations and metallogenic provinces of Mongolia. Evolution of geological processes and metallogeny of Mongolia. *Proceedings of the joint Soviet-Mongolian scientific research expedition*. Iss. 49. Moscow, Nauka Publ., 187-212. (In Russ.)
- series 11, CERCAMS/NHM. London, 155-168.
- Kovalenko V., Yarmolyuk V., Bogatkov O. (1995) Magmatism, geodynamics and metallogeny of Central Asia. Moscow, MIKO – Commercial Herald Publishers, 275 p.
- Petersen U. (1970) Metallogenic provinces in South America. *Geol. Rundsk.*, **59**, 834-897.

## REFERENCES

- Kurchavov A.M. (2022). Geodynamic aspects of the zonality of magmatism and metallogeny of orogenic volcanic-plutonic belts. *Tectonics and geodynamics of the Earth's crust and mantle: fundamental problems – 2022*. Materials of the LIII Tectonic Meeting. V. 1. Moscow, GEOS Publ., 258-262. (In Russ.)
- Kurchavov A.M., Baskina V.A., Bakhteev M.K., Mossakovsky A.A. (1999) Problems of geodynamic and paleotectonic interpretation of petrochemical zonality of volcanic belts. *Geotectonics*, (1), 64-80 (translated from *Geotektonika*, (1), 64-80).
- Kurchavov A.M., Baskina V.A., Mossakovskii A.A. (1998) Geodynamic aspects of the formation of metallogenic zonality of orogenic marginal continental volcanic belts. *Metallogeny, oil and gas potential and geodynamics of the North Asian craton and orogenic belts of its framing*. Materials of the II All-Russian Metallogenic Meeting. Irkutsk: Institute of Geochemistry SB RAS, LLC "Santey", 294-295. (In Russ.)
- Kurchavov A.M., Grankin M.S., Mal'chenko E.G., Zhukovskii V.I., Khamzin B.S., Mazurov A.K., Khamza S.H. (2000) Zonality, segmentation and paleogeodynamics of the Devonian volcanic belt of Central Kazakhstan. *Geotectonics*, (4), 32-43 (translated from *Geotektonika*, (4), 32-43).
- Kurchavov A.M., Grankin M.S., Mal'chenko E.G., Khamzin S.H., Mazurov A.K. (2002) Metallogenic zonality of the Devonian volcanic-plutonic belt of Central Kazakhstan. *Geol. Ore Depos.*, **44**(1), 22-30 (translated from *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **44**(1), 22-30).
- Kurchavov A.M., Khamzin B.S. (2017) The main boundaries of ore formation in the orogenic structures of the Caledonides of Northern and Central Kazakhstan. *Izv. Natsional'noi Akademii Nauk Respubliki Kazakhstan. Ser. Geol. i Tekhn. Nauk*, **3**(423), 24-34. (In Russ.)
- Metallogeny of Kazakhstan. Ore formations. Deposits of copper ores. (1978a) Alma-Ata, Nauka Publ., Kaz. otd., 191 p. (In Russ.)
- Metallogeny of Kazakhstan. Ore formations. Deposits of copper ores. (1978b) Alma-Ata, Nauka Publ., Kaz. otd., 267 p. (In Russ.)
- Metallogeny of Kazakhstan. Ore formations. Deposits of copper ores. (1981) Alma-Ata, Nauka Publ., Kaz. otd., 208 p. (In Russ.)
- Petersen U. (1970). Metallogenic provinces in South America. *Geol. Rund.*, **59**, 834-897.
- Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations. (2009) (Rev. ed. L.P. Sharpenok). St.Petersburg, VSEGEI Publishing House, 200 p.
- Seitmuratova E.Yu., Zhunusov A.A., Arshamov Ya.K., Saidasheva F.F., Zhakupova Sh.A., Parfenova L.P., Baratov R.T., Dautbekov D. (2013) Prospects for the direction prospecting for industrial porphyry copper deposits in the Akshatau-Konyrat ore region. *NAN RK, Ser. Geol. i Tekhn. Nauk*, (3), 24-35. (In Russ.)
- Sidorov A.A., Volkov A.V., Galyamov A.L. (2019) On the global metallogenic zonality of the Pacific Ore belt. *Vulkanologiya i Seismologiya*, (6), 23-35.