

Научные статьи

УДК 552.513.1(597)

*Светлой памяти
участника 13 рейса НИС «Вулканолог»
Юрия Денисовича Маркова посвящается*

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОСАДОЧНЫХ И ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ОСТРОВОВ ГРУППЫ ФУ-КУЙ – КАТУИК (ШЕЛЬФ ВЬЕТНАМА)

© 2015 А.И. Малиновский¹, В.А. Рашидов²

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, 690022; e-mail: malinovsky@fegi.ru
²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

Изучен вещественный состав осадочных и вулканогенно-осадочных пород из естественных обнажений на вулканических островах группы Фу-Куй – Катуик (шельф Вьетнама). По минерало-петрохимическим характеристикам песчаные породы о. Фу-Куй являются петрогенными и относятся к субаркозам. Судя по преобладанию среди породообразующих компонентов песчаников кварца и полевого шпата, доминированию в тяжелой фракции минералов сиалических пород, а также характеру распределения главных, редких и редкоземельных элементов, основными источниками кластики были кислые интрузивные и метаморфические породы зрелой континентальной земной коры, а геодинамическая обстановка в области питания соответствует пассивной континентальной окраине. Среднеплейстоценовые вулканогенно-осадочные породы островов группы Фу-Куй – Катуик сложены пирокластическим материалом основного состава близкого к базальтам трахибазальт-трахитовой и щелочно-базальтовой серий Вьетнама, имеющим внутриплитные характеристики и связанным с существующими здесь обстановками растяжения. Формирование вулканогенных отложений происходило в субаэральных условиях вблизи от центров вулканических извержений.

Ключевые слова: Фу-Куй, Катуик, шельф Вьетнама, осадочные, вулканогенно-осадочные породы.

В период с 1977 по 1987 гг. сотрудниками Института вулканологии ДВО АН СССР, совместно с коллегами из Дальневосточного геологического (ДВГИ) и Тихоокеанского океанологического институтов ДВО АН СССР, Геологического института АН СССР и Института Наук о Земле Национального Центра научных исследований СРВ в 7-ми рейсах НИС «Вулканолог» на шельфе Южно-Китайского моря были изучены участки проявления подводного и наземного вулканизма. В результате проведенных исследований в пределах западной краевой части субмеридионального линеамента (108-110° в. д.) (Горшков и др., 1991; Кулинич и др., 1986; Рашидов, 1997) выявлены три участка

проявления позднекайнозойского подводного вулканизма, продукты деятельности которого распространены на площади примерно в 3400 км², а на двух из них вулканизм проявляется и на островах (Бондаренко, Надежный, 1985; Горшков, 1981; Горшков и др., 1984, 1991; Колосков, 1999; Колосков и др., 1987; Марков 1993; Рашидов, 1997, 2007, 2010; Родников и др., 2014).

В 13-м рейсе НИС «Вулканолог» (1982 г.) были проведены комплексные геолого-геофизические исследования одного из таких участков – ареальной вулканической зоны Фу-Куй (Тху) – Катуик (рис. 1). Работы включали и наземные маршрутные обследования нескольких находящихся здесь вулканических островов. Результатом

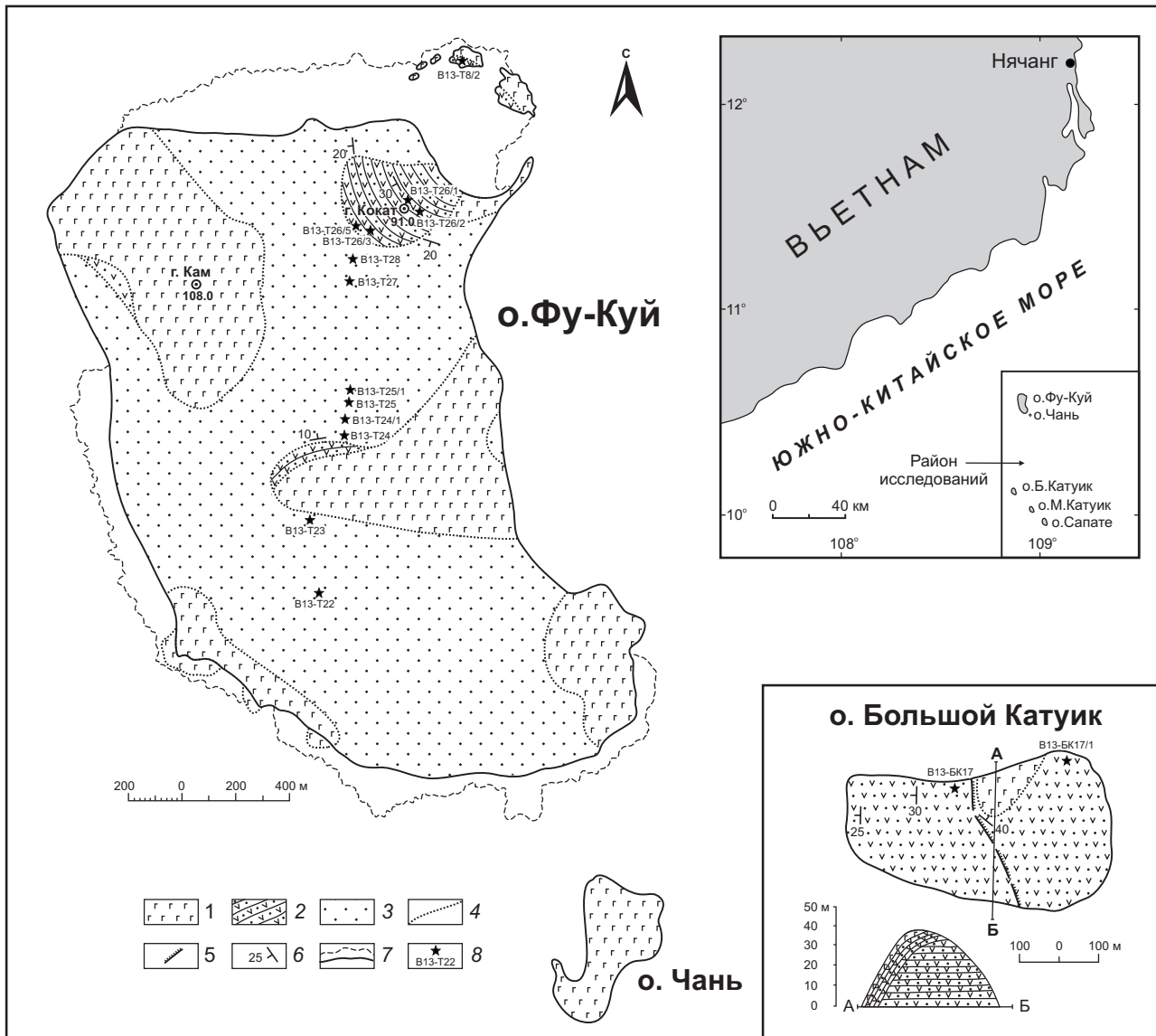


Рис. 1. Расположение ареальной вулканической зоны Фу-Куй – Катуик на шельфе Южно-Китайского моря (врезка справа вверху) и схематические геологические карты о-вов Фу-Куй, Чань и Большой Катуик, по (Колосков, 1999) с упрощениями и изменениями: 1 – базальты; 2 – туфы и пачки их переслаивания; 3 – песчаные породы; 4 – условные геологические границы; 5 – линия углового несогласия; 6 – элементы залегания; 7 – береговая линия и линия распространения коралловых рифов; 8 – места отбора проб и их номера.

этих, предыдущих и последующих исследований явились публикации обширного материала по геологии и петрохимии вулканических пород этих островов (Авдейко, 1987; Горшков, 1981; Горшков и др., 1991; Колосков и др., 1987, 2003б; Новиков и др., 1989; Сапожников и др., 1979; Федоров, Колосков, 2005; Hoang, Flower, 1988 и др.), в то время как данные по вещественному составу осадочных и вулканогенно-осадочных пород практически отсутствуют. Цель настоящей публикации – восполнение этого пробела.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Вулканическая зона Фу-Куй – Катуик (рис. 1), расположена в юго-западной части Южно-

Китайского моря на внешней части шельфа Вьетнама с глубинами 200–300 м. Она приурочена к восточному краю впадины Меконг и протягивается в субмеридиональном направлении на 80–90 км при ширине 10–25 км (Колосков и др., 2003а; Рашидов, 2007). Зона является частью кайнозойской континентальной вулканической провинции Юго-Восточной Азии (Авдейко, 1987; Бондаренко, Надежный, 1985). Вулканические комплексы зоны образовались в два этапа. На первом этапе сформировалась толща плиоцен-нижнеплейстоценовых платобазальтов, а на втором – небольшие верхнеплейстоценовые ареалы лавовых и шлаковых конусов, сложенных щелочными и субщелочными базальтами с большим количеством ксенолитов

гипербазитов (Авдейко, 1987; Бондаренко, Надежный, 1985; Горшков и др., 1984; Колосков, 1999; Колосков и др., 2003а). Вулканическая деятельность в пределах зоны связана с существующими здесь обстановками растяжения (Беммелен, 1957; Горшков и др., 1991; Колосков и др., 2003а; Rangin et al., 1995). Ранние этапы вулканизма приурочены к разломам северо-западного и северо-восточного направлений, а позднего – к субмеридиональным нарушениям (Бондаренко, Надежный, 1985; Куок Н.К., Тхьюк Л.Н., 1979; Рашидов, 1997).

В пределах исследованной вулканической зоны, помимо группы о-вов Фу-Куй – Катуик, находится около 20 небольших (диаметры оснований от 0.5 до 3 км при высоте от 40 до 200 м), изолированных или расположенных группами подводных вулканических построек – как современных, так и погребенных. Все наземные и подводные вулканы располагаются на вулканогенно-осадочном фундаменте мезозойско-кайнозойского возраста и являются моногенными, связанными с одноактными извержениями. Последним достоверным извержением в пределах изученной зоны было извержение группы подводных вулканов Иль-де-Сандр, произошедшее в 1923 г. (Patte, 1925а, 1925б).

В состав группы о-вов Фу-Куй – Катуик входят собственно о. Фу-Куй, с несколькими расположенными на нем вулканическими конусами, группа более мелких вулканических островов (Большой и Малый Катуик, Сапате, Чань), а также ряд экзотических надводных скал. Все эти постройки, по данным А.П. Горшкова (1981), являются горстообразными выступами осадочного фундамента.

Остров Фу-Куй (рис. 1), находящийся на расстоянии 75 км от побережья Вьетнама, имеет слабо выраженную подковообразную форму, и вытянут в север-северо-западном направлении на 7.5 км при ширине 3-4 км¹. В южной части он представляет собой платообразную равнину высотой до 20 м, очевидно абразионного происхождения, а в северной выделяется две вулканические постройки высотой 108 и 91 м. Остров имеет вулканическую природу, о чем свидетельствуют, в частности, пять центров извержений, выделенных при наземных исследованиях². В их строении участвуют многочисленные мало-

мощные (до 1 м) потоки афировых пористых и плотных базальтов, часто содержащих крупные (до 5-8 см) включения лерцолитов. Базальты обычно чередуются с пачками переслаивания желтовато-коричневых и кремново-серых основных туфов (рис. 2а), имеющих самую различную размерность – от алевритовых до агломератовых. Часто в туфах встречаются крупные базальтовые бомбы размером от 0.5 до 10 см, а иногда и до 1.5 м. Слоистость, как правило, горизонтальная часто с градиционной сортированностью материала, выраженной в быстрой и закономерной смене от подошвы к кровле прослоев псаммитовыми и даже алевритовыми. Границы между прослоями четкие, резкие. Мощность отдельных прослоев от 1-3 см до 1.5 м, а пачек, в целом, видимо не более 100 м. Наиболее мощная пачка подобного переслаивания известна на горе Кокат (отм. 91.0 м), где она слагает западную отвесную стенку прижерловой части этой древней разрушенной вулканической постройки (рис. 2б), как бы периклинально³ «облекая» ее с юга и запада (азимут падения 190-290°), при углах падения от центра 20-30°. Возраст вулканогенных образований острова по К-Аг датировкам базальтов – моложе 0.6 млн лет (Колосков, 1999).

На большей части территории острова вулканические образования с резким несогласием перекрыты пологозалегающим (с углами падения до 10°) «плащом» красновато-бурых рыхлых либо слабо литифицированных разномерных (от алевритистых до грубозернистых) песчаных пород. Породы массивные или с неявно выраженной горизонтальной слоистостью, обусловленной различной размерностью кластического материала в прослоях. Мощность прослоев – от 0.3 до 5 см. Общая мощность отложений невелика, вероятно, не более 2-3 м, поскольку из под них часто выступают коренные вулканические породы.

Остров Сапате имеет форму отдельно стоящей скалы с плоской, пологой наклоненной к западу вершиной, возвышающейся на 111 м, и крутыми (более 45°) стенками (рис. 3а). Он вытянут в северо-западном направлении на 700 м. Остров сложен пачкой переслаивания туфов основного состава, аналогичной изученной на о. Фу-Куй. Слоистость обусловлена чередованием прослоев с различной размерностью пирокластического материала: от алевритовой до среднепсаммитовой с размерами обломков до 10-15 мм. По всему разрезу беспорядочно рассеяны обломки и глыбы базальтов размером от 10 до 50 см. Слоистость, как правило, горизонтальная, чет-

¹ Горшков А.П., Дубровский В.Н., Иваненко А.Н. и др. «Научно-технический отчет о 10 рейсе НИС «Вулканолог» (16.01 – 11.04. 1981 г.). Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, 1981. 185 с.

² Авдейко Г.П., Бондаренко В.И., Гавриленко Г.М. и др. «Научно-технический отчет о работах 13 рейса НИС «Вулканолог» (28.01 – 23.04. 1982 г.). Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, 1982. 292 с.

³ Горшков А.П., Иваненко А.Н., Колосков А.В. и др. «Научно-технический отчет о работах 16 рейса НИС «Вулканолог» (12.04 – 27.06. 1983 г.). Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР, 1983. 165 с.



Рис. 2. Тонкое переслаивание туфов различной размерности (*а*), пачка переслаивания туфов горы Кокат, слагающая прижерловую часть разрушенной вулканической постройки (*б*).



Рис. 3. Острова группы Катуик: *а* – о. Сапате; *б* – о. Большой Катуик; *в* – о. Малый Катуик.

кая, тонкая, прослой имеют мощность от 1-2 до 10-20 см, иногда до 0.5-0.7 м. Вместе с тем, в некоторых частях разреза наблюдается и пологая косяя слоистость, свидетельствующая о накоплении и перемыве пирокластического материала в водной среде. Общая видимая мощность пачки около 100 м.

Остров Большой Катуик имеет каплевидную в плане форму и вытянут на 640 м в широтном направлении. В его восточной части расположена округлая вершина высотой около 60 м (рис. 1, 3б). Западные и восточные берега острова крутые, а северные и южные – значительно более пологие. Остров сложен двумя несогласно залегающими пачками тонкого (0.5-15 см, редко до 80 см) переслаивания туфов – от алевроитовых до среднепесчанистых. Для каждого элементарного слоя характерно, как правило, наличие в основании

наиболее грубого, псефитового, материала. К верхней части слоя размерность материала быстро и закономерно уменьшается, вплоть до алевритовой, отражая гравитационную сепарацию материала, выпадавшего из эруптивной тучи. По всему объему толщи рассеяны многочисленные бомбы и обломки базальтов размером от 1-2 до 30-40 см. Общая мощность нижней туфовой пачки составляет примерно 40 м, а верхней, видимо, не превышает 10-15 м. Для подошв некоторых слоев характерны хорошо сохранившиеся трещины усыхания, образующие правильные прямоугольные полигональные участки размером до 15×15 см. Формирование их связано с периодическим заливанием, в промежутках между отдельными эксплозиями, а затем осушением участков поверхности, сложенной тонкоалевритовым туфогенным материалом. Помимо пирокластических отложений на острове установлен небольшой лавовый поток пористых шлакоподобных афировых базальтов, мощностью 50-70 см, перекрывающий отложения верхней пачки и круто спускающийся к подножию острова (Горшков, 1981).

Остров Малый Катуик представляет собой небольшую скалу треугольной формы (рис. 3в), выступающую над поверхностью моря на 4 м, и, как все острова этой группы, сложен пирокластическими породами. За счет различной размерности слагающего их материала в них выделяются две тонкослоистых, несогласно залегающих, пачки туфов, в которых рассеяны достаточно многочисленные бомбы базальтов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу настоящей работы положен оригинальный материал, полученный в результате изучения вещественного состава осадочных и вулканогенно-осадочных пород, отобранных авторами из естественных обнажений на вулканических о-вах группы Фу-Куй – Катуик. Из изученных отложений основное внимание уделялось песчаным породам, поскольку они несут наиболее богатую информацию о составе и типе источников питания, а также позволяют реконструировать геодинамические обстановки областей питания и осадконакопления (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986; Markevich et al., 2007; Maynard et al., 1982; Nechaev et al., 1996; Roser, Korsch, 1986 и др.).

Минерально-петрографический состав пород исследовался с помощью поляризационных микроскопов МИН-8 (ЛОМО, Россия) и Axioplan 2 imaging (Carl Zeiss, Германия). Тяжелые минералы извлекались с помощью бромформа после дробления проб до 0.25 мм и отмучивания в воде с целью выделить фракцию 0.01-0.25 мм.

Минеральный состав тяжелой фракции определялся и подсчитывался в проходящем и поляризованном свете под микроскопом с помощью иммерсионных жидкостей. При количественных определениях в подсчетах учитывались лишь обломочные минералы, а аутигенные исключались с тем, чтобы максимально надежно выявить состав и относительную роль источников питания. Химический состав тяжелых минералов определялся на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100 (JEOL Ltd., Япония). Состав глинистых минералов в цементе песчаных пород анализировался на рентгеновском дифрактометре MiniFlexII (Rigaku, Япония). Содержания петрогенных элементов в терригенных и вулканических породах определялись как традиционным весовым химическим методом, так и с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500 Duo (Thermo Electron Corporation, США). Концентрации редких и редкоземельных элементов (REE) определялись методом плазменной спектроскопии (ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500c (Agilent Technologies, США). Все анализы выполнены в лабораториях аналитической химии и рентгеновских методов Аналитического центра (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Песчаные породы (рис. 4) о. Фу-Куй буровато-красные, красные, коричневые, как правило, слабо литифицированные, либо цементация в них вообще отсутствует. По размерности частиц они варьируют от мелко- до крупнозернистых, и лишь иногда встречаются грубозернистые (обломки до 2 мм). Сортировка преимущественно хорошая, но с увеличением размерности она ухудшается. Песчаные зерна обычно хорошо окатанные, значительно реже полуокатанные и угловато-окатанные. Цемент пород базальтовый, поровый, иногда порово-пленочный и коррозионный, по составу железистый, реже глинисто-железистый.

По составу породообразующих компонентов песчаники однотипны и относятся к высококварцевым аркозам или, по определению Ф. Петтиджона (1981), к субаркозам. Обломочная часть занимает 60-80% их объема и состоит из кварца, полевых шпатов, обломков кислых интрузивных и метаморфических пород. Среди обломочных компонентов в песчаниках резко преобладает кварц, его содержание колеблется от 58 до 65%. Доминируют изометричные зерна монокристаллического кварца интрузивных пород, часто насыщенные мельчайшими газово-жидкими включениями и игольчатым рутилом. Значительно реже встречаются поликристал-

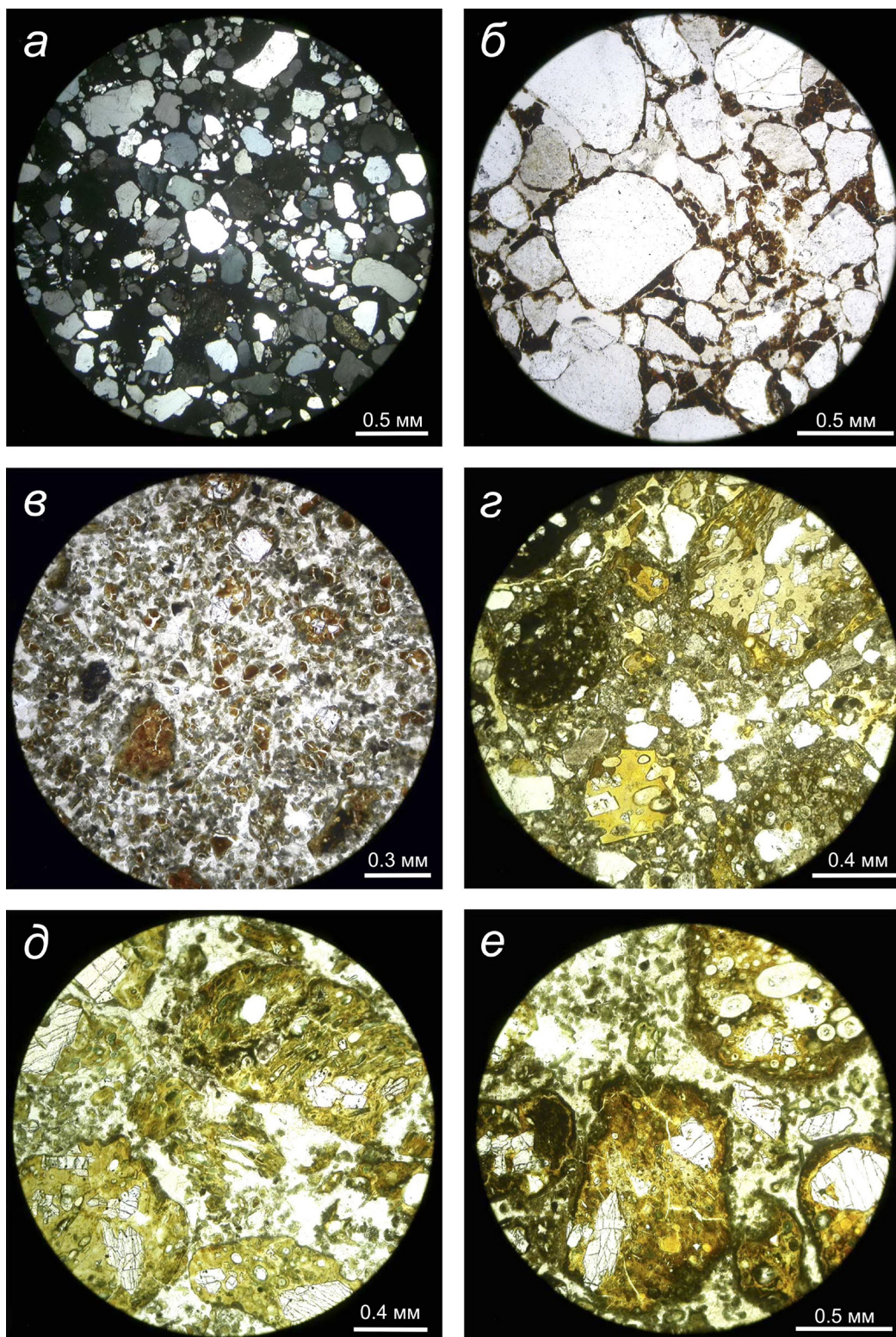


Рис. 4. Осадочные и вулканогенно-осадочные породы о-вов группы Фу-Куй – Катуик: *а, б* – кварц-полевошпатовые песчаники о. Фу-Куй: *а* – среднезернистый, хорошо окатанный и сортированный (обр. В13-Т23, николи скрещены), *б* – средне-крупнозернистый с глинисто-железистым цементом (обр. В13-Т22, николи параллельны); *в-е* – туфы: *в* – крупноалевритовый витрокластический с более крупными (псаммитовой размерности) кластами бурого стекла, базальтов и зернами оливина (обр. В13-МК16, николи скрещены), *г* – средне-крупносаммитовый лито-витро-кристаллокластический, содержащий примесь зерен кварца (о. Фу-Куй, обр. В13-Т26/3, николи параллельны), *д* – крупносаммитовый витрокластический, содержащий зерна оливина, связующая масса – цеолит (обр. В13-БК17, николи параллельны), *е* – крупносаммитовый витро-литокластический, сложенный обломками измененных пористых и плотных оливинных базальтов, а также хлоритизированным стеклом (обр. В13-С15/1, николи параллельны).

лические, с неправильными контурами зерна кварца метаморфических пород.

Песчаники содержат 20-26% полевых шпатов. Это в основном калиевые полевые шпаты, среди которых преобладают изометричные, либо слегка вытянутые пелитизированные зерна ортоклаза, реже встречается решетчатый микроклин. Среди плагиоклазов отмечаются только кислые, представленные изометричными либо удлиненными, таблитчатыми зернами альбита и олигоклаза. Содержание обломков пород в песчаниках незначительно (до 18%). Это в основном гранитоиды, значительно реже кислые эффузивные породы, слюдястые сланцы и кварциты.

Таким образом, состав породообразующих компонентов песчаников позволяет предполагать, что питающая провинция была сложена комплексом гранитных и метаморфических пород. Это подтверждается составом их гли-

нистой фракции, которая очень однообразна и представлена практически одним каолинитом – типичным минералом кор выветривания гранитоидов.

В песчаниках о. Фу-Куй изучены состав и соотношение содержаний тяжелых обломочных минералов (рис. 5а, табл. 1). Выход тяжелой фракции невелик и составляет 0.11-0.33% всего объема породы. По набору основных тяжелых минералов песчаные породы острова характеризуются большой однородностью и постоянством. Основная, доминирующая минеральная ассоциация в песчаниках – сиалическая. В нее входят типичные компоненты гранитных и метаморфических пород: ильменит (50.8-68.8% всех минералов), лейкоксен (7.1-16.5%), циркон (5-14.6%), турмалин (1.7-10.6%), апатит (0.5-10.3%), а также гранат, сфен, рутил, дистен, анатаз, силлиманит, ставролит, андалузит и брукит, в

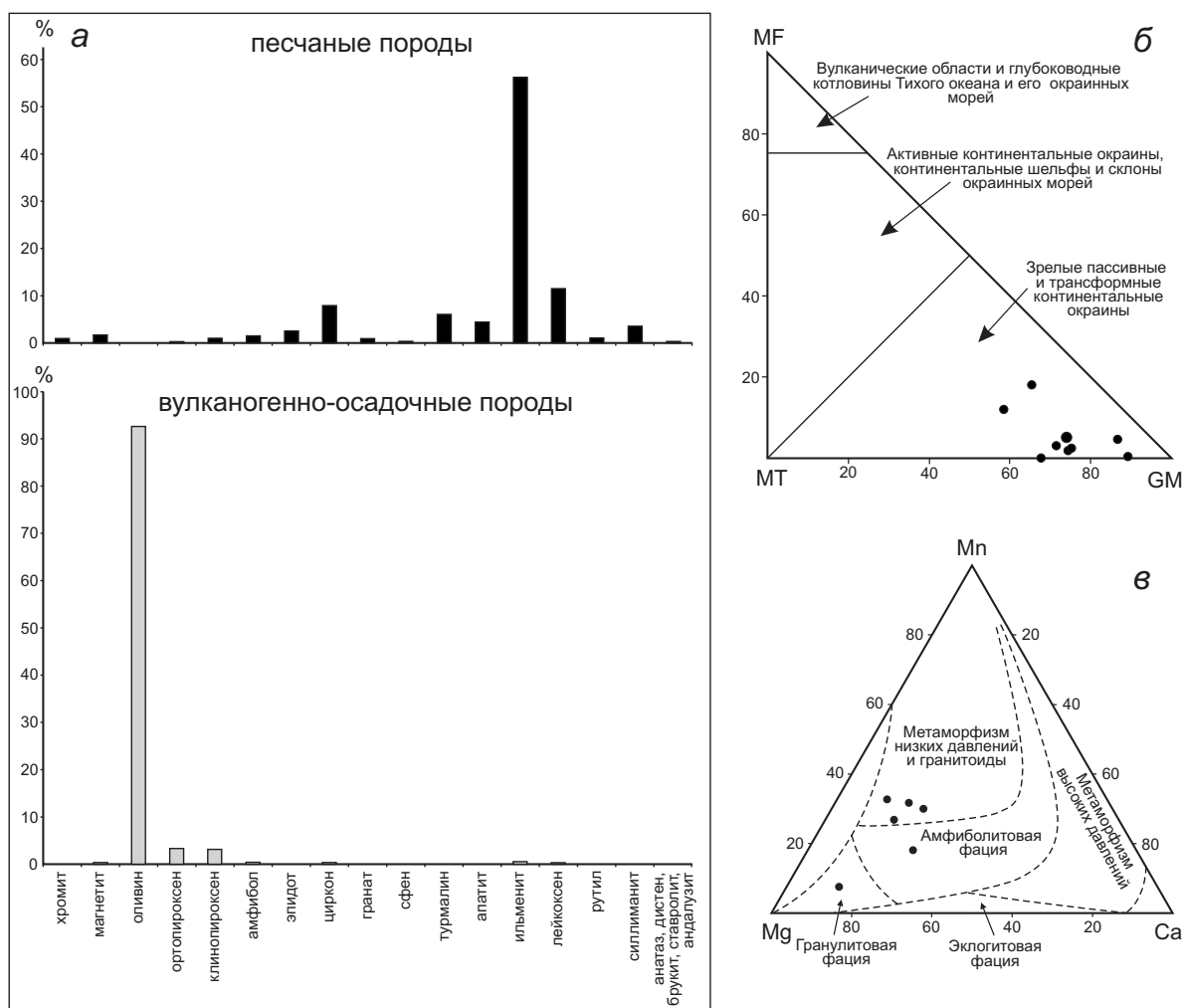


Рис. 5. Минералы тяжелой фракции песчаных и вулканогенно-осадочных пород о-вов группы Фу-Куй – Катуйки: *а* – состав и характер распределения в породах тяжелых обломочных минералов (средние содержания); *б* – ассоциации тяжелых минералов песчаных пород о. Фу-Куй и их геодинамическая интерпретация, по (Nechaev et al., 1996); *в* – диаграмма состава обломочных гранатов из песчаных пород о. Фу-Куй, по (Teгаока, 2003). Суммы содержаний: MF – оливина, пироксенов, зеленой роговой обманки; MT – эпидота, граната, синие-зеленых амфиболов; GM – циркона, турмалина, ставролита, дистена, силлиманита и андалузита. Здесь и далее крупный значек – среднее значение.

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА

Таблица 1. Минеральный состав тяжелой фракции песчаных и вулканогенно-осадочных пород островов шельфа Вьетнама (в %)

Номер пробы	Cr	Mt	Oi	Orx	Cpx	Am	Ep	Zr	Gr	Sph	Tr	Ap	Ilm	Lcx	Ru	Dn	Sm
Песчаные породы о. Фу-Куй																	
V13-T22	-	4.2	-	+	0.5	0.4	3.6	5.0	0.2	0.2	3.4	3.0	68.8	7.1	0.4	0.6	2.5
V13-T23	2.5	0.5	-	-	+	3.6	+	10.6	5.1	-	7.6	5.0	52.4	12.2	0.4	+	0.1
V13-T24	0.2	2.1	-	+	4.2	+	3.6	5.3	0.2	0.2	1.7	0.5	63.6	9.2	1.0	+	8.2
V13-T24/1	2.1	1.1	-	-	0.4	2.4	1.5	5.4	1.1	0.6	10.3	10.3	54.0	10.2	0.6	+	+
V13-T25	-	2.0	-	+	0.6	0.8	4.9	7.3	+	0.7	6.5	1.7	56.1	13.2	0.6	+	5.0
V13-T25/1	1.0	0.4	-	+	0.1	2.5	0.4	14.6	0.1	0.3	10.6	2.7	46.7	16.5	3.6	+	0.5
V13-T27	0.1	2.1	-	2.0	0.9	2.0	5.0	6.7	0.2	+	2.4	5.1	57.1	11.1	0.2	0.3	4.5
V13-T28	1.6	1.0	-	+	1.2	0.4	1.3	8.3	0.4	+	5.7	7.2	50.8	12.5	2.0	+	7.6
Вулканогенно- осадочные породы о-вов Фу-Куй – Катуик																	
V13-T26/1	-	0.3	88.5	6.5	1.5	0.1	-	0.7	+	-	-	-	1.9	0.5	+	-	-
V13-T26/2	-	0.1	94.5	3.7	1.7	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-
V13-T26/3	-	+	89.7	4.1	2.2	+	+	-	-	-	-	-	2.5	1.5	-	-	-
V13-T26/5	-	0.4	78.2	12.4	8.9	0.1	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-
V13-C15/1	-	-	97.4	+	2.0	+	-	0.2	-	-	-	-	0.2	0.2	-	-	-
V13-МК16	+	-	96.9	3.1	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
V13-МК16/1	+	+	98.9	-	1.1	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
V13-БК17	+	+	94.4	+	5.6	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
V13-БК17/1	+	-	94.9	-	5.1	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-

Примечание. Кроме того, в песчаных породах о. Фу-Куй в виде отдельных знаков обнаружены: анатаз (в пробе V13-T25 его до 0.5%), ставролит (в пробе V13-T25 его 0.1%), андалузит (в пробах V13-T22 и V13-T27 его 0.2 и 0.3 % соответственно) и брукит. + – знак, прочерк – компонент не обнаружен. Символы минералов: Cr – хромит, Mt – магнетит, Oi – оливин, Орх – орто- или клинопироксен, Ам – амфибол, Ер – эпидот, Zr – циркон, Gr – гранат, Sph – сфен, Tr – турмалин, Ар – апатит, Пм – ильменит, Lcx – лейкоксен, Ru – рутил, Dn – дистен, Sm – силлиманит. Места отбора проб: V13-T22 – V13-T28 – о. Фу-Куй, V13-C15/1 – о. Сапате, V13-МК-16 и V12-МК16/1 – о. Малый Катуик, V13-БК17 и V13-БК17/1 – о. Большой Катуик. Места отбора проб представлены на рис. 1.

сумме достигающие 95%. Во вторую, фемическую ассоциацию, находящуюся в резко подчиненном количестве (в сумме до 10%), входят минералы вулканокластиков: клинопироксен (до 4.2%), эпидот (до 4.9%), амфибол (до 3.6%), хромит (до 2.5%), магнетит (до 4.2%), ортопироксен (до 2%).

Среди тяжелых обломочных минералов наиболее информативным является циркон. Он представлен бесцветными, бледно-розовыми, реже сиреневатыми, желтоватыми и бурыми кристаллами. В последних обычно наблюдается зональное строение. Кристаллы призматические, «цирконового» и «гиацинтового» типа с коэффициентом удлинения 2-5. Иногда встречаются копьевидные кристаллы с удлинением до 7, а также изометричные и неправильные осколчатые зерна. Ребра и вершины кристаллов обычно сглаженные, в целом же все зерна угловато-окатанные и окатанные. В кристаллах встречаются мелкие черные газово-жидкие включения, а также мелкие игольчатые кристаллы рутила. Такие типоморфные особенности характерны для цирконов из гранитоидов (Ляхович, 1979). Высокие же содержания в тяжелой фракции изученных песчаников ильменита и лейкоксена позволяет говорить о принадлежности этих гранитоидов к ильменитовой серии.

Известно, что различным тектоническим обстановкам областей питания обломочным материалом свойственны свои ассоциации тяжелых минералов (Малиновский, Маркевич, 2007; Markevich, et al., 2007; Nechaev et al., 1996). Анализ ассоциаций тяжелых минералов песчаников о. Фу-Куй на диаграмме MF-MT-GM (Nechaev et al., 1996) (рис. 5б), показывает, что основным источником обломочного вещества была размывавшаяся зрелая континентальная окраина (пассивная или трансформная). Химические особенности обломочных гранатов из песчаников, среди которых преобладают альмандины с небольшим содержанием пироповой либо спессартиновой составляющей (табл. 2), а также положение фигуративных точек на диаграмме Mg-Mn-Ca (Teraoka, 2003) (рис. 5в) показывают, что эта окраина была сложена кислыми изверженными, а также, в меньшей степени, метаморфическими породами амфиболитовой и даже эклогитовой фаций метаморфизма. Влияние вулканических источников на седиментацию было крайне незначительным.

По химическому составу (табл. 3) песчаные породы о. Фу-Куй очень однородны, содержания породообразующих оксидов в них колеблются в незначительных пределах: SiO₂ от 82.84% до 88.52%, TiO₂ от 0.31% до 1.10%, Al₂O₃ от 4.27% до 6.54%, FeO+Fe₂O₃ от 1.69% до 5.88%, MgO от 0.09% до 0.51%, CaO от 0.10% до 1.68%, Na₂O от 0.15% до 0.35% и K₂O от 1.18% до 2.19%.

По этим параметрам песчаники близки к кислым изверженным породам риолит-гранитного ряда (рис. 6а), а на классификационной диаграмме Ф. Петтиджона (Петтиджон и др., 1976) (рис. 6б) компактно группируются в поле субаркозов. От среднего состава аркозов песчаники отличаются более высокими содержаниями SiO₂, пониженным Al₂O₃ и резким преобладанием K₂O над Na₂O, а неточное их попадание на рис. 6а в область пород риолит-гранитного ряда объясняется насыщенностью железистым цементом.

Поскольку абсолютные содержания породообразующих оксидов отражают состав не только обломочной части песчаных пород, но и их цемента, более объективно геохимические особенности пород выявляются при рассмотрении ряда наиболее информативных петрохимических модулей (табл. 3) и модульных диаграмм (рис. 7), предложенных Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис (Юдович, 1981; Юдович, Кетрис, 2000).

Гидролизатный модуль: ГМ=(Al₂O₃+TiO₂+Fe₂O₃+FeO+MnO)/SiO₂ предназначен для количественной оценки главной тенденции химического выветривания пород: отделения продуктов гидролиза от кремнезема, т.е. их «зрелости». Его значение зависит, с одной стороны, от количества в них обломочного кварца или богатых кремнеземом обломков пород, а с другой – от доли и состава полевых шпатов, а также глинистых компонентов, входящих в состав цемента. Чем выше показатель этого модуля, тем меньшему химическому воздействию они подвергались в процессе своего формирования, и соответственно ниже их зрелость. По этому показателю песчаники о. Фу-Куй близки друг другу, характеризуются низкими значениями ГМ от 0.08 до 0.15, свойственными зрелым олигомиктовым кварцевым песчаникам, образованным преимущественно за счет глубокого химического выветривания кислых интрузивных пород, и по классификации Я.Э. Юдовича (1981) относятся к слабоглинистым силицитам.

Фемический модуль ФМ=(Fe₂O₃+FeO+MnO+MgO)/SiO₂ весьма удобен для разделения граувакк и аркозов (Петтиджон, 1981). Максимальные его значения свойственны вулканокластическим грауваккам и туфам, что обычно связано с высоким содержанием в них темноцветных минералов, а также обогащенных железом и магнием обломков вулканических пород и стекол (Маслов, 2005; Юдович, Кетрис, 2000). Минимальные значения ФМ свойственны кремнистым породам и кварцевым песчаникам. В целом же, фемический модуль отражает интенсивность и скорости выветривания и захоронения вещества: чем больше фемических элементов в результате выветривания переходит в раствор, тем меньше значение модуля, и, следовательно,

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА

Таблица 2. Химический состав тяжелых минералов из песчаных и вулканогенно-осадочных пород островов шельфа Вьетнама (вес. %).

Проба	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Сумма
Гранаты из песчаных пород о. Фу-Куй								
В-13-Т22, 1з-ц	35.39	1.62	30.01	25.55	2.01	3.51	1.96	100.05
В-13-Т22, 2з-ц	37.89	-	21.67	30.86	0.83	7.01	1.75	100.01
В-13-Т25, 1з-ц	36.23	-	23.86	35.08	2.42	2.36	0.64	100.59
В-13-Т25, 2з-ц	36.78	0.29	25.34	28.98	2.87	3.59	1.37	99.22
В-13-Т24/1, 1з-ц	37.11	-	20.18	34.94	2.98	2.64	1.73	99.58
В-13-Т24/1, 2з-ц	37.08	0.07	23.43	30.63	3.35	3.05	1.61	99.22
Оливины из вулканогенно-осадочных пород о-вов Фу-Куй – Катуйк								
В13-Т26, 1з-ц	38.49	-	-	17.85	0.31	41.57	-	98.22
В13-Т26, 1з-к	38.85	-	-	17.92	-	41.88	-	98.65
В13-Т26, 2з-ц	40.05	-	-	10.29	-	47.95	-	98.29
В13-Т26, 3з-ц	39.92	-	-	9.99	0.26	48.10	-	98.27
В13-Т26, 4з-ц	39.95	-	-	10.18	-	48.19	-	98.32
В13-Т26, 4з-к	40.29	-	-	10.09	-	48.55	-	98.93
В13-Т26, 5з-ц	39.76	-	-	10.54	-	47.74	-	98.04
В13-Т26, 6з-ц	40.41	-	-	10.09	-	48.01	-	98.51
В13-Т26, 7з-ц	39.88	-	-	10.65	-	47.45	-	97.98
В13-Т26, 8з-ц	40.06	-	-	10.56	-	47.73	-	98.35
В13-С15/1, 1з-ц	39.06	-	-	15.40	-	43.13	0.21	97.80
В13-С15/1, 2з-ц	40.20	-	-	10.02	-	48.33	0.18	98.73
В13-С15/1, 2з-к	38.95	-	-	15.82	-	43.06	0.21	98.04
В13-С15/1, 3з-ц	39.41	-	-	15.65	-	43.61	0.21	98.88
В13-С15/1, 4з-ц	39.30	-	-	15.85	-	43.24	0.30	98.69
В13-С15/1, 4з-к	38.86	-	-	17.31	0.30	42.35	0.24	99.06
В13-С15/1, 5з-ц	39.23	-	-	14.5	-	44.92	-	98.65
В13-С15/1, 5з-к	39.05	-	-	17.66	-	42.85	0.35	99.91
В13-С15/1, 6з-ц	39.53	-	-	15.27	-	44.04	-	98.84
В13-С15/1, 6з-к	38.59	-	-	17.95	0.36	42.00	0.31	99.21
В13-С15/1, 7з-ц	39.37	-	-	16.01	0.30	43.35	0.27	99.30
В13-С15/1, 8з-ц	38.95	-	-	16.47	-	42.73	0.21	98.36
В13-С15/1, 9з-к	38.35	-	-	17.88	-	40.90	0.27	97.40
В13-С15/1, 10з-ц	38.84	-	-	16.08	-	43.11	0.33	98.36
В13-С15/1, 11з-ц	39.06	-	-	16.08	-	43.50	0.31	98.95
В13-БК17/1, 1з-ц	40.31	-	-	9.95	-	48.54	-	98.80
В13-БК17/1, 1з-к	40.22	-	-	11.98	-	46.59	-	98.79
В13-БК17/1, 2з-ц	40.13	-	-	9.78	-	48.16	-	98.07
В13-БК17/1, 2з-к	38.83	-	-	16.03	0.31	42.95	0.24	98.36
В13-БК17/1, 2з-к	40.31	-	-	9.68	-	49.13	-	99.12
В13-БК17/1, 3з-ц	38.77	-	-	15.95	-	42.91	0.29	97.92
В13-БК17/1, 3з-к	39.58	-	-	17.19	-	43.08	0.26	100.11
В13-БК17/1, 4з-ц	40.19	-	-	10.47	-	48.01	-	98.67
В13-БК17/1, 4з-к	40.35	-	-	10.66	-	48.20	-	99.21

Таблица. 2. Окончание.

Проба	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Сумма
В13-БК17/1, 5з-ц	38.84	-	-	16.72	-	42.60	0.27	98.43
В13-БК17/1, 5з-к	39.15	-	-	17.65	0.29	42.26	0.29	99.64
В13-БК17/1, 6з-ц	40.19	-	-	9.30	-	48.67	-	98.16
В13-БК17/1, 6з-к	39.84	-	-	9.28	-	48.51	-	97.63
В13-БК17/1, 7з-ц	39.78	-	-	12.18	-	46.70	-	98.66
В13-БК17/1, 7з-к	39.70	-	-	14.14	-	44.54	-	98.38
В13-БК17/1, 8з-ц	40.11	-	-	9.81	-	48.34	-	98.26
В13-БК17/1, 8з-к	39.13	-	-	15.20	0.29	43.78	-	98.40
В13-БК17/1, 9з-ц	38.95	-	-	16.60	-	42.56	0.23	98.34
В13-БК17/1, 9з-к	39.73	-	-	17.94	0.30	42.53	0.32	100.82
В13-БК17/1, 10з-ц	40.35	-	-	10.82	-	47.61	-	98.78
В13-БК17/1, 10з-к	39.38	-	-	14.42	-	44.29	-	98.09
В13-МК16, 1з-ц	40.55	-	-	10.36	-	48.14	-	99.05
В13-МК16, 1з-к	38.78	-	-	15.89	0.33	42.95	0.35	98.30
В13-МК16, 2з-ц	38.94	-	-	15.29	-	43.46	0.29	97.98
В13-МК16, 2з-к	38.71	-	-	17.12	-	42.45	0.29	98.57
В13-МК16, 3з-ц	39.09	-	-	15.31	0.34	43.58	0.28	98.60
В13-МК16, 3з-к	39.50	-	-	17.16	-	42.51	0.38	99.55
В13-МК16, 4з-ц	40.24	-	-	11.31	-	47.52	-	99.07
В13-МК16, 5з-ц	39.57	-	-	10.94	0.27	47.51	-	98.29
В13-МК16, 6з-ц	39.84	-	-	10.21	-	47.72	-	97.77
В13-МК16, 6з-к	38.66	-	-	16.68	-	42.68	0.22	98.24
В13-МК16, 7з-ц	39.24	-	-	14.33	-	45.18	-	98.75
В13-МК16, 7з-к	39.04	-	-	16.27	0.35	42.48	0.27	98.41
В13-МК16, 8з-ц	39.42	-	-	16.02	-	43.65	0.22	99.31
В13-МК16, 9з-ц	39.38	-	-	15.12	-	43.75	0.22	98.47
В13-МК16, 10з-ц	39.23	-	-	15.34	0.30	44.03	0.40	99.30
В13-МК16, 10з-к	38.73	-	-	17.41	0.40	42.77	0.27	99.58
В13-МК16, 11з-ц	38.62	-	-	16.38	-	42.81	0.22	98.03
В13-МК16, 12з-ц	38.98	-	-	15.91	-	43.37	0.23	98.49

Примечание. FeO* – общее железо анализировалось как FeO. Прочерк – компонент не обнаружен. Зз-ц, к – номер зерна, а также центральная либо краевая его часть.

больше отличие песчаников от типичных граувакк. Изученные песчаники характеризуются низкими значениями фемического модуля (ФМ от 0.02 до 0.06), что хорошо согласуется со свойственным аркозам высоким содержанием зерен кварца.

Модуль нормированной щелочности $NKM = (Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$ позволяет распознавать примесь вулканогенного материала в осадочных породах (Юдович, Кетрис, 2000). Как правило, значения этого модуля выше в аркозах за счет широкого развития в них полевых шпатов, в том числе калиевых, и ниже в граувакках из-за обилия в них обломков глинистых пород, основных эффузивов и глинисто-алевритового матрикса.

Песчаники о. Фу-Куй обладают относительно высокой нормированной щелочностью (НКМ от 0.25 до 0.49), характерной для аркозов, что отражает довольно значительное содержание в них полевых шпатов при малом количестве глинисто-алевритового матрикса.

Титановый модуль $TM = TiO_2 / Al_2O_3$ позволяет судить о составе материнских пород (в частности, об их титанистости) в областях сноса, а также о динамике среды седиментации, приводящей к разделению тяжелых титансодержащих минералов и более легкого глинистого вещества – носителя глинозема (Юдович, Кетрис, 2000). Как правило, высокие значения титанового модуля

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА

Таблица 3. Химический состав (% массы) песчаных и вулканогенно-осадочных пород островов шельфа Вьетнама

Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	H ₂ O–	Сумма	ГМ	ТМ	ФМ	НКМ
В13-Т22	83.00	0.81	6.53	4.55	0.33	0.06	0.15	0.20	0.22	1.42	0.05	2.46	0.53	100.26	0.15	0.124	0.06	0.25
В13-Т23	85.23	0.71	5.35	2.93	0.94	0.06	0.09	0.11	0.16	1.54	0.06	2.68	0.41	100.27	0.12	0.132	0.05	0.32
В13-Т24	83.12	0.77	6.54	2.65	0.89	0.04	0.51	1.21	0.35	1.63	0.04	1.73	0.34	99.82	0.13	0.118	0.05	0.30
В13-Т24/1	82.84	0.80	5.30	1.60	1.13	0.05	0.29	1.68	0.27	1.56	0.08	4.34	0.43	100.38	0.11	0.152	0.04	0.35
В13-Т25	84.70	1.10	5.43	3.93	0.41	0.04	0.11	0.62	0.16	1.18	0.07	2.32	0.30	100.37	0.13	0.203	0.05	0.25
В13-Т25/1	87.58	0.93	4.27	2.43	0.74	0.04	0.10	0.11	0.15	1.55	0.05	2.06	0.26	100.29	0.10	0.219	0.04	0.40
В13-Т27	88.52	0.31	4.87	0.57	1.12	0.02	0.15	0.10	0.21	2.10	0.07	1.90	0.22	100.16	0.08	0.063	0.02	0.47
В13-Т28	86.63	0.42	4.82	1.49	1.46	0.03	0.13	0.21	0.19	2.19	0.04	2.14	0.41	100.16	0.11	0.087	0.04	0.49
среднее	85.20	0.73	5.35	2.52	0.88	0.04	0.19	0.53	0.21	1.65	0.06	2.46	0.36	100.18	0.11	0.137	0.04	0.35
Вулканогенно-осадочные породы о-ов Фу-Куй – Катуйк																		
В 13-Т8/2	56.64	1.83	10.31	7.18	1.33	0.10	4.57	2.76	1.98	1.49	0.32	8.96	2.73	100.19	0.37	0.177	0.23	0.34
В13-Т26/1	64.04	1.43	9.90	5.03	1.59	0.08	4.41	3.09	0.95	1.74	0.26	6.68	1.02	100.21	0.28	0.145	0.17	0.27
В13-Т26/2	54.04	1.67	10.73	5.91	1.71	0.09	5.21	5.60	1.40	1.59	0.34	10.24	1.45	99.98	0.37	0.156	0.24	0.28
В13-Т26/3	56.41	1.53	9.92	6.93	1.51	0.10	5.12	5.56	1.07	1.39	0.31	8.16	2.30	100.31	0.35	0.154	0.24	0.25
В13-Т26/5	60.40	1.23	9.80	5.51	0.58	0.08	3.45	4.80	0.97	1.42	0.24	8.48	2.72	99.68	0.28	0.126	0.16	0.24
среднее	58.31	1.54	10.13	6.11	1.34	0.09	4.55	4.36	1.27	1.52	0.29	8.50	2.04	100.07	0.33	0.151	0.21	0.28
В13-С15/1	41.40	1.73	12.29	8.58	2.62	0.15	11.75	2.52	4.79	2.15	0.47	10.00	1.46	99.92	0.61	0.141	0.56	0.56
В13-МК16	40.95	1.57	10.64	8.12	1.66	0.15	11.22	5.22	4.36	1.68	0.36	9.42	4.11	99.46	0.54	0.148	0.52	0.57
В13-МК16/1	40.59	1.72	11.81	8.38	1.87	0.16	12.25	2.36	3.92	1.92	0.29	11.62	2.71	99.60	0.59	0.146	0.56	0.49
В13-БК17	41.04	1.77	11.55	8.34	2.30	0.14	9.26	5.05	5.91	1.19	0.41	11.99	1.14	100.09	0.59	0.154	0.49	0.62
В13-БК17/1	41.45	1.63	10.11	9.24	0.91	0.15	8.68	4.05	4.21	1.54	0.42	12.07	5.28	99.74	0.53	0.161	0.46	0.57
среднее	41.09	1.68	11.28	8.53	1.87	0.15	10.63	3.84	4.64	1.70	0.39	11.02	2.94	99.76	0.57	0.150	0.52	0.56

Примечание. ГМ=(Al₂O₃+TiO₂+Fe₂O₃+FeO+MnO)/SiO₂; НКМ=(Na₂O+K₂O)/Al₂O₃; ФМ=(Fe₂O₃+FeO+MnO+MgO)/SiO₂; ТМ=TiO₂/Al₂O₃; Места отбора проб см. рис. 1 и табл. 1; кроме того, проба В13-Т8/2 – островок к северу от о. Фу-Куй.

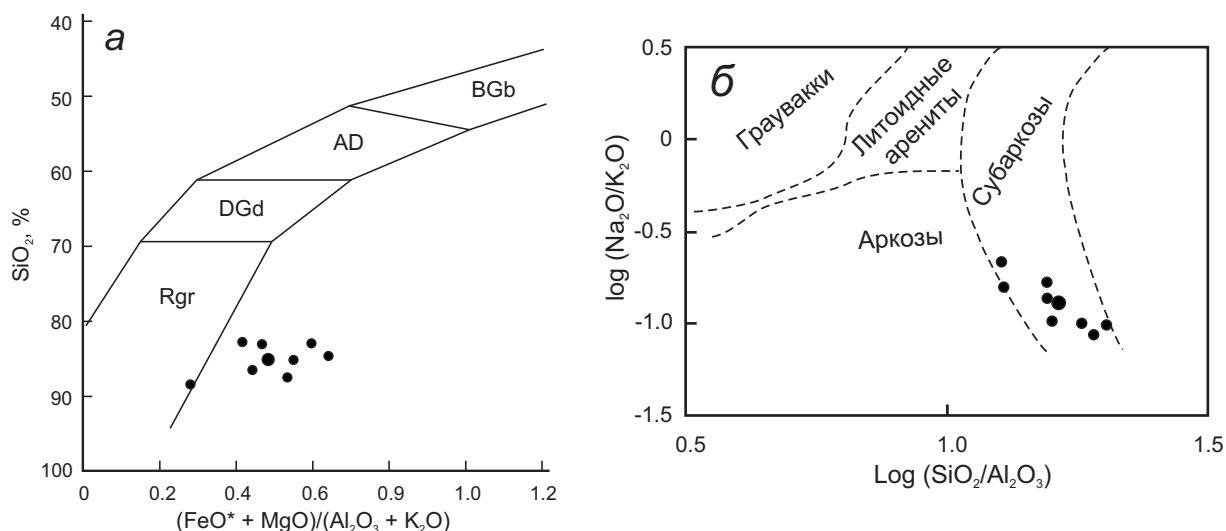


Рис. 6. Диаграммы химического состава песчаных пород о. Фу-Куй: *a* – $\text{SiO}_2 - (\text{FeO}^* + \text{MgO}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O})$, по (Kusinoki, Masashino, 2001); *b* – $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}) - \log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$, по (Петтиджон др., 1976). Поля RGr, DGd, AD и BGb примерно соответствуют полям изверженных пород риолит-гранитного, дацит-гранодиоритового, андезит-диоритового и базальт-габбрового составов соответственно. FeO^* – общее железо.

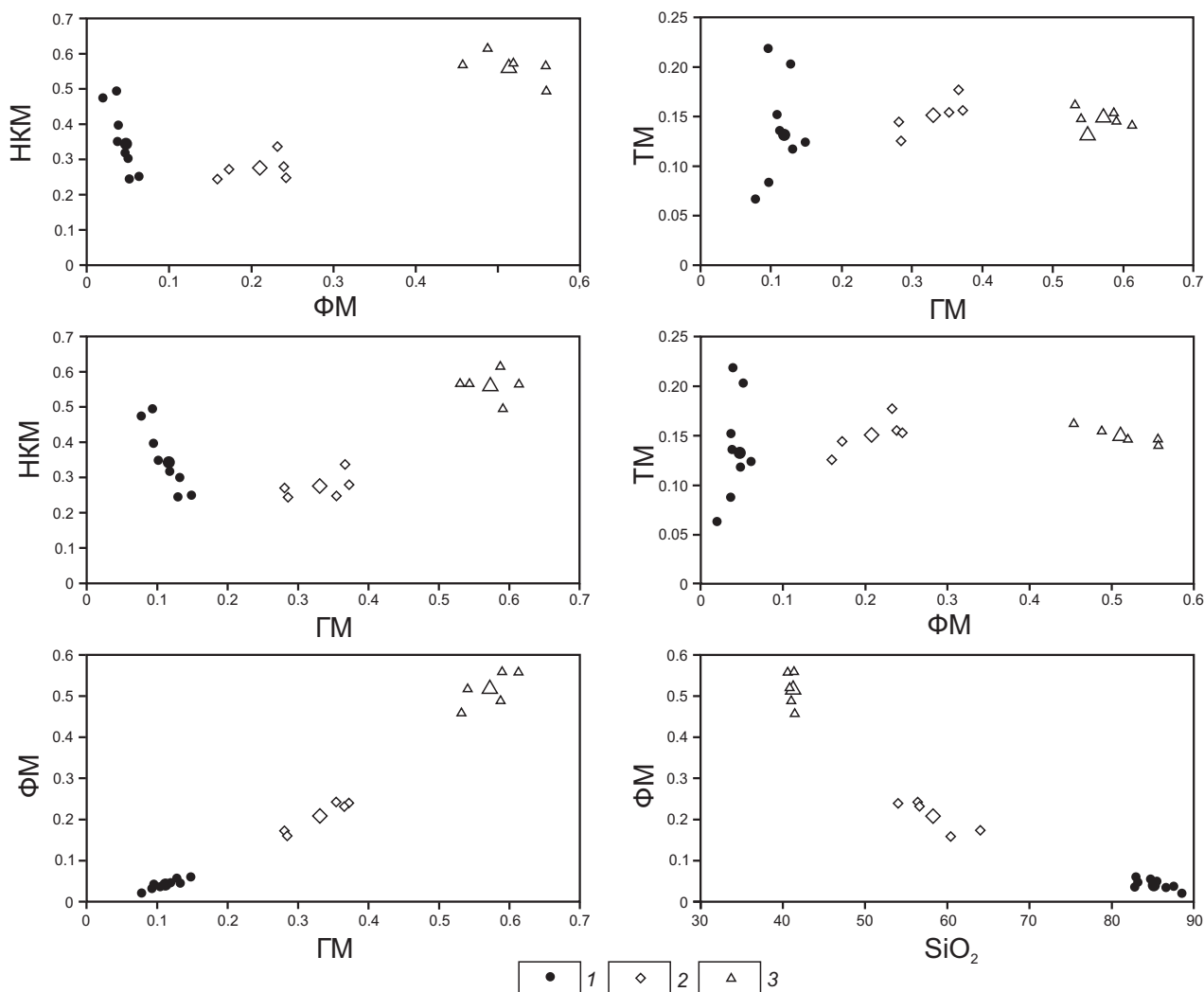


Рис. 7. Модульные диаграммы для песчаных и вулканогенно-осадочных пород о-вов группы Фу-Куй – Катуйк, по (Юдович, Кетрис, 2000): 1 – песчаные пород о. Фу-Куй, 2-3 – вулканогенно-осадочные породы: 2 – о. Фу-Куй; 3 – о-вов Катуйк. Аббревиатуры модулей см. в табл. 3.

наблюдаются в граувакках, что обусловлено примесью основной вулканокластки, а низкие – в аркозах, связанных с кислыми изверженными породами, изначально отличающимися низкими значениями ТМ. Отличительной особенностью изученных песчаников является то, что они явно выбиваются из этой тенденции: породы обладают высокими значениями титанового модуля (ТМ от 0.063 до 0.219), что объясняется присутствием в тяжелой фракции большого количества титаносодержащих минералов (ильменита, лейкоксена, рутила и анатаза), а также отражает развитое в них разделение Al и Ti, связанное с процессом химического выветривания. Это позволяет трактовать их как продукт перемыыва кор выветривания (Юдович, 1981).

На всех предложенных Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис (2000) модульных диаграммах (рис. 7) фигуративные точки песчаных пород образуют единое, достаточно компактное поле. При этом наблюдается положительная корреляция между парами ФМ-ГМ, ТМ-ГМ и ТМ-ФМ и отрицательная между НКМ-ФМ, НКМ-ГМ и ФМ-SiO₂, свидетельствующая о петрогенной (за счет размыва кислых интрузивных пород) природе песчаников.

Генетическая интерпретация химического состава песчаников осуществляется при помощи ряда диаграмм, использующих параметры Al₂O₃/SiO₂, K₂O/Na₂O, Al₂O₃/(CaO+Na₂O), TiO₂

и Fe₂O₃*+MgO, и отражающих минеральный состав пород питающей провинции и геохимическое поведение ряда элементов. На диаграммах М. Бхатия (Bhatia, 1983) (рис. 8а), используемых для разделения песчаников из различных тектонических обстановок, песчаники о. Фу-Куй попадают или приближаются к полям пассивных континентальных окраин. Не всегда точное совпадение положения фигуративных точек песчаников с полями пассивных континентальных окраин объясняется относительно высоким для аркозов содержанием суммарного железа и магния, высокой зрелостью пород, а также резким преобладанием калия над натрием. Все это связано, как отмечалось ранее, с преимущественно железистым составом цемента пород, обогащением их титанистыми минералами, значительно большим количеством калиевых полевых шпатов по сравнению с плагиоклазами и, в целом, с доминированием в области питания процессов химического выветривания кислых изверженных пород. Более определенно химический состав песчаных пород интерпретируется при помощи диаграммы Б. Роузера и Р. Корша (Roser, Korsch, 1986) (рис. 8б), на которой все фигуративные точки группируются в поле пассивных континентальных окраин.

В песчаных породах о. Фу-Куй было изучено содержание и характер распределения редких и редкоземельных (РЗЭ) элементов (табл. 4).

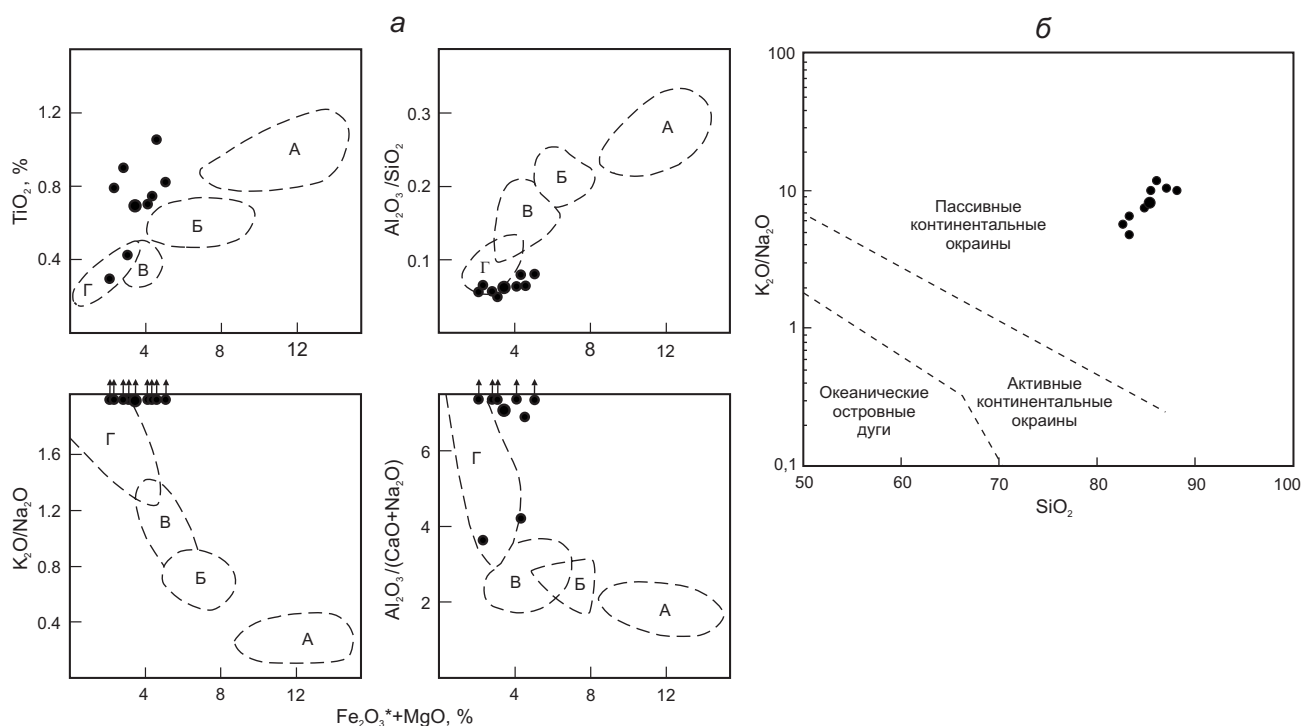


Рис. 8. Диаграммы химического состава песчаных пород из различных геодинамических обстановок: а – отношений TiO_2 , Al_2O_3/SiO_2 , K_2O/Na_2O и $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$ к $Fe_2O_3^*+MgO$, по (Bhatia, 1983); б – K_2O/Na_2O-SiO_2 , по (Roser, Korsch, 1986). Поля значений геохимических параметров песчаников из бассейнов, сопряженных: А – с океаническими, Б – с континентальными островными дугами, В – с активными, Г – с пассивными континентальными окраинами. $Fe_2O_3^*$ – общее железо, пересчитанное на Fe_2O_3 .

Таблица 4. Содержание редких и редкоземельных элементов (г/т) в песчаных и вулканогенно-осадочных пород островов шельфа Вьетнама.

Компонент	Песчаные породы о. Фу-Куй					Вулканогенно-осадочные породы о-вов Фу-Куй – Катуйк				
	В13-Т23	В13-Т24/1	В13-Т25/1	В13-Т27	В13-Т8/2	В13-Т26/1	В13-Т26/2	В13-С15/1	В13-БК17	
Rb	46.98	49.48	46.20	63.74	33.99	53.77	50.42	21.39	19.48	
Cs	1.04	1.17	0.98	1.14	0.78	1.17	1.31	0.39	0.15	
Sr	37.2	302.8	37.1	48.9	190.9	240.7	355.3	276.9	135.4	
Ba	228.0	234.4	202.8	287.3	367.5	427.7	489.0	330.1	248.4	
Zr	174.3	507.8	264.2	150.7	213.8	205.7	230.1	185.3	156.8	
Nb	9.19	14.18	15.17	5.32	34.85	27.06	34.28	39.46	34.36	
Y	8.51	10.22	11.29	5.63	21.35	20.21	23.94	21.22	20.95	
Sc	5.10	3.80	4.90	3.60	11.20	9.30	11.50	19.10	19.10	
V	47.34	34.19	49.44	22.28	61.34	65.29	95.79	170.1	113.5	
Cr	88.88	60.83	161.3	44.34	217.7	167.4	179.2	279.1	297.8	
Co	8.80	5.68	10.93	5.78	35.12	26.71	30.08	51.74	43.85	
Ni	52.21	28.57	40.74	33.63	183.1	123.9	114.8	247.0	215.1	
Cu	10.44	43.62	16.29	5.69	30.44	30.32	41.22	57.63	59.03	
Zn	29.90	50.70	23.90	17.30	90.40	80.40	250.60	108.50	113.10	
Pb	6.50	10.74	6.89	8.74	4.43	7.08	6.26	2.01	2.95	
La	10.65	16.78	14.02	9.40	27.47	27.32	31.77	32.70	24.96	
Ce	26.73	33.11	24.31	20.01	55.43	55.98	61.98	60.18	45.78	
Pr	2.50	3.89	3.34	2.11	6.94	6.47	7.35	6.77	5.44	
Nd	9.11	13.39	12.65	7.66	28.54	25.10	29.32	26.06	21.75	
Sm	1.90	2.68	3.08	1.95	6.00	5.43	6.50	5.13	4.85	
Eu	0.48	0.53	0.64	0.43	1.67	1.36	1.62	1.69	1.56	
Gd	2.15	2.57	2.33	1.49	5.35	5.01	5.82	4.88	4.86	
Tb	0.30	0.33	0.35	0.22	0.72	0.65	0.82	0.67	0.69	
Dy	1.90	2.07	2.17	1.06	4.20	3.92	5.00	3.92	4.06	
Ho	0.41	0.40	0.55	0.24	0.79	0.67	0.92	0.73	0.73	
Er	0.91	1.32	1.13	0.70	1.95	1.86	2.18	1.85	1.65	
Tm	0.11	0.22	0.16	0.11	0.22	0.24	0.32	0.20	0.23	
Yb	0.91	1.52	1.12	0.72	1.14	1.42	1.62	1.35	1.29	
Lu	0.12	0.21	0.17	0.09	0.22	0.19	0.22	0.20	0.13	
Hf	4.87	7.80	7.05	4.41	4.89	4.81	5.54	4.12	3.81	
Ta	0.72	0.99	1.04	0.43	1.81	1.37	1.59	1.94	1.60	
Th	4.32	6.48	4.89	3.19	4.08	5.22	5.30	4.09	3.23	
U	0.90	2.07	1.13	0.80	0.49	0.74	1.15	0.89	0.50	
Eu/Eu*	0.71	0.60	0.69	0.73	0.87	0.77	0.78	1.00	0.96	
[La/Yb]n	7.75	7.35	8.32	8.72	16.00	12.78	13.00	16.02	12.87	

Примечание. Места отбора проб см. рис. 1 и табл. 1; кроме того, проба В13-Т8/2 – островок к северу от о. Фу-Куй.

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА

Суммарные содержания РЗЭ невелики и варьируют от 58 г/т до 79 г/т. Спектры их распределения во всех образцах близки и характеризуются нормальными трендами распределения с умеренной степенью фракционирования и невысоким отношением легких лантаноидов к

тяжелым ($[La/Yb]_n=7.3-8.7$), а также отчетливо выраженной отрицательной европиевой аномалией ($Eu/Eu^*=0.60-0.73$) (рис. 9а). По сравнению с постархейским средним глинистым сланцем (PAAS), принятым за средний состав верхней континентальной коры (Тейлор, Мак-Леннан,

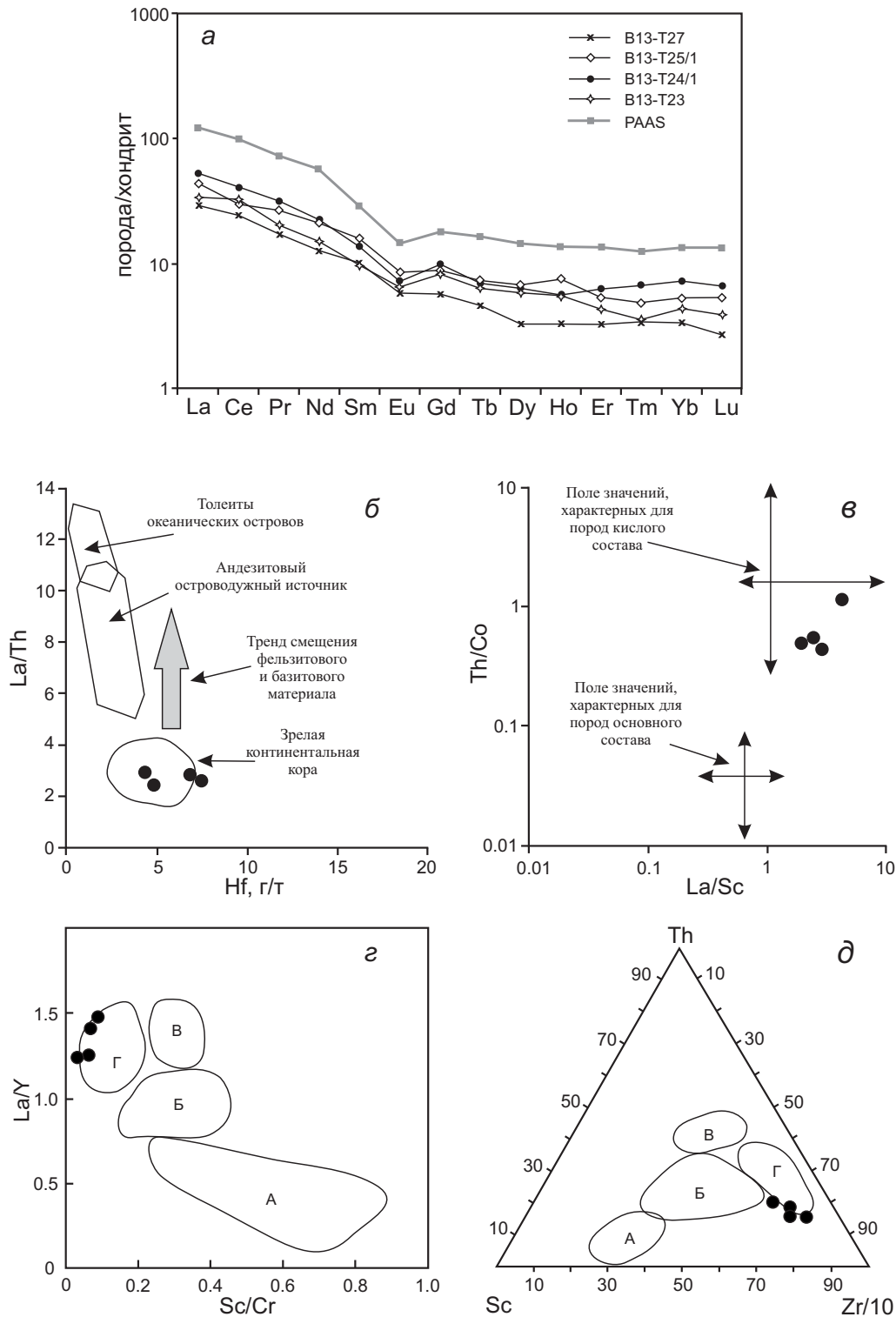


Рис. 9. Характер распределение РЗЭ в песчаных породах о. Фу-Куй и реконструкция состава и палеогеодинамических обстановок областей питания: а – спектры распределение РЗЭ в песчаных породах и сопоставление их с PAAS (постархейский средний глинистый сланец); б – Hf-La/Th, по (Nath et al., 2000), в – La/Sc-Th/Co, по (Cullers, 2002); z и д – геодинамические обстановки, по (Bhatia, Crook, 1986); z – Sc/Cr – vLa/Y, д – Sc-Th-Zr/10. Значения полей – см. на рис. 8.

1988), содержания РЗЭ в песчаниках существенно отличаются. Они обеднены как легкими, так и тяжелыми элементами (от 2 до 5 раз).

Поскольку уровни концентраций и распределение редких и редкоземельных элементов в осадочных породах контролируется тектоническими условиями их формирования и составом источников сноса, их генетическая интерпретация с использованием ряда показательных элементов и соотношений Th, Sc, Zr, Hf, La/Y, La/Sc, Sc/Cr, La/Th, Th/Co, позволяет получить достаточно достоверную информацию о составе материнских пород и палеогеодинамических обстановках питающих провинций. Невысокие концентрации в песчаных породах о. Фу-Куй редкоземельных элементов, обогащенность легкими элементами (LREE) по сравнению с тяжелыми (HREE), наличие отчетливо выраженной отрицательной Eu аномалии свидетельствует об их формировании за счет преобладающих в составе питающей провинции гранитоидов. На парных диаграммах Hf-La/Th (Nath et al., 2000) и La/Sc-Th/Co (Cullers, 2002) фигуративные точки составов песчаников сконцентрированы в полях отложений, сформированных за счет разрушения кислых изверженных пород, слагающих зрелую континентальную кору (рис. 9б, 9в). На дискриминационных диаграммах М. Бхатия и К. Крука (1986) (рис. 9г, 9д), предназначенных для выявления палеогеодинамических обстановок питающих провинций, изученные песчаники практически полностью соответствует песчаникам пассивных континентальных окраин.

Таким образом, геохимический состав песчаных пород о. Фу-Куй указывает на их высокую химическую зрелость, значительную степень гидродинамической сортировки, а также отражает преобладающую роль в их составе сиалической кластики. Все геохимические показатели отражают минеральный состав пород и позволяют относить их к субаркозам. Основными источниками обломочного материала были кислые интрузивные и, вероятно, метаморфические породы зрелой континентальной земной коры, а геодинамическая обстановка в области питания соответствует пассивной континентальной окраине.

Вулканогенно-осадочные породы о-вов группы Фу-Куй – Катуик представлены самыми разнообразными по размерности туфами, при описании которых рассмотрены только их наиболее общие минералого-геохимические особенности.

Туфы (рис. 4) на всех изученных островах желтовато-серые, кремво-серые, буровато-серые, желтовато-коричневые, плотные, хорошо литифицированные. По размерности вулканокластики породы варьируют от крупноалеври-

товых до среднепсефитовых, при этом для о. Большой Катуик, по сравнению с другими островами вулканической зоны, характерна большая грубозернистость материала. Сортировка материала преимущественно плохая, но с уменьшением размерности заметно улучшается. Обломки обычно угловатые, значительно реже угловато-окатанные и полуокатанные. По характеру и соотношению обломочного материала преобладают литокластические и витрокластические разности, значительно реже встречаются кристаллокластические. Обломки пород чаще всего представлены черными пористыми и, реже, массивными базальтами с вкрапленниками плагиоклаза и оливина, а также туфами основного состава. Поры в обломках базальтов выполнены цеолитом или карбонатом, реже смектитом. Стекло в туфах обычно прозрачное, бесцветное, желтоватое, иногда зеленоватое, бурое, пузыристое либо волокнистое. По нему развиваются хлорит, цеолиты и карбонаты, выполняющие пустоты и трещины, и, реже, смектит, обычно образующий оторочку вокруг частиц стекла. Среди минералов породообразующими являются плагиоклазы, оливин и пироксены. Они, как правило, имеют четкие кристаллографические очертания. В мелкозернистых разностях пород довольно часто встречаются изометричные, угловатые и угловато-окатанные зерна кварца. Больше всего кварца в туфах о. Фу-Куй, что является их главной отличительной особенностью. Цементирующее вещество туфов представлено разложившимся стеклом, смектитом, цеолитом и, реже, карбонатом. По структуре цемент базальный и поровый. Плохая сортированность и окатанность пирокластического материала, обычная для отложений градиационная слоистость, а также присутствие трещин усыхания на плоскостях напластования свидетельствуют о накоплении пирокластики в субаэральных условиях вблизи от центров вулканических извержений (Малиновский, 1985).

В туфах, по аналогии с песчаниками, изучался состав и содержания тяжелых обломочных минералов (табл. 1, рис. 5а). Выход тяжелой фракции достаточно велик и достигает 6.9% объема породы. Во всех пробах среди тяжелых минералов господствует оливин (78.2–98.9%), ассоциирующей с другими магматическими минералами – орто- и клинопироксенами, которых больше всего в туфах о. Фу-Куй (до 12.4% и 8.9% соответственно) и значительно меньше в породах о-вов Катуик (в отдельных пробах до 3.1% и 5.6%), а также с магнетитом, амфиболом, хромитом и эпидотом, содержания которых не превышают 0.5%. Следует отметить присутствие в туфах о. Фу-Куй и крайне незначительного количества минералов сиалической ассоциации – циркона,

граната, рутила, ильменита и лейкоксена, в сумме составляющих не более 4%.

Оливин самый распространенный минерал туфов обладает определенной генетической информативностью. Обычно он встречается в виде бесцветных, зеленоватых, зеленовато-бурых, желтоватых неправильных, часто вытянутых зерен, реже в виде правильных кристаллов. Во многих зернах наблюдаются точечные включения шпинели (рис. 10а), реже – магнетита и амфибола. Оливины (табл. 2) заметно различаются по соотношению магнизиальность/железистость, при этом наблюдающаяся в некоторых зернах зональность прямая: внешние зоны имеют более железистый состав, при этом одновременно возрастают концентрации CaO и MnO. На диаграмме SiO_2 - f_{O_2} все оливины разделяются на два

поля (рис. 10б). В первом поле группируются наименее железистые, отвечающие по составу форстериту, оливины из туфов о. Фу-Куй и частично о-вов Катуик. Они в целом идентичны минералам из дунит-лерцолитовых включений Вьетнама, в том числе и подводного вулкана Иль-де-Сандр (Абрамов и др., 1980; Колосков, 1999). Второе поле образуют более железистые, соответствующие гортонолиту, оливины о-вов Катуик, которые наиболее близки оливинам из базальтов самих островов, а также подводного вулкана Иль-де-Сандр (Колосков и др., 1987).

По химическому составу вулканогенно-осадочные породы о. Фу-Куй и о-вов Катуик имеют как черты сходства, так и существенные различия (табл. 3). Для них характерно, на фоне довольно больших потерь при прокаливании, примерно равное и повышенное содержание TiO_2 (1.23-1.83%), но пониженное – Al_2O_3 (9.80-12.29%), FeO (0.58-2.62%) и K_2O (1.19-2.15%). Вместе с тем, в туфах о. Фу-Куй, по сравнению с аналогичными породами о-вов Катуик, значительно более высокие концентрации кремнекислоты (54.04-64.04% и 40.59-41.45% соответственно), но более низкие Fe_2O_3 (5.03-7.17% и 8.12-9.24%), MgO (3.45-5.21% и 8.68-12.25%) и Na_2O (0.95-1.98% и 3.92-5.91%). Более объективные выводы о сходстве и различии между двумя группами туфов можно сделать из рассмотрения характерных для них значений ряда петрохимических модулей (табл. 3) и положения точек на модульных диаграммах (Юдович, 1981; Юдович, Кетрис, 2000) (рис. 7). В целом, туфы о-вов группы Фу-Куй – Катуик характеризуются высокими значениями гидролизатного, фемического и титанового модулей, но невысоким уровнем нормированной щелочности. Кроме того, на всех модульных диаграммах наблюдается положительная корреляция между парами НКМ-ФМ, НКМ-ГМ, ФМ-ГМ и отрицательная между ФМ- SiO_2 . Все эти особенности являются типичными признаками пород вулканогенно-осадочного происхождения, практически не подвергшихся процессам химического выветривания. Вместе с тем, следует отметить заметные различия значений большинства модулей в туфах о. Фу-Куй и о-вов Катуик. На модульных диаграммах их фигуративные точки образуют два четко обособленных компактных поля. Такие различия объясняются, прежде всего, присутствием в пирокластическом материале пород о. Фу-Куй заметной примеси обломочного кварца, источником которого, вероятно, были породы кристаллического фундамента. Еще одной причиной существующих различий может быть воздушная дифференциация пирокластики до ее захоронения (Юдович, Кетрис, 2000). При ее переносе возрастает доля стекла с соответствующим убыванием доли кристаллокластики. Это

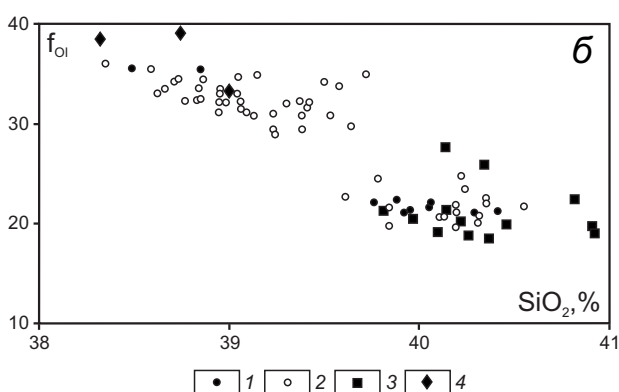
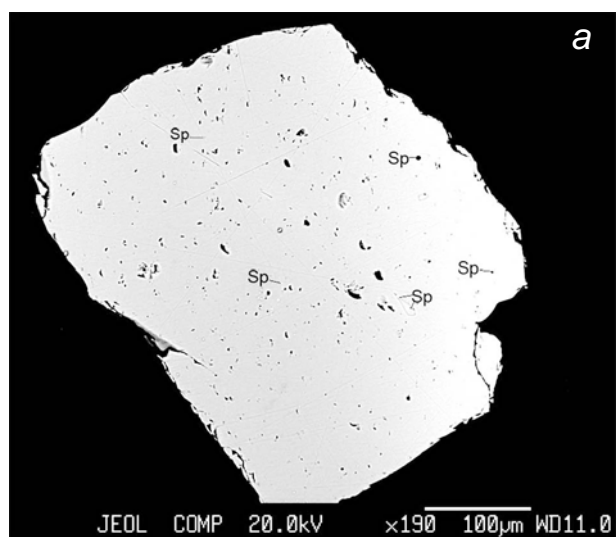


Рис. 10. Оливины из вулканогенно-осадочных пород о-вов группы Фу-Куй – Катуик: а – зерно оливина с точечными включениями шпинели (обр. В13-С15/1); б – диаграмма SiO_2 - f_{O_2} для оливинов из туфов и сравнение их с оливинами из вулканических пород Вьетнама: 1-2 – оливины из туфов: 1 – о. Фу-Куй, 2 – о-ва Катуик; 3-4 – оливины из вулканических пород: 3 – дунит-лерцолитовых включений, 4 – базальтов Вьетнама (Абрамов и др., 1980; Колосков, 1999; Колосков и др., 1987).

приводит к уменьшению содержания в конечном продукте SiO_2 в сочетании с часто значительным увеличением содержания MgO и суммы щелочей.

При сопоставлении на классификационной диаграмме SiO_2 –($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) (рис. 11а) составов изученных вулканогенно-осадочных пород и вулканитов Вьетнама (Колосков, 1999; Колосков и др., 1987; Федоров, Колосков, 2005) выявляется относительная близость туфов о. Фу-Куй к базальтам трахибазальт-трахитовой серии, развитых, в том числе, и на этом острове, а туфов о-вов Катуик – к базальтам щелочно-базальтовой серии, слагающим подводный вулкан Иль-де-Сандр. Существующие очевидные различия в первом случае объясняются упомянутой обогащенностью туфов обломочным кварцем, а во втором – воздушной дифференциацией пирокластике, приведшей к уменьшению в породах содержания SiO_2 . Пониженное содержание SiO_2 в туфах также может объясняться процессами глинизации, при которой вынос кремнезема

связывается с монтмориллонизацией и смектизацией базальтового стекла (Магдалян, 1990).

Содержания редких и редкоземельных элементов в вулканогенно-осадочных породах о-вов группы Фу-Куй – Катуик приведены в табл. 4. Суммарные содержания РЗЭ во всех образцах близки и колеблются от 118 г\т до 155 г\т. Они характеризуются однотипными фракционированными спектрами распределения с довольно высоким отношением легких лантаноидов к тяжелым ($[\text{La}/\text{Yb}]_n=12.83-16.0$), а также отсутствием либо слабой выраженностью отрицательной европиевой аномалии ($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.77-1.00$) (рис. 11б). Такой тип распределения весьма сходен с характером распределения РЗЭ в базальтах о. Фу-Куй и подводного вулкана Иль-де-Сандр (Федоров, Колосков, 2005), при этом содержания в них как легких, так и тяжелых элементов относительно базальтов несколько понижены (от 1.1 до 2.2 раза). Близость туфов и базальтов наглядно демонстрируется на дискриминантной диаграмме

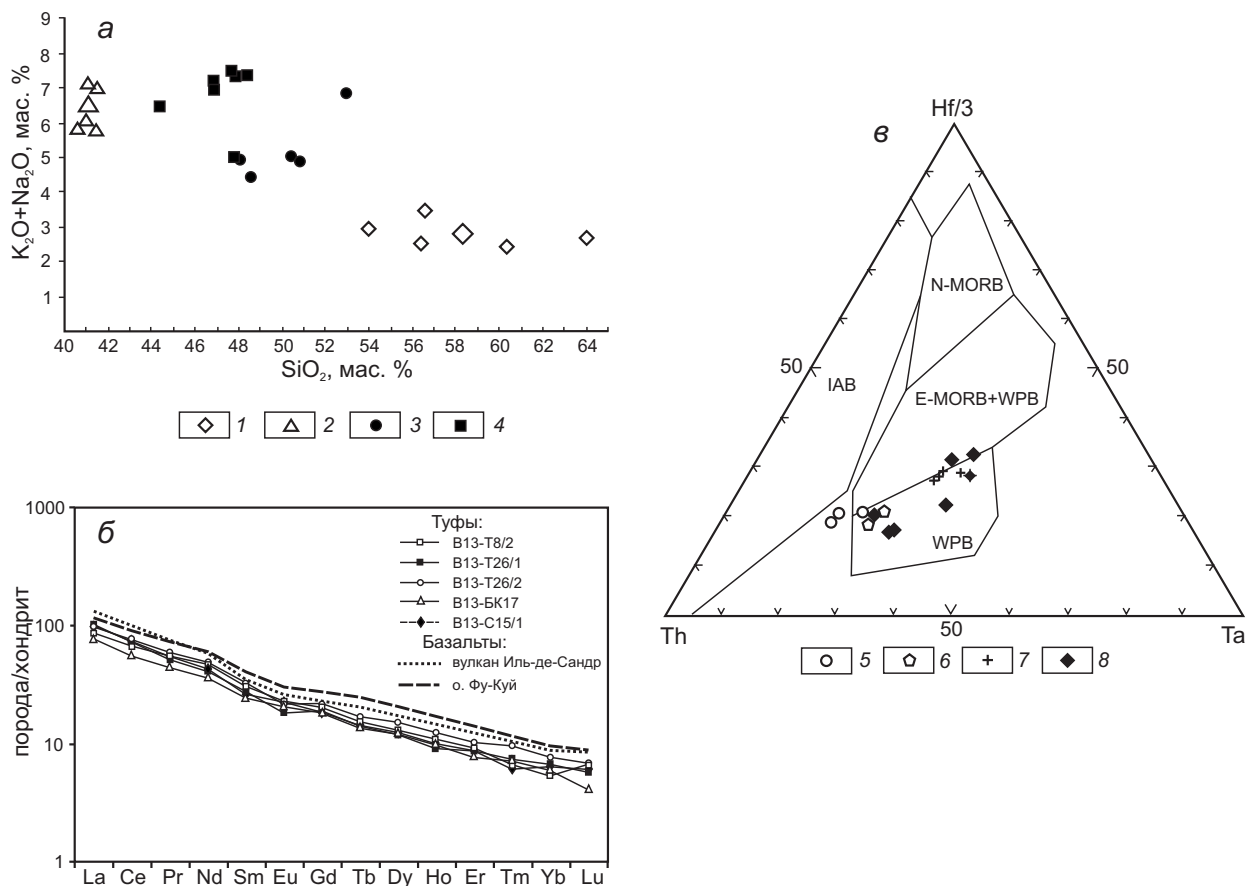


Рис. 11. Геохимические особенности вулканогенно-осадочных пород о-вов группы Фу-Куй – Катуик и сравнение их с вулканическими породами Вьетнама. – Диаграмма $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ – SiO_2 (а): 1–2 – туфы: 1 – о. Фу-Куй, 2 – о-вов Катуик; 3–4 – вулканические породы, серии: 3 – трахибазальт-трахитовая, 4 – щелочно-базальтовая (Колосков и др., 1987; Федоров, Колосков, 2005). Спектры распределение РЗЭ в туфах и базальтах (б). Дискриминантная диаграмма Th–Hf/3–Ta, по (Wood, 1980) (в): 5–6 – туфы: 5 – о. Фу-Куй, 6 – о-вов Катуик; 7–8 – базальты: 7 – о. Фу-Куй, 8 – подводного вулкана Иль-де-Сандр (Федоров, Колосков, 2005). Поля базальтов различных геодинамических обстановок: N-MORB – деплетированных толеитов срединно-океанических хребтов, E-MORB – обогащенных толеитов срединно-океанических хребтов и толеитов внутриплитных структур, WPB – щелочных базальтов внутриплитных структур, IAB – островных дуг и активных континентальных окраин.

Th-Hf-Ta (Wood, 1980) (рис. 11б), на которой все фигуративные точки приближаются либо попадают в область внутриплитных базальтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные результаты комплексных геологических, минерало-петрографических и геохимических исследования осадочных и вулканогенно-осадочных пород о-вов группы Фу-Куй – Катуик, расположенных на шельфе Вьетнама, позволяют сделать следующие выводы.

По минерало-петрохимическому составу песчаные породы о. Фу-Куй являются петрогенными и относятся к субаркозам. Они характеризуются высокой химической зрелостью, свидетельствующей о значительной степени выветривания пород областей сноса, существенной гидродинамической сортировкой, а также преобладанием в их составе сиалической кластики.

Доминирование в обломочной части песчаников кварца и калиевого полевого шпата, резкое преобладание в тяжелой фракции устойчивых минералов сиалической ассоциации, химический состав обломочных гранатов, основная роль в цементе песчаников каолинита – типичного минерала кор выветривания гранитоидов, а также характер распределения главных, редких и редкоземельных элементов свидетельствует, что основными источниками кластики были кислые интрузивные и метаморфические породы зрелой континентальной земной коры, а геодинамическая обстановка в области питания соответствует пассивной континентальной окраине.

Вулканогенно-осадочные породы о-вов вулканической группы Фу-Куй – Катуик сложены пирокластическим материалом основного состава, среди которого преобладают обломки базальтов и вулканического стекла, из темноцветных минералов чаще всего встречается оливин. В туфах о. Фу-Куй довольно часто присутствуют зерна ксеногенного кварца. По вещественному составу туфы о. Фу-Куй и о-вов Катуик, несмотря на имеющиеся между ними различия, в целом близки к базальтам трахибазальт-трахитовой и щелочно-базальтовой серий Вьетнама, имеющим внутриплитные характеристики и связанным с существующими здесь обстановками растяжения (Федоров, Колосков, 2005). Возраст отложений – менее 0.6 млн лет (Колосков, 1999).

Текстурно-структурные особенности вулканогенно-осадочных пород свидетельствуют об их накоплении в субэральных условиях вблизи от центров вулканических извержений. Вместе с тем, существующие различия в вещественном составе пород о. Фу-Куй и о-вов Катуик позволяют говорить о несколько большей удаленности о-вов Катуик от этих центров.

Остаются невыясненными вопросы происхождения, способа и времени накопления песчаных пород о. Фу-Куй. Авторами отчета о работе 10 рейса НИС «Вулканолог» (1981)¹ было высказано предположение об их образовании за счет процессов химического выветривания вулканогенно-осадочных пород острова (кора выветривания). Вместе с тем, все приведенные геохимические параметры однозначно свидетельствуют о крайне низкой степени химического преобразования этих пород. В свою очередь песчаные породы, также исходя из приведенных данных, являются продуктами глубокого химического выветривания гранито-метаморфических пород. Все это, а также резкие различия в вещественном составе этих типов пород, позволяет утверждать, что происхождение песчаных пород не связано с выветриванием подстилающих их туфов.

Возникает вопрос, каким же образом аркозый песчаный материал оказался на достаточно удаленном от континента острове? Главным источником сиалической кластики были широко развитые в континентальной части Вьетнама гранито-метаморфические породы с мощными корами выветривания. Их размыв, переработка и вынос реками привели к накоплению на шельфе большой массы песка. Мощная регрессия вюрмской эпохи, сопровождавшаяся осушением обширных поверхностей всего шельфа Южно-Китайского моря, привела к аридизации климата, интенсивному развитию эоловых процессов и активному перевыванию песчаного материала (Короткий и др., 1993). О ветровом способе переноса песчаного материала можно судить по хорошей его сортированности и окатанности, а также наличию на поверхностях зерен кварца матового, так называемого «пустынного загара», возникающего от их частого соударения, а также присутствия тонкой железистой пленки (рис. 12). Следует также отметить, что

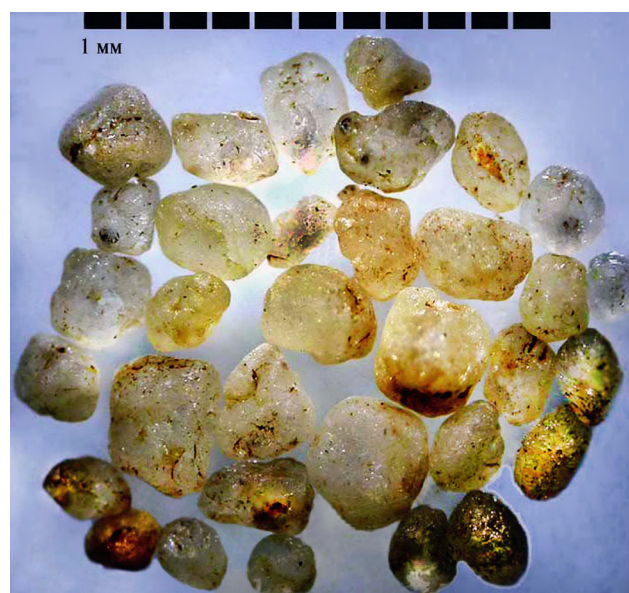


Рис. 12. Зерна кварца с матовым «пустынным загаром».

относительно высокое содержание кварца в туфах о. Фу-Куй также может объясняться эоловыми процессами, когда кварцевый песок заносился в зону действия вулканов.

Авторы благодарят О.Б. Селянгина за конструктивные замечания, позволившие улучшить содержание статьи.

Список литературы

- Абрамов В.А., Колосков А.В., Сапожников Е.А.* Минералогические особенности включений гипербазитов в лавах подводного вулкана Иль де Сандр (Южно-Китайское море) // Особенности внутриконтинентального базитового магматизма. М: Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта, 1980. С. 107-118.
- Авдейко Г.П.* Изучение подводного вулканизма в островных дугах и окраинных морях западной части Тихого океана // Тихоокеанский ежегодник. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987, С. 53-60.
- Беммелен Р.В.* Геология Индонезии. М.: Изд-во иностранной литературы, 1957. 394 с.
- Бондаренко В.И., Надежный А.М.* Основные черты строения и морфологии вулканической зоны и отдельных подводных вулканов в районе островов Катуйк-Фу-Куй на шельфе Вьетнама по данным непрерывного сейсмического профилирования // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 34-43.
- Горшков А.П.* Исследования подводных вулканов в 10-ом рейсе НИС «Вулканолог» // Вулканология и сейсмология. 1981. № 6. С. 39-45.
- Горшков А.П., Иваненко А.Н., Рашидов В.А.* Гидромагнитные исследования подводных вулканических зон в окраинных морях Тихого океана (на примере Новогвинейского и Южно-Китайского морей) // Тихоокеанская геология. 1984. № 1. С. 13-20.
- Горшков А.П., Иваненко А.Н., Рашидов В.А.* Новые сведения об особенностях проявления подводной вулканической деятельности на шельфе Южно-Китайского моря по данным гидромагнитной съемки // Вулканология и сейсмология. 1991. № 4. С. 80-85.
- Колосков А.В.* Ультраосновные включения и вулканы как саморегулирующаяся геологическая система. М.: Научный мир, 1999. 223 с.
- Колосков А.В., Флеров Г.Б., Нгуен Суан Хан, Шараськин А.Я.* Южно-Китайское море // Петрология и геохимия островных и окраинных морей. М.: Наука, 1987. С. 215-231.
- Колосков А.В., Рашидов В.А., Гатинский Ю.Г. и др.* Исследования вулканизма шельфовой зоны Вьетнама морскими, наземными и спутниковыми методами // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. 1-2 апреля 2003 г. Петропавловск-Камчатский: Изд-во фонда «Наука для Камчатки», 2003а. С. 9-15.
- Колосков А.В., Рашидов В.А., Гатинский Ю.Г. и др.* Позднекайнозойский вулканизм материковой и шельфовой зоны Вьетнама // Вулканизм и геодинамика. Материалы II Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург, 2003б. С. 83-89.
- Короткий А.М., Разжигаяева Н.Г., Ганзей Л.А., Волков В.Г.* Острова Вьетнамского шельфа. Рельеф, осадки, история развития. М.: Наука, 1993. 134 с.
- Кулинич Р.Г., Обжиров А.И., Здоровенин В.В. и др.* Строение зоны сочленения вьетнамского шельфа с глубоководной котловиной Южно-Китайского моря и проблема эволюции этого региона // First conference on geology of Indochina. 5-7 December, 1986. Ho Chi Min City. 1986. V. 1. P. 409-423.
- Ляхович В.В.* Акцессорные минералы горных пород. М.: Недра, 1979. 296 с.
- Магдалян Р.А.* Верхнеюрский-неокомский седименто- и литогенез Армении. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1990. 173 с.
- Малиновский А.И.* Вещественный состав пирокластических пород ареальной вулканической зоны шельфа Вьетнама (Южно-Китайское море) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Вып.1. Тезисы докладов 6-го Всесоюзного вулканологического совещания. Петропавловск-Камчатский, 1985. С. 39-41.
- Малиновский А.И., Маркевич П.В.* Тяжелые обломочные минералы островодужных комплексов Дальнего Востока // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 1. С. 81-93.
- Марков Ю.Д.* Современный седиментагенез на вулканах Иль де Сандр и прилегающей части шельфа (Южно-Китайское море) // Вулканология и сейсмология. 1993. № 5. С. 48-60.
- Маслов А.В.* Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 289 с.
- Нгуен Кин Куок, Ле Нгок Тхыок.* Эволюция кайнозойских базальтов Вьетнама // Геология и полезные ископаемые Вьетнама (Dia Chat va Khoang San Vietnam). Ханой, 1979. Т. 1. С. 137-158. (На вьетнамском языке).
- Новиков В.М., Иваненко В.В., Карпенко М.И., Колосков А.В.* Возраст молодого вулканизма Юго-Востока Индокитая // Известия АН СССР. Сер. геол. 1989. № 6. С. 39-44.

- Петтиджон Ф.Дж.* Осадочные породы. М.: Недра, 1981. 751 с.
- Петтиджон Ф.Дж., Поттер П., Сивер Р.* Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 535 с.
- Рашидов В.А.* Возможности гидромагнитной съемки при поиске подводных вулканов (на примере позднекайнозойского вулканизма Южно-Китайского моря) // Вулканология и сейсмология. 1997. № 1. С. 17-31.
- Рашидов В.А.* Геомагнитные исследования подводных вулканов с борта НИС «Вулканолог» // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. 28-31 марта 2007 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиСДВО РАН, 2007. С. 289-300.
- Рашидова В.А.* Геомагнитные исследования при изучении подводных вулканов островных дуг и окраинных морей западной части Тихого океана. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. 27 с.
- Родников А.Г., Забаринская Л.П., Рашидов В.А., Сергеева Н.А.* Геодинамические модели глубинного строения регионов природных катастроф активных континентальных окраин. М.: Научный мир, 2014. 172 с.
- Сапожников Е.А., Колосков А.В., Абрамов В.А.* Включения ультраосновных и основных пород в щелочно-оливиновых базальтах подводного вулкана Иль де Сандр (Южно-Китайское море) // Геохимия эндогенных процессов. Иркутск: СО АН СССР, 1979. С. 14-18.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
- Федоров П.И., Колосков А.В.* Кайнозойский вулканизм Юго-Востока Азии // Петрология. 2005. Т. 13. № 4. С. 389-420.
- Юдович Я.Э.* Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Bhatia M.R.* Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // The Journal of Geology. 1983. V. 91. № 6. P. 611-627.
- Bhatia M.R., Crook K.A.W.* Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contr. Mineral. Petrol. 1986. V. 92. P. 181-193.
- Cullers R.L.* Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions. And metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chemical Geology. 2002. V. 191. P. 305-327.
- Hoang N., Flower M.F.J.* Petrogenesis of Cenozoic basalts from Vietnam; implication for origins of a «Diffuse igneous province» // J. Petrol. 1998. V. 39. P. 369-395.
- Kusunoki T., Masashino M.* Comparison of the Middle Jurassic to Earliest Cretaceous sandstones from the Japanese Islands and South Sikhote-Alin // Earth Science. 2001. V. 55. № 5. P. 293-306.
- Markevich P.V., Malinovsky A.I., Tuchkova M.I. et al.* The use of heavy minerals in determining the provenance and tectonic evolution of Mesozoic and Cenozoic sedimentary basins in the continent-Pacific Ocean transition zone: examples from Sikhote-Alin and Koryak-Kamchatka Regions (Russian Far-East) and Western Pacific // Developments in sedimentology. Heavy Minerals in Use. Amsterdam: Elsevier. V. 58. 2007. P. 789-822.
- Maynard J.B., Valloni R., Yu H.S.* Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Trench-Forearc Geology. Sedimentation and tectonics of modern and ancient plate margins. Oxford; London; Edinburgh; Melbourne, 1982. P. 551-561.
- Nath B.N., Kunzendorf H., Pluger W.L.* Influence of provenance, weathering and sedimentary processes on the elemental ratios of the finegrained fraction of the bedload sediments from the Vembanad lake and the adjoining continental shelf, southwest coast of India // Journal of Sedimentary Research. 2000. V. 70. № 5. P. 1081-1094.
- Nechaev V.P., Markevich P.V., Malinovsky A.I. et al.* Tectonic settings of deposition of the Cretaceous sediments from the Lower Amur region, Russian Far East // Journal Sed. Soc. Japan. 1996. № 43. P. 69-81.
- Patte E.* Description de l'île des Cenders, volcan apparu au large de la cote d'Annam (1923) // Bull. Volcanol. Napoli. 1925a. V. 2. P. 162-172.
- Patte E.* Etude de l'île des Cenders, volcan apparu au large de la cote d'Annam // Bull. Serv. Geol. de l'Indochina. 1925b. V. 13. Fasc. 2. P. 162-172.
- Rangin C., Klein M., Rogues D. et al.* The Red River fault system in the Tonkin Gulf, Vietnam // Tectonophysics. 1995. V. 243. Is. 3-4. P. 209-222.
- Roser B.P., Korsch R.J.* Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // The Journal of Geology. 1986. V. 94. № 5. P. 635-650.
- Teraoka Y.* Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan // Bull. Geol. Surv. Japan. 2003. V. 54. № 5-6. P. 171-192.
- Wood D.A.* The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province // Earth Planet. Sci. Lett. 1980. V. 50. № 1. P. 11-30.

**PECULIARITIES OF MATERIAL COMPOSITION OF SEDIMENTARY
AND VOLCANIC-SEDIMENTARY ROCKS IN PHU-QUI AND KATUIK
VOLCANIC ISLANDS (VIETNAM SHELF)**

A.I. Malinovsky¹, V.A. Rashidov²

¹*Far East Geological Institute, FEB RAS; Vladivostok, 690022; e-mail: malinovsky@fegi.ru*

²*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006*

Sedimentary and volcanic-sedimentary rocks from natural exposures on the Phu-Qui and Katuik volcanic islands (Vietnam Shelf) have been analyzed for their elemental composition. Mineralogically and petrochemically, sandstone rocks of Phu-Qui Island are petrogenic compounds and refer to subarkose. Judging by the prevalence of quartz and feldspar, by the dominance of sialic association in the heavy mineral fraction as well as by the pattern of major, minor and rare-earth element distribution, the main sources of clasts were intrusive and metamorphic rocks of the mature continental crust, and sedimentation settings correspond to passive continental margins.

The Middle Pleistocene volcanic-sedimentary rocks of the Phu-Qui – Katuik group of islands are composed of pyroclastic material of mafic composition close to the basalts from trachybasalt-trachytic and alkaline basaltic series of Vietnam, which possess intraplate characteristics and relate to the existing here extension settings. The sedimentation occurred in subaerial environment near the centers of volcanic eruptions.

Keywords: Phu-Qui, Katuik, Vietnam Shelf, sedimentary, volcanic-sedimentary rocks.