

ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРОГЕННОГО ВУЛКАНИЗМА И ПРОБЛЕМЫ ЕЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

А.М. Курчавов

*Межведомственный петрографический комитет при отделении наук о Земле РАН (МПК РАН)
119017, Москва, Старомонетный пер., 35*

E-mail: petrocom@igem.ru

Поступила в редакцию 19 февраля 2004 г.

Орогенные вулканические пояса формируются на активных континентальных окраинах, на зрелых (энсиалических) островных дугах и в обстановке межконтинентальной коллизии. Общая особенность орогенных поясов – сходная тенденция в развитии и стадийности вулканизма. Главный хронологический формационный ряд заключается в смене раннеорогенных базальт-андезитовых или последовательно дифференцированных формаций базальт-андезит-дацит-риолитового ряда преимущественно риодацит-риолитовыми формациями среднеорогенной стадии и затем позднеорогенными монопородными или контрастными бимодальными формациями повышенной щелочности. Главный латеральный формационный ряд, свойственный всем стадиям развития поясов, заключается в смене относительно более низкокальциевых образований фронтальной зоны поясов более высококальциевыми и щелочными образованиями в их тыловой зоне. Зональность может существенно изменяться в ходе становления поясов – асимметричная магматическая зональность может сменяться симметричной зональностью и наоборот. Кроме того, асимметричная зональность может быть лишь региональным выражением более глобальной зональности магматизма.

Ключевые слова: зональность, вулканизм, орогенные пояса, палеорекострукции, геодинамика.

ZONALITY OF OROGENIC VOLCANISM AND PROBLEMS OF ITS GEODYNAMIC INTERPRETATION

A.M. Kurchavov

Interdepartmental Petrographic Committee of Departmental Earth Sciences of RAS

Orogenic volcanic belts form on active continental margins, mature (ensialic) island arcs and under conditions of intercontinental collision. The common feature of orogenic belts is a similar trend in the evolution and stages of volcanism. The main chronological formation series is in the change of early orogenic basalt-andesite or sequentially differentiated formations of basalt-andesite-dacite-riolite series by largely riодацит-риолит formations of a midorogenic stage and later on by late orogenic monorock or contrastive bimodal formations of increased alkalinity. The main lateral formation series (raw), which is typical for all the stages of belt evolution, consists in the change of relatively more low-potassium formations of the belt frontal zone by more high-potassium and alkaline formations in their rear zone. Zonality might substantially change during the belt evolution – asymmetric magmatic zonality might be followed by symmetric zonality and vice versa. Besides, asymmetric zonality might be just a regional manifestation of more global zonality of magmatism.

Key words: zonality, volcanism, orogenic belts, paleoreconstructions, geodynamics.

Под орогенным понимается завершающий этап преобразования океанической коры в континентальную, отвечающий континентальной стадии развития подвижных поясов в условиях горного расчлененного рельефа. Соответственно образуемые в этот этап линейно вытянутые ареалы наземных вулкаников рассматриваются как орогенные вулканические пояса. Подобные пояса формируются в различных геотектонических ситуациях: на активных континентальных окраинах, на зрелых (энсиалических) островных дугах и в обстановке межконтинентальной коллизии.

Петрохимическая поперечная асимметричная зональность орогенных вулканических поясов окраинно-континентального и островодужного типов после известных работ Х. Куно, У. Диккинсона, Л.П. Зоненшайна, Т. Хазертонна, Н. Сугимура, П. Липмана, И. Ратсю и многих других исследователей стала общепризнанным фактом и на протяжении нескольких десятилетий используется в мировой практике как важный признак субдукционного типа конвергентных границ литосферных плит [Зоненшайн и др., 1976; Dickinson, Natherton, 1967]. Выявление окраинно-континентальных и островодужных вулканических поясов и определение направленности петрохимической зональности в них стали одним из основных инструментов для реконструкции геодинамических обстановок геологического прошлого в фанерозойских складчатых поясах континентов.

Вместе с тем установлено, что сходная петрохимическая зональность может проявляться в различных геотектонических ситуациях, а со временем тип зональности может существенно меняться. Эти принципиальные особенности изменения вещественных параметров пород по латерали и во времени на примере фанерозойских поясов Азии были рассмотрены ранее [Курчавов и др., 1999].

В данной статье акцентируется внимание на некоторых других аспектах геодинамической интерпретации зональности магматизма.

Несмотря на различные геотектонические ситуации проявлений орогенного магматизма, тенденции в последовательности и стадийности магматических проявлений поясов разного типа, как и слагающих их ареалов разной геоструктурной позиции, сходны. Ранней стадии обычно свойственны монопородные формации базальт-андезитового ряда или формации последовательно дифференцированные базальт-

андезит-дацит-риолитовые или контрастные типа андезибазальт-риолитовых (от ранних андезибазальтовых проявлений к поздним риолитовым). Для средней стадии характерно доминирование риодацит-риолитовой формации. Именно в эту стадию наиболее мощно проявлен игнимбритовый вулканизм. Для поздней стадии характерны контрастные бимодальные формации базальт-риолитового типа или монопородные, но все повышенной щелочности [Курчавов, 1994].

Вместе с тем, магматические формации значительно варьируют по латерали, формируя сопряженные латеральные ряды. В целом, окраинно-континентальным поясам свойственна асимметричная (односторонняя поперечная) зональность магматизма. Она выражается в сокращении объемов магматических продуктов андезит-базальтового ряда и росте объемов кремнекислых разностей от фронтальной зоны к тыловой зоне поясов. В этом же направлении усиливается роль субщелочных и щелочных комплексов, растут кали-натровые отношения и концентрации радиогенных изотопов в одновозрастных однотипных сериях, падает уровень окисленности пород, происходит смена металлогенической специализации магматитов. Подобная поперечная петрохимическая зональность связывается с процессами субдукции океанической коры и последовательным заглублением магматических очагов с выплавкой все более щелочных магм [Курчавов и др., 1999, 2000].

Взаимодействие этих двух главных (хронологического и латерального) формационных рядов приводит, в целом, к сложной интегрированной картине размещения формаций в конкретных современных выходах.

Установлено, что явления асимметричной петрохимической поперечной и продольной зональности могут возникать в разных тектонических ситуациях. Было показано, что однотипная зональность, например направленная латеральная изменчивость кремнекислотности, щелочности пород или кали-натровых отношений в них, может возникнуть под влиянием тектонических процессов разных порядков и рангов. Такая зональность может проявляться внутри континентальных плит, отражая различия геологической предыстории соседних блоков фундамента вулкаников, или в пределах относительно узких линейных зон, развивающихся под воздействием поперечных сквозных структур [Тектоника, магматизм..., 1985].

Принципиально важным явилось установление на примере различных орогенных вулканических поясов Азии (Центрально-Казахстанского девонского, Сихотэ-Алинского мезо-кайнозойского, включая его отторженные фрагменты в Японии, Евразийского позднепалеозойского) смены асимметричной зональности магматизма на симметричную или наоборот на разных стадиях формирования поясов [Журчавов и др., 1999, 2000]. Подобная смена зональности связана с изменением геотектонических ситуаций в ходе формирования поясов и проявляется по-разному.

Так, в современной структуре Центрального Казахстана для девонских континентальных магматических образований трех главных стадий развития характерны две зоны, различающиеся петрохимическими особенностями пород. Эти зоны закономерно сменяют одна другую по латерали (рис. 1, 2). Одной из них, расположенной вдоль границы с морскими бассейнами девонской терригенной седиментации, свойственны породы преимущественно известково-щелочной серии пониженной калиевости. Это фронтальная (внутренняя) зона вулканического пояса. Другая зона (тыловая или внешняя зона вулканического пояса), объединяющая магматические арсалы внутренних частей структур, характеризуется широким развитием вулканогенных и интрузивных пород относительно повышенной общей щелочности и калиевости. В современной структуре девонского континентального вулканического пояса Центрального Казахстана выделяются сегменты: Северо-Восточный, Сарысу-Тенгизский, Бетпакдалинский. Особое положение занимает Чингизский сегмент.

Характерная особенность всех стадий девонского магматизма Северо-Восточного сегмента – сходная асимметричность расположения магматических ассоциаций разной петрохимической принадлежности со сменой от преимущественно известково-щелочных во фронтальной зоне на более калиевые этой же ветви и шопонитовые в тыловой зоне (см. рис. 1, 2).

Сарысу-Тенгизский сегмент отличается мозаичностью расположения блоков девонских пород разной петрохимической сериальной принадлежности: нередко блоки с более высокощелочными или высококалиевыми девонскими континентальными магматическими породами располагаются со стороны Джунгаро-Балхашского бассейна, а блоки низкощелочных или низкокалиевых пород – в стабилизированных

частях каледонского континента. Подобная блоковость и мозаичность, с одной стороны, объяснены интенсивным латеральным перемещением, определившим современный структурный план рассматриваемого сегмента, что неоднократно отмечалось многими исследователями данного региона. С другой стороны, для начала девона положение блоков пород пониженной общей щелочности или калиевости во внутренних частях каледонского массива коррелируется с полосой распространения здесь субаквальных терригенных осадков. По внешнему обрамлению тыловой зоны Сарысу-Тенгизского сегмента (со стороны консолидированного каледонского континента) между континентальной молассой и континентальными вулканиками развита полоса нижнедевонских прибрежно-морских слоистых терригенных пород мощностью в несколько сотен метров. На востоке сегмента данная полоса сливается с Джунгаро-Балхашским бассейном раннедевонской морской терригенной седиментации. На юго-западе сегмента полоса распространения указанных отложений открывается в пределы Чу-Сарысуиской впадины, так что ареал распространения девонских континентальных магматических образований юго-восточной части Сарысу-Тенгизского сегмента как бы отделен от его северо-западной части. К данной полосе тяготеют выходы раннедевонских магматических образований пониженной щелочности и калиевости, включая разновидности низкокалиевой ветви известково-щелочной серии, иногда толеитовой. В целом это придает симметричность в расположении петрохимических зон раннедевонского магматизма (рис. 1). Более поздним стадиям развития рассматриваемого сегмента девонские субморские терригенные комплексы в тыловой зоне уже не свойственны. Для девонских магматических образований характерна в целом уже асимметричная зональность с отчетливо выраженным нарастанием щелочности и калиевости пород при удалении от Джунгаро-Балхашского морского бассейна во внутренние части каледонского массива (рис. 2).

Бетпакдалинскому сегменту, как и Сарысу-Тенгизскому, также свойственна петрохимическая симметричность раннедевонских магматических образований. Нижнедевонские породы пониженной щелочности и калиевости располагаются как на востоке, так и на западе данного сегмента, в то время как более щелочные и высококалиевые разновидности тяготеют к его

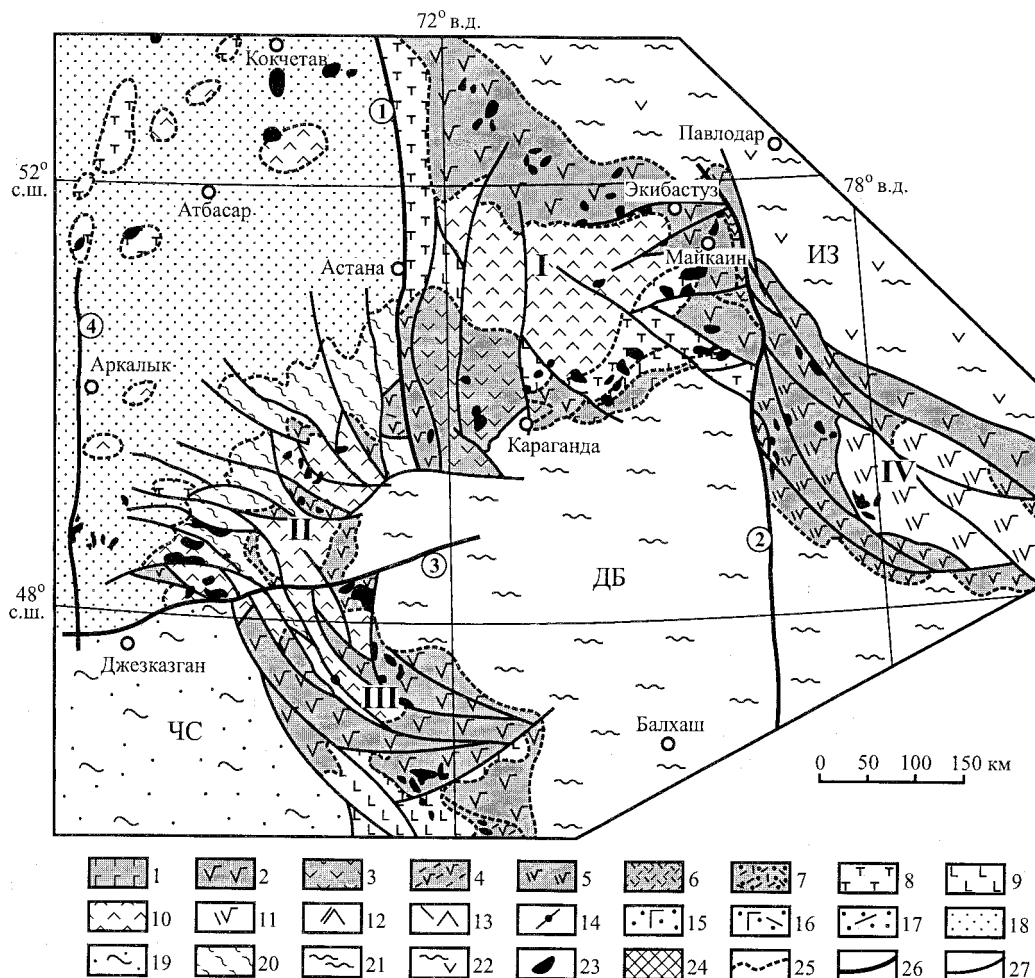


Рис. 1. Современное распространение раннеорогенных формаций (низы нижнего девона) девонского вулканического пояса Центрального и Северного Казахстана. По [Курчавов и др., 2000].

Формации: 1-7 – известково-щелочные с подчиненными толеитовыми разновидностями: 1 – базальт-андезибазальтовая, 2 – базальт-андезибазальт-андезитовая, 3 – андезибазальт-андезит-андезидацитовая с дацитами и риодацитами, 4 – контрастная андезибазальт-кремнекислая, 5 – андезит-дацит-риолитовая, 6 – риодацит-риолитовая, 7 – терригенная с подчиненными риодацитами и риолитами; 8-17 – преимущественно известково-щелочные повышенной калиевости и шошонитовые: 8 – трахибазальт-трахиандезибазальт-трахиандезит-трахитовая с подчиненными базальтами и андезибазальтами, 9 – трахибазальт-базальтовая, 10 – трахибазальт-трахиандезибазальт-трахиандезитовая с подчиненными базальтами, андезибазальтами и андезитами, 11 – трахиандезит-трахидацит-трахириолитовая, 12 – трахиандезит-трахириодацит-трахириолитовая с дацитами и риолитами, 13 – контрастная трахиандезибазальт-трахириодацитовая, 14 – трахириодацит-трахириолитовая, 15-17 – преимущественно терригенная: 15 – с трахибазальтами и трахиандезибазальтами, 16 – трахибазальтами, трахиандезибазальтами и трахириодацитами, 17 – с трахириодацитами и трахириолитами; 18 – терригенная моласса; 19 – терригенные континентальные и, возможно, прибрежно-морские осадки; 20-23 – образования: 20 – субаквальные терригенные, 21, 22 – девонские морские; 21 – преимущественно терригенные, 22 – терригенные и вулканогенные; 23 – интрузивные; 24 – выходы докембрийского фундамента в краевой части Джунгаро-Балхашской области (только на рис. 4); 25 – границы распространения ассоциаций пород; 26, 27 – разрывные нарушения: 26 – региональные разломы (цифры в кружках: 1 – Целиноградский, 2 – Центрально-Казахстанский, 3 – Успенский, 4 – Улутауский), 27 – прочие разрывные нарушения. Буквами обозначены: ЧС – Чу-Сарысульская впадина; ДБ – Джунгаро-Балхашская и ИЗ – Иртыш-Зайсанская подвижные области. Римскими цифрами обозначены сегменты: I – Северо-Восточный, II – Сарысу-Тенгизский, III – Бетпақдалинский, IV – Чингизский. Распространение преимущественно известково-щелочных ассоциаций пониженной калиевости выделено темным тоном, а распространение ассоциаций высококальциевой ветви известково-щелочной серии, шошонитовой серии и континентальной молассы показано светлым тоном.

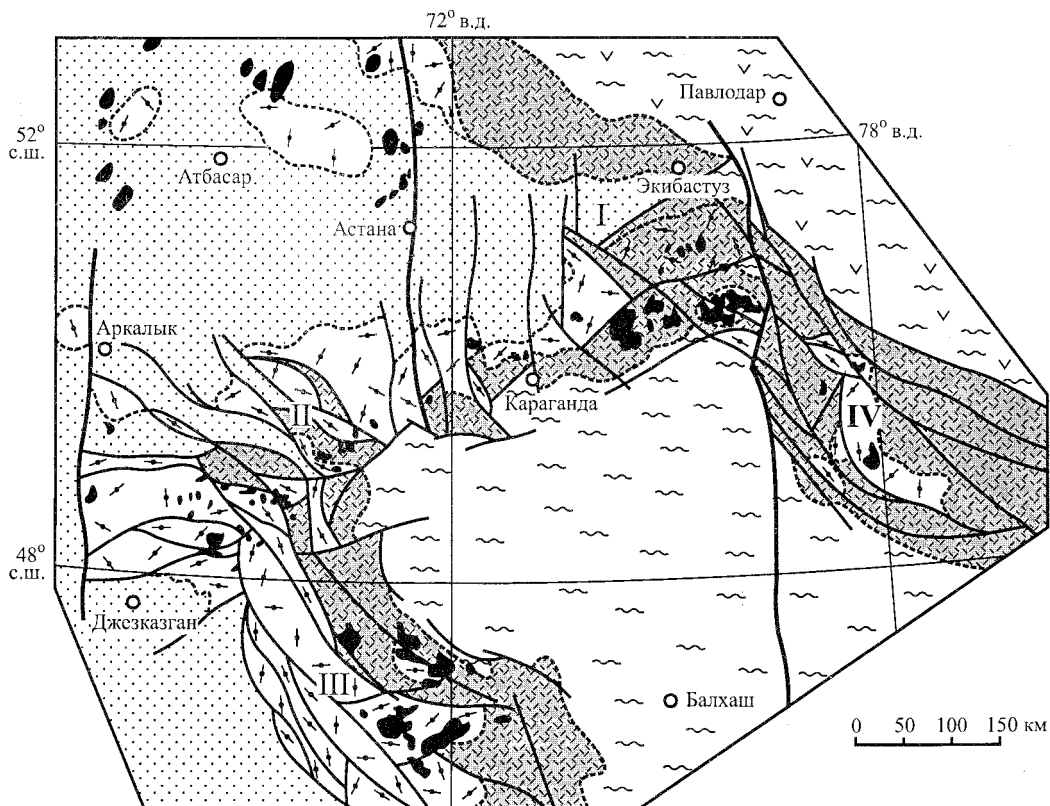


Рис. 2. Современное распространение среднеорогенных формаций (верхи нижнего девона –эйфель) девонского вулканического пояса Центрального и Северного Казахстана. По [Курчавов и др., 2000].

Условные обозначения смотрите на рис. 1.

осевой части. Такое расположение петрохимических зон здесь совпадает с областями распространения терригенных комплексов нижнего девона. С восточной стороны Бетпакалинского сегмента располагается Джунгаро-Балхашская область морского осадконакопления. Западным обрамлением данного сегмента служит Чу-Сарысульская впадина, в пределах которой в низах девонского терригенного разреза, возможно, присутствуют прибрежно-морские отложения, ибо сюда непосредственно трассируется полоса распространения подобных образований из Сарысу-Тенгизского сегмента (см. рис. 1). Среднеорогенной стадии подобная симметричность расположения петрохимических зон уже не свойственна: общая щелочность и калиево-натриевость ассоциаций этого времени нарастает с удалением от границы с Джунгаро-Балхашским бассейном внутрь каледонского континента (см. рис. 2).

Отмеченная симметричность раннедевонского магматизма Сарысу-Тенгизского и

Бетпакалинского сегментов девонского континентального вулканического пояса Центрального Казахстана коррелируется с общей геоструктурной позицией данных сегментов в начале девона между Джунгаро-Балхашским остаточным океаническим бассейном на востоке (в современном плане) и задуговым раннедевонским морским бассейном на западе (в современном плане), сохранившиеся фрагменты которого установлены в последнее десятилетие [Курчавов и др., 2000]. По-видимому, в раннем девоне это были островодужные структуры с достаточно зрелой континентальной корой. Позднее, в конце раннего девона, они причленились к каледонскому массиву и развивались совместно с указанным выше Северо-Восточным сегментом в едином плане.

Изменение характера зональности магматизма мел-кайнозойского Сихотэ-Алинского (рис. 3) и Монгольского сегмента Евразийского позднепалеозойского (рис. 4) окраинно-континентальных поясов связано с другими причинами. В обо-

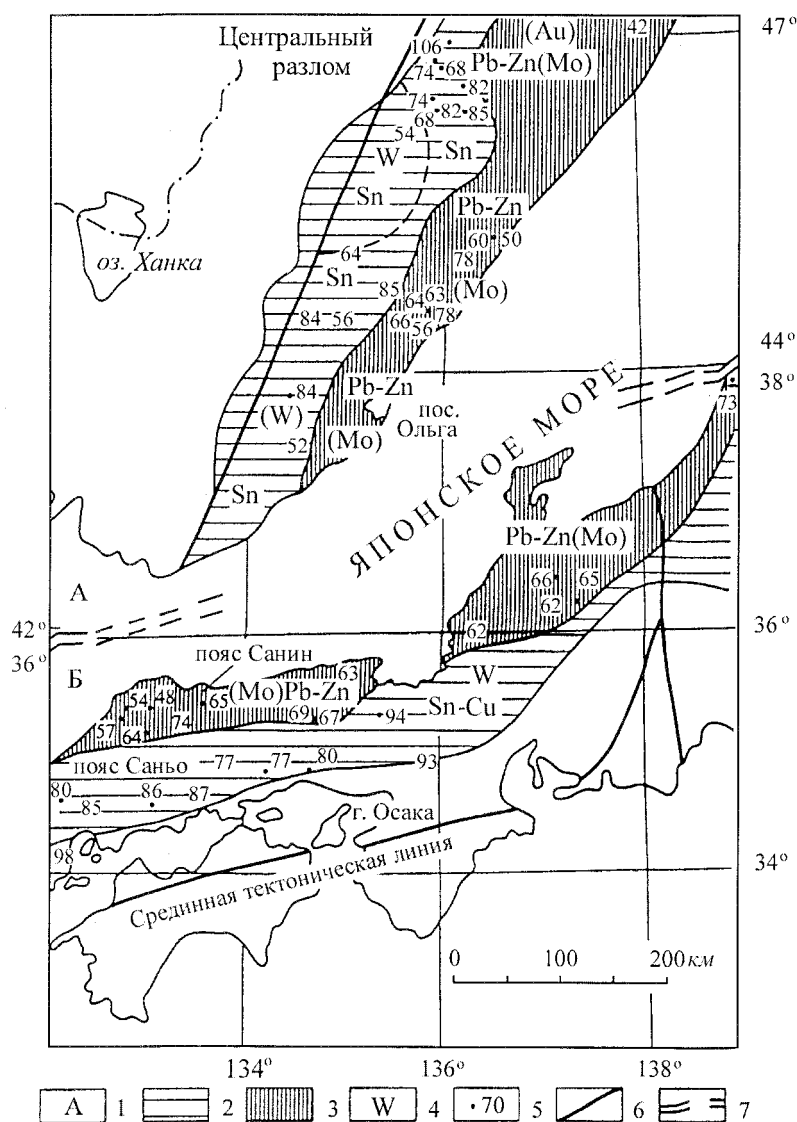


Рис. 3. Зональное размещение гранитов и связанной с ними минерализации вокруг Японского моря. Составила В.А. Баскина [Курчавов и др., 1999].

1: А – Приморский регион, Россия; Б – Юго-Западная Япония. 2 – пояс позднемеловых гранитов (ильменитовый тип); 3 – пояс палеогеновых гранитов (магнетитовый тип); 4 – месторождения главных металлов; 5 – возраст рудных месторождения; 6 – тектонические нарушения.

объем андезитов и базитов в разрезе не превышает 10%. При этом они локализуются главным образом близ западной границы пояса, 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 раз-

их поясах асимметричная петрохимическая зональность на ранних стадиях развития сменяется на последующих стадиях симметричной петрохимической и металлогенической зональностью в слагающих их магматических комплексах.

Особенности изменения зональности магматизма мел-палеогенового Сихотэ-Алинского вулканического пояса детально выявлены В.А. Баскиной [Курчавов и др., 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 четкая латеральная магматическая зональность данного пояса. Так, Южному сегменту этого пояса (Южному Сихотэ-Алиню) свойствен преимущественно доэоценовый кремнекислый магматизм. Общий

ностями I-типа, реже – S-типа. Для магматизма этой части пояса характерна металлогеническая специализация на олово и вольфрам (рис. 3). В прилегающих к Японскому морю частях пояса и в прибрежной акватории моря преобладают палеогеновые магматиты (возраст 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 возрастает общая щелочность магматитов, растут кали-натровые и рубидиево-калиевые отношения в них, увеличивается концентрация лития, фтора, падает окисленность пород. Т.е. 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 ЮЗ Японии. Считается доказанным, что после массовой раннемезозойской аккреции как Сихотэ-Алинь, так и ЮЗ Япония были частью единой Евразийской плиты, где в позднем мелу—палеогене образовался окраинно-континентальный вулканический 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 ЮЗ 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 (рис. 3). Обе части пояса (юг Восточного Сихотэ-Алиня и Юго-Западная Япония), каждая шириной по 150-200 км, заложены на сиалической коре мощностью до 40 км, включающей 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 (альб—сенман) 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 (возраст 75 млн лет). Они относятся к ильменитовой 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 вулканического пояса совпадают. Вблизи Японского моря, как в ЮЗ Японии, так и в Сихотэ-Алине, преобладают палеогеновые (70-50 млн лет) ассоциации магматитов I-типа, магнетитовой серии, обедненные

минерализаторами, имеющие более низкие (0.705-0.706) начальные отношения изотопов стронция. В обоих ареалах вдоль побережья Японского моря симметрично располагаются выходы эоценовых (50-40 млн лет) гранофиоров и субщелочных гранитов. Свинцово-цинковые и молибденовые месторождения мелового - палеогенового возраста Японии тяготеют к побережью Японского моря. Субазральные известково-щелочные андезиты, дациты и риолиты эоцен-олигоцена (46-32 млн лет) известны также на подводной возвышенности Ямато.

Выявленная для ареалов магматизма южной части Сихотэ-Алиня и Юго-Западной Японии общая симметричная петрохимическая и металлогеническая 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, с другой стороны, 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. Вероятно, 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 ремобилизации сиалического фундамента вулканического пояса и массовому выплавлению кислых магм, продукты которых преобладают в составе сенон—палеогеновых магматических продуктов Южного Сихотэ-Алиня и Японии. По мере подъема диапира над его кровлей в литос-

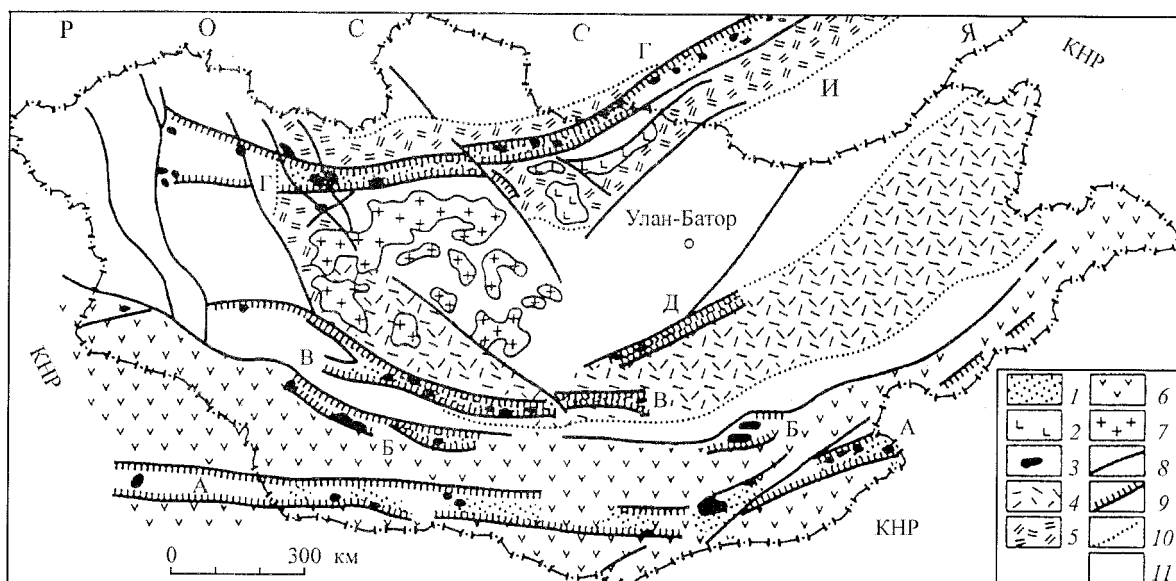


Рис. 4. Схема размещения каменноугольно – пермских магматических образований в Монгольском сегменте Евразийского позднепалеозойского окраинно-континентального вулканического пояса. По [Kovalenko et al., 1995] с упрощениями.

Пермские рифтовые зоны: А – Гоби-Тяньшаньская, В – Главного Монгольского линеймента, С – Гоби-Алтайская, Д – Северо-Монгольская–Трансбайкальская, Е – Северо-Гобийская.

1 – пермские бимодальные базальт-пантеллерит-комендитовые ассоциации рифтовых зон, 2 – пермские субщелочные базальты, 3 – щелочные граниты, 4-6 – дифференцированные вулканические комплексы: 4 – раннепермские базальты, андезиты, дациты и риолиты (Центрально-Монгольский пояс), 5 – позднекаменноугольные–раннепермские андезибазальты, трахибазальты, трахиандезиты, риолиты (Северо-Монгольский пояс), 6 – андезибазальты, андезиты, дациты и риодациты второй половины раннего карбона–среднего карбона (Южно-Монгольский пояс), 7 – Хангайские граниты, 8 – разломы, 9 – границы рифтовых зон, 10 – границы вулканических поясов.

фере усиливались процессы растяжения, которые сначала способствовали повышенной проницаемости коры для базитовых магм, а затем привели к ее разрыву и раздвигу. 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.

Монгольский сегмент Евразийского вулканического пояса заложен во второй половине раннего карбона на юго-восточном крае Северо-Евразийского палеоконтинента. Становление этого огромного палеоконтинента (в результате варисских аккреционных и коллизийных процессов) завершилось образованием вдоль всей его южной границы новой субдукционной зоны, в которой стала поглощаться океаническая кора прилегающего с юга позднепалеозойского океана Палеотетис. Именно с этой субдукционной зо-

ной и связывается большинством исследователей начало формирования Евразийского окраинно-континентального пояса. Во второй половине раннего карбона и в среднем карбоне, т. е. в начальную стадию формирования пояса, на краю континента в пределах варисцид Южной Монголии образовался фронтальный пояс известково-щелочного вулканизма (рис. 4). Он представлен мощными дифференцированными вулканическими сериями андезито-базальтового, андезитового, дацитового и риолито-дацитового состава. По своим петрохимическим характеристикам они относятся к известково-щелочной серии. Установлено, что в породах одинаковой кремнекислотности содержание калия возрастает от южной к северной части пояса. Таким образом, для ранней стадии формирования пояса была характерна стандартная петрохимическая зональность магматических пород окраинно-континентальных поясов.

В позднем карбоне–ранней перми область распространения вулканитов известково-щелочной серии смещается на север, в Центральную и Восточную Монголию, где развит комплекс андезитов, дацитов и риолитов нормальной щелочности до 2-3 км мощности. В Северной Монголии (в Орхон-Селенгинском прогибе) развита одновозрастная, но уже субщелочная вулканическая серия (до 3-4 км мощности). Она представлена лавами трахибазальтового, трахиандезитового, реже андезито-базальтового состава в нижней части и лавами и игнимбритами риолитового и трахириолитового состава – в верхней части. Повышенное содержание калия особенно характерно для наиболее меланократовых основных пород, что указывает на субщелочную природу основной родоначальной магмы. В Южной Монголии, в области распространения ранне-среднекаменноугольной известково-щелочной серии, как установлено В.В. Ярмолюком и В.И. Коваленко, раннепермские вулканиты представлены бимодальной базальт–трахириолит–комендитовой серией (до 2,5 км мощности), с которой пространственно связаны дайковые пояса того же состава, а также массивы щелочных гранитов. Они локализованы в двух субширотных грабенообразных зонах: Гоби-Тяньшанской – на юге и в зоне Главного Монгольского линеамента – на севере. По всем признакам, как петрологическим, так и структурным, нижнепермская бимодальная базальт–трахириолит–комендитовая серия Южной Монголии является полным аналогом магматических комплексов современных континентальных рифтов.

Таким образом, в первой половине ранней перми в Монгольском сегменте окраинно-континентального вулканического пояса характер петрохимической зональности в магматических породах принципиально изменился. Вместо стандартной асимметричной зональности, свойственной раннему–среднему карбону, возникла симметричная зональность, при которой область распространения известково-щелочных пород находилась в центре, а субщелочных и щелочных пород – на ее северной и южной периферии.

В дальнейшем, во второй половине ранней перми, в поздней перми и начале триаса симметричный характер петрохимической зональности в пределах пояса в целом сохранялся, хотя некоторые пространственные изменения в локализации и в формах проявления того или иного типа магматизма имели место. В конце ранней–начале поздней перми известково-

щелочные магматические комплексы формировались в Центральной Монголии: вулканиты базальтового, андезито-базальтового и дацитового состава в Орхон-Селенгинском прогибе и гранитоидные плутоны стандартного (ильменитового) типа в Хангайском нагорье. В это же время на юге, в системе грабенов Гобийского Алтая, формировались щелочные бимодальные серии, представленные оливиновыми базальтами, комендитами, трахириолитами и кварцевыми трахитами, а также массивами щелочных гранитов. То же самое отмечается и для позднепермских–раннетриасовых магматических комплексов, с той лишь разницей, что бимодальные щелочные магматические ассоциации в это время формировались севернее области распространения известково-щелочных ассоциаций – в приразломных грабенах Северо-Хангайской–Ханхухейской системы.

Отмеченная симметричная петрохимическая зональность в позднепалеозойских и раннемезозойских магматических образованиях Монгольского сегмента подчеркивается металлогенической зональностью: с периферическими зонами бимодального щелочного магматизма связаны медно-молибденовые месторождения, тогда как центральной области известково-щелочного магматизма (на поздней стадии существования – гранитного) свойственны позднепалеозойские месторождения олова и вольфрама.

В.И. Коваленко с соавторами [Kovalenko et al., 1995] была высказана гипотеза о причинах, обусловивших возникновение симметричной петрохимической зональности в магматических комплексах Монгольского отрезка Евразийского окраинно-континентального позднепалеозойского вулканического пояса. По их представлениям, первоначальная стандартная асимметричная петрохимическая зональность, ярко выраженная в ранне-среднекаменноугольных магматических комплексах вулканического пояса, явилась отражением субдукции океанической коры Палеотетиса под Северо-Азиатский палеоконтинент. Однако в конце карбона в процессе завершения варисийской эпохи складчатости и диастрофизма и окончательного становления Северо-Евразийского континента в условиях тектонического расслоения литосферы и дифференциальных перемещений крупных континентальных масс, в данном случае Сибирской платформы, возникла пологая зона тектонического срыва. По ней верхняя часть континентальной литосферы Палео-Сибири

стала надвигаться и последовательно перекрывать океаническую кору Палеотетиса, включая сначала зону субдукции, а затем и располагавшуюся поблизости спрединговую зону срединно-океанического хребта. Обе эти зоны сохраняли активность и в погребенном состоянии. Этот процесс продолжался до поздней перми включительно, когда началось коллизионное столкновение Северо-Евразийского палеоконтинента с континентальными массами Катазии (Северо-Китайской платформы, Тарима и других массивов Центральной Азии) и на месте Палеотетиса возникли коллизионные складчатые сооружения северной ветви индосинид (Солонкерская зона Южной и Внутренней Монголии). В результате такого тектонического перекрытия проекция на поверхность мантийного диапира, генерировавшего спрединговые процессы в срединно-океаническом хребте, оказалась продвинутой на север во внутрь континентальной окраины почти на 200 км и остановилась в поздней перми, в связи с коллизией в области Хангай-Хэнтейского нагорья Центральной Монголии. В условиях сильнейшего общего сжатия при межконтинентальной коллизии, континентальная плита, перекрывающая срединно-океаническую рифтовую зону и питающий ее мантийный диапир, не могла расколоться. Зато под влиянием исходящего от них мощного теплового и флюидного потока произошла ремобилизация перекрывающей континентальной коры и сформировались огромные объемы известково-щелочной гранитоидной магмы (Хангайский батолит), обусловившие сводовое поднятие этой области. Как реакция на это поднятие, возникли зоны локального растяжения и вторичные рифты, проницаемые для продуктов мантийного щелочного базитового магматизма. Это и определило симметричную петрохимическую и металлогеническую зональность Монгольского сегмента Евразийского вулканического пояса.

Появление симметричной зональности в Сихотэ-Алине (совместно с Юго-Западной Японией) и в Монгольском сегменте позднепалеозойского Евразийского пояса наиболее логично объясняется влиянием мантийного диапира (плюма). Однако природа этих диапиров может быть различной. Геодинамические последствия внедрения и подъема мантийных диапиров были здесь совершенно разными. В первом случае (Сихотэ-Алинь) это происходило в окраинно-континентальной обстановке, что способ-

ствовало растяжению над диапиром коры континентальной окраины, ее раздвигу и образованию окраинного моря с субокеанической корой [Курчавов и др., 1999]. Во втором случае (Монголия) – свойственная данному сегменту в карбоне асимметричная зональность магматизма на более поздней, пермской, стадии формирования пояса приобретает черты симметричности: в центре формируется Хангайский батолит известково-щелочного типа, а севернее и южнее в это время – бимодальные субщелочные и щелочные вулканические формации. Это связано уже с коллизионными процессами. В условиях сильнейшего сжатия при межконтинентальной коллизии, континентальная плита, перекрывающая срединно-океаническую рифтовую зону и питающий ее мантийный диапир, не смогла расколоться. Влияние диапира выразилось в ремобилизации сиалической коры, массовом гранито- и сводообразовании [Kovalenko et al., 1995; Курчавов и др., 1999].

Для определения геодинамических обстановок прошлого и соответственно для палеорекострукций принципиальное значение имеет установление факта, что наблюдаемая даже в обширном регионе асимметричная магматическая зональность может быть лишь составной частью более сложной зональности магматизма глобального ранга. Один из таких примеров уже рассмотрен выше. Это выявленная В.А. Баскиной общая симметрично-зеркальная зональность (по отношению к Японскому морю) верхнемеловых и палеогеновых магматических образований Южного Сихотэ-Алиня и Юго-Западной Японии, которая, по-видимому, проявилась под воздействием мантийного диапира (или плюма) на сформированный край палеоконтинента с последующей его деструкцией и образованием Японского палеоокеанического бассейна.

Другим ярким примером является ареал распространения девонских континентальных магматических образований Средней Азии, Казахстана и Западной Сибири. Главные их объемы сосредоточены в краевых частях каледонид, где распространены породы преимущественно низкокальциевой ветви известково-щелочной петрохимической серии. Во внутренних частях каледонид развиты уже породы высококальциевой ветви этой серии, а также шопонит-латитовой. Полоса распространения низкокальциевых девонских пород на краю каледонского массива Центрального Казахстана совпадает с ранее выделенным А.А. Богдановым собственно краевым

вулканическим поясом. Такого рода латеральная асимметричная зональность магматизма до недавнего времени считалась доказательством принадлежности девонского вулканического пояса Казахстана к окраинно-континентальному типу. Из Казахстана континентальные девонские магматические образования прослеживаются в пределы Западной Сибири вплоть до г. Ханты-Мансийска (рис. 5). Близ границы с Иртыш-Зайсанской варисцидной областью развиты известково-щелочные породы пониженной калиевоности; западнее распространены более калиевые породы. Эти зоны непосредственно продолжают петрохимические зоны девона Казахстана. Т.е. на каледонском массиве юга Западной Сибири (со стороны современной Иртыш-Зайсанской варисцидной области) формировался девонский вулканический пояс с асимметричной зональностью магматизма.

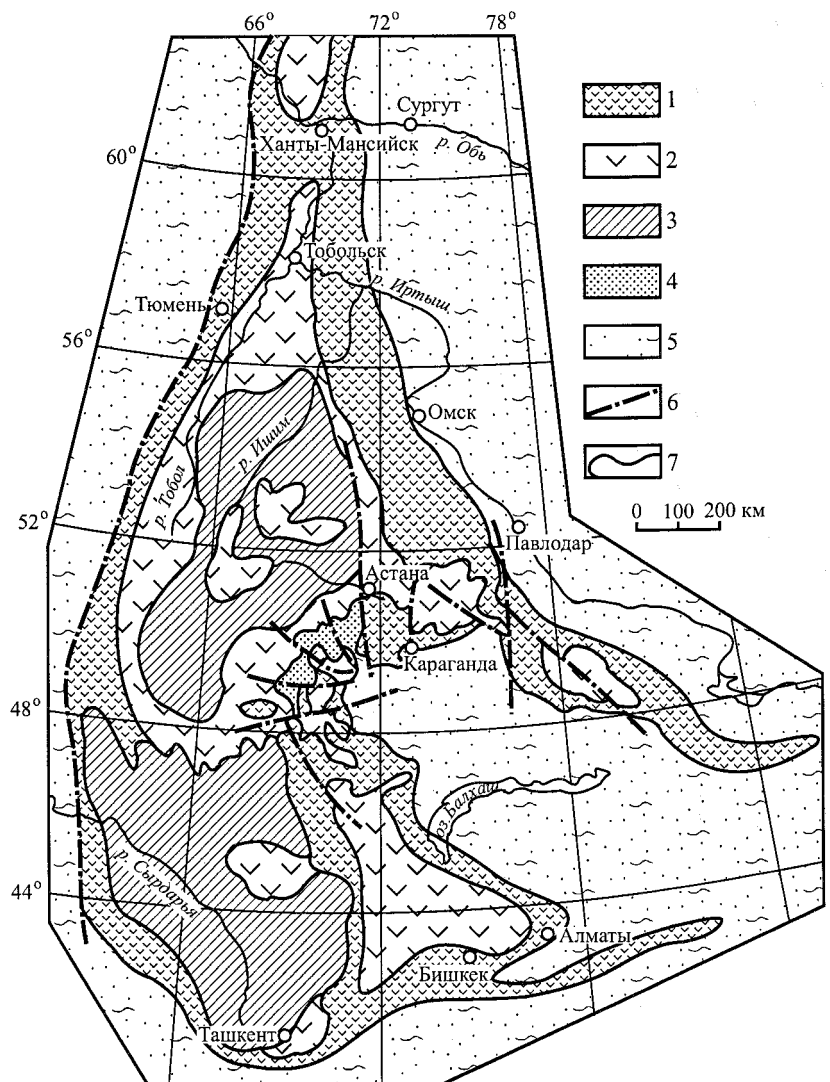
Но континентальные магматические образования девона широко распространены также в

Тургайском прогибе. Со стороны современной Уральской складчатой системы эти образования обладают пониженной калиевоностью, которая возрастает в сторону Казахстана. Вдоль р. Тобол континентальные магматические образования девона прослеживаются на север до города Тобольска, где им свойственна такая же асимметричная петрохимическая зональность. Т.е. со стороны современной Уральской складчатой системы на краю каледонского массива Казахстана и Западной Сибири также формировался девонский континентальный вулканический пояс с асимметричной магматической зональностью.

Близ г. Тобольска западная и восточная ветви девонского вулканического пояса смыкаются. Обе ветви этого пояса также смыкаются на юге Казахстана и в Средней Азии. Таким образом, континентальные магматические образования девона охватывают почти непрерывным кольцом каледонский массив Средней Азии, Казахстана и Западной Сибири со сме-

Рис. 5. Схема современного распространения ниже – среднедевонских континентальных магматических образований Средней Азии, Казахстана и Западной Сибири. По [Курчапов, 2000].

1, 2 – вулканиды и гранитоиды: 1 – известково-щелочные преимущественно низкокалиевые ветви, 2 – известково-щелочные при широком представительстве высококалиевой ветви и шшонит-латитовой. 3 – области современного отсутствия девонских континентальных магматических образований. 4 – нижедевонские морские тонкослоистые терригенные отложения Сарысу-Тенгизского сегмента (Центральный Казахстан). 5 – девонские субокеанические образования. 6 – разломы. 7 – границы распространения девонских континентальных образований.



ной пород преимущественно низкокальциевой ветви известково-щелочной серии, распространенных вдоль края каледонского массива, на более калиевые разновидности этой серии и шшонит-латитовой во внутренних частях каледонид. Из этого следует, во-первых, что асимметричная зональность девонского континентального магматизма восточной части Центрального Казахстана является лишь региональным выражением более обширной симметричной зональности магматизма этого времени. Во-вторых, расположение вулканитов, со всех сторон окаймляющих каледонский массив, и общая симметричная зональность магматизма не свойственны вулканическим поясам окраинно-континентального типа, представителем которых является, например, Андийский пояс с его отчетливой асимметричностью магматизма на всех стадиях формирования. Все это позволяет считать, что в целом девонский орогенный магматизм рассматриваемого региона проявился в условиях огромной композитной островодужной системы энсиалического типа, длительно развивающейся на границе Палеоокеана и Урало-Туркестанского палеоокеана [Курчавов, 2000, 2001]. Протяженность предполагаемой девонской островодужной системы Казахстана, Средней Азии и Западной Сибири составляет (в современных координатах) около 2,5 тысяч километров, что сопоставимо с длиной более молодых островодужных структур – Камчатки (более 1200 км), Японии, Филиппин (1500 км) или Индонезии (более 2500 км).

Таким образом, общую симметричную зональность девонского континентального магматизма Средней Азии, Казахстана и Западной Сибири можно рассматривать как отражение субдукционных процессов с запада и с востока (в современных координатах), связанных с островодужным характером развития данного магматизма.

Как выясняется в последнее время, симметричная зональность магматизма очень характерна для орогенных поясов, развивающихся в островодужных условиях. Пример подобных структур рассматривался выше (Сарысу-Тенгизский и Бетпақдалинский сегменты девонского вулканического пояса Центрального Казахстана). В осевых частях этих структур обычно развиты относительно более щелочные и калиевые породы по сравнению с их краевыми частями.

Еще одним ярким примером палеозойских орогенных поясов островодужного типа служат девонские континентальные вулканиты Чингиз-

ского сегмента ареала девонского континентального вулканизма Казахстана (см. рис. 1, 2). Это длительно развивавшаяся островодужная система. На современном срезе она расположена между Иртыш-Зайсанской и Джунгаро-Балхашской областями девонской морской седиментации. В начале палеозоя это была энсиалическая островная дуга [Дергунов и др., 1986; Ляпичев, 1986; Ляпичев и др., 1976; Тектоника..., 1980; Тектоническая карта..., 1982]. Но уже в ордовике и силуре в ее пределах проявился разнообразный и интенсивный гранитоидный магматизм. К началу девона эта структура была выведена на дневную поверхность и здесь проявился интенсивный наземный вулканизм – в условиях островной дуги энсиалического типа. По отношению к ареалам девонского континентального вулканизма, развивающегося в Казахстане на краю каледонского континента, девонские магматические образования Чингиза выделяются общей пониженной щелочностью и калиевостью: характерно доминирование известково-щелочных разновидностей, среди которых преобладают представители низкокальциевой ветви, значительным распространением пользуются толеитовые разновидности, в то время как породы высококальциевой ветви находятся в резко подчиненном количестве. Другая отличительная черта – симметричность расположения петрохимических зон для всех стадий девонского магматизма. Относительно более высококальциевые разновидности тяготеют к осевой зоне Чингизского мегантиклинория, образуя полосу северо-западного простирания. Юго-западнее ее, по границе с Джунгаро-Балхашским остаточным океаническим бассейном (с девонской терригенной седиментацией), а также северо-восточнее, со стороны Иртыш-Зайсанского субокеанического бассейна того времени, в девонских континентальных магматических породах Чингизского мегантиклинория преобладают более низкокальциевые разновидности. Такого рода симметричность магматизма, скорее всего является результатом воздействия разнонаправленных (со стороны современных Иртыш-Зайсанской и Джунгаро-Балхашской варисийских подвижных зон) зон субдукции.

Следует подчеркнуть, что и в молодых островодужных структурах выявляется сходного типа симметричная зональность продуктов магматизма, например в Малокурильской островной дуге. В осевой части этой структуры развиты более щелочные и высококальциевые породы, чем

со стороны современных Тихого океана и Охотского моря. Подобная зональность связывается с перескоком зон субдукции [Говоров, 2000].

Таким образом, симметричная зональность магматизма широко проявлена в орогенных вулканических поясах. Можно выделить два типа ее проявления.

Один тип симметричной зональности – развитие в осевых частях структур относительно более калиевых и щелочных пород по сравнению с краевыми частями структур. Подобного рода зональность свойственна структурам островодужного типа и, по всей видимости, связана с субдукционными процессами.

Другой тип – это менее калиевые и щелочные породы в осевой части структуры по отношению к ее периферии. Подобного рода зональность отмечена в меловых–палеогеновых магматитах Южного Сихотэ-Алиня и Юго-Западной Японии, а также в верхнепалеозойских магматитах Монгольского сегмента Евразийского пояса. Как уже рассматривалось выше, причина подобной зональности кроется в воздействии мантийного диапира (или плюма) или на край палеоконтинента (Сихотэ-Алинь и Япония) или на утолщенную кору при межконтинентальной коллизии (Монголия).

Сказанное свидетельствует, что сходная зональность магматизма может быть обусловлена воздействием причин разного уровня и значения и что для выявления геодинамических обстановок ее проявления и соответственно для палеотектонических реконструкций необходим комплексный анализ латеральных вариаций вещественных параметров одновозрастных однотипных образований в совокупности с анализом типа проявлений этой зональности на сопряженных пространствах, а также с учетом других особенностей строения регионов.

Автор признателен редколлегии журнала «Литосфера» за возможность публикации статьи, а также за ценные замечания и пожелания, высказанные рецензентом.

Список литературы

Говоров Г.И. Геодинамика Малокурильской островодужной системы по геохронологическим и петрохимическим данным // Докл. РАН. 2000. Т. 372. № 4. С. 521-524.

Дергунов А.Б., Моссаковский А.А., Самыгин С.Г., Хераскова Т.Н. Закономерности формирования па-

леозоид Центральной Азии (Алтае-Саянская область, Западная Монголия) и Казахстана // Закономерности формирования структуры континентов в неогее. М.: Наука, 1986. С. 53-67.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Моралев И.М. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. М.: Недра, 1976. 230 с.

Курчавов А.М. Латеральная изменчивость и эволюция орогенного вулканизма складчатых поясов // Геотектоника. 1994. № 2. С. 3-18.

Курчавов А.М. Палеогеодинамические аспекты петрохимической зональности девонского окраинно-континентального вулканического пояса Казахстана и юга Западной Сибири // Петрография на рубеже XI века. Том II. Итоги и перспективы. Материалы Второго Всероссийского петрографического совещания. Сыктывкар: 2000. С. 52-55.

Курчавов А.М. Геодинамическая обстановка проявления девонского континентального магматизма Казахстана и юга Западной Сибири // Геология Казахстана и проблемы Урало-Монгольского складчатого пояса. М.: Изд-во Московского ун-та, 2001. С. 65-72.

Курчавов А.М. Проблема геодинамической обстановки формирования девонского континентального магматизма Казахстана, Средней Азии и Западной Сибири // Тектоника неогее: общие и региональные аспекты. Том I. М.: ГЕОС, 2001. С. 351-354.

Курчавов А.М., Баскина В.А., Бахтеев М.К., Моссаковский А.А. Проблемы геодинамической и палеотектонической интерпретации петрохимической зональности вулканических поясов // Геотектоника. 1999. № 1. С. 64-80.

Курчавов А.М., Гранкин М.С., Мальченко Е.Г. и др. Зональность, сегментированность и палеогеодинамика девонского вулканического пояса Центрального Казахстана // Геотектоника. 2000. № 4. С. 32-43.

Ляпичев Г.Ф. Геологические закономерности магматизма палеозоид Казахстана. Автореф. дис. ... доктора геол.-мин. наук. Алма-Ата: ИГН АН Каз ССР, 1986. 44 с.

Ляпичев Г.Ф., Чолпанкулов Т.Ч., Звонцов В.С. и др. Закономерности развития вулканизма Казахстана // Проблемы петрологии. М.: Наука, 1976. С. 149-166.

Тектоника, магматизм и оруденение сквозных систем нарушений. М.: Наука, 1985. 168 с.

Тектоника Северной Евразии. Объяснительная записка. М.: Наука, 1980. 223 с.

Тектоническая карта Восточного Казахстана. Объяснительная записка. М.: Наука, 1982. 139 с.

Dickinson W.R., Hatherton T. Andesitic volcanism and seismicity around the Pacific // Science. 1967. V. 157. № 3790. P. 801-803.

Kovalenko V., Yarmolyuk V., Bogatkov O. Magmatism, Geodynamics and Metallogeny of Central Asia. MICO-Commercial Herald Publishers, 1995. 272 p.

Рецензент доктор геол.-мин. наук И.Б. Серавкин