

УДК 552(571.56+571.65)

О ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКОЙ И КАЙНОЗОЙСКОЙ ПЕРИПАЦИФИЧЕСКОЙ ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ: КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ СЕВЕРОВОСТОК АЗИИ В СРАВНЕНИИ С ЯПОНИЕЙ И ДРУГИМИ РЕГИОНАМИ

Сообщение 1. Разноаспектная петрографическая зональность – непреходящая особенность геологической истории транзитали континент – океан (обзор представлений)*

М. Л. Гельман

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН им. Н. А. Шило,
г. Магадан

E-mail: gelman@neisri.ru

В XIX–XX вв. выявлена изменчивость мезозойских и кайнозойских магматических пород в отношении их химического и минерального состава при переходе от Тихого океана к его континентальному окружению. Северо-Восток Азии, Японские острова, Индонезийский архипелаг выступают как *terra classica* в исследованиях латеральной петрографической зональности как особого геологического явления. Направленность изменений в главных чертах однотипна по всей периферии Тихого океана и сохраняет свой характер в геологическом времени. Вероятная причина вариабельности магматического процесса – закономерное изменение активности калия, натрия, воды в эндогенном флюиде в потоках под океаном и под его окружением.

Ключевые слова: латеральная петрографическая зональность, зона перехода континент – океан, Северо-Восток Азии, поздний мезозой и кайнозой, история геологических представлений.

Представление о латеральной петрографической зональности родилось в дискуссии по поводу петрографических провинций, в поиске признаков генетического единства, или комагматичности, составляющих их изверженных пород (см. Левинсон-Лессинг, 1936). Если породные совокупности с такими признаками есть вообще и если они характерны для некоей тектонической структуры, то насколько отчетливо эти совокупности пространственно и во времени обособлены, как именно отличаются от близких по возрасту подобных совокупностей в смежных провинциях? Дискуссия началась в конце XIX в. и сегодня не закончена. Важнейшая, но, по видимому, даже не сразу осознанная ее сторона

состоит в том, что как раз в связи с ней и обнаружили как таковые естественные сообщества магматических пород, вырисовывалось многообразие таких сообществ и возможное их значение как индикатора тектонических условий, в которых протекал магматический процесс. В теоретической геологии XX в. соотношение магматизма и тектоники стало одной из важнейших проблем. Представление о петрографической зональности предполагает существование закономерностей в пространственном сочетании разных петрографических провинций, требует, чтобы была выявлена природа таких закономерностей.

После того как в 1886 г. в статье в Q. J. Geol. Soc. Lond. Дж. Джадд впервые употребил эти слова – петрографические провинции, почти сразу же выяснилось, что их петрохимическая специфика заключается, прежде всего, в особенностях содержания и количественного соотношения кальция и щелочных металлов в горных породах. Одна из тем дискуссии возникла как реакция на предложение А. Харкера (1896 и 1906 г.) и Ф. Бекке (1903 г.), оказавшееся терминологически неудачным, различать тихоокеанский – известковистый – тип магма-

© Гельман М. Л., 2013

* Тематика последующих статей: петрографическая зональность и строение земной коры, петрохимический аспект зональности, ее минералогический аспект и гиперстеновая серия магматических пород; примеры петрографической зональности в геологических структурах на непосредственной границе континента с океаном; кайнозойская петрографическая зональность на о. Хонсю в сравнении с позднемезозойской зональностью в северо-восточной Сибири.

тизма и атлантический – щелочной. Последовавшая проверка, действительно ли существует петрохимический контраст в магматизме в Тихоокеанском и Атлантическом бассейнах, показала, что это не так. И уже в начале 1920-х гг. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг смог написать: «Многочисленные примеры совместного нахождения тихоокеанских и атлантических пород теперь уже достаточно хорошо известны» (1949. С. 362). Рассмотрев, как распространены щелочные породы в России (тогдашней), каков средний химический состав горных пород на островах в Атлантическом и Тихом океанах, он заключил: «...вместо того, чтобы говорить о Тихоокеанской и Атлантической провинции, следовало бы противопоставить друг другу фации (или провинции), континентальную и океаническую» (Там же. С. 364). Так различие континентов и океанов Земли (и сегодня, и в геологическом прошлом), по-видимому, впервые названо как самая общая причина существования петрографических провинций.

Открытие латеральной зональности состава кайнозойских вулканических пород в западном обрамлении Тихого океана, на границах Азии с Тихим и Индийским океанами; комагматичность пород в каждой петрографической провинции

Латеральные изменения в характере вулканизма и в его связях с тектоникой особенно отчетливо выступают, когда сравнивают Тихий океан с его континентальным обрамлением. В 1910–1912 гг. П. Маршалл (Marshall, 1911, 1912) ввел представление об андезитовой линии (теперь известна и как линия Маршалла). Он наметил эту линию на юго-западе Тихого океана как раздел между широкими поясами базальтовых вулканов в центральной части океана и цепями андезитовых и щелочных вулканов в горно-складчатых областях на прилежащих континентах и на островных дугах у их границ. Еще более сложная картина петрографической зональности стала почти в то же время вырисовываться на Японских островах. В 1916 г. Б. Кото (основатель петрологии в Японии; см. Миясиро и др., 1985. С. 148–149), отталкиваясь, очевидно, от концепции А. Харкера – Ф. Бекке, указал, что здесь сопрягаются щелочная и нещелочная провинции кайнозойского вулканизма. Первая находится на япономорской стороне островов (во Внутренней зоне, по терминологии, принятой в японской литературе) и представляет собой крайнюю восточную периферию огромной щелочной провинции на востоке Азиатского континента. Вторая простирается вдоль тихоокеанской стороны островов (во Внешней зоне). Затем, в 1930-е гг., Т. Томита обнаружил, что между горными породами этих провинций есть не только химические, но и систематические минералогические различия. Т. Томита, а впоследствии и особенно обстоятельно Х. Куно (Kuno, 1950, 1966, 1968; Куно, 1970) выявили зональность в распространении в вулканических породах гиперстена, пижонита, роговой обманки, биотита – в виде вкрапленни-

ков или/и в основной массе, порознь или в ассоциации друг с другом. Это вскрыло новую сторону петрографической зональности – ее минералогический аспект.

В 1930–1940-е гг. Р. ван Беммелен привлек внимание к зональности активного вулканизма в Индонезии, на пространстве между Азией и Индийским океаном. В общем, она оказалась аналогичной той, что описана в Японии по отношению того же континента к Тихому океану. На о. Ява щелочные калиевые магмы извергались на северной стороне (вогнутая сторона вулканической дуги, обращенная к континенту), тогда как породы на действующих вулканах, расположенных вдоль южного берега острова, тихоокеанского типа. Это было подтверждено и детализировано А. Ритманом (1964). Но выяснилось, что в целом рисунок миоцен-четвертичной латеральной петрографической зональности в Индонезии более сложный не только в петрохимическом, но и в общегеологическом отношении, поскольку в единой картине оказались увязанными, кроме современных вулканитов, также неогеновые. В своей главной теоретической работе Р. ван Беммелен (1956; англоязычное издание 1954 г.) характеризует ее как смену – с юга на север: натриевых щелочных пород, обнаруженных на потухших вулканах на островах в Индийском океане и в составе мел-палеогеновой офиолитовой ассоциации («спилиты»), обнаженной на внешней, без современных вулканов, дуге Зондской горной системы (1), тихоокеанскими породами – продуктами преимущественно эксплозивных извержений базальтовой, андезитовой и кислой магмы на действующих вулканах на фронтальной стороне вулканической дуги (2), далее (3), на ее тыльной стороне, – потухшими стратовулканами, где кислых пород меньше, чем на фронтальной стороне, и все они отличаются повышенным содержанием калия, наконец (4) – в море к северу от о. Ява и на юго-восточной окраине Азиатского материка, платобазальтами. Р. ван Беммелен, по-видимому, первым дал выразительный пример геологически закономерной латеральной смены натриевых горных пород калиевыми в зоне перехода от океана к континенту. Но уже с 1937 г. сообщества калиевых пород выделяют, по предложению П. Ниггли, как особую, сравнительно редкую, средиземноморскую серию (после этого в атлантической серии Ф. Бекке и А. Харкера остаются лишь породы, повышенная щелочность которых определяется главным образом содержанием натрия).

С вулканическими сериями Зондской горной системы в единых комагматических областях, по Р. ван Беммелену, связаны плутонические образования: со спилитами атлантической серии – габбро, перидотиты и дуниты, а с дифференцированными сериями, тихоокеанской и средиземноморской, – диориты и гранитоиды, слагающие батолиты.

Намеченные таким образом комагматические области отличаются одна от другой геологическим возрастом (в пределах от конца мезозоя до современности) и тектоническими условиями магматизма – режимом поднятия или опускания.

Р. ван Беммелен говорит о генетическом родстве горных пород в каждой из их ассоциаций, указывая (как это было и у Т. Томита), что это родство и химическое, и минералогическое. Понятие о кровном родстве он связывает, как и Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, как и Н. Л. Боуэн, с особенной в каждом случае родоначальной магмой. «Ареалы, в которых развиваются <...> серии родственных магматических пород, называют комагматическими областями петрографических провинций. Комагматические области имеют пределы, как в пространстве, так и во времени, что хорошо иллюстрируется изучением Зондской горной системы» (Беммелен, 1956. С. 47). Последний вывод перекликается с мнением Н. Л. Боуэна, который, по Дж. М. Брауну (1983. С. 13), «...поддерживал концепцию “петрографических провинций” (Дж. Джадда. – М. Г.), но указывал на то, что при их выделении необходимо учитывать не только пространственные, но и временные соотношения...». Этим обозначен важнейший методологический подход в изучении петрографических провинций: они определяются в координатах пространства и времени и должны рассматриваться в связи с изменением геоструктурного плана.

Геоструктурная и петрографическая асимметрия Циркумтихоокеанского подвижного пояса и ее ретроспективное (включая поздний мезозой) изучение на Северо-Востоке Азии

Принципиальное различие в составе комплексов магматических пород, тех, что относятся к внутренней зоне Тихоокеанского подвижного пояса, и тех, которые расположены на его континентальной стороне, раскрыто в середине 1940-х гг. С. С. Смирновым (1946; и др.). Тихоокеанский рудный пояс показан им как зональная металлогеническая структура, сопряженная с одноименным подвижным поясом, асимметрия которого задается андезитовой линией П. Маршалла – Г. Шгилле. Петрографический контраст между внутренней и внешней зонами Тихоокеанского пояса обстоятельно проиллюстрировал Д. С. Харкевич (1950) на примере Верхояно-Колымской и Камчатско-Корякской, как он их называл, складчатых областей на северо-восточной окраине Азии. Это мезозойская и кайнозойская области соответственно. Мезозойская относится к внешней, а кайнозойская – к внутренней зонам Тихоокеанского рудного пояса. Для каждой из этих областей реконструирован собственный тектономагматический цикл, и различие в характере магматизма, существенно кислого в первой и существенно основного во второй, выступает и в целом, и на протяжении всей их истории. Обнаружив подобные различия в других металлогенических поясах, Ю. А. Билибин (1959) стал говорить об орогенических зонах различного геохимического типа. В работах Ю. А. Билибина и его последователей – Е. Т. Шаталова и других – именно темпоральным различием в прохождении тектономагматического цикла в соседних складчатых областях объясняются и самое су-

ществование петрографических провинций, и природа границ между ними.

Е. К. Устиев (1965), обобщая – в духе представлений Ф. Ю. Левинсона-Лессинга о родоначальных магмах – материалы по Охотско-Чукотскому вулканогенному поясу (ОЧВП), заключил, что здесь в истории магматизма было три этапа и что это связано со сменой трех таких магм. Первый этап истории ОЧВП (конец поздней юры – начало раннего мела) – эволюция тоналитовой магмы; второй (поздний мел – начало палеоцена) – гранитовой; третий (палеоцен – неоген) – базальтовой. Эти этапы истории ОЧВП никак не увязываются с тектономагматическим циклом ни в мезозойской, ни в кайнозойской областях (по Д. С. Харкевичу и Ю. А. Билибину), между которыми ОЧВП расположен. Таким образом, природа петрографической зональности на северо-восточной окраине Азии в позднем мезозое и в кайнозое оказывается более сложной, чем виделось Ю. А. Билибину. Теперь в представления Е. К. Устиева о времени и этапах формирования ОЧВП вносятся коррективы. Позднекайнозойские базальтоиды рассматриваются как структурное новообразование в нем; возраст вулканитов позднего мезозоя, может быть, еще и начала палеогена, составляющих собственно ОЧВП, уточняется в активных спорах и с привлечением разных исследовательских методов (Белый, 2008). Существенно то, что выяснилось – распространение в ОЧВП магматических пород разного состава регулируется не только временем их образования, но и их положением относительно древней окраины океана, которую ОЧВП маркирует. Подсчеты Е. К. Устиева в сопоставлении с оценками состава магматических пород, какие сделал Д. С. Харкевич, когда сравнивал складчатые области разного геохимического типа, позволяют наметить на границе мезозойской Азии с Прапацификом три, а не две контрастные, как у Д. С. Харкевича, провинции. Горные породы, в каждой из них представленные разновидностями со своими химическими особенностями, образуют трехчленные, как минимум, ряды: от Корякско-Камчатской складчатой области к ОЧВП и далее – к Верхояно-Колымской.

С 1953 г. Е. К. Устиев все чаще обращается к проблемам четвертичного вулканизма. Тогда ему удалось добраться до только что открытого в Приколымском заполярье Анюйского вулкана, потухшего, но с прекрасно сохранившимися формами. Сравнив между собой по химизму все проявления позднекайнозойского вулканизма в северо-восточной Азии, он показал, что все они непротиворечиво могут быть включены в Восточно-Азиатскую вулканическую провинцию (щелочные базальты Б. Кото). Получалось, что на востоке Азии в позднем кайнозое провинциальный план, выявленный для позднего мезозоя, существенно упростился. Тем не менее Е. К. Устиев (1959) представил Всесоюзному вулканологическому совещанию в Ереване ряд изменчивости среднего состава, подсчитанного по всем мезозойским и кайнозойским магматическим породам – с учетом их относительного количества и

независимо от возрастных различий. В направлении от восточных границ Сибирской платформы к Тихому океану такой состав, по мнению ученого, меняется от гранитового и липаритового в Колымо-Чукотской складчатой области через гранодиоритовый и адезитовый – дацитовый в ОЧВП на габбровый и диоритовый, андезитовый и базальтовый в Охотско-Камчатской складчатой области, наконец, на базальтовый на островах Тихого океана (о дне его еще мало знали). В свете идей Р. Дэли и Ф. Ю. Левинсона-Лессинга это могло бы указывать на постепенную (или ступенчато-постепенную) латеральную изменчивость состава земной коры или вообще литосферы в целом в сторону все большего ее обогащения кремнекислотой в направлении от океана к континенту. В рассмотренных работах Д. С. Харкевича, Ю. А. Билибина, Е. К. Устиева, традиционно ориентированных на выявление особенностей родоначальной магмы в каждой из намечающихся провинций, внимание сосредоточено на химической характеристике магматических пород в них.

Кроме того, были выявлены также различия минеральных парагенезисов в магматических породах, по-разному расположенных относительно границы континент – океан, подобно, но не вполне тождественно тому, как это было показано Т. Томита и Х. Куно на примере Японии, Р. ван Беммеленом – на примере Индонезии. В позднемезозойских вулканических породах во Внутренней (приокеанической) зоне ОЧВП нет магнезиально-железистых пироксенов. В их основных разностях устойчив парагенезис оливина с авгитом. Эта оливин-авгитовая серия во Внешней (приконтинентальной) зоне сменяется одновозрастной гиперстеновой серией, в составе которой есть и основные, и средние, и кислые вулканические и плутонические породы. А в схожих позднемезозойских породах в мезозоидах Северо-Востока очень характерен интрателлурический гранат. Это гранатовая серия магматических пород, у которой есть раннепалеозойский аналог в приконтинентальной структуре юго-западной Англии, среднепалеозойский аналог такого же положения относительно границы континент – океан – на востоке Австралии, подобный кайнозойский аналог – в Карпатах (Гельман, 1980, 1997, 2003).

Обсуждая тектоническую природу ОЧВП, Е. К. Устиев говорил, что этот пояс возник в мелу на изгибе земной коры между погружающейся Ниппонской (т. е. Коряско-Камчатской) геосинклиналью и воздымающимся Колымским орогеном. С. В. Обручев (1934) писал о генетической аналогии между меловым вулканизмом вдоль разломов, ограничивавших этот мезозойский ороген с юга и востока, т. е. в зоне, которую потом стали называть ОЧВП, и вулканизмом в современных островных дугах на западе Тихого океана. Это было сказано задолго до начала нынешних геодинамических реконструкций. Ю. М. Шейнманн (1958) в развитие своих выводов 1940-х гг. о связи магматизма в складчатых областях и в прилегающей части платформ (или вообще рамы складчатости) сравнил мезозойские магмати-

ческие ассоциации в западном обрамлении Северо-Американской платформы и в юго-восточном – Сибирской. Он показал, что и там и там одинаково при пересечении от складчатого пояса к деформированному краю платформ тоналиты и гранодиориты сменяются калиевыми гранитами, затем щелочными – ультраосновными интрузиями, наконец такими интрузиями в сочетании с карбонатами.

Исследованиями на Японских островах и на о. Ява было открыто зональное изменение щелочности основных пород. А на северо-востоке Сибири Д. С. Харкевич и Е. К. Устиев охарактеризовали сопряженную изменчивость и вулканических, и плутонических пород – по содержанию в них кремнекислоты. В работе Ю. М. Шейнманна обе методологические тенденции (сравнение щелочности горных пород, относящихся к той или иной определенной группе по содержанию кремнекислоты, и сопоставление кремнекислотности валового состава магматитов) объединены.

В целом, в работах Б. Кото, Д. С. Харкевича, Е. К. Устиева и Ю. М. Шейнманна показано, что латеральная петрографическая зональность охватывает огромное пространство от Тихого океана до окраин окружающих его континентальных платформ, далеко не только островные дуги. Аналогичная картина на границе Индийского океана с континентом Индостана реконструирована Р. ван Беммеленом. Такие области перехода от континента к океану Л. И. Красный (см. 1972) в конце 1950-х гг. предложил называть транзиталиями, подчеркивая, что это структуры того же ранга, что континенты и океаны планеты. В рассмотренных исследованиях на северо-востоке Сибири и в Японии раскрыто, как меняются (или сохраняются) в геологическом времени строение транзитали и рисунок границ между петрографическими провинциями в них.

Зональность в распространении на западе Северной Америки мезозойских и кайнозойских изверженных пород различной основности и с различным соотношением содержания калия и натрия в составе, аналогия с Северо-Востоком Азии

В конце 1950-х – начале 1960-х гг. закономерную смену ассоциаций магматических пород, различающихся особенностями вещественного состава, наметили и на тихоокеанской окраине Северной Америки. Здесь многие стороны изменчивости состава магматических ассоциаций, которая, по Ю. М. Шейнманну (1958), подобна той, что выявляется на востоке Азии, американские и канадские геологи проследили по площади (см. Миясиро и др., 1985. С. 163–168). В развитие высказываний В. Линдгрена (1915 г.) о том, что граниты в восточной части Кордильерского батолитового пояса более фельзические, чем в западной, Дж. Мур (Moore, 1959) ввел в науку понятие *кварцдиоритовая линия* (как бы в дополнение к андезитовой). В Кордильерах, с той стороны этой линии, что ближе к тихоокеанскому берегу, в модальном составе плутонических пород

нет калинатрового полевого шпата и их кислотность не больше, чем у кварцевого диорита (содержание SiO_2 повсюду менее 66%). Породы более кремнекислые распространены восточнее кварцдиоритовой линии. Собственно ее положение Дж. Мур наметил, когда обнаружил последовательное и постепенное увеличение количества калинатрового полевого шпата в штуфах плутонических пород, отобранных при пересечениях кордильерских батолитов – Сьерра-Невада и других – в направлении с запада на восток. Изменением модального состава и определяется появление гранодиоритов, а затем и гранитов восточнее кварцдиоритовой линии. Это справедливо в целом. А если сравнивать горные породы с одинаково умеренным содержанием кварца, то увеличение количества калинатрового полевого шпата в них приводит к смене в восточном направлении тоналитов гранодиоритами и, наконец, кварцевыми монцонитами. Дж. Роддик писал поэтому и о кварцмонцонитовой линии, которая с тихоокеанской стороны ограничивает распространение плутонических пород повышенной калиевоности в Кордильерах Северной Америки.

Намеченную в батолите Сьерра-Невада кварцдиоритовую линию Дж. Мур, А. Гранц и М. Блейке (Mooge et al., 1961) проследили затем далеко на северо-запад – вдоль канадских Кордильер на Аляску и, предположительно, на восточные острова Алеутской дуги. На юго-востоке Аляски региональную зональность состава гранитоидов, подобную той, что характерна для батолита Сьерра-Невада, обнаружил А. Ф. Баддингтон еще в 1927 г. – при пересечении Берегового хребта с запада на восток кварцевые диориты сменяются гранодиоритами, затем – кварцевыми монцонитами. На п-ове Аляска кварцдиоритовую линию Дж. Мур с соавторами провели между площадями, выбранными по геологической карте, на которых среди гранитоидов преобладают кварцевые диориты, и такими, где преобладают или даже почти исключительно гранодиориты и/или кварцевые монцониты. На Алеутских островах отмечены только кварцевые диориты как самые кислые породы, и кварцдиоритовая линия предполагается к северу от них. Дж. Мур и его соавторы замечают, что ее дальнейшее продолжение должно пройти западнее Камчатки, затем между Японией и Кореей, на севере Новой Гвинеи и выйти на Северный остров Новой Зеландии. Они заключают, что кварцдиоритовая линия следует на 200–600 миль (т. е. на 300–1000 км) ближе к древнему континенту, чем андезитовая. По их мнению, островные дуги в обрамлении Тихого океана располагаются между андезитовой и кварцдиоритовой линиями.

Дж. Мур с соавторами специально подчеркивают строгое соответствие в направлении кварцдиоритовой линии и линии берегов Северной Америки. На Аляске кварцдиоритовая линия, изгибаясь, вдается в континент к северу от зал. Аляска, повторяя положение его берегов. Второй, еще более отчетливый изгиб обнаруживается в штатах Орегон и Вашингтон. Здесь кварцдиоритовая линия сильно, бо-

лее чем на 400 миль (650 км), отклоняется на восток от континентального склона, а линия современного берега, против ожидания, плавно следует в меридиональном направлении. Однако Дж. Мур и соавторы показывают, что линия, ограничивающая с востока распространение третичных морских отложений (максимальный контур третичной морской трансгрессии), обнаруживает изгиб, конформный внешнему по отношению к ней изгибу кварцдиоритовой линии. При этом третичные морские отложения, скорее всего, эвгеосинклинальные и, наверное, образовались на тонкой коре. Примечательно, что все крупные современные вулканы располагаются в одну линию, вытянутую вдоль кварцдиоритовой линии с океанской ее стороны.

В рассмотренных работах Дж. Мура, Дж. Роддика и других речь идет главным образом о мезозойских плутонических породах. Для кайнозойских вулканитов Дж. Мур, применяя единообразную процедуру обработки петрохимических данных, относящихся к элементарным площадям, обнаружил, что в горных породах на западе США по мере удаления от океана статистически плавно возрастает калий-натриевое отношение, нормированное по содержанию кремнекислоты (Mooge, 1962).

А. Дж. Ирдли (1963) выступил в 1960 г. на Копенгагенской сессии Международного геологического конгресса с обзором, посвященным петрографическим и тектоническим провинциям запада США. Петрографическую провинцию он понимает как ассоциацию взаимосвязанных вулканических и плутонических пород, отличающуюся от подобных ассоциаций на смежных территориях по преобладанию определенных горных пород, их химическому составу и способу становления или внедрения. Он составил карту таких провинций, обсудил их зональность в отношении к тектонической зональности и истории (в терминах геосинклинальной концепции, модифицированной применительно к рассматриваемой проблеме, а также в понятиях эволюции системы кора – мантия), сделал выводы о первичных магмах, соответствующих разнообразию петрографических провинций. Среди базальтовых первичных магм различаются оливин-базальтовая и толеитовая, а гранитные видоизменяются от тоналитовой до аляскитовой; особое внимание уделено латитовой магме, происхождению латитово-монцонитовой ассоциации. Это последнее, отражая зональность калиево-натриевого отношения, делает синтез Дж. Ирдли шире, чем очень близкие в методологическом отношении обобщения Е. К. Устиева (1959) по Северо-Востоку Азии. Латитовая серия магматических пород, охватывающая и основные, и средние, и кислые породы, впервые специально охарактеризована С. Р. Нокколдсом и Р. Алленом (Nockolds, Allen, 1953, 1954, 1958). И в те же годы особая в металлогеническом и геологическом отношении роль монцонитовой ассоциации и латитовых магм разносторонне обсуждается в трудах Л. В. Таусона, М. А. Фаворской, М. Г. Руб и других исследователей южной части советского Дальнего Востока (Таусон, 1961; и др.).

Выводы А. Дж. Ирдли во многом следуют из его «Структурной геологии Северной Америки» (1954), знакомство с английским изданием которой (1951 г.) как раз и подтолкнуло Ю. М. Шейнманна к развернутому сопоставлению магматической геологии Кордильер и юга Восточной Сибири. Хотя, конечно, в манере проработки материала, в акцентах, в тех или иных решениях у А. Дж. Ирдли, Ю. М. Шейнманна и Е. К. Устиева, а также у Р. ван Беммелена, японских авторов немало различий, в целом черты конгениальности в их работах совершенно очевидны.

Краткий обзор проблемы, при этом с подчеркнутым интересом к ее значению в региональной металлогении Дальнего Востока, можно найти в книге В. В. Иванова и Г. М. Мейтува (1972). Авторы опирались в своих выводах также и на опубликованные результаты наших систематических петрохимических исследований, проведенных в 1960-е гг. Тогда методику, с которой Дж. Мур исследовал калий-натриевую зональность на пространстве от Тихого океана до Североамериканского кратона, мы применили к материалу по мезозойским вулканическим и плутоническим породам северо-востока Сибири. Была получена топопетрохимическая картина, которая в своей зависимости относительно ОЧВП, маркирующего положение древней границы континент – океан, оказалась совершенно аналогичной той, что выявлена для кайнозойских пород на западе Северной Америки (см. Гельман, Тимошенко, 1969; Беляев и др., 1973). Мы познакомили с нашими результатами А. Б. Вистелиуса, главу лаборатории математической геологии в АН СССР, и он организовал неформальную исследовательскую группу с участием петрографов востока СССР и Японии. А. Б. Вистелиус разработал необходимую методологию, и в итоге машинной статистической обработки результатов более 4,5 тысяч химических анализов были построены карты тренда петрохимических характеристик мезозойских и кайнозойских гранитоидов на территории Северной Азии восточнее 100° в. д. Карты показали самые общие тенденции плавного изменения этих характеристик; наиболее выразительная из них – для содержания K_2O . Оно статистически увеличивается в направлении от берегов Тихого океана, при этом оказалось еще, что эта изменчивость хорошо сопоставима с геологической структурой континента, с металлогенической зональностью (Вистелиус и др., 1969).

Главные черты латеральной петрографической зональности, обобщая петрохимические материалы по вулканическим формациям, назвал А. Ф. Белосов (1976. С. 171–172): «Неслучайные вариации калия и обычно также общей щелочности представляют собой наиболее примечательное и выдержанное проявление крупноплощадной зональности состава вулканических формаций подвижных областей. Аналогичная зональность состава теперь уже хорошо известна для гранитоидных интрузий... Отмечаемые... направленные изменения других показателей состава вулканических ассоциаций – при-

сутствие или отсутствие кислой группы пород, количественное соотношение базальтоидных и кислых пород, меланократовость, железо-магнезиальное отношение и др. – настолько устойчивой регулярностью не обладают. <...> Для указанной зональности характерно длительное унаследованное (в смысле сохранности пространственного плана) развитие с момента появления соседнего материкового блока. <...> Крупноплощадную зональность распределения калия в магмах трудно истолковать с точки зрения только тектонических или петрологических режимов...»

Латеральные изменения характеристик щелочности вулканических пород в разных геодинамических обстановках в океанах и в их обрамлении, о причинах изменений

Изменчивость калиево-натриевого отношения в зоне перехода континент – океан с 1960-х гг. У. Р. Диккинсон и Т. Хатертон, а вслед за ними и многие другие, настойчиво обсуждают в контексте идей новой глобальной тектоники. На примере вулканитов и гранитоидов Японской и других островных дуг было показано, что величина этого петрохимического параметра последовательно возрастает от океанического желоба в сторону континента и что она статистически положительно связана с глубиной сейсмофокальной зоны в точке отбора проанализированных образцов (Новая..., 1974; Dickinson, Natherton, 1967; и др.). С этого времени латеральную петрографическую зональность часто истолковывают как специфически надсубдукционное явление, с которым связана и металлогеническая зональность на окраине континентов. В Центральной Азии (см. Kovalenko et al., 1995) проведены систематические комплексные исследования с ярким геохимическим и изотопно-геохимическим акцентами. Специально явления магматизма и рудообразования как следствия процессов в зоне субдукции представил В. И. Смирнов (1974). Затем все это детализировали, обобщая огромный региональный материал, Л. П. Зоненшайн и его соавторы (Зоненшайн и др., 1976; и др.).

Но исключать океан из рассмотрения вопросов петрографической зональности нельзя, поскольку статистически постепенное возрастание роли калия в магматических породах в зоне перехода континент – океан (как на островных дугах, так и на обширных материковых окраинах) гармонирует с давно известным почти полным отсутствием калиевых пород в океанах. Очень определенно по этому поводу звучит заключение Г. П. Авдейко и Е. К. Мархинина о вулканиках океанского дна и срединно-океанических хребтов, сделанное со ссылкой на выполненные Дж. Р. Канном расчеты их среднего состава (Геология..., 1979. С. 97): «Свежие базальты дна океанов довольно однородны по химическому составу... Особенно четко однородность состава проявляется в базальтах с незначительным числом вкрапленников... При среднем содержании SiO_2 49,61% они (в среднем. – М. Г.) отличаются высокими значениями Al_2O_3 и CaO , пониженными концентрациями K_2O , TiO_2 и P_2O_5 , особенно характерно низкое

содержание K_2O (0,22%) при стандартном отклонении 0,12 и соответственно высокое отношение Na/K . Естественно, особое внимание при этом привлекают редкие случаи нахождения на океаническом пространстве калиевых разновидностей, которые обнаруживаются среди щелочных пород на океанических островах. Вообще здесь преобладают разности, высокая щелочность которых достигается за счет натрия и его минералов. Отмечая, вслед за И. С. Е. Кармайклом, Ф. Т. Тернером и И. Ферхугеном, что среди всех щелочных пород, найденных в океане, щелочные вулканы с о-вов Тристан-да-Кунья и Гоф (Южная Атлантика), Кергелен и Херд (Индийский океан) выделяются самыми высокими содержаниями калия, В. А. Кононова подчеркивает, что они все же составляют не калиевую, как некоторые их аналоги на континентах, а калиево-натриевую серию. «...Отношение Na_2O/K_2O выше 1 в ультраосновных и основных разностях, а в средних и кислых – выше 0,4... Породы собственно калиевой линии химизма в океанах пока не известны» (Магматические..., 1984. С. 239).

Причины того, что в океане местами находят вулканы с повышенным содержанием калия, – это предмет далеко не завершенной дискуссии. Т. И. Фролова, Г. Б. Рудник и Г. Л. Кашинцев 30 лет назад следующим образом обрисовали геологическую позицию проявлений такого вулканизма: «Базальты с повышенным содержанием калия, дающие начало богатым калием ассоциациям, встречаются локально и занимают малые объемы. Они всегда соответствуют самым поздним стадиям длительно существовавшего и затухающего вулканизма островов или подводных поднятий. Во всех случаях нахождения калиевых серий имеются прямые или косвенные данные об увеличении мощности земной коры под ними... вплоть до нахождения участков коры переходного... или даже континентального типа» (Геология..., 1979. С. 79). Ученые отмечают, что появлению таких серий в океанической литосфере даются различные объяснения. Например, возможно накопление калия в выплавке из гранатовых перидотитов в верхней части мантии, если в этом участвует вода, а объем выплавки невелик, – тогда весь калий, сколько его есть в мантийном субстрате, переходит в расплав. А предполагая, что плавление происходит при большом давлении в глубине мантии и под действием восстановленного флюида, показывают, что в этих условиях в расплав из щелочей преимущественно переходит калий, что объясняет повышение калий-натриевого отношения в магматах. Но чаще всего предполагают, что рост содержания калия в магме связан с коровой контаминацией глубинных натриевых расплавов. Как бы то ни было все это происходит «при длительной эволюции предшествующего вулканизма» (Там же).

Что касается последовательного статистического возрастания роли калия на переходе от океана к континенту и корреляции ее с увеличением глубины сейсмофокальной зоны, то это стало в тектонике литосферных плит основой в реконструкции древ-

них зон субдукции. По возрасту магматических пород, связанных такой зональностью, решают, когда субдукция происходила. Однако корреляция между количеством калия в вулканиках определенной основности и глубиной сейсмофокальной зоны, даже в позднекайнозойских зонах, отнюдь не простая. Например, И. Н. Говоров и Г. И. Говоров (1982), обсуждая детали петрохимической зональности в Курильской островной системе, показали, что здесь одинаковое увеличение содержания калия в вулканических породах обнаруживается в участках с существенно различной глубиной зоны Беньофа. И напротив, «в восточной (шельфовой) части Большекурильского поднятия установленная предыдущими исследователями связь щелочности и калиевости вулкаников с глубиной до сейсмофокальной зоны нарушается, так как здесь наряду с низкокалиевыми породами известковой серии встречаются калиевые толеиты щелочно-известковой серии» (Там же. С. 191). С. М. Кэй, Р. В. Кэй и Дж. П. Цитрон, обсуждая, каков тектонический контроль толеитового (известкового) и известково-щелочного магматизма на Алеутской островной дуге, и сравнивая между собой базальты, содержащие более 57,5% кремнекислоты, отметили, как и ожидалось, их выразительное обогащение K_2O на вулканах, под которыми зона субдукции расположена особенно глубоко. Но при этом рост содержания калия с повышением кремнекислотности заметно отчетлив и достигает наибольших значений на вулканах толеитовой серии, слабее выражен при известково-щелочном вулканизме. Так что на двух вулканах, расположение которых в отношении к структуре сейсмофокальной зоны одинаково, даже когда они рядом друг с другом, но принадлежат к вулканическим сериям разного типа, содержание калия при одинаковом уровне кремнекислотности может быть существенно разным (Kay et al., 1982).

Еще один пример нарушения связи «калиевый характер вулканизма – большая глубина гипоцентров землетрясений» представляют собой влк Тамбора и другие на о. Сумбава в Индонезийской островной дуге. Этот остров расположен в широкой меридиональной зоне, в которой, по геологическим, сейсмологическим и гравиметрическим данным, нарушается структурное единство Индонезийской дуги. Она делится здесь на две части: дугу Сунда на западе и дугу Банда на востоке. В каждой из этих дуг наиболее калиевые вулканы приурочены к зонам с самыми глубокими гипоцентрами землетрясений. Но глубина гипоцентров под влк Тамбора и другими с их продуктами высококалиевой известково-щелочной и шошонитовой серий на о. Сумбава не отличается как-либо от глубин под вулканами обычной известково-щелочной серии и составляет около 30 км (Alzwar et al., 1981). А Пик Марос – эталон калиевой серии, по К. Бурри, находится на о. Сулавеси в той же меридиональной зоне, что и влк Тамбора, но отстоит от него на 400 км к северу, где сейсмофокальная зона глубоко погружена.

Таким образом, явление субдукции не может быть прямо использовано для объяснения различия вулканических серий и их петрохимии. Очевидно также, что субдукция не годится для объяснения повышения роли калия в вулканических породах на океанических островах, где это отмечается.

В поиске более общих решений по рассматриваемой проблеме И. И. Абрамович в коллективе геологов ВСЕГЕИ, анализировавших в конце 1970-х – в 1980-е гг. самые общие методологические проблемы современной геологии, сделал критический обзор генетических моделей, предложенных для объяснения петрохимической зональности в островных дугах и на активных окраинах континентов. Полагая очевидной ее постоянную связь с зонами субдукции, И. И. Абрамович различает модели, в которых изменчивость характеристик процесса субдукции не учитывается, и те, в которых предполагается, что рождение магм и их состав определяются физическими условиями в надсубдукционной мантии, меняющимися от фронта к тылу зоны субдукции. Объяснения в этих моделях разноречивы. Например, одни авторы говорят о закономерном возрастании полноты плавления в тыловой области, другие – о ее закономерном уменьшении. И. И. Абрамович с соавторами (Абрамович, Холевинский, 1991; Основы..., 1997) четко формулируют вывод о том, что петрохимическая зональность проявляется себя как в латеральных рядах магматических формаций (т. е. выражается в ступенчатом изменении свойств на картируемых границах между формациями), так и на внутриформационном уровне (т. е. непрерывно). Совместно с И. Г. Клушиным И. И. Абрамович, справедливо полагая, что латеральная петрохимическая зональность повсюду создается действием единого геохимического механизма, предложил для него название «термобарический мантийный сепаратор». «В основе модели лежит представление о латеральном перераспределении петрогенных компонентов (в надсубдукционном пространстве. – М. Г.) под воздействием градиентов давления и температуры... Эффективность перераспределения химических элементов обеспечивается насыщением астеносферного канала флюидной фазой, поставляемой туда при дегидратации литосферной пластины (которая погружается. – М. Г.). В градиентных полях, естественно, меняются и условия генерации магмы, однако ведущим фактором следует считать встречный транзит химических элементов, по-разному чувствительных к перепадам давления и температуры» (Основы..., 1997. С. 73).

И. И. Абрамович отмечает еще, что латеральная петрографическая зональность свойственна магматизму не только на границах океана и континента (зоны субдукции), но и на границах континентальных плит (коллизия). И очевидно, что здесь, как и на океанических островах, дегидратация субдуцируемой плиты причиной явления быть не может. Следуя концепции Д. С. Коржинского о ведущей роли глубинного флюида в эндогенных геологических процессах и с учетом изложенных выше описа-

ний зональности, можно придать более общее значение выводу, сделанному при объяснении соотношения контрастных и непрерывно дифференцированных магматических серий: «С физико-химической точки зрения природа латеральной петрографической зональности определяется региональной трансструктурной (геологические структуры, континент – океан) вариацией щелочности трансмагматического флюида» (Гельман, 1997. С. 74). Подчеркнем сразу, что, таким образом, латеральная зональность предстает как поле зависящих от географических координат признаков, петрографических и в частности петрохимических. Она не может быть интерпретирована как коллаж террейнов, однородных внутри себя, даже если такой коллаж на границе континент – океан присутствует. И флюид, с вариацией состава которого связывается происхождение зональности, вопреки мнению И. И. Абрамовича и многих других, вероятно, не порождается субдукцией, а имеет более глубокий источник. В частном, но весьма представительном случае Курильской островной системы к выводу о глубинном, не связанном прямо с сейсмофокальной зоной, происхождении флюидов, поставивших калий и натрия в область генерации магмы, пришли также И. Н. и Г. И. Говоровы (1982).

Справедливый критицизм к выводам о приуроченности магматических очагов при островодужном вулканизме к зоне Бенъофа, что будто бы следует из выявляемой статистической корреляции между величиной калий-натриевого отношения в лавах вулканов и глубиной гипоцентров землетрясений под ними, виден в работах сахалинских и камчатских вулканологов. В основе таких выводов лежит логическая ошибка, наивная убежденность в том, что статистическая связь двух величин есть выражение причинной связи между описываемыми ими явлениями. «Можно с полной уверенностью утверждать, что любой параметр, характеризующий особенности вещественного состава и имеющий зональное распределение в латеральном направлении, будет коррелироваться с глубиной до сейсмофокальной зоны. ... Таким образом, наблюдаемая корреляция “состав – глубина” возникает благодаря существованию поперечной петрохимической зональности состава вулканической островодужной ассоциации. Ее причинная обусловленность глубинными подкорковыми процессами не вызывает сомнения, на что указывают постоянство латеральных вариаций и их независимость от структур коры (не считая изменений по простиранию дуг). Однако для объяснения зональности плавлением магмогенерирующего вещества в наклонном сейсмофокальном слое в настоящее время нет оснований» (Пискунов, 1987. С. 190).

* * *

Латеральная петрографическая зональность, представляя собой некоторую общую особенность геологии, нуждается, очевидно, в дальнейшем исследовании. План зональности в зонах перехода континент – океан остается устойчивым в течение геоло-

гически измеримого времени. Так, в фанерозойской геологической истории Северо-Восточной Азии можно различить несколько магматических эпох, на рубеже которых меняется план такой зональности (Гельман, 2001). При этом петрографическая зональность многоаспектна. Кроме собственно петрографического аспекта (изменчивость магматических формаций, породных ассоциаций), есть петрохимический и минералогический аспекты. Можно говорить и об изотопно-геохимическом аспекте. В природе нет таких границ, на которых бы характеристики горных пород изменялись бы по нескольким признакам сразу. Одни и те же минеральные парагенезисы выявляются близ границы двух смежных зон, различных в петрохимическом отношении, и т. п. Поэтому геологические структуры, на которых проявлена латеральная петрографическая зональность, при внимательном их изучении не удастся подразделить на террейны с особыми и неизменными в каждом петрологическими признаками. Поскольку зональность однотипна по всей периферии и по обрамлению Тихого океана, постольку она увязывается с представлением о глубинном флюидном потоке, характеристики которого – соотношение химической активности калия и натрия, активность воды, окисленность и восстановленность – закономерно изменяются в направлении от океана к континентам. Все это, в зависимости еще и от строения земной коры, меняющегося в том же направлении, соответственным образом влияет на особенности одновременно-го магматизма. Изменение плана латеральной петрографической зональности на близких возрастных рубежах во всем тихоокеанском обрамлении фиксирует глобального значения события в истории Земли.

Исследования частично поддержаны грантом РФФИ (проект № 11-05-98601-Р_восток_a).

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамович И. И., Холевинский С. Б. Латеральные петрохимические тренды современных зон субдукции // ДАН СССР. – 1991. – Т. 316, № 2. – С. 460–463.
- Белоусов А. Ф. Проблемы анализа эффузивных формаций. – Новосибирск : Наука, СО, 1976. – 332 с.
- Бельый В. Ф. Проблемы геологического и изотопно-го возраста Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2008. – № 6. – С. 92–103.
- Беляев И. В., Гельман М. Л., Тимошенко В. И. Мощность земной коры Северо-Востока СССР и относительное содержание калия в изверженных горных породах // ДАН СССР. – 1973. – Т. 213, № 3. – С. 699–701.
- Беммелен Р. ван. Горообразование. – М. : ИЛ, 1956. – 104 с.
- Билибин Ю. А. О геохимических типах орогенических зон // Избранные труды. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – Т. 2. – С. 426–433.
- Браун Дж. М. Проблема разнообразия изверженных горных пород // Эволюция изверженных пород. – М. : Мир, 1983. – С. 13–23.
- Вистелуус А. Б., Аралина Л. И., Бурьянова И. З. и др. Основные закономерности распределения калия в послелорских гранитоидах Северо-Востока Азии и прилегающей части Тихого океана // ДАН СССР. – 1969. – Т. 184, № 2. – С. 441–444.
- Гельман М. Л. Гранат в изверженных породах (на примере Северо-Востока СССР) // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1980. – № 8. – С. 35–49.
- Гельман М. Л. Вопросы генезиса магмы в свете изучения позднемезозойской латеральной петрографической зональности на Северо-Востоке Азии // Новые данные по геологии и металлогении Северо-Востока России (тематический обзор работ 1992–1996 гг.). – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1997. – С. 60–83.
- Гельман М. Л. Геология гранитоидов и их состав – ключ к происхождению кислых магм в фанерозойской истории Северо-Востока Азии // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики : в 3 т. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – Т. 2. – С. 156–160.
- Гельман М. Л., Тимошенко В. И. Опыт регионального петрохимического исследования территории Северо-Востока СССР с помощью перфокартотеки химических анализов горных пород // Вопросы петрохимии; материалы к совещанию. – Л. : Недра, 1969. – С. 245–246.
- Гельман М. Л. Эпохи и зональность магматизма и метаморфизма на Северо-Востоке Азии: новые вопросы региональной металлогении // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий : в 3 т. Т. 1. Региональная геология, петрология и геофизика. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2001. – С. 128–133.
- Геология океана: Осадкообразование и магматизм океана / отв. ред. П. Л. Безруков. – М. : Наука, 1979. – 415 с.
- Говоров И. Н., Говоров Г. И. Калиевые вулканические серии островных дуг // Магматизм и метаморфизм как индикаторы геодинамического режима островных дуг. – М. : Наука, 1982. – С. 142–160.
- Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Моралев В. М. Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. – М. : Наука, 1976. – 231 с.
- Иванов В. В., Мейтув Г. М. Геолого-геохимические исследования рудных провинций. – М. : Недра, 1972. – 288 с.
- Ирдли А. Дж. Петрографические и тектонические провинции Запада Соединенных Штатов Америки // Тр. XXI Междунар. геолог. конгр. Вып. 2. Тектоника и петрография. – М. : ИЛ, 1963. – С. 13–26.
- Ирдли А. Дж. Структурная геология Северной Америки. – М. : ИЛ, 1954. – 663 с.
- Красный Л. И. Проблемы тектонической систематизации. – М. : Недра, 1972. – 152 с.
- Куно Х. Латеральная вариация базальтовой магмы вкост окраин континентов и островных дуг // Науки о Земле. Т. 25. Окраины континентов и островные дуги. – М. : Мир, 1970. – С. 249–262.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Введение в историю петрографии. – Л. : ОНТИ, 1936.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Избранные труды : в 4 т. – М. : Л. : Изд-во АН СССР. – 1949. – Т. 1. – 511 с.
- Магматические горные породы / гл. ред. О. А. Богатиков. – М. : Наука, 1984. – Т. 2. – 415 с.
- Миясиро А., Аки К., Шенгер А. Орогенез. – М. : Мир, 1985. – 286 с.
- Новая глобальная тектоника (тектоника плит) / пер. с англ., под ред. Л. П. Зоненшайна и А. А. Ковалева. – М. : Мир, 1974. – 471 с.

Обручев С. В. Материалы для тектоники Северо-Восточной Азии // Проблемы советской геологии. – 1934. – Т. 2, № 6. – С. 182–200; Т. 3, № 7. – С. 1–17.

Основы геодинимического анализа при геологическом картировании / И. И. Абрамович, В. Н. Зелепугин, С. В. Аплонов и др. – М.: ВСЕГЕИ, 1997. – 519 с.

Пискунов Б. Н. Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. – М.: Наука, 1987. – 237 с.

Ритман А. Вулканы и их деятельность. – М.: Мир, 1964. – 437 с.

Смирнов В. И. Зоны Беньюфа и магматогенное рудообразование // Геол. рудн. месторождений. – 1974. – № 1. – С. 3–15.

Смирнов С. С. О Тихоокеанском рудном поясе // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1946. – № 2. – С. 13–28.

Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 280 с.

Устиев Е. К. О составе родоначальных магм на примере меловых и палеогеновых формаций Охотского вулканогенного пояса // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1965. – № 3. – С. 3–19.

Устиев Е. К. Охотский вулканический пояс и связанные с ним проблемы // Проблемы вулканизма: материалы I Всесоюз. вулканол. совещ. (г. Ереван, 1959 г.). – Ереван, 1959. – С. 359–361.

Харкевич Д. С. Общая сравнительная характеристика Верхояно-Колымской и Камчатско-Корякской складчатых областей // Тр. Якут. филиала АН СССР. Сер. геол. – М.: АН СССР. – 1950. – Сб. 1. – С. 21–39.

Шейнманн Ю. М. Области интрузий в пределах рам складчатости и их значение // Сов. геология. – 1958. – № 1. – С. 65–85.

Alzwar M., Barberi F., Bizouard H. et al. A structural discontinuity with associated potassic volcanism in the Indonesian Island Arc: First results of the CNR-CNRS-VSI mission to the island of Sumbawa // Rend. Soc. Geol. It. – 1981. – Vol. 4. – P. 275–288.

Dickinson D. F., Hatherton T. Andesitic volcanism and seismicity around the Pacific // Science. – 1967. – Vol. 157. – P. 801–803.

Kay S. M., Kay R. W., Citron G. P. Tectonic controls on tholeiitic and calc-alkaline magmatism in the Aleutian Arc // J. of geophysical research. – 1982. – Vol. 87, No. B 5. – P. 4051–4072.

Kovalenko V. I., Yarmoluk V. V., Bogatikov O. A. Magmatism, Geodynamics, and Metallogeny of Central Asia. – М.: MICO, 1995. – 272 p.

Kuno H. Differentiation of basalt magmas. Basalts. – N. Y.: Interscience, 1968. – Vol. 2. – P. 623–688.

Kuno H. Lateral variation of basaltic magma type across continental margins and island arcs // Bull. volcanol. – 1966. – Vol. 29. – P. 195–222.

Kuno H. Petrology of Hakone Volcano and the adjacent areas, Japan // Geol. Soc. Am. Bull. – 1950. – Vol. 61. – P. 957–1020.

Marshall P. Oceania // Handb. Reg. Geol. – 1911. – Vol. 7. 2.

Marshall P. The structural boundary of the Pacific Basin // Rept. Australasian assoc. Advan., Sc. – 1912. – Vol. 13. – P. 90–99.

Moore J. G. K/Na ratio of Cenozoic igneous rocks of the western United States // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1962. – Vol. 26. – P. 101–130.

Moore J. G. The quartz diorite line in the western United States // J. Geol. – 1959. – Vol. 67. – P. 198–210.

Moore J. G., Grantz A., Blake M. C. The quartz diorite line in northwestern North America // Short Papers in the Geologic and Hydrologic Sciences, Article 183. Geol. Survey prof. paper 424-c. – 1961. – P. 87–90.

Nockolds S. R., Allen R. The geochemistry of some igneous rock series // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1953. – Vol. 4. – P. 105–142; 1954. – Vol. 5. – P. 245–285; 1958. – Vol. 9. – P. 34–77.

Поступила в редакцию 26.07.2013 г.

THE LATE MESOZOIC AND CENOZOIC IGNEOUS PROVINCES WITHIN THE CIRCUMPACIFIC: CONTINENTAL NORTHEAST ASIA VS JAPAN AND OTHER REGIONS

Part 1. Different Petrographic Zoning as a Steady Peculiarity of the Continent – Ocean Transition Geologic History (Review of the Ideas)

M. L. Gelman

In the 19th–20th centuries, the Mesozoic and Cenozoic rocks were found to vary in their chemistry and mineralogy with the transition from the Pacific to its continental rim. Northeast Asia, the Japanese Islands, and the Indonesian Archipelago are represented as the *terra classica* in studies of lateral petrographic zoning as a peculiar geological phenomenon. The variability trends are basically the same over the entire Pacific and through the geologic time. Regular K, Na, and H₂O activity changes in the endogenic fluids beneath the ocean and surrounding areas are assumed to be the cause of the magmatism variability there.

Key words: igneous provinces, continental margins, North-East Asia, late Mesozoic and Cenozoic, history of geological ideas.