

Некоторые аспекты геологического строения и особенности проявления вулканизма на активных окраинах Тихого океана, как следствие концепции мантийной вихревой геодинамики

Колосков А. В., Аносов Г. И.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006 бульвар Пуйна, 9, e-mail: kolosav@kcs.iks.ru

В представленной публикации поставлена задача сравнительного рассмотрения некоторых аспектов геологического строения и особенностей проявлений вулканизма в пределах Восточно-Азиатской переходной зоны и Северо-Американского континента с позиций вихревой геодинамики.

Анализ полученных данных касался возрастной последовательности проявления вулканизма и вариаций в составе и структурном положении базальтоидов и ультраосновных ксенолитов. В результате этих исследований были выделены три вихревых структуры в пределах Западно-Тихоокеанской окраины и две пары подобных структур на Северо-Американском континенте. Предположительно подобного типа структуры могут быть выделены и в области сочленения Северо-Азиатской и Северо-Американских плит. В качестве индикаторов для выделения вихревых структур были выбраны ксенолит-содержащие вулканы позднемiocенового-четвертичного возраста для Западно-Тихоокеанской окраины и от докембрийского до современного для Северо-Американского континента. Выделенные вихревые структуры имеют сходную морфологию и геологическое строение. Примечательно, что многие из них локализованы в тех местах, где в настоящее время фиксируются глубоководные впадины окраинных морей (Японское и Южно-Китайское), краевых или межконтинентальных заливов (Калифорнийский и Мексиканский заливы). Что касается Западно-Тихоокеанской окраины, то здесь в общем случае внутриплитный (или близкий к таковому для Камчатки) вулканизм преобладает в западных сегментах каждой такой структуры. Этот тип вулканизма ассоциирует с ксенолитами шпинель-лерцолитового типа. Островодужный вулканизм характерен для восточной ветви каждой вихревой структуры. Особый тип ультраосновных включений, характеризующийся условиями оливин-плагиоклазового равновесия, встречается иногда в базальтоидах этой ветви. На примере Восточно-Азиатской окраины показано, что состав вулканических пород и ксенолитов как по макро-, так и по микроэлементам постепенно меняется вдоль простирания каждой вихревой структуры. Он выражается в ослаблении «внутриплитных» и усилении «островодужных» характеристик. В геодинамическом плане выделенные вихревые структуры имеют «астеносферные корни». Поэтому выявленный механизм их ротационной эволюции согласуется с концепцией дифференциально перемещающихся геосфер. При этом, астеносфера, как «смазочный слой», располагается между ними [7, 17, 28,]. Гидродинамика этого слоя хорошо описывается теорией сферического подшипника [21]. Эти модели успешно используются в метеорологии и океанологии для анализа синоптических вихрей и ротационных течений. Выдвинута концепция «флюидно-магматического торнадо» для объяснения тектоно магматических процессов в отдельных вихревых структурах. Эта концепция не является альтернативой плюмовой тектоники, но ведет к пониманию деталей механизма тепло-массопереноса и источников энергии для этих процессов.

Введение.

Существующие геологические данные [27] свидетельствуют о достаточно древнем (верхнеюрском-раннемеловом) времени образования и сравнительно стабильным положением Западно-Тихоокеанской переходной зоны. Наиболее изучен кайнозойский этап её развития. Однако существующие модели образования этой зоны в рамках концепции тектоники литосферных плит не могут дать удовлетворительного ответа на многие вопросы, возникающие при её изучении. Геофизические данные и аномалии распределения теплового потока [13] вступают в конфликт с моделями субдукционной геодинамики. Проявления вулканизма внутриплитного типа в пределах островодужных систем также «не вписываются» в рамки этих моделей. Для объяснения этого парадоксального феномена потребовалось даже введение специальной терминологии (типа «slab-window formation») и создание экзотических моделей типа «slab windows» («окна в поддвигаемой литосферной плите») [56].

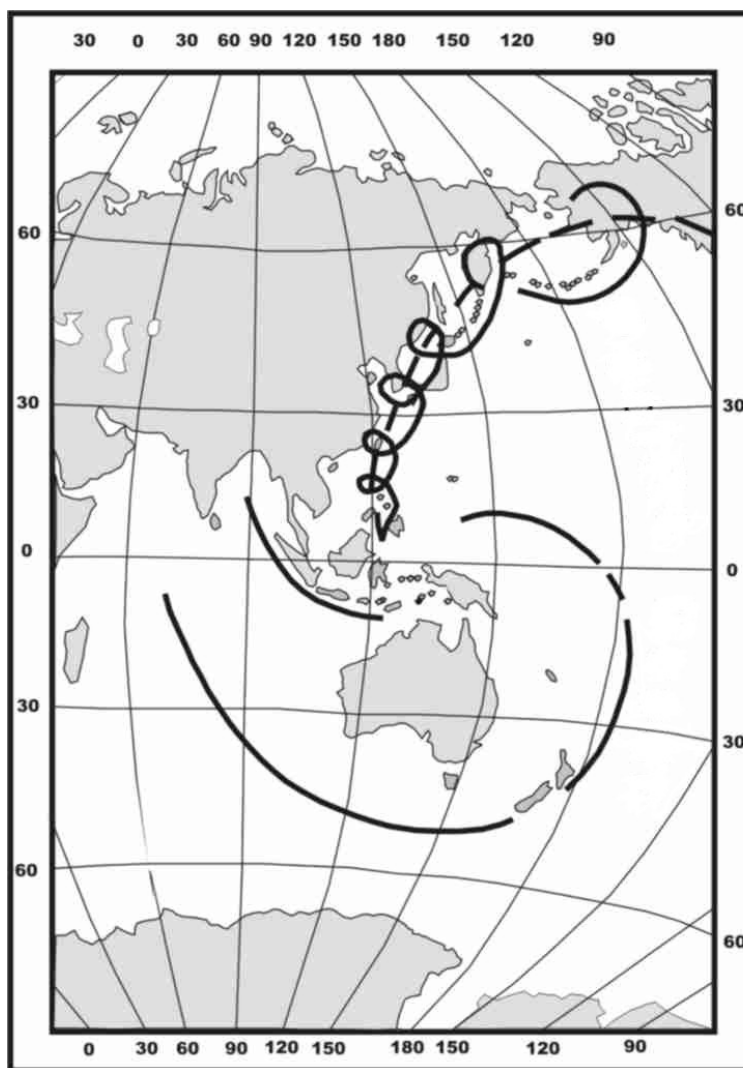


Рис. 1. Глобальная вихревая система Индо-Тихоокеанского региона Земли [Дмитриевский и др., 1993].

Создавшаяся ситуация выдвигает необходимость поиска иных моделей для объяснения наблюдаемых «аномальных явлений». В настоящем сообщении сделана попытка рассмотреть особенности геологического строения и направленность развития вулканизма Западно-Тихоокеанской переходной зоны, а также некоторых проявлений тектоники и вулканизма на Северо-Американском континенте с позиций вихревой геодинамики. Эта концепция не является альтернативой плюмовой тектоники, но является попыткой её дальнейшего развития, поскольку ведет к пониманию деталей механизма процессов тепло-массопереноса и источников энергии для этих процессов. Хорошо известно, что

нетрадиционный подход наилучшим образом стимулирует понимание внутренних процессов в недрах Земли [12].

Ксенолит-содержащие вулканыты и ротационные структуры

Выявление и интерпретация ротационных структур широко обсуждается в геологической литературе [3, 4, 11, 20, 24, 25, 32]. На рис. 1 показаны глобальные ротационные системы, которые выделены [11] для описания соотношений тектоники и

энергетики Земли. В наших исследованиях в качестве индикаторов для выделения ротационных структур были использованы ксенолит-содержащие вулканиты, возраст которых колеблется от верхнего мела до современного на Восточно-Азиатской окраине и от докембрийского до современного для Северо-Американского континента. Этот тип вулканитов отличается наименьшей дифференцированностью и они наиболее отражают глубинное состояние магматического вещества. Ранее индикаторные возможности подобного рода вулканитов были использованы для выявления позднекайнозойских ротационных структур в пределах Камчатского полуострова [3, 4] (Рис.2).

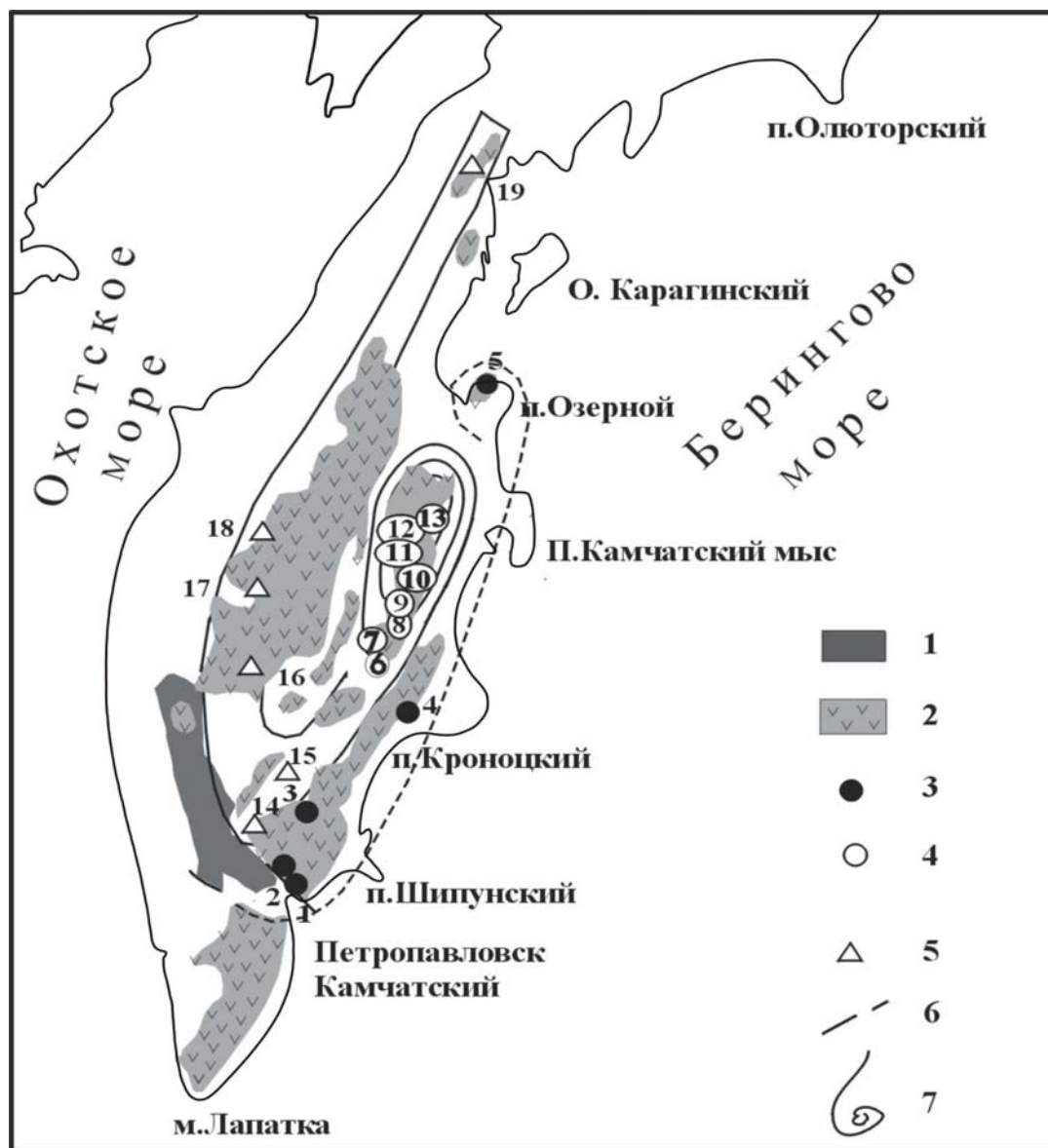


Рис. 2. Плиоцен-четвертичные вулканиты Камчатки, ассоциирующие с ними ультраосновные включения и контуры вихревой тектоно-магматической структуры

1 - Выступы метаморфизованных пород фундамента; 2 – проявления четвертичного вулканизма; вулканиты с ксенолитами: 3 – дунит-гарцбургитовой ассоциации (вулканы: 1 – Авачинский, 2 – Коряжский, 3 – Жупановский, 4 – Кроноцкий, 5 – Начикинский); 4 – дунит-верлит-пироксенитовой ассоциации (вулканы: 6 – Николка, 7 – группа конусов Большого трещинного Толбачинского извержения, 8 – Зимина, 9 – Безымянный, 10 – Ключевской, 11 – Заречный, 12 – Харчинский, 13 – Шивелуч); 5 – верлит-пироксенитовой ассоциации (14 – плато-базальты в р-не в.Бакенинг, 15 – дайки и силлы базальтов на р.Степанова, 16 – Ичинский вулкан, 17 – ареальные и покровные проявления Дола Геологов, 18 – вулкан Кетепана, 19 – р.Валовая; 6 – тектонические нарушения; 7 – условные контуры вихревой тектоно-магматической структуры.

На основании анализа обширного литературного материала была составлена схема распределения ксенолит-содержащих вулканитов в пределах Восточно-Азиатской окраины (рис.3). Анализ временной последовательности эволюции вулканизма на рассматриваемой территории и направленности изменения состава вулканитов и включений позволил выделить здесь три вихревые структуры циклонического типа. Четвертая структура подобного типа, намечается вокруг Берингова моря.

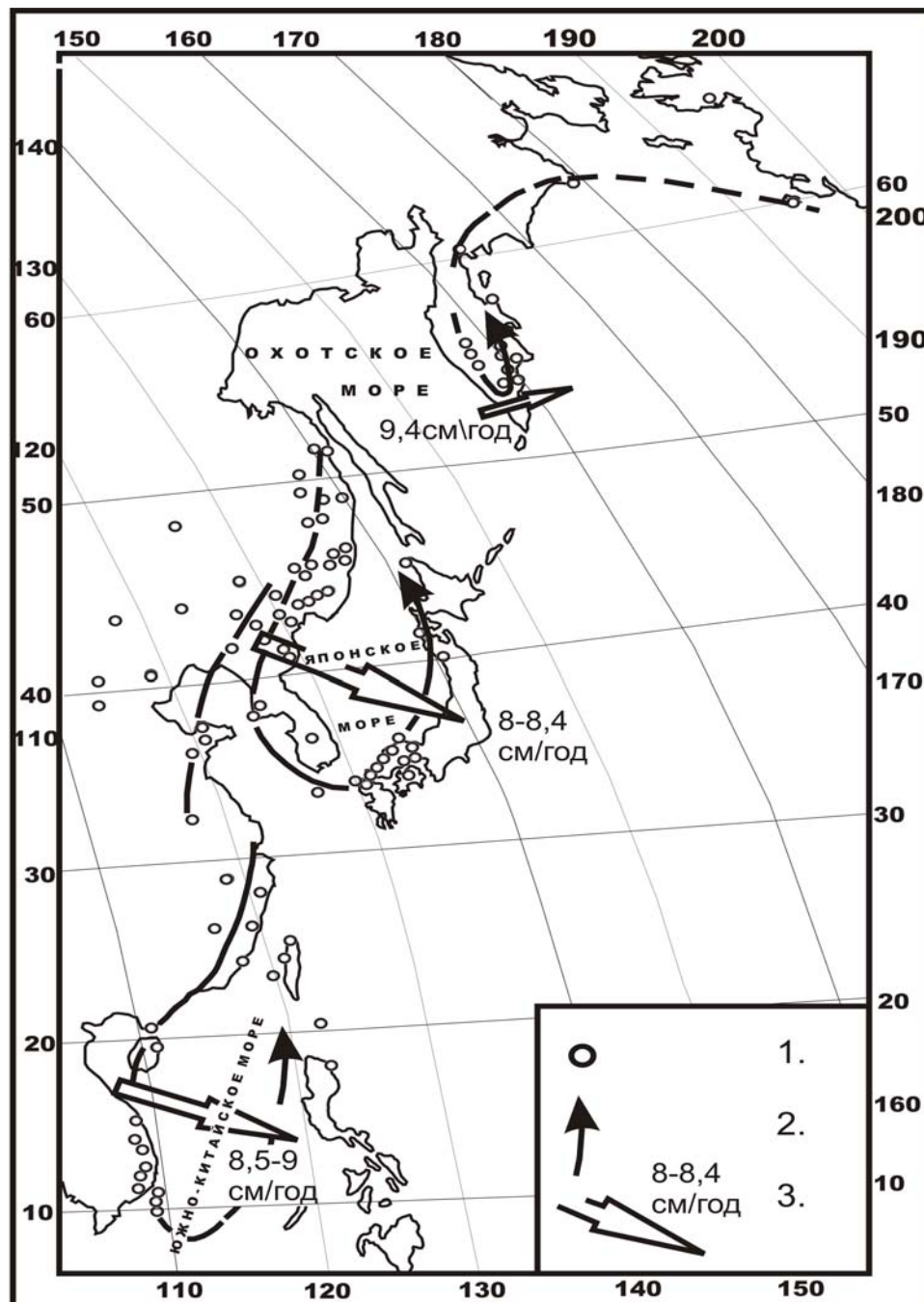


Рис. 3. Вулканические объекты позднекайнозойского возраста с включениями ультраосновного состава в пределах Восточно-Азиатской окраины и контуры вихревых тектоно-магматических структур.

1-объекты, несущие ультраосновные включения (вулканические постройки, лавовые поля); 2- условные контуры вихревых структур; 3- направления и скорости перемещения вулканического фронта в ходе развития вихревой структуры. Использованы материалы из работ: [Сахно, Денисов, 1963; Щека, 1983; Qu et al., 1995; Ionov et al., 1995; Fan et al., 2000; Ikeda et al., 2001].

Примечательно, что две из них оконтуривают окраинные моря (Японское и Южно-Китайское) с характерными для них глубоководными котловинами. В отношении третьей, Камчатской структуры, необходимо заметить, что она в большей своей части тяготеет к Центральной Камчатской депрессии. Не исключено, что эта депрессия может представлять из себя остаточный окраинный бассейн, существовавший в верхнемеловое-палеогеновое время (?).

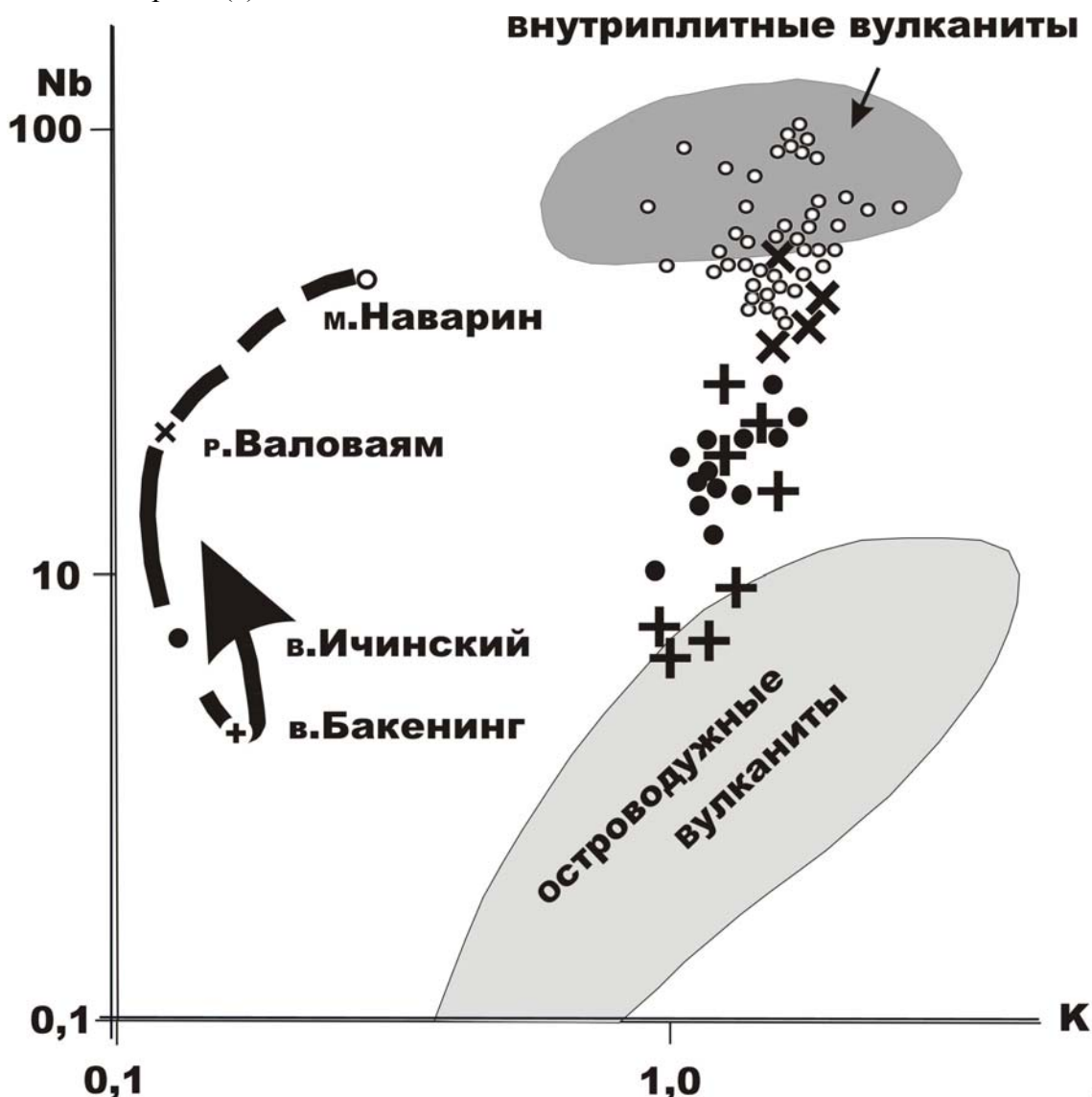


Рис. 4. Соотношение Nb-K в позднекайнозойских вулканидах Камчатской вихревой структуры.

Использованы материалы из работ: [Dorendorf et al., 2000; Churikova et al., 2001]. Поля составов пород взяты из работы: [Колосков, 1999]. Условные обозначения точек для отдельных регионов соответствуют представленным во врезке.

Все три структуры имеют сходную морфологию и геологическое строение. Внутриплитный вулканизм (или близкий к таковому для Камчатки) широко проявлен в западном сегменте каждой структуры и с ним ассоциируют ксенолиты шпинель-лерцолитового типа. Вулканизм островодужного типа обнаруживается в восточной ветви этих структур. Особый тип включений, нередко с плагиоклазом и амфиболом, характеризующийся условиями оливин-плагиоклазового равновесия, встречается иногда в базальтоидах этой ветви. Важно подчеркнуть, что состав и вулканических пород и ксенолитов как по макро-, так и по микроэлементам постепенно изменяется вдоль

простираения каждой вихревой структуры. Ослабление внутриплитных (более глубинных) и нарастание островодужных (менее глубинных) признаков во временной вдоль каждой структуры является её важной генетической особенностью. Рис. 3. демонстрирует направление и средние скорости смещения вулканического фронта в рассматриваемой переходной области. Значения этих скоростей слегка превышают те данные, которые приводятся в литературе для конвергентных границ литосферных плит в этом регионе [76]. Этим лишним раз подчеркивается автономность происхождения выделенных вихревых структур. Закономерности изменения состава вулканитов и включений в ходе эволюции вихревой структуры подробнее рассмотрим на примере Камчатки. Рис. 4 иллюстрирует эти изменения в ряду перехода м. Наварин – р. Валоваям – район Ичинского вулкана – район вулкана Бакенинг. В этом ряду в комплексе вулканических проявлений плиоцен-четвертичного возраста последовательно уменьшается доля щелочных-субщелочных вулканитов с внутриплитными геохимическими признаками и нарастает доля пород с островодужными характеристиками. Как видно на этом рисунке, в рассматриваемой последовательности в узком диапазоне изменения калиевой щелочности пород закономерно уменьшаются концентрации такого типоморфного элемента, как Nb. Соответствующие фигуративные точки смещаются из поля внутриплитных вулканитов в поле островодужных образований. При этом для каждого района выбраны для сравнения породы с максимальными содержаниями Nb.

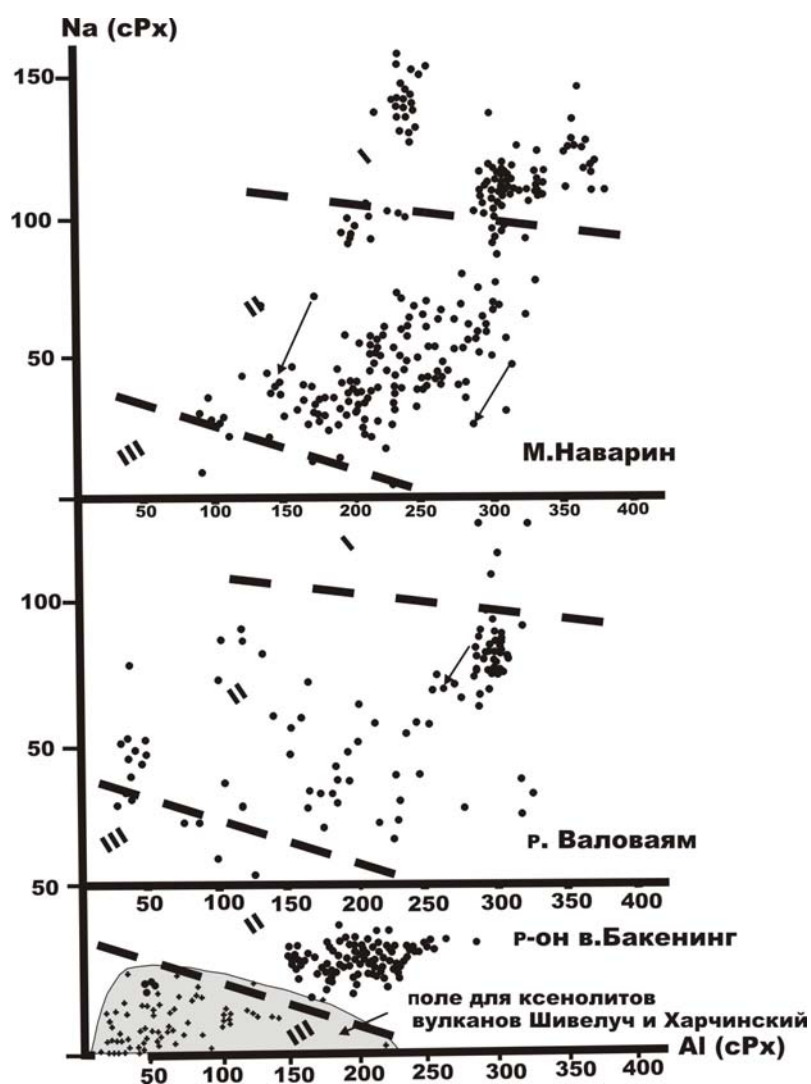


Рис. 5. Соотношение Na-Al (форм. ед.) в клинопироксенах из включений гипербазитов в вулканитах Камчатской вихревой структуры.

Анализы составов минералов выполнены с помощью рентгеновского микроанализатора "Camebax" в лаборатории микронзондового анализа Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (аналитик В.М. Чубаров).

Параллельно происходит и изменение состава ксенолитов. Это хорошо видно на примере состава клино-пироксенов – наиболее распространенного, типоморфного минерала для этих образований. На рис. 5 представлена серия графиков, отражающих изменение состава этого минерала в координатах Na-Al, из ксенолитов трех районов: м. Наварин – р. Валоваям – район вулкана Бакенинг. В рассматриваемом ряду наблюдается последовательное уменьшение натровости и глиноземистости наиболее ранних генераций

этого минерала, так что соответствующие фигуративные точки постепенно смещаются из

области шпинель-лерцолитового в поле менее глубинного оливин-плагиоклазового равновесия.

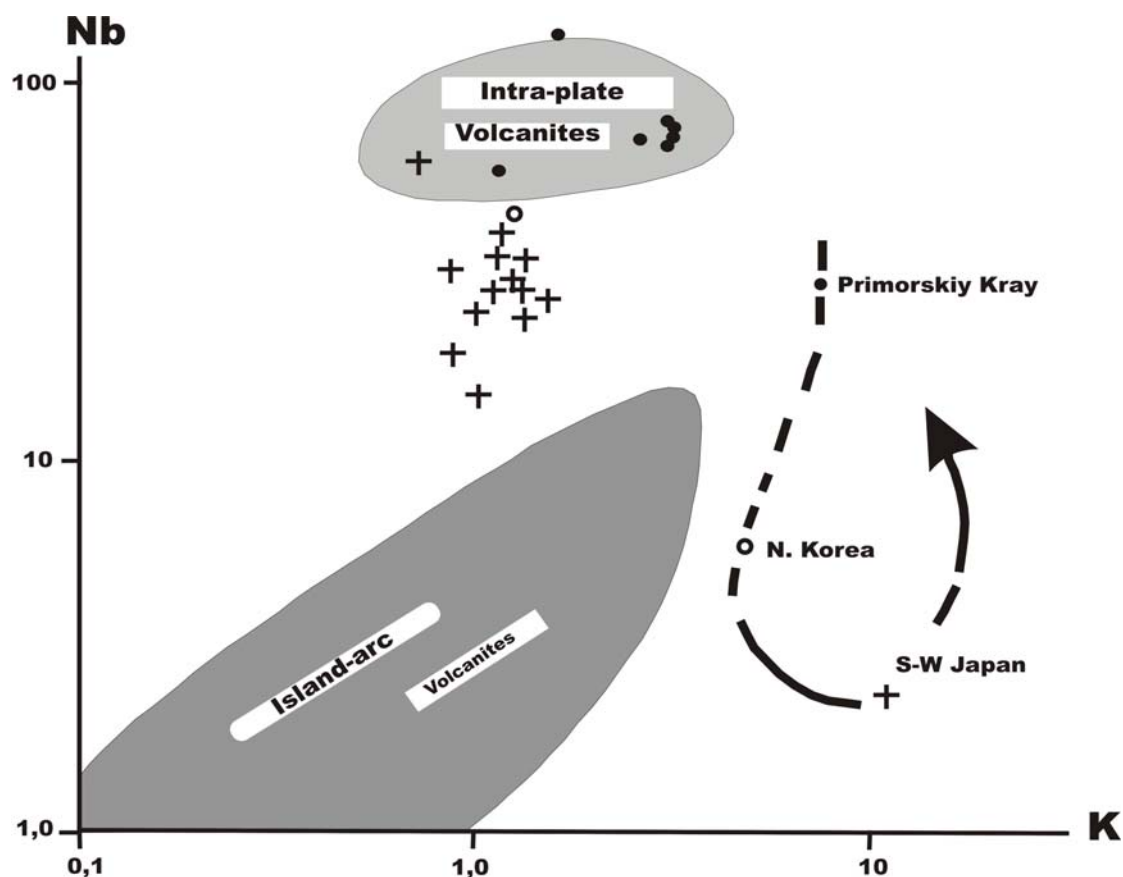


Рис. 6. Соотношение Nb-K в позднекайнозойских вулканитах Японской вихревой структуры.

Использованы материалы из работ: [Федоров, Филатова, 2002; Hoang, Uto, 2003]. Поле внутриплитных вулканитов – тоже, что и на рис. 3. Для построения поля островодужных пород использованы данные: [Togashi et al., 1992; Morris et al., 1997; Kondo et al., 2004]. Условные обозначения точек для отдельных регионов соответствуют представленным во врезке.

Сходные закономерности можно наблюдать и в отношении Японской вихревой структуры. Как видно на рис. 6, в ряду перехода для ксенолит-содержащих вулканитов: Приморья (вулканы Свягинский и Болоньский) – Северной Кореи – Юго-Западной Японии наблюдается последовательное уменьшение концентраций Nb в том же диапазоне изменения щелочности пород, что и на рис. 4. Диаграмма рис. 7 дает представление о характере эволюции составов клинопироксенов в ксенолитах из базальтоидов тех же районов. И для Японской структуры мы видим те же закономерности: ослабление внутриплитных и нарастание островодужных признаков, с одновременным уменьшением глубины возникновения соответствующих магматических расплавов, наблюдаемые вдоль простираения вихревой структуры.

Подобным образом были проанализированы материалы [67, 68] по ксенолит-содержащим вулканитам Северной Америки. При этом отдельно рассматривались данные по кимберлитам, возраст которых колеблется от докембрийского до нижнемелового, и по базальтоидам с возрастными датировками от палеогена до современного. В результате такого анализа была получена картина существования и развития двух пар вихревых структур циклонально-антициклонального типа (рис.8).

Наиболее древняя кимберлитовая северо-восточная структура проходит по Аппалачским горам и оконтуривает район Великих Северо-Американских озер.

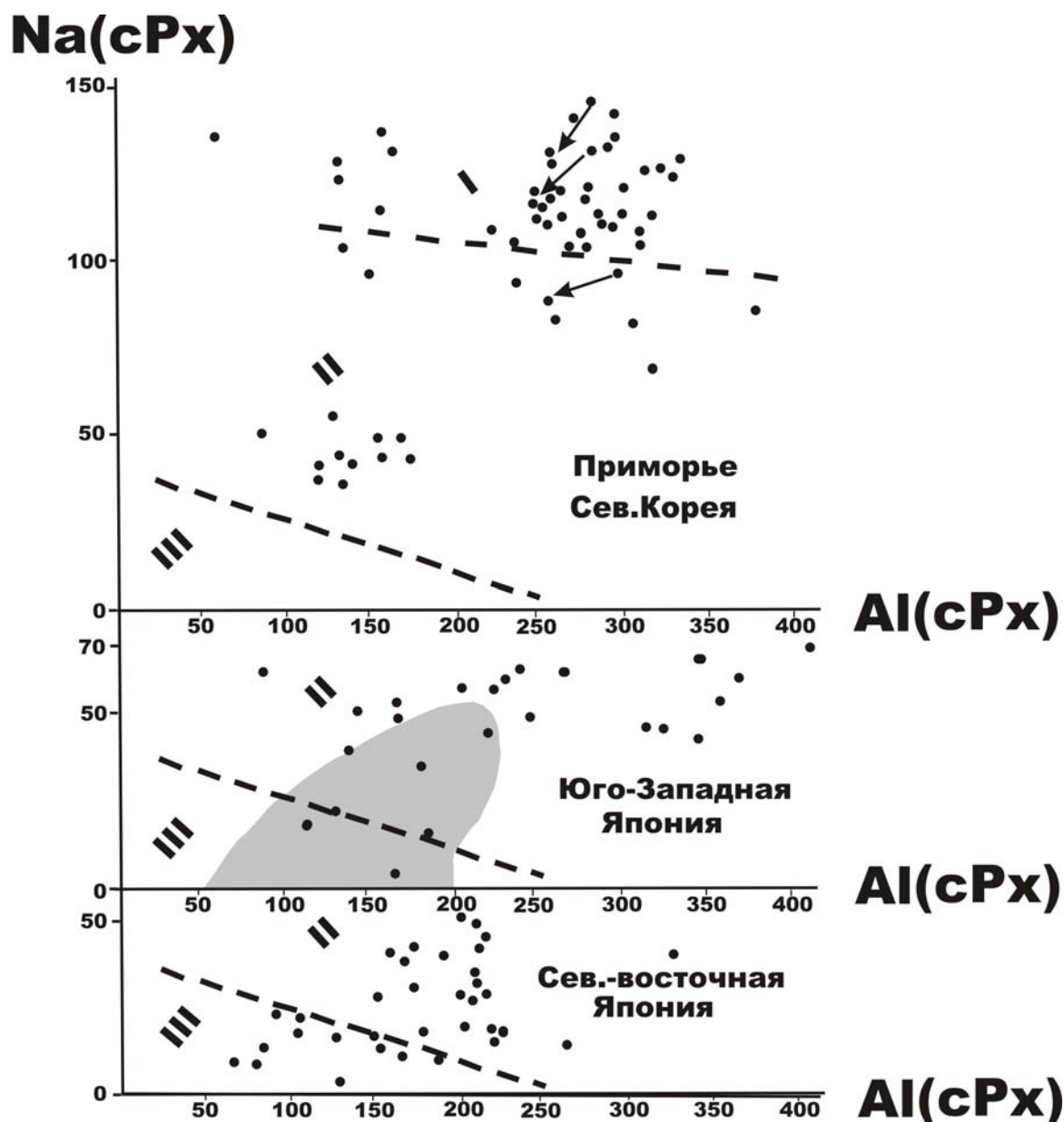


Рис.7 Соотношение Na-Al (форм. ед.) в клинопироксенах из включений гипербазитов в вулканитах Японской вихревой структуры.

Использованы данные из работ: [Кутолин, Фролова, 1975; Takahashi, 1980, 1986; Щека, 1983; Yamamoto, 1984; Abe et al., 1998, 2003; Ionov et al., 1995; Togashi et al., 1992]

С некоторым запозданием проявилась также кимберлитовая западная структура, которая ограничивает Большой бассейн и плато Колорадо. В плиоцен-четвертичное время, когда кимберлитовый магматизм уступает место базальтовому, эта структура несколько смещается в западном направлении. Впервые она была выделена И.В. Мелекесцевым [2004] по структурно-морфологическим признакам. Весьма примечательно, что структура хорошо подчеркивается характером распространения эпицентров землетрясений ("межгорный сейсмический пояс"), как это видно на схеме рис.9.

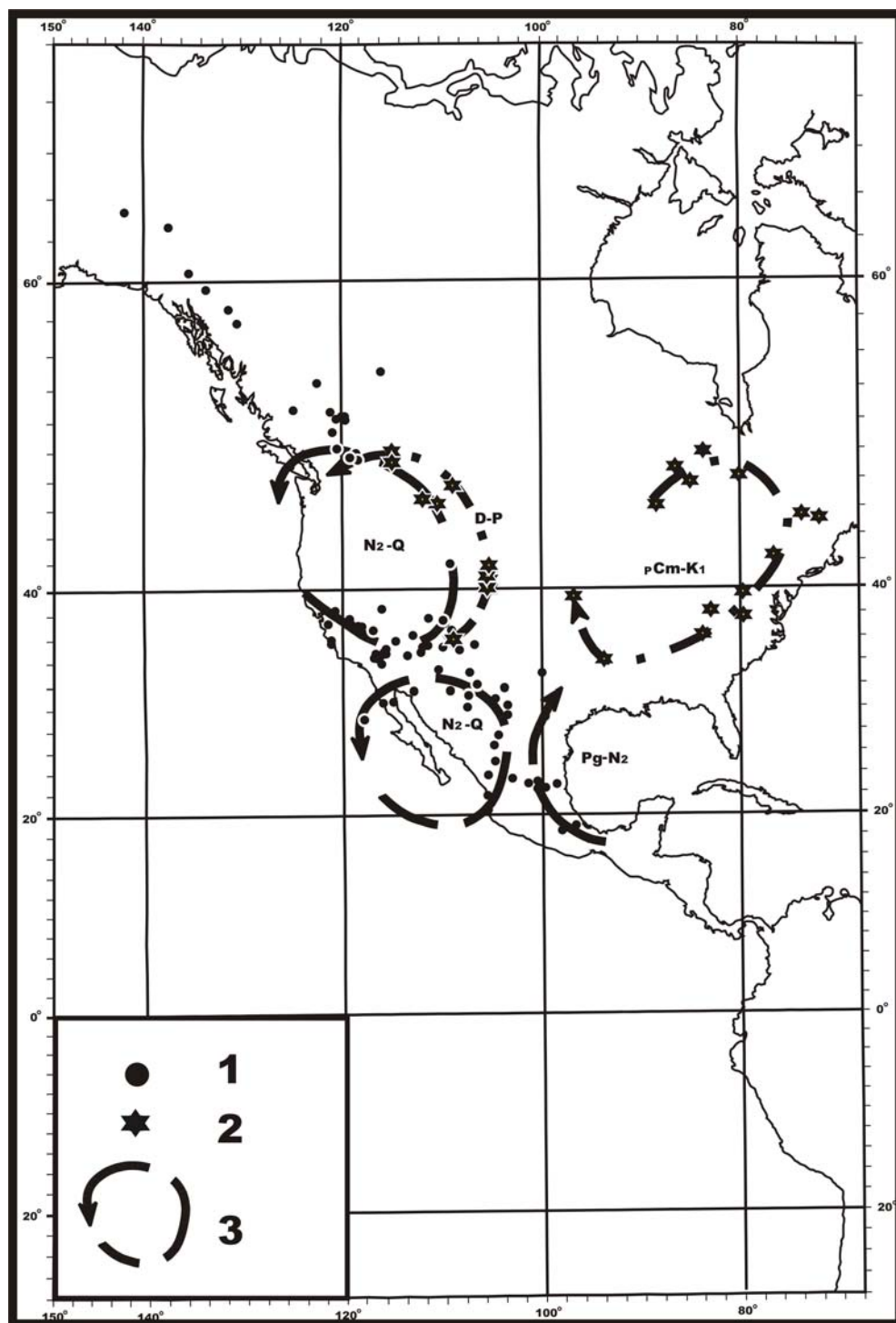


Рис.8 Вулканические объекты (базальтоиды и кимберлиты) с включениями ультраосновного состава в пределах Северо-Американского континента и контуры вихревых тектоно-магматических структур.

1-2 проявления: 1- базальтоидов; 2 – кимберлитов; 3 – соответствующие им контуры вихревых структур. *Использованы материалы: [Mantle xenoliths..., 1987; Mafic and Ultramafic..., 1988]*

Вторая пара вихревых структур проявилась в связи с распространением палеоген-плиоценового базальтоидного ксенолит-содержащего вулканизма по западному обрамлению Мексиканского залива и такого же в плиоцен-четвертичное время в районе Калифорнийского залива.

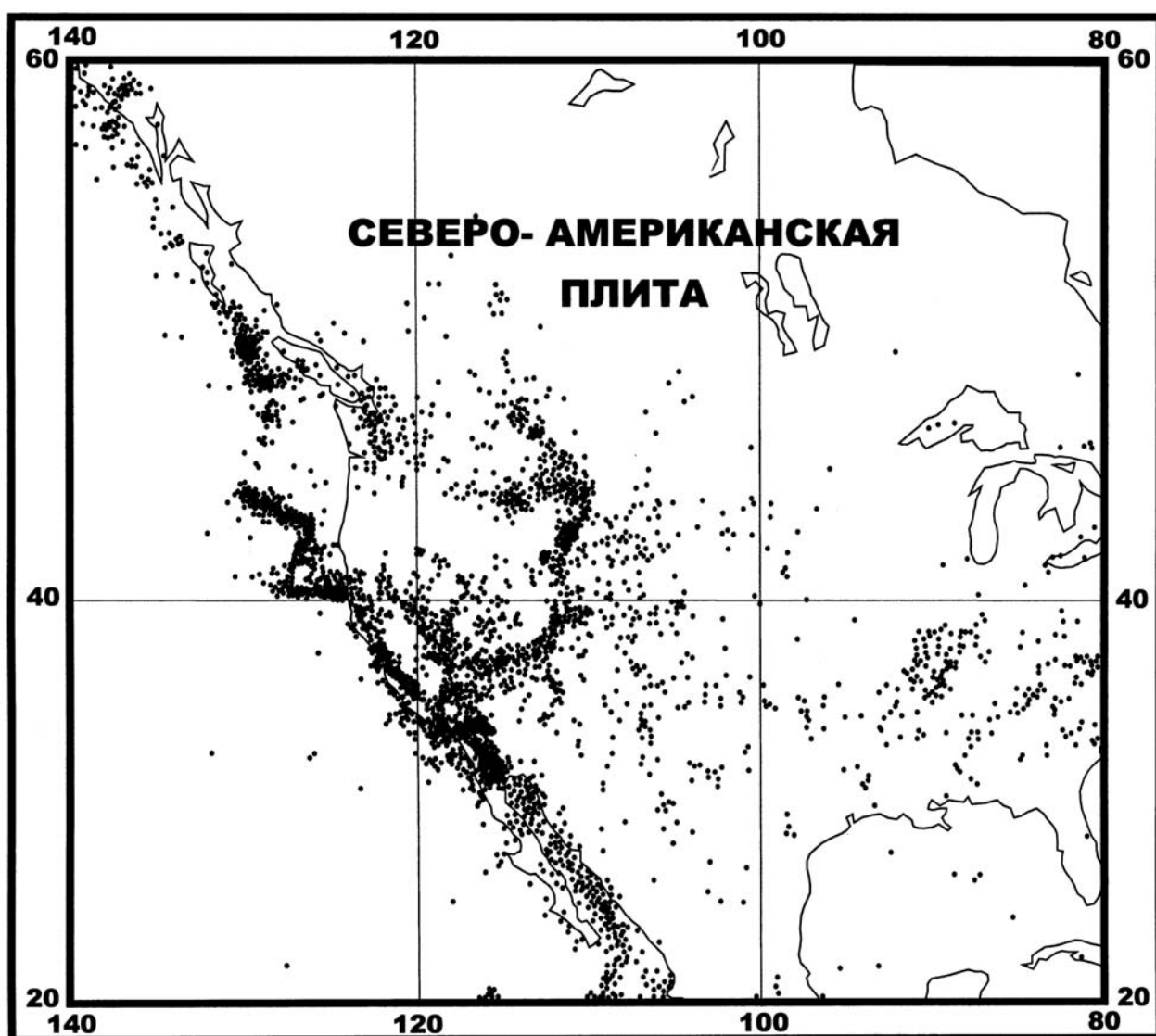


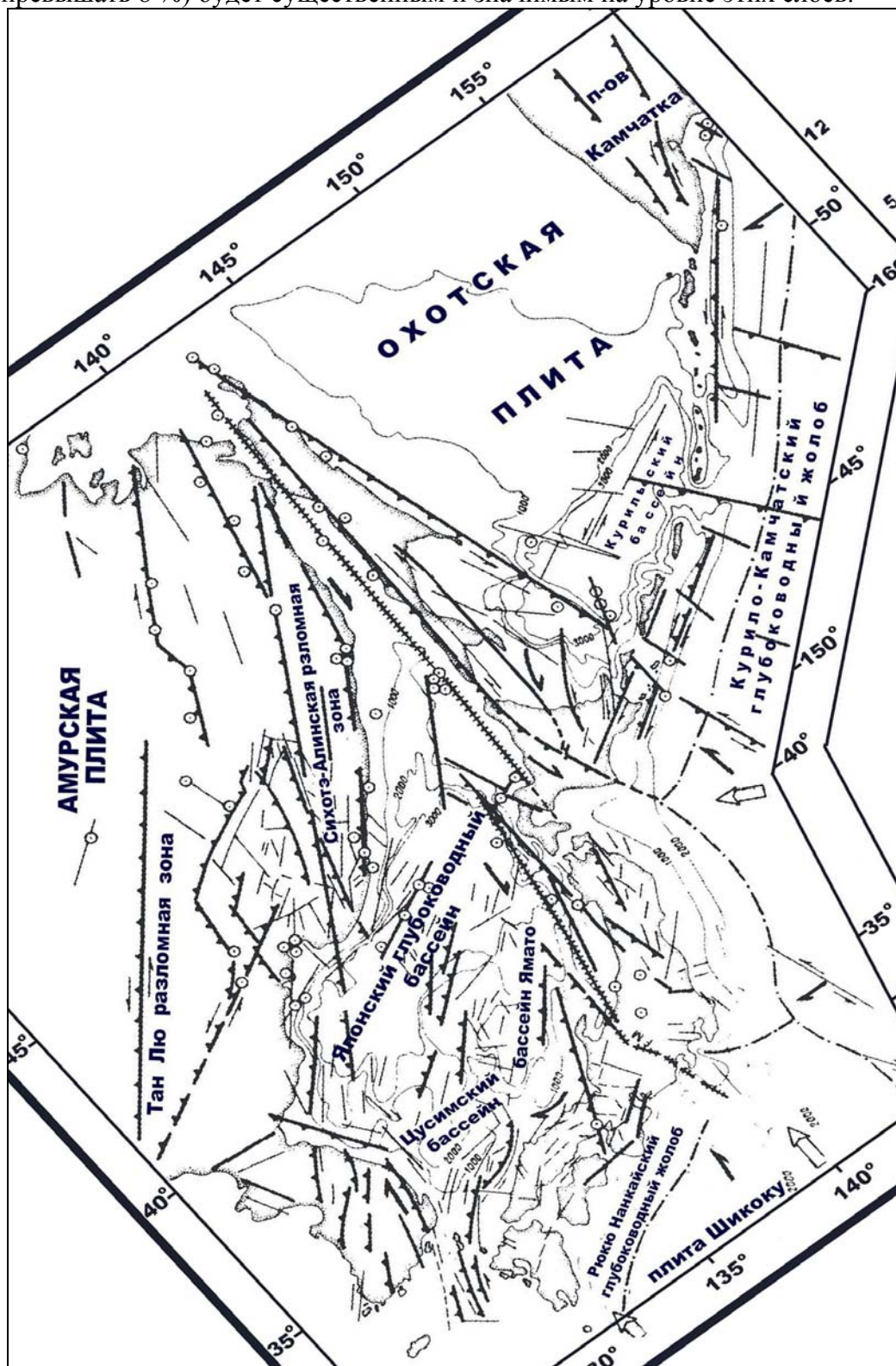
Рис.9 Сейсмическая карта Северной Америки.

Использованы материалы: [Международный геолого-геофизический..., 2003].

Если район Мексиканского залива в целом относительно спокойная область в отношении сейсмичности, то Калифорнийская вихревая структура хорошо подчеркивается полосой проекций эпицентров землетрясений в своей центральной и южной частях.

величины (т.е. менее 1%), отнесенные к мощности астеносферы или слоя D''' - резко возрастают в своей значимости [10].

Действительно, абсолютное увеличение радиуса планеты по В.Е. Хайну до 1,5 % от современного радиуса Земли в мезозойско – кайнозойское время [10] даже при многократно завышенных величинах (по палеомагнитным данным [53] - эта величина может превышать 8 %) будет существенным и значимым на уровне этих слоев.



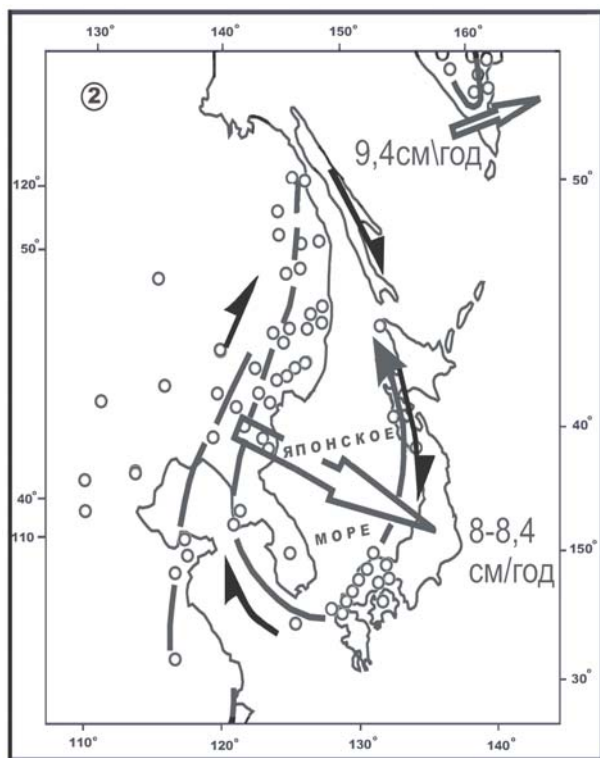


Рис. 10. Тектоническая схема Японского моря по геолого-геофизическим данным (1) и элементы вихревой геодинамики региона (2)

(1) по материалам (Anosov et al., 1996) с добавлениями: основная часть применяемых знаков на рисунке имеет разъяснительные подписи на чертеже, сплошные линии со стрелками – положение сдвиговых и сдвигово-раздвиговых зон разломов и направление преимущественных движений; открытые кружочки вдоль линий разломов – положение эпицентров землетрясений до 1992 г. с магнитудой M равной или более 4.0; двусторонние открытые стрелки – положение так называемых точек тройных сочленений; тонкие линии – возможное положение «простых» разломных зон, сопутствующих главным зонам разломов; штрих-пунктирные линии – оси глубоководных желобов.

Важность предлагаемого подхода в том, что он позволяет снять многие возражения, которыми сопровождается развитие ротационной эволюции геодинамических процессов

Одним из главных приложений, вытекающих из нашей гипотезы, является неизбежность нарушения режима твердотельного вращения геооболочек в период смены знаков такового. Это позволяет применять гидродинамическую теорию смазки сферического подшипника для описания поведения вещества астеносферы на период возмущенного и дифференцированного вращения литосферы и мезосферы, между которыми она располагается. Прогнозируемые гидродинамические-геодинамические последствия практически однозначно будут устанавливаться в пространстве и времени с точностью, определяемой нашими знаниями о глубинном строении выбранного региона или тектонической провинции.

Примечательно, что многие модельные и расчетные исследования, которые были направлены на понимание геодинамических процессов в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану, выполнялись для статической Земли (т.е. при игнорировании режима вращения планеты), так как ротационные эффекты по отношению к ее полному объему (или радиусу) действительно являются исчезающе малыми.

В противовес таким подходам, ранее нами было показано [3], что дифференцированные смещения литосферы – мезосферы в астеносферном слое реализуются в виде Куэттовского (сдвигового) течения. Эти движения обладают инерционностью сдвигового течения «смазочного слоя» как в эпоху относительного замедления вращения Земли [15], так и в период ускоренного. В плиоцен-четвертичное время такая инерционность фиксируется «набеганием» рассматриваемых вихревых структур на границе Тихоокеанского и Индо-Азиатского блоков литосферы и вглубь Северо-Американского континента вдоль западных его границ. Причем для Северо-Американских структур этот цикл повторялся дважды (первое перемещение соответствует замедлению вращения Земли для девон-пермского времени). Обратное, западное и юго-западное смещение вихревых структур на Северо-Американском континенте соответствует эпохе относительного ускорения вращения Земли в период от перми до низов верхнего мела. Возможно, кроме того, что при смене знака ускорения в

ротационном режиме Земли, могут меняться направления падения сейсмофокальных зон, что, видимо, может рассматриваться как причина возникновения геодинамической обстановки типа Андийской окраины в период таковой и вдоль восточной границы Азиатского континента. Предложенный подход позволил для понимания процессов вулканизма сформулировать концепцию «флюидно – магматического торнадо», которая является основой вихревой геодинамики. Эта концепция строится на анализе аномальных процессов, происходящих только в астеносфере и исключительно в период «возмущенного, не твердотельного» режима вращения Земли. При этом, основным типом движений тепломассопереноса по радиальным направлениям считается двойная (встречно-телескопическая) спираль Архимеда, которая является основой энергетики и динамики движений в смерчах – торнадо [3].

Рассматривая зону перехода от Азиатского континента к Тихому океану с точки зрения физико-математической модели, ее можно представить как передний фронт «торошения» на границе столкновения двух литосферных плит, скользящих в современную эпоху с разной эффективной скоростью. Это различие в скоростях относительных движений в условиях резко выраженной неоднородности в строении объединяемых плитами геоблоков будет приводить к дифференцированному их движению и, в конечном итоге, и к относительному вращению. Мгновенные (по шкале геологического времени) отпечатки этих движений фиксируются данными поверхностной геологии в виде кусочно – линейных систем преимущественно правосторонних разломов - сдвигов, в значительной части, сейсмогенных [35]. Авторами настоящего сообщения эти сдвиговые зоны рассматриваются как поверхностные отпечатки вихревых структур. В качестве примера принятой геодинамической истории нами рассматривается тектоника Японского моря (рис. 10), в синтезе которой использованы многочисленные литературные данные (в т.ч., материалы ГСЗ, полученные здесь по совместному Российско–Южно-Корейскому проекту ИМГиГ - KORDI, 1991 - 1995 гг), проинтерпретированные с позиций концепции флюидно – магматического торнадо. За основу наших построений принята схема развития Японского моря, которая была одним из авторов настоящей работы озвучена на 3-ей Международной конференции по «Морской геологии Азии. Развитие и динамика Азиатских морей» [46]. С этих позиций, тектоническая схема Япономорского региона (Японское море и прилегающие территории) может рассматриваться как проекции на дневную (субгоризонтальную) поверхность точек (образующих линии) тел внешнего (линии разломов) и внутреннего (данные по ксенолит-содержащим вулканитам) конусов - спиралей Архимеда (рис. 10). Действительно, имеющиеся данные свидетельствуют о постепенном уменьшении глубин заложения тектонических линеаментов от периферии к центру: глубинность таковых надежно установлена для района сдвигово-раздвиговых зон Цусима – Гото (южная окраина Корейского полуострова) и для запад – юго-западной окраины о. Хонсю, где эти зоны подстилаются выступами подошвы астеносферы – «астеносферные перья»-, выделенные по сейсмологическим данным [46]. С геологической точки зрения, эти конусы формируются разновозрастными и разноглубинными параметрами, тем не менее, имеющими вихревой тренд в трехмерном пространстве. Детальное рассмотрение такого тренда позволяет устанавливать для внешнего конуса, который отвечает каркасу тектонических разломных зон (преимущественно, правосторонние сдвиги) вращение по часовой стрелке, тогда как для внутреннего (данные по ксенолит-содержащим вулканитам) – преимущественное вращение против часовой стрелки. Такая структура исследована в тепловом генераторе Финько В.Е. [38] и позволяет восстановить геодинамическую историю развития этого региона, в частности, и зоны Перехода, в целом, в ином плане, чем это принято большинством исследователей для сочленения Тихоокеанского и прилегающих континентальных блоков литосферы и дать им иное

геодинамическое толкование. Согласно этим данным по периферии будущего Японского моря развивались правосторонние сдвигово – раздвиговые зоны глубинного заложения, которые являлись поверхностным проявлением возникшего на разделе литосферы - астеносферы гигантского вихревого потока в астеносфере, представляющего следствие резкого изменения ротационного режима планеты Земля в позднемеловое время. Эта глобальная тектоническая перестройка зафиксирована многочисленными геологическими материалами, которыми подтверждается длительный стратиграфический перерыв (hiatus) на границе мел-палеогенового времени. Примечательно, что по данным морских геологических исследований этот перерыв прослеживается и в разрезе осадков, подстилающих кайнозойские отложения в районе современного океанического вала Хоккайдо и прилегающих структур дна северо-западной части Тихого океана [33]. С нашей точки зрения, этот перерыв обусловлен начальной стадией «радиального разбухания» (в понимании [36]) как реакция фигуры планеты на резкое замедление ее вращения и известное в литературе термином «delamination» (расслоение). Этот процесс, как правило, сопровождается растрескиванием земной коры и развитием сдвигово – раздвиговых зон в областях с высокими градиентами тангенциальных напряжений по периферии максимальных поднятий [51]. В переходной зоне, которая формировалась на восточной окраине Азиатского континента в условиях встречного сжатия и субмеридианального правостороннего сдвига (ротационного?) по периферии Тихоокеанской плиты [22], литосферная плита дробилась торшением на приподнятые участки – останцы первичной структуры и зоны повышенного дробления на границах их сочленения. Развитие последних контролировалось возникновением на глубине турбулентного перемешивания геоматериала в условиях возмущенного сдвигового течения, которое обуславливалось отличным от твердотельного вращения геооболочек Земли в моменты резкой смены знака такового. При моделировании поведения вязкого или слабо вязкого материала на центрифуге для изучения поведения вращающихся сферических оболочек было установлено, что в период перехода от твердотельного вращения к возмущенному возникают не только гигантские вихри, охватывающие всю мощность геооболочки (стадия delamination process), но и отдельные «протуберанцы» с различными глубинами заложения и названные потом «астеносферными перьями» (multi-humped structures,- по [48]). Эти «перья» располагаются, как правило, по образующей конуса – спирали Архимеда с угловым шагом, который напрямую завязан на глубину заложения и на физико – механические (точнее, термодинамические) параметры на этой глубине. В связи с этим, мы полагаем, что рисунок внутренних (т.е. сходящихся к центру, к банке Ямато) разломных зон отвечает проекциям - выходам на дневную поверхность таких астеносферных «перьев». Особенно важно, что геометрические размеры сдвигово – раздвиговых структур вблизи этого центра (например. Кита – Ямато трог) так же уменьшаются, что обуславливается, как определено выше, глубиной их заложения. Нам представляется, что геометрия тектонических нарушений, выявленных по данным ГСЗ в Цусимской впадине [46] на двух пересекающихся под прямым углом профилях, могут служить экспериментальным подтверждением высказанной точки зрения. Выделенные в настоящем сообщении вихревые структуры имеют «астеносферные корни», но не являются диапирами или плюмами, в понимании [12]. Они описываются авторами как примеры проявления «флюидно-магматического торнадо» [3], в рамках которого наблюдаемые закономерности рассматриваются с позиции концепции дифференциально вращающихся геосфер. Так как астеносфера является «смазочным слоем», располагающемся между литосферой и мезосферой [7, 17, 28], то, что очень важно, не требуется привлечение механизмов тепловой конвекции на любом масштабном уровне, потому что гидродинамика «смазочного» слоя хорошо описывается теорией сферического

подшипника [21]. Сходные приемы геодинамической интерпретации, как известно, являются основными при анализе синоптических вихрей и вихревых течений.

Статья поддержана проектом ДВО РАН (04-1-07-004) и контрактом №10104-71/П-14/197-405/160605-032.

Литература

1. **Авсюк Ю.Н.** Сопоставление эндогенных режимов материков в устойчивую геосинклинально-платформенную стадию со схемой приливной эволюции системы Земля-Луна. // Строение и эволюция тектоносферы. М.: ИФЗ АН СССР, 1987, С. 193-216.
2. **Авсюк Ю.Н.** Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.
3. **Аносов Г.И., Колосков А.В., Флеров Г.Б.** Проявление нелинейностей в петрологии и геодинамика магматического процесса Камчатского региона //Геодинамика, магматизм и минералогия континентальных окраин Севера Пацифики. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. Т. 2. С. 174-177
4. **Аносов Г.И., Колосков А.В., Флеров Г.Б.** Особенности проявления ультрамафитов Камчатского региона с позиций вихревой геодинамики. //Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 129-200
5. **Белоусов В.В.** Факторы магнообразования и их связь с тектогенезом. //Проблемы связи тектоники и магматизма. М.: Наука, 1968. С. 5-19
6. **Белоусов В.В.** Переходные зоны между континентами и океанами. М.: Недра, 1982, 150 с.
7. **Бобряков А.П., Ревуженко А.Ф., Шемякин Е.Н.** О возможном механизме перемещения масс Земли. //ДАН СССР. 1983. Т. 272. № 3. С. 1097-1099.
8. **Быханов Е.В.** Астрономические предрассудки и материалы для составления новой теории образования планетной системы, 1877 г. (цитир. по Косыгин Ю.А., Тектоника, 1983), с. 480
9. **Воронов П.С.** Роль ротационных сил Земли в истории становления структуры ее литосферы. // Эволюция геологических процессов в истории Земли. М.: Наука, 1993, С. 104-114.
10. **Дедеев В.А., Куликов П.К.** Происхождение структур земной коры. Л Наука , 1988, 264 с.
11. **Дмитриевский А.Н., Володин И.А., Шипов Г.И.** Энергоструктура Земли и геодинамика. М.: Наука, 1993. 154с.
12. **Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А.** Глубинная геодинамика. Новосибирск, Из-во СО РАН. Филиал "Гео", 2000. 406 с.
13. **Ильичев В.И., Шевалдин Ю.В.** О природе Западно-Тихоокеанской переходной зоны. //Докл. АН СССР.1986. Т. 290. № 3. С. 570-573
14. **Колосков А.В.** Ультраосновные включения и вулканиты как саморегулирующаяся геологическая система. М.: Научный мир, 1999. 223 с.
15. **Колосков А.В.** Изотопно-геохимическая неоднородность плиоцен-четвертичных вулканитов Камчатки, геометрия субдукционной зоны, модель флюидно-магматической системы. // Вулканология и сейсмология, 2001. № 6. С. 16-42
16. **Косыгин Ю.А.** Тектоника. М.: Недра, 1983, 536 с.
17. **Кропоткин П.Н., Ефремов В.Н.** Изменения радиуса Земли в геологическом прошлом // Геотектоника. 1992. № 4. С. 3 – 14.
18. **Кутолин В.А., Фролова В.М.** Прибайкалье и Приморье. В кн. Глубинные ксенолиты и верхняя мантия (отв. Ред. В.С. Соболев), 1975. Новосибирск.: Наука. С. 106-117
19. **Ламб Г.** Гидродинамика. Т. II, М.-Иж-к: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2003, 482
20. **Ли Сы-Гуан** Вихревые структуры северо-западного Китая. Москва: Государственное научно-техническое Из-во литературы по геологии, 1958. 129 с.
21. **Лойцянский Л.Г.** Гидродинамическая теория сферического подшипника. ПММ, 1955. Т. XIX. Вып. 5. С. 531-540.
22. **Маслов Л.А.** Изучение геодинамики литосферы Азиатско-Тихоокеанской зоны сочленения путем сопоставления гравитационного поля и рельефа. // Тихоокеанская геология, 1988, № 5, С. 112-124.
23. **T. Simkin, R.J.Tilling, J.N. Taggart et al.**Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана. Москва-Санкт-Петербург, 2003 (приложение: World map of volcanoes, earthquakes, and plate tectonic. Compiled by, 1989)

24. Мелекесцев И.В. Вихревая вулканическая гипотеза и некоторые перспективы её применения //Проблемы эндогенного вулканизма. М.: Наука, 1979. С. 125-155
25. Мелекесцев И.В. Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980
26. Мелекесцев И.В. Роль вихрей в происхождении и жизни Земли. //Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 25-70
27. Моссаковский А.А., Пушаровский Ю.М., Руженцев С.В. Крупнейшая структурная асимметрия Земли. //Геотектоника. 1998. № 5. С. 3-18
28. Мясников В.П., Фадеев В.Е. Гидродинамические модели эволюции планет земной группы. М.: Наука, 1979. 231 с.
29. Перчук Л.Л. Базификация как магматическое замещение. //Очерки физико-химической петрологии. Вып. 14. М.: Наука, 1987. С. 39-64
30. Сахно В.Г., Денисов Е.П. К вопросу о происхождении включений ультраосновных пород в базальтах юга Дальнего Востока. Изв. АН СССР, Сер. Геол, 1963. № 8. С. 43-55
31. Сидоренков Н.С. Неравномерность вращения Земли и движения полюсов. // Природа, 1982, № 4, С. 82-91.
32. Слезак О.И. Вихревые системы литосферы и структуры докембрия. К., Н. Д., 1972. 182 с.
33. Гнибиденко Г.С., Аносов Г.И., Аргентов В.В. и др Тектоника северо-западной части Тихого океана М.: Наука, 1983, 120 с.
34. Щеглова А.Д. и Зимина С.С.Тихоокеанская окраина Азии.Магматизм.М.Наука, 1991.264с
35. Уткин В.П. Обратимая трансформация шарьяжно-надвиговых и сдвиговых дислокаций окраин-континент-океан. // ДАН СССР, 1979, т.249, № 2, С. 425-429.
36. Федоров Б.Г.Земная поверхность и проблемы планетарной геодинамики.Л.ЛГУ,1989,215 с
37. Федоров П.И., Филатова Н.И. Кайнозойский вулканизм Корейского региона. //Геохимия, 2002. № 1. С. 3-29
38. Финько В.Е. Особенности охлаждения и сжижения газа в вихревом потоке. // Журнал технич. физика, 1983, т.53, № 9, С. 1770-1776.
39. Хабаков А.В. Об основных вопросах развития поверхности Луны. М: Гостехиздат, 1949,83
40. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). М.: Научный мир, 2001. 606 с
41. Щека С.А. Базит-гипербазитовые интрузии и включения в эффузивах Дальнего Востока. М.: Наука, 1983. 166 с.
42. Яншин А.Л. Вероятная эволюция геофизических полей в истории Земли. // Эволюция геологических процессов в истории Земли. М.: Наука, 1993, С. 81-88.
43. Abe N., Arai S., Yurimoto H. Geochemical characteristics of the uppermost mantle beneath the Japan island arcs: implications for upper mantle evolution //Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1998. V. 107. P. 233-248
44. Abe N., Takami M., Arai S. Petrological feature of spinel lherzolite xenolith from Oki-Dogo Island: An implication for variety of the upper mantle peridotite beneath southwestern Japan //The Island Arc. 2003. V.12. P. 219-232
45. Andrews D.J. and Sleep N. H. Numerical modeling of tectonic flow behind island arc. // Geophys. J.R. Astron. Soc. 1974, V.38. P. 237-251
46. Anosov G.I., B.- C. Suk, and Soinov V.V. Some geodynamic aspects related to evolution of the Ulleung basin (The East Sea of Korea) resulting from the integrated geophysical data
47. //In: The Third International Conference on Asian Marine Geology. *Evolution and Dynamics of the Asia Seas*. October 17-21, 1995. KAL Sogwipo Hotel, Cheju, Korea, 1996 P. 247 – 273.
48. Anosov G.I., B.-Ch. Suk., Argentov V.V. Bikkenina, S.K., Zhegulev V.V., Zhiltsov E.H., Sergeev K.F and. Soloviev V.N The deep crustal structure of the Tsushima Basin, Sea of Japan, from a seismic Refraction experiment. // Geol. of Pac. Ocean, 1997. v.13. pp. 837-856.
49. Ardes M. and. Busse F.H. Wicht J Thermal convection in rotating spherical shells. // Physics. Earth. Planet. Inter., 1997, v. 99, pp. 55-67.
50. Briaies A., Tapponnier P., Pautot G. Constraints of sea Beam data on crustal fabrics and sea-floor spreading in the South China sea. //Earth Planet. Sci. Lett. 1989. V. 95. P. 307-320.
51. Dorendorf F., Churikova T.G., Koloskov A.V., Worner G. Late Pleistocene to Holocene activity at Bakening volcano and surrounding monogenic centers (Kamchatka): volcanic geology and geochemical evolution. //J. Volcanol. Geothermal. Research. 2000. V.104. P. 131-151.

52. **Christie-Blick N. and Biddle K.T.** Deformation and basin formation along strike-slip faults. // Society of Economic Paleogeologists and Mineralogists; Special Publication, 1985, v. 37, pp. 1-34.
53. **Churikova T.G., Dorendorf F. Worner G.** Sources and fluids in the Mantle wedge below Kamchatka, evidence from across-arc geochemical variation. // J. Pet., 2001. V. 42. № 8. P. 1567-1593.
54. **Egyed L.** Paleomagnetism, and the ancient radii of the Earth. // Nature, 1961, v. 190, № 4781, pp. 1097-1098.
55. **Fan W.M., Zhang H.F., Baker J. et al.** On and Off the north China Craton: Where is the Archean Keel? // J. Petrology. 2000. V. 41. № 7. P. 933-950
56. **Hoang N., Uto K.** Geochemistry of Cenozoic basalts in the Fukuoka district (northern Kyushu, Japan): implications for asthenosphere and lithospheric mantle interaction // Chem. Geology. 2003. V. 198. P. 249-268
57. **Hole M.J., Rogers G., Saunders A.D., Storey M.** Relation between alkalic volcanism and slab-window formation // Geology, 1991. V. 19. P. 657-660
58. **Ikeda Y., Nagao K., Kagami H.** Effects of recycled materials involved in mantle source beneath the southwest Japan arc region: evidence from noble gas, Sr, and Nd isotopic systematics // Chem. Geology. 2001. V. 175. P. 509-522
59. **Ionov D.A., Prikhodko v.S., O'Reilly S.Y.** Peridotite xenoliths in alkali basalts from the Sikhote-Alin, southeastern Siberia, Russia: trace-element signatures of mantle beneath a convergent continental margin. // Chemical Geology. 1995. V. 120. P. 275-294
60. **Kanaori Y.** Cenozoic strike-slip and block rotation in the inner belt of South Japan. // Tectonophysics, 1990, v. 177, pp. 381-399.
61. **Karig D.E.** Origin and development of marginal basins in the western Pacific. // J. Geophys. Res. 1971. V. 76. P. 2542-2561
62. **Karig D.E.** Evolution of arc systems in the western Pacific. Annu. Rev. Earth Planet Sci. 1974 V. 2. P. 51-75
63. **Kondo H., Tanaka K., Mizuochi Y. et al.** Long-term Changes in distribution and chemistry of middle Miocene to Quaternary volcanism in the Chokai-Kurikoma area across the Northeast Japan arc // The Island Arc. 2004. V. 13. P. 18-46
64. **Lallemant S Jolivet L.** Japan Sea: a pull-apart basin? // Earth Planet. Sci. Lett. 1985. V. 76. P. 375-389
65. **Le Pichon X., Fournier M., Jolivet L.** Kinematics, topography, shortening, and extrusion in the India-Eurasia collision // Tectonics. 1992. V. 11. 1085-1098.
66. **Miyashiro A.** Hot regions and the origin of marginal basins in the western Pacific. // Tectonophysics. 1986. V. 122. P. 195-216.
67. **Qi Qu, Taylor A., Zhou X.** Petrology and Geochemistry of Mantle peridotite xenoliths from SE China // J. Petrology. 1995. V. 36. № 1. P. 55-79
68. **Ed. Wilshire et al** *Mafic and Ultramafic xenoliths from volcanic rocks of the Western United States*. U. S. Geological survey professional paper 1443. 1988. Washington. 179 p.
69. **Ed. P.H. Nixon** *Mantle xenoliths*. 1987. John Wiley & Sons. 844 p.
70. **Morris P.A., Itaya T., Iizumi S. et al.** Age relations and petrology of alcaic igneous rocks from Oki Dozen, Southwest Japan // Geochem. Journ. 1997. V. 31. P. 135-154
71. **Takahashi E.** Thermal history of lherzolite xenoliths. I. Petrology of lherzolite xenoliths from the Ichinomegata crater, Oga peninsula, northeast Japan // Geochim. Cosmochim. Acta. 1980. V. 44. № 11. P. 1643-1658
72. **Takahashi E.** Genesis of calc-alkaline andesite magma in a hydrous mantle-crust boundary: Petrology of lherzolite xenoliths from the Ichinomegata crater, Oga Peninsula, northeast Japan, part II // J. Volcanology and Geothermal Research. 1986. V. 29. P. 355-395
73. **Tatsumi Y., Otofudji Io-Ich, Matsuda T., Nohda S.** Opening of the Sea of Japan back-arc basin by asthenospheric injection. // Tectonophysics, 1989, V. 166. P. 317-329
74. **Togashi S., Tanaka T., Yoshida T. et al.** Trace elements and Nd-Sr isotopes of island arc tholeiites from frontal arc of Northeast Japan // Geochem. Journ. 1992. V. 26. P. 261-277
75. **Tu K., Flower M.F.J., Carlson R.W. et al.** Magmatism in the South China basin 1. Isotopic and trace-element evidence for an endogenous Dupal mantle component // Chem. Geology. 1992. V. 97. № 1-2. P. 47-63.
76. **Yamamoto M.** Origin of calc-alkaline andesite from Oshima-Oshima volcano, north Japan // Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. IV. 1984. V. 21. № 1. P. 77-131

77. **Uyeda S., and Kanamori H.**, Back-arc opening and the mode of subduction. //J. Geophys. Res., 1979. V. 84. P. 1049-1062
78. **Vidal Ph., Dupuy C., Maury R., Richard M.**, 1989, Mantle metasomatism above subduction zones: Trace-element and radiogenic isotope characteristics of peridotite xenoliths from Batan Island (Philippines), Geology, v.17, N 12, pp. 1115-1118