

ОСТРОВНЫЕ И ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ДУГИ. ПРОБЛЕМЫ СООТНОШЕНИЯ И ТИПИЗАЦИИ ДУГ

В.А. Ермаков

Институт физики Земли РАН, Москва, e-mail: ermak@ifz.ru

Рассмотрены главные гипотезы образования островных дуг, соотношение островных и вулканических дуг, проблема типизации дуг. Показано, что широко принятая в настоящее время синонимичность понятий островная и вулканическая дуга является возможным, но не достоверным обобщением. Разделение этих явлений – необходимый шаг в понимании геологических процессов. **Вулканическая дуга (ВД)** – это литодинамический комплекс, т.е. некоторое формационное тело определенного состава, возраста, пространственного положения; функция ВД – накопление вещества. **Островная дуга (ОД)** это тектонотип, т.е. гетерогенный вещественный комплекс, не обязательно вулканический, отражающий особенности деформаций и тектонических движений островной суши; функция ОД – формирование морфоструктуры. Островные дуги развиты локально и всегда в связи с развитием задуговых глубоководных впадин, а вулканические дуги – глобальны и аструктурны. Вулканические дуги совместимы с различными тектоническими структурами: ОД, рифтовыми системами, складчатыми зонами типа Камчатки или Японии, иногда – со срединными массивами; в южноамериканских Андах они наложены на разновозрастные складчатые зоны и активизированные молодые платформы. Вулканические дуги юго-восточных районов Пацифики (Марианская, Тонга-Кермадек, дуги типа Яп, Палау) с крайне малой долей вулканических накоплений наложены на океаническую или океанизированную кору неясной природы. Следовательно, только ВД соизмеримы и взаимозависимы с глобальными же структурами на границах Тихого океана: глубоководными желобами и сейсмофокальными зонами. Иерархия названных структур по периферии Тихого океана представлена на рис. 1.

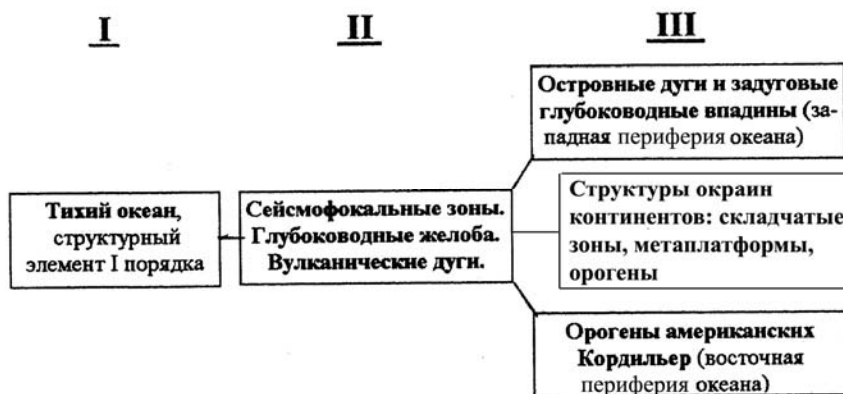


Рис. 1. Иерархия геологических структур по периферии Тихого океана. I, II, III – обозначение рангов структур, от крупных к мелким: I – талассократон, II – границная область, III – структуры периферии океана.

Известно, что для западной периферии Тихого океана, с проявлением типичных ОД, характерен относительно низкий гипсометрический уровень континентальной коры и ее небольшая мощность, а для восточной, наоборот, – высокий уровень и утолщение коры. Отсюда следует, что влияние глобальных процессов резко различно и противоположно в этих частях периферии океана. Группа структур западного обрамления, по-видимому, отражает процесс деструкции и океанизации, а структуры восточного обрамления океана, наоборот, – процесс континентализации, увеличения объемов коры. Вулканические дуги реагируют на эти различия формированием разных групп формаций: на западе – существенно базальт-андезитобазальтовых, на востоке – андезитовых и дацит-риолитовых.

Все ОД, в пределах наблюдаемой островной суши, представляют собой участки преимущественно тектонических поднятий. Об этом свидетельствуют лестницы многочисленных морских террас. В таких поднятиях можно увидеть следы нескольких фаз

тектогенеза, начиная по крайней мере с раннего палеогена, однако наблюдаемая амплитуда воздымания характеризует лишь последнюю из этих фаз, наступившую после формирования последней абразионной поверхности выравнивания приблизительно в эоцено-эолигоцене. Одновременные поднятия по простиранию ОД или на разных дугах развиваются на породах разного возраста, то есть, они не связаны с вулканической аккумуляцией. Другими словами, при формировании поднятий доля вулканических пород в ОД, не является определяющей. Например, на Курильских островах вклад четвертичной ВД в общий объем синхронного островного поднятия по разным оценкам составляет не более 25-30%. Если островная суша поднимается, то продольные периферийные части ОД, как со стороны задуговых бассейнов, так и континентального склона, повсеместно прогибаются. Подобные процессы протяженных линейных прогибаний прослеживаются с раннего палеогена, а в некоторых бассейнах – с нижнего мела. Самые древние задуговые бассейны (более 70 млн.л.): Алеутская, Западно-Филиппинская, Южно-Фиджийская, Сикоку впадины. Глубины дна в наиболее древних впадинах достигают 5,5 км. Эти данные были систематизированы Н.А. Богдановым. Островные дуги, соответствующие названным впадинам, имеют примерно тот же возраст. Начало формирования Идзу-Бонинской, Марианской, Тонга, Алеутской ОД можно отнести к эоцену, вероятно к раннему эоцену. Они определенно более зрелые, чем Курильская или Рюкю ОД, где признаки палеогенового развития не обнаружены.

В позднем кайнозое в Филиппинском море, от позднего палеогена к настоящему времени, происходит неуклонное увеличение площади и глубины впадин за счет сокращения и погружения под уровень моря значительных участков Марианской и Идзу-Бонинской дуг. Подводная дуга Кюсю-Палау испытала быстрое погружение в конце олигоцена - в миоцене на глубины, достигающие 1000 м. Аналогичной, но более поздней структурой является Западно-Марианский хребет. Возраст тектонических движений в регионе Филиппинского моря омолаживается с запада на восток. Глубоководные впадины в регионе Молуккских островов и Филиппин, Кораллового и Восточно-Китайского морей образованы лишь в конце третичного времени или в плейстоцене, а до того представляли собой мелководные эпиконтинентальные моря. Опускание континентальных склонов Марианской и Тонга ОД с позднего эоцена оценивается в 5-6 км, Японии, в районе Хонсю - с миоцена в 3-5 км, Курильских островов – 4 км, Камчатки – 3-4 км за плио-плейстоцен. Дуга Рюкю, примыкающая к Японии с юга, вовлечена в обширное эпиконтинентальное прогибание по разломам типа нормальных сбросов на 5-12 км; в основании прогибов залегают палеозойские и мезозойские породы. В задуговой части прогибание фиксируется с палеоцена, а в междуговом трого Окинава и в преддуговых бассейнах – с позднего миоцена. В раннем-позднем миоцене на месте ОД Рюкю располагался окраинный вулканический пояс (зеленых туфов).

Таким образом, в масштабе геологического времени ОД одновременно опускаются и поднимаются: опускаются периферийные продольные части дуг, а поднимается остаточная суша. Островная дуга - это гигантский сдвоенный эскарп между расширяющимися и опускающимися смежными впадинами океана и задугового бассейна. Поперечник ОД сокращается за счет обрушения все новых частей островной суши главным образом со стороны задугового бассейна. Так, поперечник Курильской ОД за плиоцен и ранний плейстоцен сократился в 5-7 раз. Задуговая глубоководная впадина является критерием выделения ОД: нет бассейна – нет ОД. Вывод о синхронности процессов опускания (деструкции) и поднятия ОД самый общий. В будущем, для коротких отрезков времени, вероятно, можно будет установить чередование тех или иных процессов, однако это требует наличия большого количества датированных событий, которыми мы не располагаем. Особенностью указанного развития ОД является то, что дуги формируются прерывисто, что устанавливается изучением поверхностей несогласий. Курильская ОД по крайней мере дважды, в конце миоцена и в позднем плиоцене, испытала деформацию и абразионное выравнивание. Следовательно, тектоническая эволюция ОД происходит при воздействии как обширных эпейрогенических движений, так и контрастных глыбовых движений, связанных, преимущественно, с прогибанием и разрастанием задуговых впадин. Автор назвал тектонотип островной дуги **эскарпогеном**, а процесс его образования **эскарпогенезом** (Ермаков, 2005). Принципиальные различия между орогенезом и эскарпогенезом показаны на рис.2. Эскарпогенез, в противоположность орогенезу, приводит к уменьшению объема континентальной коры, сходному с океанизацией. Эффективная океанизация протекает, однако, не в самой ОД, а в тыловой впадине, когда все новые части этой ОД оказываются вовлеченными в прогибание. Со стороны Тихого океана, на

континентальном склоне этот процесс протекает менее активно, о чем свидетельствуют длительно сохраняющиеся участки так называемых внешних дуг (с раннего палеогена) и относительно глубокие континентальные корни на этих дугах.

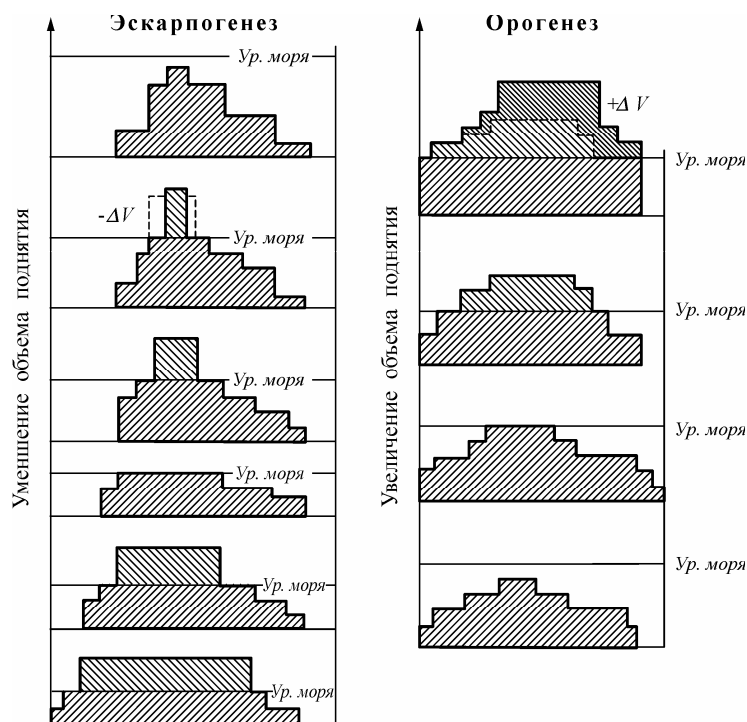


Рис. 2. Принципиальные различия между морфоструктурами эскарпогенеза и орогенеза. Показаны стадии эволюции поднятий: приращение поднятий и формирование горной страны при орогенезе и убывание объема поднятий вплоть до формирования подводных остаточных поднятий при эскарпогенезе. На промежуточном разрезе (при эскарпогенезе) показана стадия формирования абразионной поверхности выравнивания, которая позднее превращается в поверхность несогласия.

Процесс расширения впадин и умаления дуг развивается с формированием глубоких шарьяжей (надвигов), направленных в сторону океана и глубоководного желоба. Шарьяж формирует

изгибы дуг и перекрывает первичный тальвег желоба. С этим связан ряд важных следствий для сейсмотектоники, поскольку большая часть катастрофических землетрясений может быть связана с движением шарьяжа. Историко-геологический анализ позволяет отличить эскарпогенез от орогенеза по их конечному результату: в первом случае это - исчезновение поднятий, погружение ОД под уровень моря, во втором – формирование горной страны. Соответственным образом будут различаться и последовательности осадочных образований, сопутствующих названным процессам в геологических разрезах.

Как отмечено, ВД совмещены с разнотипными тектоническими структурами. Поэтому следует различать петрологические характеристики ВД, совмещенных с различными геодинамическими режимами. Состав вулканитов самой ОД довольно однообразен с резким преобладанием серии высокоглиноземистого низкокалиевого базальта. Это - наиболее истощенные калием и магнием известково-щелочные породы. Их специфической особенностью является присутствие мегакристов плагиоклаза (анортита) во всех типах пород от базальта до риолито-дацита. Доля базальт-андезитобазальтовых формаций в общем объеме вулканических пород может составлять до 75%; содержание кислых пород – не более 12-13%, андезитов – до 15-20%. Доля кислых пород (риолито-дацитов, риолитов, плагиогранитов) может быть повышена за счет включения в общий объем ОД формации «зеленых туфов (ЗТ)», которая, однако, по многим признакам имеет сходство не с ОД, а с окраинными вулcano-плутоническими поясами. Кластерный анализ петрохимических данных (1386 анализов вместе с ЗТ) для Курильской ОД, в т.ч. для ее внешней и тыловой зон, выполненный нами совместно с В.М. Ряховским, показывает явное преобладание андезитобазальтов (44%). Выделено два типа последних, представленных приблизительно в равной мере, одни – близкие к андезитам, высококалиевые (кластер с $\text{SiO}_2=56,5\%$ и $\text{K}_2\text{O}=1,7\%$), вторые – низкокалиевые ($\text{SiO}_2=54,7$ и $\text{K}_2\text{O}=0,8$). Базальты составляют 21%, в том числе, низкокалиевые, - с вариацией K_2O в кластере от 0,5 до 0,7% и

субщелочные, с $K_2O=1,60\%$. На андезиты и дациты приходится 35% всех анализов, среди них андезиты (кластер с $SiO_2=58,2\%$ и $K_2O=1,05\%$) всего лишь 9%. Риодациты встречаются редко и относятся к миоценовым породам (ЗТ). Встречающиеся в ОД субщелочные или шошонитовые комплексы связаны или с «внешними дугами», которые относятся к выходам мезозойского или палеозойского фундаментов активных дуг, либо к рифтогенным структурам задуговых бассейнов, в которых проявлены признаки контаминации веществом коры (Baranov et al., 2002).

Известно, что в ВД орогенов доля базальтов не выше первых процентов, чем они существенно отличаются от островодужных. При переходе ВД с ОД на структуры континентальных окраин в них резко возрастает доля шошонитов и других калиевых, иногда и натровых пород. Одним из ярких примеров является Антарктическая дуга: одна ее часть, пересекающая платформу, сложена трахибазальтами, фонолитами, трахитами (часто с анортоклазом), другая, продолжающаяся в Южных Шетландских островах – известково-щелочными вулканитами, наконец, Южно-Сандвичева ОД – низкокалиевыми вулканитами толеитовой серии. Более сложные отношения такого же рода отмечены для ОД Соломоновых островов, ОД в обрамлении моря Бисмарка и др.

При пересечении Курильской ВД континентальных структур Камчатки здесь появляются породы формаций: трахибазальтовой, абсарокит-шошонит-латитовой, щелочных базальтоидов; возрастает разнообразие пород. Известно, что шошонитовые формации указывает на проявление эпиконтинентального рифтогенеза. Отмеченные особенности ярко видны на диаграммах, полученных ранее О.А. Богатиковым и А.А. Цветковым (1988). Повышение щелочности и калиевости по-прежнему остается важнейшей особенностью ВД при пересечении ими континентальной структуры. Первичные значения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в Курило-Камчатской ВД составляют 0,7029-0,7030 при $\epsilon Nd-9-10$; отклоняющиеся значения связаны с различной долей контаминации коры (Покровский, 2000). Преобразование тихоокеанских магм при ассимиляции карбонатных и глинистых пород в типы средиземноморских магм как калиевого, так и натрового типа, – хорошо изученный процесс в мировой петрографии и экспериментальной петрологии. Сильная эксплозивность, высокие $\delta^{18}O$ и окисленность вулканических пород ОД также свидетельствуют о влиянии коры на эволюцию соответствующих магм.

Эволюция ОД в предельном случае приводит к формированию подводной энсиматической дуги. Хотя в ОД и производится континентальная кора (в виде базальтовых формаций), этот процесс, в целом, подавляется тектонической деструкцией и океанизацией (Ермаков, 2006). Петрологическим критерием океанизации является парагенезис вулканических формаций известково-щелочного высокоглиноземистого базальта. Эта группа формаций типична не только для ОД, но и для фронтальных частей полуостровных и микроконтинентальных структур, геофизические характеристики которых свидетельствуют о преобразовании и сокращении мощности коры. Содержание гранитоидов в ОД обычно менее 1-2%. Таким образом, эволюция ОД сводится к процессу преобразования континентальной коры в океаническую. Вулканические дуги не аналоги окраинных вулканических поясов, хотя те и другие имеют глобальный характер. Более того, в основании ВД присутствует комплекс «зеленых туфов» который обладает множеством признаков, сближающих его с ОВП. Смена пояса ЗТ вулканической дугой отражает преобразование сопряженного с ними мелководного задугового бассейна в глубоководный. При этом происходит кардинальное изменение парагенезисов осадочных и вулканических формаций, отражающее прогрессивное уменьшение размеров ОД и развитие фазовых переходов или реакций океанизации.

Список литературы

- Богатиков О.А., Цветков А.А.** Магматическая эволюция островных дуг. М.: Наука, 1988. 249 с.
- Ермаков В.А.** Островные дуги и их роль в эволюции континентальной окраины (новый взгляд на известные факты) // Вулканология и сейсмология, № 5. 2005. С. 3-18.
- Ермаков В.А.** Островные дуги: особенности тектонического развития и преобразование континентальной коры // Бюллетень МОИП, 2006. № 5. С. 21-34.
- Покровский Б.Г.** Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. М.: Наука, 2000. 229 с.
- Baranov V.V. et al.** Evidence for compressionally induced high subsidence rates in the Kurile Basin // Tectonophysics, 2002. V. 350. P. 63-97.