

ГЕОЛОГИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.24(265.5)

ГЕОДИНАМИКА И ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОКРАИННЫХ МОРЕЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА КАК ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР

Л.А. Изосов, Т.А. Емельянова, Ю.И. Мельниченко, Н.С. Ли

Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева ДВО РАН,

ул. Балтийская 43, Владивосток, 690041,

e-mail: emelyanova@poi.dvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4790-7270>,

e-mail: yumel@poi.dvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-9350>,

e-mail: lee@poi.dvo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6658-6946>

В тектонической структуре земного шара, сформированной ротационными процессами, главное значение имеют устойчивая регматическая сеть (тектонический каркас) и структуры центрального типа (кольцевые, вихревые и т.п.). Литосферные плиты являются глобальными вихревыми системами, возникшими в результате тектонического течения масс как вязкой жидкости. Вихревые структуры представляют собой тектонические комплексы, в которых запечатлены результаты сочетания вертикальных и горизонтальных тектонических движений и которые могут быть зафиксированы прямыми геологическими наблюдениями. В западной части Тихого океана обращает на себя внимание серия структур в виде системы окраинных морей, которые трассируют Западно-Тихоокеанскую зону перехода континент – океан. Тектоническая эволюция Западно-Тихоокеанского региона – это формирование серии литосферных вихрей в зоне сочленения континент – океан. Оно связано с энергетическим взаимодействием мантии и верхних оболочек (тектоносфер) Земли, обусловленным неустойчивым режимом ротационной динамики планеты. Особый интерес представляют глобальные сдвиговые зоны и вихри литосферы, сформировавшиеся в результате комбинации горизонтальных и вертикальных тектонических движений. Показано, что: 1) все тектонические дислокации содержат как горизонтальные, так и вертикальные компоненты скорости движения, причем первые преобладают в структурообразовании региона; 2) конечным результатом их взаимодействия служат вихревые и другие нелинейные деформации литосферы, составляющие основной тип структурных элементов региона; 3) они часто сопровождаются магматической активизацией тектоносферы в форме конвективных движений и/или «всплывания» плюмов; 4) окраинно-морские впадины Западной Пацифики представляют собой воронки конвективных ячеек, которые в условиях сдвига скоростей движения взаимодействующих литосферных плит формировали литосферные вихри.

Ключевые слова: глобальные вихревые системы, ротационная тектоника, кольцевые структуры, сдвиговые зоны, тектоническое течение масс, тектоническая расслоенность литосферы.

Образец цитирования: Изосов Л.А., Емельянова Т.А., Мельниченко Ю.И., Ли Н.С. Геодинамика и история формирования окраинных морей западной части Тихого океана как вихревых структур // Региональные проблемы. 2023. Т. 26, № 3. С. 45–65. DOI: 10.31433/2618-9593-2023-26-3-45-65.

Введение

Целью написания этой статьи является обобщение материалов по геодинамике и эволюции окраинных морей западной части Тихого океана как литосферных вихревых образований. Для этого в работе проанализированы результаты более чем полувековых исследований региона, выполненных авторами и другими исследователями в морских и сухопутных экспедициях.

В настоящее время существуют многочисленные модели происхождения и эволюции зон перехода континент – океан и окраинных морей, рассмотренные в рамках различных геотектонических парадигм (геосинклинальной, плитотектонической, тектонической расслоенности литосферы, вихревой и др.). В свое время авторы [26–29, 70] поставили перед собой следующую цель – разработать модели формирования и эволюции окраинных морей, которые приводятся в настоящей статье.

Проанализированный нами обширный материал, относящийся к происхождению и развитию структур центрального типа (кольцевых и вихревых), показывает, что в настоящее время геотектоника вышла на новые рубежи: появляются тектонические и геодинамические модели современного поколения, разрабатываемые в значительной мере с помощью физико-математических методов. К ним относятся и предлагаемые нами новые модели как возможные варианты генезиса окраинноморских бассейнов.

Изложенные представления позволяют рассматривать тектоническую эволюцию Западно-Тихоокеанского региона как формирование серии литосферных вихрей в зоне сочленения континент – океан (рис. 1). Его развитие связывается с энергетическим взаимодействием мантии и верхних оболочек (тектоносфер) Земли, что обусловлено неустойчивым режимом ротационной динамики планеты.

Методы и материалы исследования

Объектом настоящих исследований являются глобальные вихревые структуры, которые в последние годы привлекают все большее внимание геологов в связи с разработкой новых подходов к решению фундаментальных задач геотектоники. Эти структуры, как правило, устанавливались и устанавливаются с помощью хорошо известного линеаментного анализа [34, 76 и др.], который на современном научном уровне представляет собой комплекс геоморфологических, геологических, геофизических и других методов геологического картирования.

В настоящее время линеаменты рассматриваются большинством исследователей как линии резкого изменения параметров географической, геологической и геофизической сред. При этом обычно выделяются: 1) линеаменты географической среды (топо-, бати-, фото-, космолинеаменты); 2) линеаменты геологической структуры (гео-, тектоно-, металлолинеаменты); 3) линеаменты геофизических и прочих полей (магнито-, грави- и сейсмолинеаменты).

Авторами проводились морфоструктурные построения и осуществлялся линеаментный анализ земной поверхности, которые успешно применяются как при исследовании рельефа Земли [28, 34, 37, 76, 84], так и различных структур центрального типа [27, 70].

Методический комплекс составили структурное дешифрирование космофотоснимков, топографических и батиметрических карт, а также интерпретация карт аномалий гравитационного и магнитного полей, данных сеймотектоники, сейсмопрофилирования и построение схемы линеаментов Западно-Тихоокеанского региона (рис. 2) [28]. Генерализация линеаментов, отражающих энергоструктуру континентальных районов, корректировалась с системой линеаментов морских впадин, выделенных по геоморфологическим и геофизическим признакам [28].

Результаты исследования

Литосферные вихри представляют собой тектонические комплексы, состоящие из разнородных структур, в которых главным элементом является вращательный сдвиг. Структуры вращения обычно проявляются разновозрастными системами сдвигов в виде спиралевидных и вихревых тектонических рисунков [10, 14, 34, 38, 40, 42, 50, 58, 69, 81, 84].

Данные по вихревой геодинамике [63] включают следующие элементы классификации тектонических движений: 1) прямого тектонического вращения, совпадающего с вращением Земли против часовой стрелки; 2) обратного тектонического вращения; 3) веерного (расходящегося) тектонического вращения (с образованием авлакогенов, грабенов и рифтов); 4) горизонтального тектонического вращения за счет неравномерного смещения по лево- или правосторонним сдвигам, ограничивающим жесткие блоки.

Первичными, по мнению многих исследователей, являются ротационные структуры, связанные с вращением Земли. При изменении скорости вращения планеты возникают мощные горизонтальные и провоцируемые ими вертикальные на-

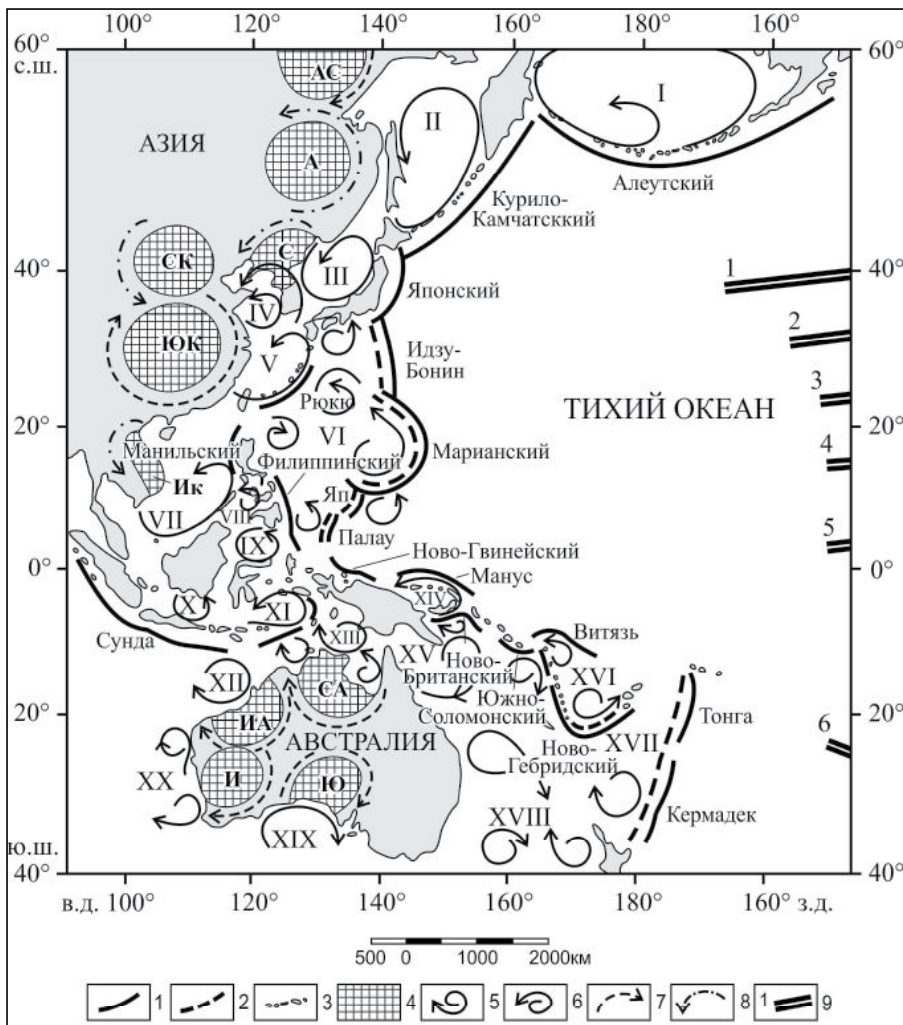


Рис. 1. Тектоническая схема западной части Тихого океана [29] с использованием данных: нуклеары (по: [31]); дешифрирования глобальной цифровой модели рельефа ETOPI

1 – глубоководные трюги; 2 – островные дуги; 3 – фронтальные подводные хребты; 4 – нуклеары: АС – Алдано-Становой, А – Амурский, С – Сино-корейский, СК – Северо-Китайский, ЮК – Южно-Китайский, Ик – Индокитайский, ИА – Индо-Австралийский, СА – Северо-Австралийский, И – Ийгарнийский, Ю – Юклинский; 5 – циклональные (Северное полушарие) и антициклональные (Южное полушарие) литосферные вихри; 6 – антициклональные (Северное полушарие) литосферные вихри (стрелки указывают направление вращения); 7 – циклональные вихри, связанные с нуклеарами (стрелки указывают направление вращения); 8 – антициклональные вихри, связанные с нуклеарами

(стрелки указывают направление вращения); 9 – трансформные разломы (по Дж. Т. Вилсону): 1 – Мендосино, 2 – Мюррей, 3 – Молокай, 4 – Кларин, 5 – Клиппертон, 6 – Челленджер.

Цифры на схеме: окраинные моря Тихого океана (I – Берингово, II – Охотское, III – Японское, IV – Желтое, V – Восточно-Китайское, VI – Филиппинское, VII – Южно-Китайское, VIII – Сулу, IX – Сулавеси (Целебесское), X – Яванское, XI – Банда, XII – Тиморское, XIII – Арафурское, XIV – Новогвинейское (Бисмарка), XV – Кораллово, XVI – Северо-Фиджийское, XVII – Южно-Фиджийское, XVIII – Тасманово, XIX – Южно-Австралийское, XX – Перт)

Fig. 1. Tectonic scheme of the Western Pacific Ocean [29] using the following data: nuclears (after: [31]); interpretation of the global digital elevation model ETOPI.

1 – deep-water troughs; 2 – island arcs; 3 – frontal underwater ridges; 4 – nuclears: AS – Aldano-Stanovoi, A – Amur, C – Sino-Korean, NC – North China, South China – South China, Ik – Indochinese, IA – Indo-Australian, SA – North Australian, I – Iylgamian, Yu – Yuklinsky; 5 – cyclonic (Northern Hemisphere) and anticyclonic (Southern Hemisphere) lithospheric eddies; 6 – anticyclonic (Northern Hemisphere) lithospheric eddies (arrows indicate the direction of rotation); 7 – cyclonic vortices associated with nuclei (arrows indicate the direction of rotation); 8 – anticyclonic vortices associated with nuclei (arrows indicate the direction of rotation); 9 – transform faults (according to J.T. Wilson): 1 – Mendocino, 2 – Murray, 3 – Molokai, 4 – Clarion, 5 – Clipperton, 6 – Challenger.

Figures on the diagram: marginal seas of the Pacific Ocean (I – Bering, II – Okhotsk, III – Japanese, IV – Yellow, V – East China, VI – Philippine, VII – South China, VIII – Sulu, IX – Sulawesi (Celebes), X – Javanese, XI – Banda, XII – Timorese, XIII – Arafura, XIV – New Guinea (Bismarck), XV – Coral, XVI – North Fijian, XVII – South Fijian, XVIII – Tasmanovo, XIX – South Australian, XX – Perth)

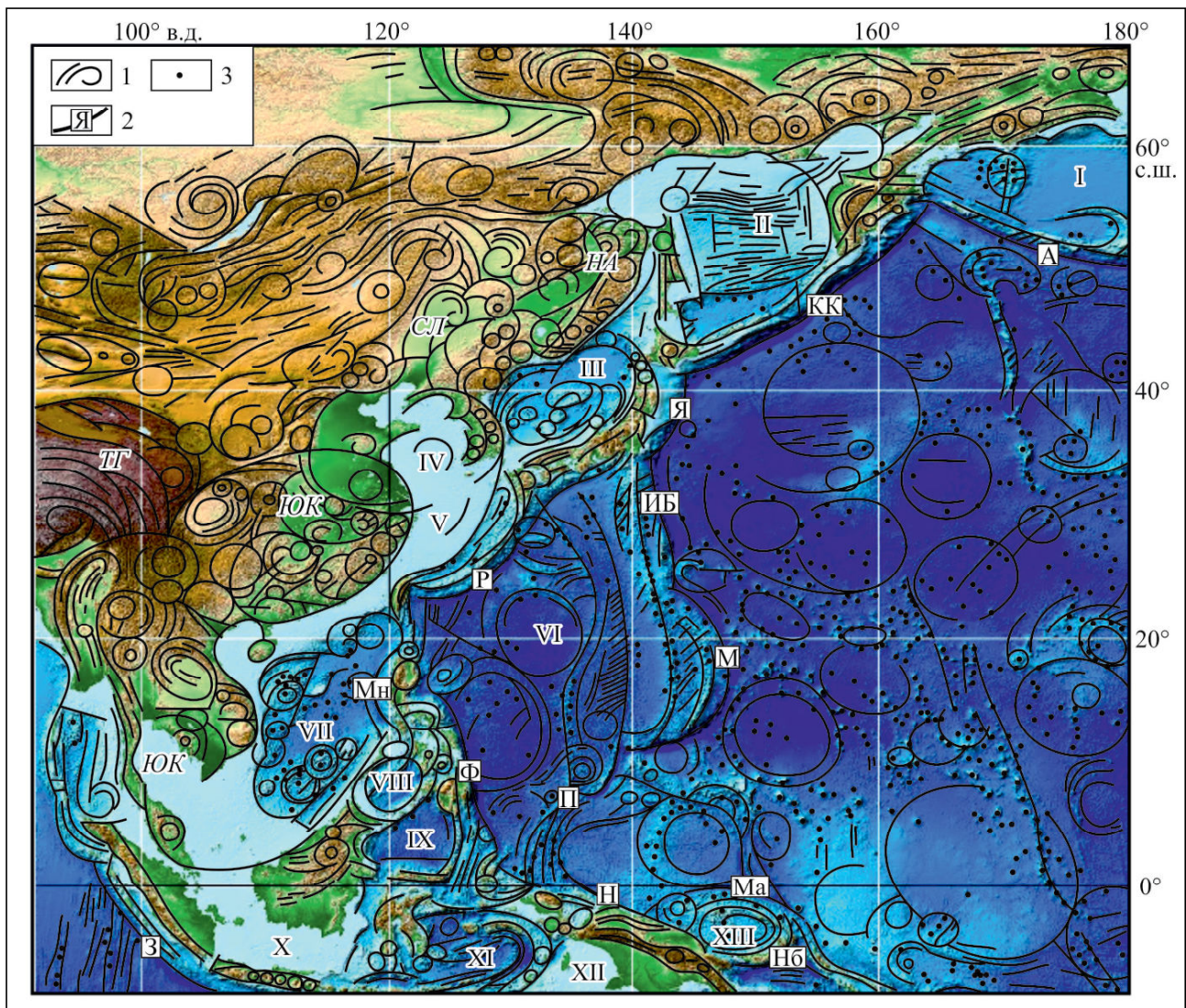


Рис. 2. Морфоструктурная схема западной части Тихого океана и его континентального обрамления [28]

1 – линеаменты; 2 – глубоководные желоба: А – Алеутский, КК – Курило-Камчатский, Я – Японский, ИБ – Идзу-Бонинский, Р – Рюкю, М – Марианский, Мн – Манильский, Ф – Филиппинский, П – Палау, Н – Новогвинейский, Ма – Манус, З – Зондский (Сунда), Нб – Новобританский; 3 – предположительно кайнозойские базальтовые щитовидные вулканические постройки.

Окраинные моря Тихого океана (цифры на схеме): I – Берингово, II – Охотское, III – Японское, IV – Желтое, V – Восточно-Китайское, VI – Филиппинское, VII – Южно-Китайское, VIII – Сулу, IX – Сулавеси (Целебесское), X – Яванское, XI – Банда, XII – Арафурское, XIII – Новогвинейское (Бисмарк).

Континентальные региональные вихревые морфоструктуры: НА – Нижнеамурская, СЛ – Сунляо, ЮК – Южно-Китайская, ТГ – Тибетско-Гималайская.

Fig. 2. Morphostructural scheme of the western part of the Pacific Ocean and its continental margin [28]

1 – lineaments; 2 – deep sea trenches: А – Aleutian, КК – Kuril-Kamchatsky, Я – Japanese, ИБ – Izu-Boninsky, Р – Ryukyu, М – Mariana, Мн – Manilsky, Ф – Philippine, П – Palau, Н – New Guinean, Ма – Manus, З – Sunda, Нб – New British; 3 – presumably Cenozoic basalt shield-like volcanic edifices.

Marginal seas of the Pacific Ocean (numbers on the diagram): I – Bering, II – Okhotsk, III – Japan, IV – Yellow Sea, V – East China Sea, VI – Philippine, VII – South China, VIII – Sulu, IX – Sulawesi (Celebes), X – Javanese, XI – Banda, XII – Arafura, XIII – New Guinea (Bismarck).

Continental regional eddy morphostructures: НА – Lower Amur, СЛ – Songliao, South China – South China, ТГ – Tibetan-Himalayan.

пряжения; создаются условия для активизации магматизма и формирования различных тектоно-магматических структур. По данным [17] возможны два типа колебаний Земли – крутильные и сфероидальные. Крутильные колебания приводят к смещению поверхности Земли в разные стороны (два полушария смещаются в противоположных направлениях). В результате сфероидальных колебаний частицы перемещаются в радиальном направлении, и Земля попеременно вздувается на экваторе и растягивается у полюсов.

Как показано А.И. Гончаровым, В.Г. Талицким и Н.С. Фроловой [19], тектоническое вращение является важнейшей составной частью процесса тектонического течения. По мнению академика Н.А. Шило [72], кольцевые структуры, как более выгодные по энергетике, могут представлять собой конечный этап развития тектонического вихря, его распад, когда благодаря турбулентным процессам в спиральных их ядра обособляются. По данным О.И. Слензака [58], большая часть планетарных вихревых систем закручена против часовой стрелки: действительно, левостороннее кручение наблюдается у большинства литосферных плит как вращающихся блоков литосферы – древних кратонов (их ядер) и зон сдвиговых деформаций по их границам.

Развитие подвижных областей можно моделировать, опираясь на законы и уравнения гидродинамики. При резких и быстрых деформациях земная кора ведет себя как твердое тело, а при длительных (геологическое время) деформациях – как жидкость. В первом случае образуются вулканотектонические депрессии и поднятия, разломы и системы трещин, а во втором – литосферные вихри.

Для геологических процессов, по Н.А. Шило [72], весьма характерны вихри и спирали. Начиная с момента возникновения Земли в ней, вероятно, происходила плотностная конвекция мантийного вещества [2, 59], а в связи с вращением планеты могли формироваться спиральные вихри – «циклонические» в зонах восходящих потоков и «антициклональные» в зонах нисходящих.

Первичная кора океанического типа образована из мантийного вещества, вынесенного конвективными потоками: нуклеарный этап ее становления характеризовался излияниями спилитовых лав, внедрением интрузивов анортозитов и отсутствием кислого вулканизма [47]. По И.В. Мелекесцеву [42–44], в процессе дальнейшей дифференциации мантийного вещества Земли возникали и отмирали как «циклонические», так и «антициклональные» спиральные литосфер-

ные вихри, которые при «слипани» формировали первичные «материки».

В «восходящие» тектоносферные воронки «засасываются» и выводятся на поверхность мантийные образования; в «нисходящих» воронках, напротив, происходит нагнетание корового вещества, которое транспортируется в нижние слои литосферы. При этом в первом случае развивается преимущественно основной магматизм, а во втором – кислый. Тектоносферные воронки обоих типов образуют пары, в которых происходит циркуляция коромантийного вещества. Надо отметить, что при подъеме мантийных масс во фронте магматических плюмов (куполов) в каких-то объемах проявляется и кислый магматизм, так же, как и при поглощении сиалической коры могут возникать глубинные расколы, по которым будут внедряться базитовые расплавы. Не исключено, что тектоносферные воронки (оба типа) эволюционируют до кольцевых образований: в начальную стадию происходит «сбор» вещества из окружающего пространства, а в конечную – стабилизация и отмирание структуры.

И.В. Мелекесцев [42], анализируя гипсометрические, геоморфологические и геологические карты, а также космические снимки, выдвинул вихревую вулканическую гипотезу: вихревые структуры, проявленные в рельефе, отражают глубинные вихри «циклонического» и «антициклонического» типов (всасываний и нагнетаний), развивавшиеся в астеносфере. По причине возникновения таких вихрей в переходных зонах континент – океан образуются глубоководные впадины окраинных морей.

Разрабатывается подход к проблемам геодинамики океанов [45, 46], основанный на синергетических идеях [56, 57]. По этим представлениям геологическая среда имеет блочно-иерархическую структуру, нелинейна, энергетически активна и более похожа на систему «жидких сгустков», чем на земную твердь. Показано, что при океанообразовании в «твердых» оболочках Земли возникают вихревые движения и образуются рифтовые и спрединговые системы, имеющие тенденцию к закручиванию по оси раздвига. Особенно широко распространены вихревые структуры в зонах сочленения Евразии с Тихим и Индийским океанами. Формирование главных океанских бассейнов связано с мощными вихревыми потоками, образующимися в результате дифференциального вращения внутренних оболочек Земли. При этом окраинные и задуговые бассейны имеют тенденцию вихреобразного раскрытия.

Вихревые структуры различной иерархии распространены повсеместно по планете в различных геотектонических обстановках, включая континенты и океаны [13, 62 и др.]. Как дивергентные границы литосферных плит (кулисные последовательности рифтовых долин, сочленяющихся посредством трансформных разломов), так и их конвергентные границы («элементарные» зоны субдукции или горно-складчатых сооружений) представляют собой мегарегиональные зоны сдвиговых деформаций. Со спиральными восходящими и нисходящими вихрями было связано образование первичной континентальной коры и преобразование ее в современную литосферу [13 и др.].

В процессе многолетних исследований авторами разработаны следующие ниже модели формирования Западно-Тихоокеанских окраинных морей.

Модель «моря-катки»

Нами [27, 70] разработана модель формирования окраинных морей («моря-катки») Тихого океана, согласно которой моря сформировались при сдвиге Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит относительно друг друга как сейсмоактивные вихревые структуры. Данный вариант модели основан на проявлении тектонического закручивания при сдвиге. Авторы в общем придерживаются гипотезы новой глобальной тектоники, полагая, что существуют литосферные плиты и блоки, плавающие в жидкой или полужидкой среде.

Допустим, что существуют две литосферные плиты 1 и 2 (Евразийская и Тихоокеанская),

которые соприкасаются и перемещаются относительно друг друга (рис. 3, 4). Предполагается, что плиты погружены в вязкую жидкую среду: в рассматриваемом случае – в мантийное вещество. Механизм приведения плит в движение может быть связан с мощными горизонтальными перемещениями крупных тектонических масс, обусловленными ротацией Земли, конвекцией или приливами [14, 52, 67 и др.]. В данной модели не учитываются возможные длительные изменения во времени этих и других космических факторов – они могут породить изменения в рассматриваемой модели. Поэтому предполагается, что характерное время в данной модели τ_M существенно меньше характерного времени изменений внешних факторов τ_F , то есть выполняется условие $\tau_M \ll \tau_F$.

Первый вариант этой модели, приложимый в целом к структурам центрального типа (в том числе к окраинным морям), рассмотрен в работе [27]. Для упрощения изложения сути модели примем скорость движения плиты 1 $U_1=0$. Плита 2 находится под действием в общем случае распределенной в пространстве силы F . Сила F рассматривается как результирующая сил, вызывающих движение плиты и сил сопротивления. Рассматриваемый процесс условно разделим на две стадии. На начальной стадии сила F отлична от нуля, процесс нестационарный: силы, вызывающие движение, превосходят силы сопротивления. Эту силу в каждой точке можно разложить на две составляющие: одна из них T действует по касательной к границе плиты 1, а другая N по нормали к ней. Сила T вызывает движение плиты в направлении,

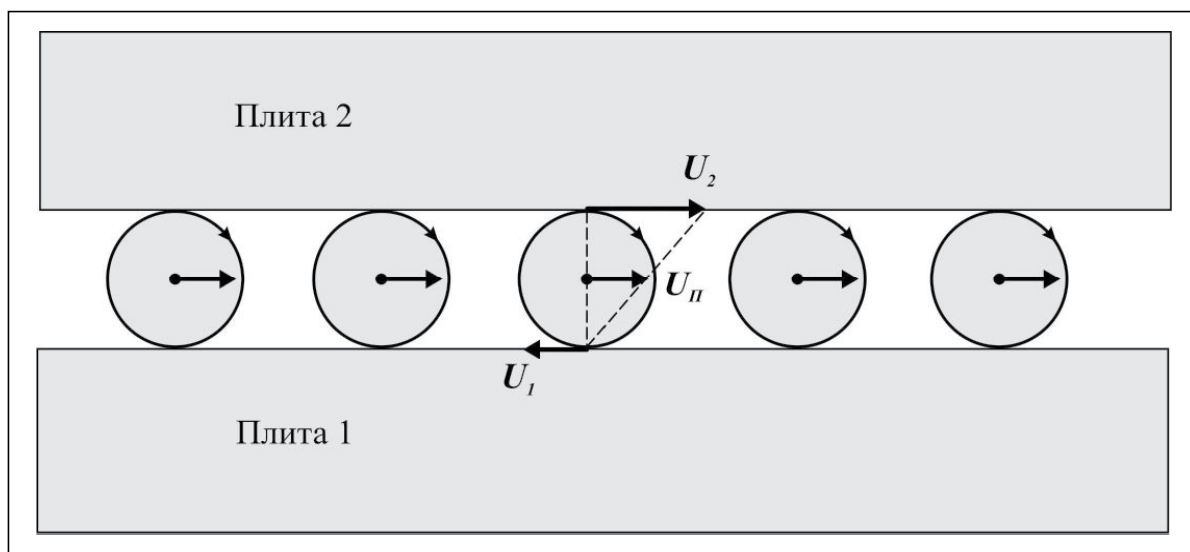


Рис. 3. Идеализированная модель взаимодействия двух литосферных плит [70]

Fig. 3. Idealized model of interaction between two lithospheric plates [70]

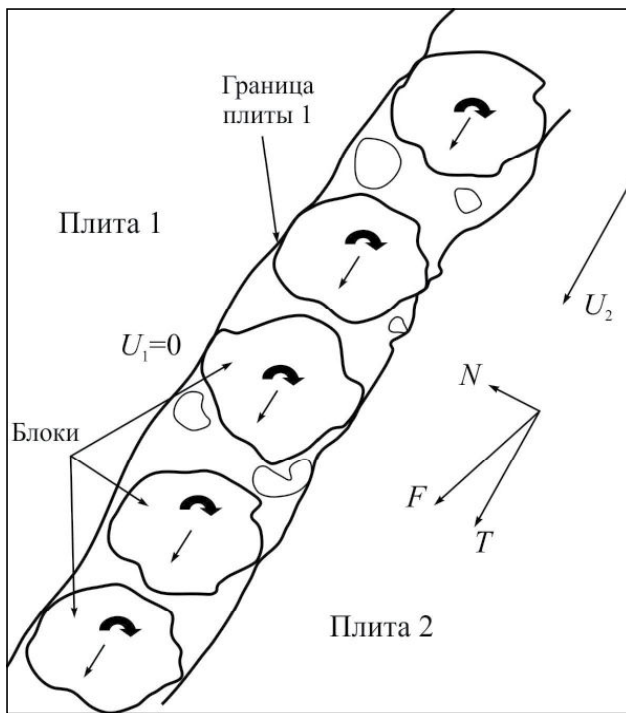


Рис. 4. Возникновение вращающихся блоков между двумя литосферными плитами, движущимися относительно друг друга. Блоки не только вращаются, но и перемещаются вдоль плиты [27]

Fig. 4. The emergence of rotating blocks between two lithospheric plates moving relative to each other. The blocks not only rotate, but also move along the plate [27]

параллельном краю плиты 1, со скоростью U_2 (см. рис. 4).

При относительном перемещении плит, боковом соприкосновении их между собой и трении между ними неровные края обеих плит могут обламываться и оставаться в пространстве между плитами и, кроме того, могут формироваться коровые (вторичные) магматические очаги. Определенное количество обломков (блоков) может сохраниться с предыдущего этапа истории данной механической системы. При этом крупные обломки образуют некоторый зазор между плитами и в дальнейшем сдерживают их более близкое схождение. Края таких блоков в результате взаимодействия плит будут постепенно обламываться и округляться.

В результате со временем плита 2 начинает как бы катиться на «колесах-роликах» по плите 1 на этих округленных обломках. Этот процесс в целом будет способствовать формированию вихревых структур – восходящего (литоциклоны) и

нисходящего (литоантициклоны) типа, вписывающихся в контуры окраинных морей. Первые могут быть рассмотрены как мантийные плюмы, а вторые – как тектоносферные воронки. Данную модель в идеальном виде можно представить как два объекта, движущихся с разной скоростью и взаимодействующих между собой через «моря-катки». Направление поступательного и вращательного движения зависит от направления относительного перемещения плит.

Если допустить, что движение Тихоокеанской плиты осуществляется с запада на восток, как предполагается в тектонике плит, то движение вблизи Евразийской плиты можно разложить на две составляющие, так как она по отношению к границе Азиатского материка движется под некоторым углом $\alpha < 90^\circ$ («косое движение» по [89, 90]). В принципе, для осуществления предлагаемого механизма формирования подобных геологических структур необходимы системы разломов сдвигового типа, между которыми и происходит тектоническое закручивание.

Составляющая N прежде всего определяет силу трения между плитами, но, возможно, частично и сам поддвиг отдельных кусков Тихоокеанской плиты под Евразийскую. Воздействием этой составляющей может быть обусловлено формирование гигантских сейсмофокальных зон по периферии Тихого океана – общих для системы дуг и желобов активных структур зон перехода континент – океан, влияющих на процессы формирования и эволюцию островных дуг, размещение гипоцентров землетрясений, очаги магмообразования и металлогенических провинций [7, 61].

Несомненно, что и котловины окраинных морей имеют генетическую связь с сейсмофокальными зонами [7]. По Р.З. Тарakanову [60], образование структур зон перехода происходит в результате пересечения сейсмофокальной зоны астеносферных слоев (60–80 км, 110–150 км, 220–290 км, 400–460 км) в мантии. В этих слоях происходит частичное плавление вещества, легкоплавкие компоненты которого поднимаются вверх. Часть из них образует магматические камеры, питающие вулканизм, а часть – распределяется в верхней мантии и земной коре, провоцируя подъем границы M под глубоководными впадинами окраинных морей. Таким образом, одним из факторов образования окраинных морей является подъем поверхности M . В данном случае имеется определенное сходство с отмеченными выше известными представлениями Д.Е. Карига [78], согласно кото-

рым разогрев всяческого крыла сейсмофокальной зоны происходит в результате трения. Это вызывает в тылу дуги вторичную конвекцию и приводит к образованию впадины окраинного моря.

Проанализировав геотектонические концепции, существующие в настоящее время (геосинклиальная, плейтотектоническая, террейновая, тектонической расслоенности литосферы, вихревая), можно прийти к выводу, что предлагаемый механизм формирования структур центрального типа в целом не противоречит идеям мобилизма, в которых постулируется тезис о крупномасштабных горизонтальных перемещениях литосферных плит. Авторы полагают, что ныне ведущее направление в геотектонике приобретает парадигма тектонической расслоенности литосферы Ю.М. Пущаровского [54].

Предлагаемая авторами модель формирования Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент – океан и входящих в нее окраинных морей в целом не имеет аналогов среди концепций подобного рода. Наиболее близкими к ней являются две следующие: вихревой и синсдвиговой геодинамики. В модели вихревой геодинамики формирование окраинных морей четко увязывается с образованием литосферных (магматогенных) структур вращения, однако само становление вихрей в ее рамках не рассматривается как результат взаимодействия литосферных плит. В модели синсдвиговой геодинамики главными постулатами являются представления о трансформных (конвергентных и дивергентных) окраинах, глобальных (парных) сдвиговых зонах и связанных с ними синсдвиговых бассейнах (по представлениям Н.И. Филатовой [66]) и окраинных морях. Близкой позиции в свое время придерживался В.П. Уткин [65], впервые выделивший Восточно-Азиатскую левосдвиговую глобальную зону. В то же время вопросы вращения синсдвиговых и окраинноморских бассейнов в названных разработках вообще не ставятся.

Таким образом, ряд положений существующих гипотез образования и функционирования переходных зон и окраинных морей, в основном последнего поколения, находит отражение в рассматриваемой нами модели «морей-катков», однако главная ее позиция (взаимодействие литосферных плит) является оригинальной.

В дальнейшем нами [26] была доработана, расширена и усовершенствована модель возникновения, вращения и движения «морей-катки», согласно которой окраинные моря Тихого океана возникли при взаимодействии и сдвиге двух ли-

тосферных плит – Евразийской и Тихоокеанской, сопровождавшихся интенсивной сейсмической активностью.

Механизм приведения литосферных плит в движение, на наш взгляд, связан с мощными горизонтальными перемещениями крупных тектонических масс, обусловленными ротацией Земли [14, 29, 64, 67] и возникновением сдвиговой неустойчивости с проявлением самоорганизации, в результате которой формируются упорядоченные структуры: переходная зона и система вращающихся литосферных блоков-морей. Наличие связей землетрясений с Япономорской вихревой структурой [26, 37], возможно, свидетельствует о том, что одним из главных элементов механизма формирования окраинных морей является развитие сейсмического процесса в течение длительных отрезков времени.

Различия по времени существования отдельных окраинных морей (от 60 млн лет и менее) могут быть связаны с неравномерностью и неоднородностью краев плит, а также с изменениями в направлениях и скоростях движения плит. Между взаимодействующими плитами по их периферии возникает переходная (пограничная) зона, которая должна прослеживаться по системам ограничивающих ее разломов сдвигового типа. Поскольку вращающиеся блоки имеют разные размеры, ширина переходной зоны может меняться, но характерные средние размеры морей составляют 1000–3000 км или несколько более. Возможно, эта закономерность определяет и диаметры мантийных литосферных вихрей, которые, в свою очередь, совпадают с размерами мантийных плюмов. Наиболее частыми (типичными) в литосферных или астеносферных сечениях являются плюмы диаметром от 800 до 1200 км [22, 51, 73, 75, 83]. Пониженная вязкость в астеносферной мантии способствует возникновению вращательных движений между соприкасающимися с ними литосферными плитами.

При разработке первого варианта модели «морей-катки» не была затронута проблема субдукции литосферных плит в зонах перехода континент – океан, которая сопровождается интенсивной сейсмической и вулканической активностью [68, 86 и др.]. В рамках рассматриваемой модели субдуцирующие плиты должны представлять собой вращающиеся структуры, что необходимо учитывать в процессе исследования геодинамики зон перехода [26 и др.]. С этим процессом связывается возникновение системы Восточно-Азиатских глобальных сдвигов [65].

Формирующиеся при этом сейсмофокальные зоны Вадати-Заварицкого-Беньофа [87 и др.], как известно, наиболее сейсмоактивны с глубины 50–100 км (в нижнем слое океанической литосферы) до 250–300 км, где происходит непосредственное соприкосновение субдуцирующей Тихоокеанской плиты с подастеносферной мантией континентальной окраины. Существует два уровня структурообразования, обусловленные ротацией: а) литосферный вращательный (по астеносфере) и б) подастеносферный, формирующий регматическую сеть (сейсмолинеаменты) при осевом сжатии и растяжении фигуры Земли в результате изменения скорости ее вращения [26, 62].

Для обоснования существования структур центрального типа плюмовой природы и вращения тектонических блоков проводился анализ пространственных распределений магнитуд и гипоцентров землетрясений в 3D-постановке [20, 49, 50]. Приводимые ниже модели подкреплены оценками точности определения глубин гипоцентров и представительности магнитуд землетрясений [8].

Если рассмотреть идеализированный классический вариант тектоники плит, согласно которому Тихоокеанская плита движется с востока на запад относительно Евразийской под углом менее 90° (косое движение), то такая позиция вписывается в представления о трансформных конвергентных окраинах [15, 16, 68]. В этом случае имеется касательная составляющая силы F , т.е. T и сдвиг скорости ΔU . Если допустить, что такого сдвига достаточно для возникновения тектонических структур, то вдоль побережья (в переходной зоне) должна возникнуть серия «морей-катков» [27, 70], движущихся на юго-запад. Очевидно, что аналогичная структура возникнет и в Южном полушарии, но направление вращения в блоках-морях противоположное, а поступательное движение осуществляется на северо-восток. Для того чтобы оценить скорость движения «морей-катков», следует иметь ввиду оценки скорости: 1) западного «дрейфа литосферы» – 2 см/год [14, 68]; 2) восточного движения фронта развития вулканизма в некоторых Западно-Тихоокеанских вихревых структурах – 8–9.4 см/год [31]; 3) спрединга в Восточно-Тихоокеанском поднятии – порядка 10 см/год [71].

Образование окраинноморских бассейнов в целом происходит под воздействием мощных восходящих и нисходящих вихревых потоков, причем формирующиеся окраинные моря не только испытывают закручивание, но и, что очень важно, движутся поступательно. Этот процесс сопровожда-

ется возникновением разновеликих подвижных блоков и тектонических коллажей, описываемых террейновой гипотезой [15, 16, 88], некоторые положения которой находят известное подтверждение в приводимых нами материалах.

Таким образом, вихревые тектонические процессы, выраженные в концентрической зональности деформаций геологических структур и их современной геодинамике, не являются какими-то единичными (уникальными) явлениями, а представляют собой глобальные системы, проявляющиеся на разных иерархических уровнях и в разных глубинных диапазонах геологического пространства. Вращение тектонических масс облегчается существованием внутрикорового, подкорового и астеносферного слоев пониженной вязкости [48].

Модель «морей-меандры»

На основе механизма неустойчивости зоны сдвига между движущимися литосферными плитами предложена модель формирования окраинных морей Западной части Тихого океана в виде последовательного возникновения волновых возмущений, меандр и вихрей в этой зоне, когда в вихревое движение вовлекаются и прилегающие части континента и океана [26].

Литосферные плиты в зоне их бокового взаимодействия обладают в значительной степени свойствами вязкой среды, где две слабо перемешивающиеся по горизонтали тектонические массы с высокими, но различными вязкостями и разными плотностями движутся с разной скоростью. Поэтому граница раздела начинает меандрировать, а волны-меандры затем могут отрываться, в результате чего формируются как вращающиеся моря, так и континентальные блоки. При резких и быстрых деформациях земная кора ведет себя как твердое тело, а при длительных – как жидкость. Вероятно, данный механизм образования «морей-меандр» отражает начальный этап становления зоны перехода континент – океан, когда глобальные сдвиги еще четко не оформились. «Моря-меандры», а также континентальные вихри образуют пары (дуплексы), в которых происходит циркуляция коро-мантийного вещества. В этот этап (досубдукционный) происходит схождение и коллизия литосферных плит.

Процесс возникновения морей можно рассматривать как неустойчивость зоны сдвига, в результате которой при определенных условиях развиваются волновые возмущения (рис. 5, А), со временем нарастающие по величине. Вначале возникают возмущения различных про-

странственных масштабов, затем в результате взаимодействия возмущений разных масштабов формируются возмущения одного или нескольких масштабов (вследствие нелинейности происходит перераспределение энергии возмущений по их спектру), которые из-за перекачки энергии в эти масштабы далее нарастают. Возмущения могут разрастаться настолько, что граница раздела начинает меандрировать (рис. 5, Б). Именно поэтому для вновь разработанной модели предлагается название «моря-меандры». Эти волны-меандры затем могут отрываться, в результате чего формируются вихри – вращающиеся литосферные структуры морей (рис. 5, В).

Обсуждение результатов

Вопрос о вероятном спирально-вихревом вращении вещества впадины Тихоокеана был поставлен еще в 1930 г. В.И. Вернадским [9]. Предположение о том, что Тихоокеанская океаническая плита вращается как целостная мегаструктура относительно прилегающих континентов, было высказано также и Х. Бениоффом [3]. Материалы геодинамических и геодезических измерений, указывающих на поворотный (колебательный) характер движения плит [21], включая и самую большую – Тихоокеанскую плиту [10, 12, 13, 40], подтверждают это.

То есть литосферные плиты представляют собой гигантские вихри: Тихоокеанская депрессия с середины олигоцена по настоящее время испытала систематические повороты по часовой стрелке и против нее, с амплитудами смещения до нескольких сотен километров [85]. Судя по данным Е.Д. Джексона с соавторами [77], эта мегаструктура совершает знакопеременное вращение с центром в Гавайской «горячей точке». По представлениям Л.А. Маслова и Н.П. Романовского [41], в мезокайнозой ее тектоника была нарушена проявлениями мощного субширотного приэкваториального сдвига, в связи с чем она испытала вращение против часовой стрелки.

Естественно, при взаимодействии плиты Тихого океана с континентальным обрамлением наибольшие амплитуды сдвигов наблюдаются в зоне их сочленения – Тихоокеанском тектоническом поясе [53]. В западной части пояса выделяется Восточно-Азиатская глобальная сдвиговая система [65]. Восточная окраина Азии является областью широкого развития аккреционной тектоники [74, 80, 88], что связано с перемещением крупных тектонических масс в северном направлении. Их движение началось в позднем палеозое и завершилось в мезозое [25, 79].

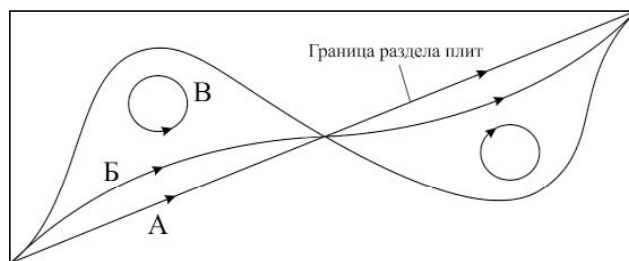


Рис. 5. Схема развития меандр в Западно-Тихоокеанских окраинных морях:

А – развитие волновых возмущений, Б – меандрирование границы раздела, В – отрыв волн-меандр и формирование вихрей – вращающихся морей [29].

Fig. 5. Scheme of meander development in the Western Pacific marginal seas:

A – development of wave disturbances, B – meandering of the interface, C – separation of meander waves and the formation of eddies – rotating seas [29]

Как полагал У. Кэрри [35], Земля подвергается воздействию двух глобальных процессов кручения вдоль двух кольцевых зон. Кручение в Тетической зоне происходило вдоль экватора, где материи Северного полушария смещаются влево относительно материков Южного полушария, а в правосторонней Циркумтихоокеанской – через полюсы Земли. Данное явление вызвано взаимодействием инерционных сил и сил тяготения, обусловленных более высоким положением центра масс на материках. В Циркумтихоокеанской зоне кручения происходит главное тектоническое перемещение материков по часовой стрелке вокруг Тихого океана.

Большой интерес в этом плане представляют переходные зоны континент – океан, в частности Западно-Тихоокеанская. И.В. Мелекесцев [42–44] рассматривает структуры переходных зон как гигантские очень вязкие потоки коро-мантийного вещества, расползающиеся от глубинных разломов в зонах сочленения океанических и континентальных плит. Эти структуры связаны как с просто устроенными вихрями, так и с весьма сложными и многофазными вихревыми системами.

Происхождение окраинных морей западной части Тихого океана рассматривается [1, 11, 31–33, 42–44 и др.] с позиций вихревой гипотезы – модернизированной модели диапирового или плюмового магматизма. Как полагает А.В. Викулин [11], источником вихревых движений в течение всех геологических эпох являются макромасштабные поля кручения. При этом в литосфере образу-

ются нисходящие и восходящие тектоносферные воронки либо спиралевидные плюмы [4, 18].

В современной геодинамике широко известна гипотеза о взаимосвязи вихревых процессов в тектоносферах с вызванными ротацией волновыми движениями планетарного масштаба [62]. Структуры вращения Западно-Тихоокеанского региона обычно проявляются в виде систем сдвигов, спиралевидных и вихревых тектонических рисунков. Наблюдающиеся на геологических и тектонических картах чередующиеся системы разномасштабных зон растяжения и сжатия считаются [62] региональными, мегарегиональными и планетарными зонами сдвиговых деформаций.

На основании экспериментальных данных и теоретических расчетов [1] показано, что при изменении ротационного режима Земли могут возникать мощные вихревые движения в верхнем или нижнем экмановских слоях (соответственно, у подошвы литосферы и подошвы астеносферы – слоя с пониженной вязкостью). Эти движения приводят к возникновению колонноподобных структур («флюидно-магматических торнадо»). Данные геодинамические процессы рассматриваются в концепции дифференциально вращающихся геосфер, между которыми расположен «смазочный слой» астеносферы, а сами вихревые структуры являются «структурными следами глубинных процессов».

Рядом исследователей [1, 31–33] разработана вихревая модель проявления ультраосновного магматизма (на примере Камчатского региона), которая выдвигается как альтернатива субдукционной модели, то есть оспаривается существование самой субдукции как реального процесса. В этих работах за индикаторные объекты при выделении вихревых структур были приняты ксенолитсодержащие вулканы (миоцен – голоцен). В пределах северо-западной части зоны перехода эти авторы наметили ряд сходных по морфологии и геологическому строению вихревых циклонических структур, то есть связанных с подъемом глубинного вещества. Они совмещаются с контурами Японского, Южно-Китайского, Кораллового и Тасманова окраинных морей.

Западные ветви названных структур фиксируются проявлениями внутриплитных вулканических, включающих ксенолиты шпинель-лещадитового типа. Для восточных ветвей характерны островодужные вулканы с включениями, которые сформировались в условиях оливин-плагиоклазового равновесия. Все выделенные структуры имеют «астеносферные корни» и их геодинамика

рассматривается в свете концепции дифференциально вращающихся геосфер, между которыми имеется «смазочный слой» астеносферы. Сама гидродинамика «смазочного слоя» описывается теорией сферического подшипника [39].

В публикациях [1, 31, 42, 43] намечен ряд сходных по морфологии и геологическому строению вихревых циклонических структур, то есть структур восходящего типа – Японского, Южно-Китайского, Кораллового и Тасманова окраинных морей [27]. В данном случае окраинные моря напрямую связаны со становлением и развитием вихревых мантийных структур. Однако, надо подчеркнуть, что в перечисленных работах не рассматриваются причины развития вращательных движений, которые, согласно представленным нами моделям (см. далее), являются результатом бокового взаимодействия Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит.

Происхождение и эволюция Западно-Тихоокеанских окраинных морей [5–7, 18, 23, 24, 36] в значительной мере обусловлены подъемом вращающихся мантийных диапиров (или плюмов) и рифтогенезом. Мантийный апвеллинг и мощные вспышки вулканизма предшествовали, а затем и сопровождали раскрытие окраинноморских бассейнов, проявляясь с мезозоя до голоцена и способствуя проявлению горизонтальных перемещений тектонических масс. Все перечисленные процессы являются следствием бокового взаимодействия Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит [27, 70 и др.].

Согласно одной из точек зрения, заложение впадины одного из наиболее исследованных – Японского моря – произошло в результате деструкции континентальной коры в связи с внедрением мантийного диапира [4, 36], вероятно, в мелу. Другая точка зрения гласит о начале формирования впадины этого моря в позднем олигоцене – раннем миоцене с проявлением максимального окраинноморского спрединга в конце раннего – начале среднего миоцена в результате подъема астеносферного диапира [66]. В среднем миоцене – плиоцене и голоцене в пределах моря постспрединговая тектономагматическая активизация, вызванная подъемом и плавлением нижнемантийных плюмов, сопровождалась щелочно-базальтоидным плюмом-океаническим (OIB) и плюмом-континентальным (CAB) вулканизмом [24 и др.]. Палеомагнитные данные [82] также указывают на имевшее место вращение отдельных Японских островов при раскрытии данного окраинного бассейна в кайнозой.

Судя по наблюдениям за геодезическими знаками, вращательные движения в этом регионе продолжают и в настоящее время [55]. Впервые подробно описанная нами [27] Япономорская вихревая структура четко фиксируется на картах аномального магнитного и гравитационного (в свободном воздухе) полей, спутниковой альтиметрии и отмечена аномальными распределениями теплового потока [50], которые отражают в целом циклональную структуру Япономорской впадины. Формирование этой вихревой структуры происходило в связи с раскрытием Японского моря в основном в миоцене в зоне взаимодействия Евразийской и Тихоокеанской плит [27] и сопровождалось мощными проявлениями базальтового вулканизма и сейсмической активности.

Хотя преобладающее вращение Западно-Тихоокеанских морей направлено против часовой стрелки, можно наметить следующие геодинамические пары (см. рис. 1, 2). Так, крупное Филиппинское море, являющееся по существу частью котловины Тихого океана и закрученное в основном по часовой стрелке, с трех сторон окружено морями, которые имеют противоположное направление вращения. На севере это Японское море, на западе – Восточно-Китайское и Южно-Китайское, а на юго-западе – Сулу и Сулавеси (Целебесское). Кроме того, к таким парам можно отнести моря Коралловое – Северо-Фиджийское и Тасманово – Северо-Фиджийское, то есть такие сочетания являются закономерными.

Примечательно, что впадины Западно-Тихоокеанских окраинных морей представляют своеобразный тип упорядоченности рельефа с особым видом симметрии-антисимметрии, названной инь-ян-системами [30]. Эти образования рассматриваются как ячейки земной коры второго (после континентально-океанического) уровня иерархии и широко распространены за пределами Тихоокеанской окраины Азии.

Заключение

В современной геотектонике все больше укрепляется мнение о том, что ряд структурных и кинематических построений, предлагаемых плейттектоникой, малообоснованны: многие исследователи полагают, что данная парадигма несостоятельна как всеобъемлющая геодинамическая концепция.

Действительно, широко распространенными тектоническими образованиями на Земном шаре являются вихревые структуры различного иерархического уровня. Можно полагать, что рассматриваемые в рамках плейттектоники литос-

ферные плиты, вероятно, являются глобальными вихревыми системами. Сама геологическая структура литосферы сформирована в результате тектонического течения вещества – как вязкой жидкости – и представляет собой «застывшие» в разное время турбулентные потоки.

Все тектонические дислокации содержат как горизонтальные, так и вертикальные компоненты скорости движения; при этом первые господствуют в структурообразовании региона. Эти движения сопровождаются возникновением пространственных, временных и пространственно-временных диссипативных структур. В различных геологических процессах могут господствовать те или иные тектонические напряжения и, в зависимости от этого, формироваться соответствующие движения и провоцируемые ими структуры.

Конечным результатом тектонической эволюции Западно-Тихоокеанского региона служат вихревые и прочие нелинейные деформации литосферы, составляющие основной тип его структурных элементов. Они часто сопровождаются магматической активизацией тектоносферы в форме конвективных движений и/или «всплывания» плюмов, когда происходит энергетическое взаимодействие мантии и верхних оболочек (тектоносфер) Земли.

Окраинноморские впадины Западной Пацифики представляют собой воронки конвективных ячеек, которые в результате тектонического взаимодействия Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит в условиях сдвига скоростей движения структурировались в форму литосферных вихрей.

Главными причинами тектонических движений являются: а) ротационные (в том числе изменение скорости вращения Земли); б) сила тяжести (изостатическое выравнивание); в) космические (движение Земли по своей орбите, влияние Солнца и Луны); г) радиоактивный разогрев и тепло, возникающее при взаимодействии (трении друг о друга) тектоносфер, «всплывание» плюмов, конвекция.

Становление кольцевых структур и глубинных разломов связано с приливными волнами в литосфере (колебательные движения) – активизация мантии, мантийный диапиризм, вспучивание и растрескивание земной коры. При этом кольцевые и вихревые структуры, а также разломы фундамента отличаются высокой проницаемостью и часто являются магмоконтролирующими и рудоносными.

Намечается определенная парагенетическая связь между вихревыми и кольцевыми структурными комплексами. Подчеркнем, что к мегаструктурам кольцевого типа относится и сама впадина Тихого океана, ограниченная зонами кольцевых и дуговых глубинных разломов. Судя по характерному рисунку этих тектонических линий, эта мегаструктура несет черты вихревых образований. Возможно, кольцевые структуры могут представлять собой конечный этап развития тектонического вихря, когда его ветви («рукава») присоединились к ядру.

Авторами настоящей статьи предложены новые модели формирования окраинных морей Западной части Тихого океана как вихревых структур. В целом изложенные представления позволяют рассматривать тектоническую эволюцию Западно-Тихоокеанского региона как формирование серии литосферных вихрей в зоне сочленения континент – океан. Его развитие связывается с энергетическим взаимодействием мантии и верхних оболочек (тектоносфер) Земли, что обусловлено неустойчивым режимом ротационной динамики планеты.

***Благодарности.** Авторы выражают искреннюю благодарность, к сожалению, ушедшему из жизни доктору географических наук Владимиру Ивановичу Чупрынину, в течение многих лет принимавшему активное участие в разработке моделей формирования Западно-Тихоокеанских окраинных морей (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН).*

Работа выполнена в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН (рег. № 121021700342-9, № 121021500055-0, № ААА-А19-119122090009-2).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аносов Г.И., Колосков А.В., Флеров Г.Б. Особенности проявления ультрамафитов Камчатского региона с позиций вихревой геодинамики // Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2004. С. 129–200.
2. Артюшков Е.В. Дифференциация по плотности вещества Земли и связанные с ней явления // Известия АН СССР. Физика Земли. 1970. № 5. С. 18–30.
3. Бениофф Х. Движения по крупнейшим разломам // Дрейф континентов. М.: Мир, 1966. С. 75–104.
4. Берсенев И.И. Осевое вращение Земли как одна из причин геотектогенеза // Строение и развитие земной коры. М.: Наука, 1964. С. 194–200.

5. Берсенев И.И., Безверхний В.Л., Леликов Е.П. Строение и развитие дна Японского моря // Геодинамические исследования. М.: Межведомственный геофизический комитет АН СССР, 1988. № 11. С. 60–67.
6. Богданов Н.А. Тектоника глубоководных впадин окраинных морей. М.: Недра, 1988. 220 с.
7. Васильев Б.И. Геологическое строение и происхождение Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2009. 560 с.
8. Васильева М.А., Завьялов А.Д., Петрищевский А.М. Оценка представительности каталогов землетрясений в южных районах Дальнего Востока России за 2003–2015 гг. // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 3. С. 5–14.
9. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. 520 с.
10. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН: КГПУ, 2003. 151 с.
11. Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2008. 463 с.
12. Викулин А.В., Мелекесцев И.В. Сейсмичность, вулканизм Тихого океана и вращение планеты // Българско геофизично списание. 1997. Т. XXIII, № 1. С. 62–68.
13. Вихри в геологических процессах / под ред. А.В. Викулина. Петропавловск-Камчатский: КамГПУ, 2004. 297 с.
14. 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.
15. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1. / под ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.
16. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 2. / под ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. 981 с.
17. Геодинамика. Основы кинематической геодезии / С.П. Войтенко, И.Л. Учитель, В.Н. Ярошенко, Б.Б. Капочкин. Одесса: Астропринт, 2007. 259 с.
18. Геология дна Японского моря / И.И. Берсенев, Е.П. Леликов, В.Л. Безверхний и др. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.
19. Гончаров М.Л. Введение в тектонофизику / М.Л. Гончаров, В.Г. Талицкий, П.С. Фролова. М.: Ун-т, 2005. 496 с.
20. Губанова М.А., Петрищевский А.М. Гравитационные и сейсмологические признаки релогического расслоения литосферы дальне-

- восточных окраин России // Литосфера. 2014. № 6. С. 150–160.
21. Давыдов А.В., Долгих Г.И., Запольский А.М., Копвиллем У.С. Регистрация собственных колебаний геоблоков с помощью лазерных деформографов // Тихоокеанская геология. 1988. № 2. С. 117–118.
 22. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.А., Кирдяшкин А.Г. Диаметр и время формирования головы плюма на подошве «тугоплавкого» слоя в литосфере // Доклады Академии наук. 2006. Т. 406, № 1. С. 99–103.
 23. Емельянова Т.А., Леликов Е.П. Роль вулканизма в формировании Японского, Охотского и Филиппинского окраинных морей // Петрология. 2010. Т. 18, № 6. С. 73–94.
 24. Емельянова Т.А., Петрищевский А.М., Изосов Л.А., Ли Н.С., Пугачев А.А. Позднемезозойско-кайнозойские этапы вулканизма и геодинамика Японского и Охотского морей // Петрология. 2020. Т. 28, № 5. С. 468–481.
 25. Изосов Л.А. Проблемы геологии и алмазности зоны перехода континент – океан (Япономорский и Желтоморский регионы) / Л.А. Изосов, Ю.И. Коновалов, Т.А. Емельянова. Владивосток: Дальнаука, 2000. 326 с.
 26. Изосов Л.А., Петрищевский А.М., Емельянова Т.А., Чупрынин В.И., Ли Н.С., Васильева М.А. Модель формирования Западно-Тихоокеанских окраинных морей: вихревая геодинамика, сейсмичность и мантийный апвеллинг // Вулканонология и сейсмология. 2020. № 1. С. 49–63.
 27. Изосов Л.А., Чупрынин В.И. О механизме формирования структур центрального типа Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент – океан // Геотектоника. 2012. Т. 46, № 3. С. 70–92.
 28. Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Мельниченко Ю.И., Ли Н.С. Морфоструктурный анализ при решении геологических проблем востока Азии // Геоморфология. 2018. № 4. С. 3–17.
 29. Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Петрищевский А.М., Емельянова Т.А., Мельниченко Ю.И., Васильева М.А., Ли Н.С. Формирование окраинных морей Тихого океана: следствие сдвиговой неустойчивости и астеносферного диапиризма // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2020. № 2, вып. 46. С. 85–101.
 30. Казанский Б.А. Упорядоченность рельефа Тихоокеанской окраины Азии // Тихоокеанская геология. 1997. Т. 16, № 3. С. 29–33.
 31. Колосков А.В., Аносов Г.И. Некоторые аспекты геологического строения и особенности проявления вулканизма на активных окраинах Тихого океана, как следствие концепции мантийной вихревой геодинамики // Проблемы источников глубинного магматизма и плюмы. Петропавловск-Камчатский; Иркутск: ИГ СО РАН, 2005. С. 272–288.
 32. Колосков А.В., Аносов Г.И. Особенности геологического строения и позднекайнозойский вулканизм Восточно-Азиатской окраины в рамках концепции вихревой геодинамики // Фундаментальные исследования морей и океанов. М.: Наука, 2006. Кн. 1. С. 278–291.
 33. Колосков А.В., Гонтовая Л.И., Попруженко С.В. Верхняя мантия Камчатки в изотопно-геохимических и геофизических аномалиях. Роль астеносферного диапиризма // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33, № 3. С. 3–13.
 34. Кольцевые структуры Земли: миф или реальность? / Я.Г. Кац, В.В. Козлов, А.И. Полетаев, Е.Д. Сулиди-Кондратьев. М.: Наука, 1989. 190 с.
 35. Кэрри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. История догм в науках о Земле: пер. с англ. М.: Мир, 1991. 448 с.
 36. Леликов Е.П., Карп Б.Я. Глубинное строение и рифтогенез в Японском море // Литосфера. 2004. № 2. С. 16–29.
 37. Ли Н.С. О связи землетрясений с глубинным строением Япономорского звена Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент – океан // Региональные проблемы. 2013. Т. 16, № 2. С. 25–29.
 38. Ли Сы-гуан Вихревые и другие проблемы, относящиеся к сочетанию геотектонических систем северо-западного Китая. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 131 с.
 39. Лойцянский Л.Г. Гидродинамическая теория сферического подшипника // Прикладная математика и механика. 1995. Т. XIX, Вып. 5. С. 531–540.
 40. Маслов Л.А. Геодинамика литосферы Тихоокеанского подвижного пояса. Хабаровск; Владивосток: Дальнаука, 1996. 200 с.
 41. Маслов Л.А., Романовский Н.П. Строение Тихоокеанского подвижного пояса и его динамика по поверхностным и глубинным геолого-геофизическим данным // Тихоокеанская геология. 1989. № 3. С. 3–23.
 42. Мелекесцев И.В. Вихревая вулканическая гипотеза и некоторые перспективы ее применения // Проблемы глубинного вулканизма. М.: Наука, 1979. С. 125–155.

43. Мелекесцев И.В. Вихревая вулканическая гипотеза и эволюция морфоструктуры Северной Пацифики // Петрология и металлогения базит-гипербазитовых комплексов Камчатки. Петропавлоск-Камчатский, 2000. С. 9–11.
44. Мелекесцев И.В. Роль вихрей в происхождении и жизни Земли // Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2004. С. 25–70.
45. Мирлин Е.Г. Проблема вихревых движений в «твердых» оболочках Земли и их роль в геотектонике // Геотектоника. 2006. № 4. С. 43–60.
46. Мирлин Е.Г., Оганесян Л.В. Вихри в литосфере. М.: ВНИИГеосистем, 2015. 148 с.
47. Павловский Е.В. Ранние стадии развития земной коры // Известия АН СССР. Серия Геология. 1970. № 5. С. 23–39.
48. Петрищевский А.М. Гравитационные модели двухъярусной коллизии литосферных плит на Северо-Востоке Азии // Геотектоника. 2013. № 6. С. 60–83.
49. Петрищевский А.М., Васильева М.А. Нетрадиционные методы исследования реологических состояний тектонических сред в земной коре и верхней мантии западно-тихоокеанских континентальных окраин // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 4, Вып. 36. С. 39–55.
50. Петрищевский А.М., Изосов Л.А., Емельянова Т.А., Васильева М.А., Ли Н.С. Строение, реология, петрология и геодинамика тектоносферы Японского моря // Океанология. 2021. Т. 61, № 1. С. 116–131.
51. Петрищевский А.М., Юшманов Ю.П. Геофизические, магматические и металлогенические признаки мантийного плюма в верховьях рек Алдан и Амур // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 4. С. 568–593.
52. Полетаев А.И. Ротационная тектоника земной коры // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых: материалы XXXVIII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2005. Т. 2. С. 97–100.
53. Пушаровский Ю.М. Основные черты строения Тихоокеанского тектонического пояса // Геотектоника. 1965. № 6. С. 19–34.
54. Пушаровский Ю.М. О трех парадигмах в геологии // Геотектоника. 1995. № 1. С. 4–11.
55. Рикитаке Т. Геофизические и геологические данные о Японской островной дуге и ее обрамлении // Окраины континентов и островные дуги. М.: Мир, 1970. С. 217–236.
56. Садовский М.А. Автомодельность геодинамических процессов // Вестник АН СССР. 1986. № 8. С. 3–11.
57. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Случайность и неустойчивость в геофизических процессах // Физика Земли. 1989. № 2. С. 3–12.
58. Слензак О.И. Вихревые структуры литосферы и структуры докембрия. Киев: Наук. думка, 1972. 183 с.
59. Сорохтин О.Г. Глобальная эволюция Земли. М.: Наука, 1974. 184 с.
60. Тараканов Р.З. Фокальные зоны и их роль в развитии островодужных систем // Геология дальневосточной окраины Азии: Геология зоны перехода от континента к океану. Владивосток, 1981. С. 53–66.
61. Тараканов Р.З. Обобщенная скоростная модель зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану (уточненный вариант) // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений. I российско-японский семинар. Хабаровск, 2001. С. 72–74.
62. Тверитинова Т.Ю., Викулин А.В. Геологические и геофизические признаки вихревых структур в геологической среде // Вестник КРАУНЦ. Сер. науки о Земле. 2005. № 5. С. 59–76.
63. Тектоника и геофизика литосферы: материалы XXXV Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2002. Т. 1. 368 С. Т. 2. 378 с.
64. Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. Вращение Земли единственный реальный источник энергии ее тектогенеза // Геофизика. 2007. № 1. С. 59–64.
65. Уткин В.П. Восточно-Азиатская глобальная сдвиговая система, вулканический пояс и окраинные моря // Доклады Академии наук СССР. 1978. Т. 240, № 2. С. 400–403.
66. Филатова Н.И. Специфика магматизма окраинно-континентальных и окраинно-морских бассейнов синсдвиговой природы, западная периферия Тихого океана // Петрология. 2008. Т. 16, № 5. С. 480–500.
67. Филатьев В.П. Механизм формирования зоны перехода между Азиатским континентом и Северо-Западной Пацификой. Владивосток: Дальнаука, 2005. 273 с.
68. Хаин В.Е. Геотектоника с основами геодинамики / В.Е. Хаин, М.Г. Ломизе. М.: МГУ, 1995. 476 с.
69. Хаин В.Е., Полетаев А.И. Ротационная тектоника: предыстория, современное состояние, перспективы развития // Ротационные процессы в геологии и физике. М.: КомКнига, 2007. С. 17–38.

70. Чупрынин В.И., Изосов Л.А. Модель формирования краевых морей Западной части Тихого океана // ДАН. 2017. Т. 472, № 1. С. 68–71.
71. Шейдеггер А.Е. Основы геодинамики. М.: Недра, 1987. 384 с.
72. Шило Н.А. О механизме образования Солнечной системы // Тихоокеанская геология. 1982. № 6. С. 20–27.
73. Cella F., Fedi M., Florio G., Rapolla A. Gravity modelling of the litho-asthenosphere system in the Central Mediterranean // Tectonophysics. 1998. Vol. 287, N 1. P. 117–138.
74. Ehiro M. Origin and drift histories of some microcontinents distributed in eastern margin of Asian Continent // Earth Science. 2001. Vol. 55, N 2. P. 71–81.
75. Ernst R.E., Buchan K.L. Maximum size and distribution in time and space of mantle plumes: evidence from large igneous provinces // Journal of Geodynamics. 2002. Vol. 34, N 2. P. 309–342.
76. Hobbs W. Lineaments of the Atlantic border region // Geological Society of America Bulletin. 1904. Vol. 15. P. 483–506.
77. Jakson E.D., Shaw H.R., Bargar K.E. Calculated geochronology and stress field orientations along the Hawaiian chain // Earth Planet Sci. Lett. 1975. Vol. 26. P. 145–155.
78. Karig D.E. Tectonic erosion at trenches // Earth Planet. Sci. Lett. 1974. Vol. 21. P. 209–202.
79. Klimets M.P. Speculations the Mesozoic plate tectonic evolution of Eastern China // Tectonics. 1983. Vol. 2, N 2. P. 139–166.
80. Kojima S. Mesozoic Terrane accretion in North-East China, Sikhote-Alin and Japan regions // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1989. Vol. 69. P. 213–232.
81. Lee J.S. Some Characteristic Structural Types in Eastern Asia and their Bearing upon the Problems of Continental Movements // Geol. Mag. 1929. Vol. 66. P. 422–430.
82. Ludwig W.J., Ewing J.I., Ewing M., Murauchi S., Den N., Asano S., Hotta H., Hayakawa M., Asanuma T., Ichikawa K., Noguchi I. Sediments and structure of the Japan Trench // J. Geophys. Res. 1966. Vol. 71. P. 2121–2137.
83. Saunders A.D., Jones S.M., Morgan L.A., Pierce K.L., Widdowson M., Xu Y. Regional uplift associated with continental large igneous provinces: the role of mantle plumes and the lithosphere // Chemical Geology. 2007. Vol. 241. P. 282–318.
84. Sonder R.A. Die Lineament Tektonik und ihre Probleme // Eclogae Geologicae Helvetiae. 1938. Vol. 31, N 1. P. 199–238.
85. Takeuchi A. Pacific swing: Cenozoic episodicity of tectonism and volcanism in Northeastern Japan // Memoir of the Geological Society of China. 1986. Vol. 7. P. 233–248.
86. Uyeda S. Subduction zone: facts, ideas and speculations // Oceanus. 1979. Vol. 22. P. 52–62.
87. Wadati K. On the activity of deep focus earthquakes in the Japan islands and neighbourhoods // Geophysical Magazine. 1935. Vol. 8. P. 305–325.
88. Wakita K. Accretionary tectonics in Japan // Bulletin of the Geological Survey of Japan. 1989. Vol. 40, N 5. P. 251–253.
89. Xu Jiawei, Tong Weixing, Zhu Guang, Lin Shoufa, Ma Goufeng An outline of the pre-Jurassic tectonic framework of East Asia // Journ. of Southeast Asian Earth Sci. 1989. Vol. 3, N 1–4. P. 29–45.
90. Xu Jiawei, Zhu Guang, Tong Weixing et al. Formation and Evolution of Tancheng – Lujiang wrench fault system to the north-west of Pacific ocean // Tectonophysics. 1987. Vol. 134, N 1. P. 273–310.

REFERENCES:

1. Anosov G.I., Koloskov A.V., Flerov G.B. Features of manifestation of ultramafic rocks of the Kamchatka region from the standpoint of eddy geodynamics, in *Vikhri v geologicheskikh protsessakh* (Vortex-related events of the geological processes). Petropavlovsk-Kamchatsky: KamSPU, 2004, pp. 129–200. (In Russ.).
2. Artyushkov E.V. Earth's matter density differentiation and the associated phenomena. *Izvestiya AN USSR. Phys. Earth.*, 1970, no. 5, pp. 18–30. (In Russ.).
3. Benioff X. Movements on the largest faults, in *Dreif kontinentov* (Continental drift). Moscow: Mir Publ., 1966, pp. 75–104. (In Russ.).
4. Bersenev I.I. Axial rotation of the Earth as one of the causes of geotectogenesis, in *Stroenie i razvitiye zemnoi kory* (Structure and development of the Earth's crust). Moscow: Nauka Publ., 1964, pp. 194–200. (In Russ.).
5. Bersenev I.I., Bezverkhny V.L., Lelikov E.P. Structure and development of the bottom of the Sea of Japan, in *Geodinamicheskie issledovaniya* (Geodynamic research). Moscow: Geophysical Committee of the USSR Academy of Sciences, 1988, no. 11, pp. 60–67. (In Russ.)
6. Bogdanov N.A. *Tektonika glubokovodnykh vpadin okrainnykh morei* (Tectonics of deep-sea

- basins of marginal seas). Moscow: Nedra Publ., 1988. 220 p. (In Russ.).
7. Vasiliev B.I. *Geologicheskoe stroenie i proiskhozhdenie Tikhogo okeana* (Geological structure and origin of the Pacific ocean). Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2009. 560 p. (In Russ.).
 8. Vasilyeva M.A., Zavyalov A.D., Petrishchevsky A.M. Evaluation of representative magnitude for earthquake catalogues in southern regions of Russian Far East in 2003-2015. *Regional'nye problemy*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 5–14. (In Russ.).
 9. Vernadsky V.I. *Filosofskie mysli naturalista* (Philosophical thoughts of a naturalist). Moscow: Nauka Publ., 1988. 520 p. (In Russ.).
 10. Vikulin A.V. *Fizika volnovogo seismicheskogo protsesssa* (Physics of the wave seismic process). Petropavlovsk-Kamchatsky: KOMSP GS RAS: KSPU, 2003. 151 p. (In Russ.).
 11. Vikulin A.V. *Fizika Zemli i geodinamika* (Physics of the Earth and geodynamics). Petropavlovsk-Kamchatsky: KamSU im. Vitus Bering, 2008. 463 p. (In Russ.).
 12. Vikulin A.V., Melekestsev I.V. Seismicity, volcanism of the Pacific Ocean and the planets' rotation. *B'lgarsko geofizichno spisanie*, 1997, vol. XXIII, no. 1, pp. 62–68. (In Russ.).
 13. *Vikhri v geologicheskikh protsessakh* (Vortex-related events of the geological processes), A.V. Vikulin Ed. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamSPU, 2004. 297 p. (In Russ.).
 14. Voronov P.S. The role of the rotational forces of the Earth in the history of the formation of the structure of its lithosphere, in *Evol'yutsiya geologicheskikh protsessov v istorii Zemli* (The evolution of geological processes in the history of the Earth). Moscow: Nauka Publ., 1993, pp. 104–114. (In Russ.).
 15. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii* (Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia). Book 1., A.I. Khanchuk Ed. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2006. 572 p. (In Russ.).
 16. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii* (Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia). Book 2., A.I. Khanchuk Ed. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2006. 981 p. (In Russ.).
 17. *Geodinamika. Osnovy kinematicheskoi geodezii* (Geodynamics. Fundamentals of kinematic geodesy), S.P. Voitenko, I.L. Uchitel, V.N. Yaroshenko, B.B. Kapochkin. Odessa: Astroprint Publ., 2007. 259 p. (In Russ.).
 18. *Geologiya dna Yaponskogo morya* (Geology of the bottom of the Sea of Japan), I.I. Bersenev, E.P. Lelikov, V.L. Bezverkhniy et al. Vladivostok: Far Eastern scientific center of the USSR Academy of Sciences, 1987. 140 p. (In Russ.).
 19. Goncharov M.L. *Vvedenie v tektonofiziku* (Introduction to tectonophysics), M.L. Goncharov, V.G. Talitsky, P.S. Frolova. Moscow: Universitet Publ., 2005. 496 p. (In Russ.).
 20. Gubanova M.A., Petrishchevsky A.M. Gravity and seismological features of rheological layering of Far East Russia lithosphere. *Litosfera*, 2014, no. 6, pp. 150–160. (In Russ.).
 21. Davydov A.V., Dolgikh G.I., Zapolsky A.M., Copeville U.S. Registration of natural oscillations of geoblocks using laser strainmeters. *Tikhookeanskaya geologiya*, 1988, no. 2, pp. 117–118. (In Russ.).
 22. Dobretsov N.L., Kirdyashkin A.A., Kirdyashkin A.G. Diameter and formation time of plume head at the base of refractory lithospheric layer. *Doklady Akademii nauk*, 2006, vol. 406, no. 1, pp. 99–103. (In Russ.).
 23. Emelyanova T.A., Lelikov E.P. The role of volcanism in the development of the Japan, Okhotsk, and Philippine marginal seas. *Petrologiya*, 2010, vol. 18, no. 6, pp. 73–94. (In Russ.).
 24. Emelyanova T.A., Petrishchevsky A.M., Izosov L.A., Lee N.S., Pugachev A.A. Late Mesozoic–Cenozoic Stages of Volcanism and Geodynamics of the Sea of Japan and Sea of Okhotsk. *Petrologiya*, 2020, vol. 28, no. 5, pp. 468–481. (In Russ.).
 25. Izosov L.A. *Problemy geologii i almazonosnosti zony perekhoda kontinent-ocean. Yaponomorskii i Zheltomorskii regiony* (Problems of geology and diamond potential of the continent-ocean transition zone. Regions of the Japan and Yellow Seas), L.A. Izosov, Yu.I. Konovalov, T.A. Emel'yanova. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2000. 326 p. (In Russ.).
 26. Izosov L.A., Petrishchevsky A.M., Emel'yanova T.A., Chuprynin V.I., Lee N.S., Vasilyeva M.A. The Model of Formation of the Western Pacific Marginal Seas: Vortex Geodynamics, Seismicity, and Mantle Upwelling. *Vulkanologiya i seismologiya*, 2020, no. 1, pp. 49–63. (In Russ.).
 27. Izosov L.A., Chuprynin V.I. Formation mechanism of central-type structures in the West Pacific continent–ocean transition zone. *Geotektonika*, 2012, vol. 46, no. 3, pp. 70–92. (In Russ.).
 28. Izosov L.A., Chuprynin V.I., Mel'nichenko Yu.I., Lee N.S. Morphostructural analysis in solving geological problems of Eastern part of Asia. *Geomorfologiya*, 2018, no. 4, pp. 3–17. (In Russ.).

29. Izosov L.A., Chuprynin V.I., Petrishchevskij A.M., Emel'yanova T.A., Mel'nichenko Yu.I., Vasil'eva M.A., Lee N.S. Formation of marginal seas of the Pacific Ocean: a consequence of shear instability and asthenospheric diapirism. *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle*, 2020, vol. 2, no. 46, pp. 85–101. (In Russ.).
30. Kazansky B.A. Orderliness of the relief of the Pacific margin of Asia. *Tikhookeanskaya geologiya*, 1997, vol. 16, no. 3, pp. 29–33. (In Russ.).
31. Koloskov A.V., Anosov G.I. Some aspects of the geological structure and features of the manifestation of volcanism on the active margins of the Pacific Ocean as a consequence of the concept of mantle vortex geodynamics, in *Problemy istochnikov glubinnogo magmatizma i plyumy* (Problems of sources of deep magmatism and plumes). Petropavlovsk-Kamchatsky; Irkutsk: IG SB RAS, 2005, pp. 272–288. (In Russ.).
32. Koloskov A.V., Anosov G.I. Features of geological structure and Late Cenozoic vulcanism of the East Asian margin within the framework of the concept of vortex geodynamics, in *Fundamental'nye issledovaniya morei i okeanov* (Fundamental research of seas and oceans). Moscow: Nauka Publ., 2006, vol. 1, pp. 278–291. (In Russ.).
33. Koloskov A.V., Gontovaya L.I., Popruzhenko S.V. The upper mantle of Kamchatka in isotopic-geochemical and geophysical anomalies: The role of asthenospheric diapirism. *Tikhookeanskaya geologiya*, 2014, vol. 33, no. 3, pp. 3–13. (In Russ.).
34. *Kol'tsevye struktury Zemli: mif ili real'nost'?* (The ring structures of the Earth: myth or reality?), Y.G. Katz, V.V. Kozlov, A.I. Poletaev, E.D. Solidi-Kondrat'ev. Moscow: Nauka Publ., 1989. 190 p. (In Russ.).
35. Carrie W. *V poiskakh zakonmernostei razvitiya Zemli i Vselennoi. Istoriya dogm v naukakh o Zemle* (In Search of Patterns in the Development of the Earth and the Universe. The history of dogmas in the geosciences). Moscow: Mir Publ., 1991. 448 p. (In Russ.).
36. Lelikov E.P., Karp B.Ya. Deep Crustal Structure and Rifting of the Japan Sea. *Litosfera*, 2004, no. 2, pp. 16–29. (In Russ.).
37. Lee N.S. About the connection of earthquakes with the deep structure of the Japan sea link of the Western-Pacific continent – ocean transition zone. *Regional'niye problemy*, 2013, vol. 16, no. 2, pp. 25–29. (In Russ.).
38. Li Sy-guan *Vikhrevye i drugie problemy, otnosyashchiesya k sochetaniyu geotektonicheskikh sistem severo-zapadnogo Kitaya* (Vortex and other problems related to the combination of geotectonic systems of northwestern China). Moscow: Gosgeoltekhizdat Publ., 1958. 131 p. (In Russ.).
39. Loitsyansky L.G. Hydrodynamic theory of spherical bearing. *Prikladnaya matematika i mekhanika*, 1995, vol. XIX, no. 5, pp. 531–540. (In Russ.).
40. Maslov L.A. *Geodinamika litosfery Tihookeanskogo podvizhnogo poyasa* (Geodynamics of the lithosphere of the Pacific mobile belt). Khabarovsk; Vladivostok: Dal'nauka Publ., 1996. 200 p. (In Russ.).
41. Maslov L.A., Romanovsky N.P. The structure of the Pacific mobile belt and its dynamics according to surface and deep geological and geophysical data. *Tikhookeanskaya geologiya*, 1989, no. 3, pp. 3–23. (In Russ.).
42. Melekestsev I.V. Vortex volcanic hypothesis and some prospects of its application, in *Problemy glubinnogo vulkanizma* (Problems of deep volcanism). Moscow: Nauka Publ., 1979, pp. 125–155. (In Russ.).
43. Melekestsev I.V. Vortex volcanic hypothesis and evolution of the morphostructure of the North Pacific, in *Petrologiya i metallogeniya bazit-giperbazitovykh kompleksov Kamchatki* (Petrology and metallogeny of the basic-hyperbasic complexes of Kamchatka). Petropavlovsk-Kamchatsky, 2000, pp. 9–11. (In Russ.).
44. Melekestsev I.V. The role of vortices in the origin and life of the Earth, in *Vihri v geologicheskikh processah* (Vortex-related events of the geological processes). Petropavlovsk-Kamchatsky: KamSPU, 2004, pp. 25–70. (In Russ.).
45. Mirlin E.G. The problem of vortical movements in the solid earth and their role in geotectonics. *Geotektonika*, 2006, no. 4, pp. 43–60. (In Russ.).
46. Mirlin E.G., Oganessian L.V. *Vihri v litosfere* (Vortices in the lithosphere). Moscow: VNII-GEOSYSTEMS, 2015. 148 p. (In Russ.).
47. Pavlovsky E.V. Early stages of the development of the earth's crust. *Izvestiya AN SSSR. Seriya Geologiya*, 1970, no. 5, pp. 23–39. (In Russ.).
48. Petrishchevsky A.M. Gravity models of two-level collision of lithospheric plates in Northeast Asia. *Geotektonika*, 2013, no. 6, pp. 60–83. (In Russ.).
49. Petrushchevsky A.M., Vasilyeva M.A. Alternative methods for estimation of rheological conditions of tectonic media in the crust and upper mantle of

- the western Pacific margins. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*, 2017, no. 4 (36), pp. 39–55. (In Russ.).
50. Petrishchevsky A.M., Izosov L.A., Emelyanova T.A., Vasileva M.A., Lee N.S. Structure, Rheology, Petrology, and Geodynamics of the Tectonosphere of the Sea of Japan. *Okeanologiya*, 2021, vol. 61, no. 1, pp. 116–131. (In Russ.).
 51. Petrishchevsky A.M., Yushmanov Y.P. Geophysical, magmatic and metallogenic manifestation of a mantle plume in the upper reaches of the Aldan and Amur. *Geologiya i geofizika*, 2014, vol. 55, no. 4, pp. 568–593. (In Russ.).
 52. Poletaev A.I. Rotational tectonics of the earth's crust, in *Tektonika zemnoi kory i mantii. Tektonicheskie zakonomernosti razmeshcheniya poleznykh iskopaemykh: materialy XXXVIII Tektonicheskogo soveshchaniya* (Tectonics of the earth's crust and mantle. Tectonic patterns of distribution of minerals. Materials of the XXXVIII Tectonic Meeting). Moscow: GEOS Publ., 2005, vol. 2, pp. 97–100. (In Russ.).
 53. Pushcharovsky Yu.M. The main features of the structure of the Pacific tectonic belt. *Geotektonika*, 1965, no. 6, pp. 19–34. (In Russ.).
 54. Pushcharovsky Yu.M. On Three Paradigms in Geology. *Geotektonika*, 1995, no. 1, pp. 4–11. (In Russ.).
 55. Rikitake T. Geophysical and geological data on the Japanese island arc and its framing, in *Okrainy kontinentov i ostrovnnye dugi* (Continental margins and island arcs). Moscow: Mir Publ., 1970, pp. 217–236. (In Russ.).
 56. Sadovsky M.A. Self-similarity of geodynamic processes. *Vestnik AN SSSR*, 1986, no. 8, pp. 3–11. (In Russ.).
 57. Sadovsky M.A., Pisarenko V.F. Randomness and instability in geophysical processes. *Fizika Zemli*, 1989, no. 2, pp. 3–12. (In Russ.).
 58. Slenzak O.I. *Vihrevye struktury litosfery i struktury dokembriya* (Vortex structures of the lithosphere and structures of the Precambrian). Kiev: Nauk. Dumka Publ., 1972. 183 p. (In Russ.).
 59. Sorokhtin O.G. *Global'naya evolyutsiya Zemli* (Global evolution of the Earth). Moscow: Nauka Publ., 1974. 184 p. (In Russ.).
 60. Tarakanov R.Z. Focal zones and their role in the development of island-arc systems, in *Geologiya dal'nevostochnoi okrainy Azii: Geologiya zony perekhoda ot kontinenta k okeanu* (Geology of the Far Eastern margin of Asia: Geology of the transition zone from the continent to the ocean). Vladivostok, 1981, pp. 53–66. (In Russ.).
 61. Tarakanov R.Z. Generalized velocity model of the transition zone from the Asian continent to the Pacific Ocean (refined version), in *Problemy geodinamiki i prognoza zemletryaseni. I Rossiisko-Yaponskii seminar* (Problems of geodynamics and earthquake prediction. I Russian-Japanese Seminar). Khabarovsk, 2001, pp. 72–74. (In Russ.).
 62. Tveritina T.Yu., Vikulin A.V. Geological and geophysical signs of vortex structures in geological medium. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*, 2005, no. 5, pp. 59–76. (In Russ.).
 63. *Tektonika i geofizika litosfery: materialy XXXV Tektonicheskogo soveshchaniya* (Tectonics and geophysics of the lithosphere. Materials of the XXXV Tectonic Conference). Moscow: GEOS Publ., 2002, vol. 1, 368 p.; vol. 2, 378 p. (In Russ.).
 64. Tyapkin K.F., Dovbnich M.M. Rotation of the Earth as the only real energy source of tectogenesis. *Geofizika*, 2007, no. 1, pp. 59–64. (In Russ.).
 65. Utkin V.P. East Asian global shear zone, volcanic belt, and marginal seas. *Doklady Akademii nauk SSSR*, 1978, vol. 240, no. 2, pp. 400–403. (In Russ.).
 66. Filatova N.I. Specifics of magmatism in marginal continental and marginal-sea pull-apart basins: Western periphery of the Pacific Ocean. *Petrologiya*, 2008, vol. 16, no. 5, pp. 480–500. (In Russ.).
 67. Filatyev V.P. *Mekhanizm formirovaniya zony perekhoda mezhdu Aziatskim kontinentom i Severo-Zapadnoi Patsifikoi* (The Mechanism of Forming the Transitional zone between the Asian continent and North-West Pacific). Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2005. 273 p. (In Russ.).
 68. Khain V.E. *Geotektonika s osnovami geodinamiki* (Geotectonics with the basics of geodynamics), V.E. Khain, M.G. Lomize. Moscow: MSU, 1995. 476 p. (In Russ.).
 69. Khain V.E., Poletaev A.I. Rotational tectonics: prehistory, current state, development prospects, in *Rotatsionnye protsessy v geologii i fizike* (Rotational processes in geology and physics). Moscow: KomKniga Publ., 2007, pp. 17–38. (In Russ.).
 70. Chuprynin V.I., Izosov L.A. Model of the formation of marginal seas in the western Pacific Ocean. *Doklady Akademii nauk*, 2017, vol. 472, no. 1, pp. 68–71. (In Russ.).

71. Scheidegger A.E. *Osnovy geodinamiki* (Fundamentals of geodynamics). Moscow: Nedra Publ., 1987. 384 p. (In Russ.).
72. Shilo N.A. About the formation mechanism of the solar system. *Tikhookeanskaya geologiya*, 1982, no. 6, pp. 20–27. (In Russ.).
73. Cella F., Fedi M., Florio G., Rapolla A. Gravity modelling of the litho-asthenosphere system in the Central Mediterranean. *Tectonophysics*, 1998, vol. 287, no. 1, pp. 117–138.
74. Ehiro M. Origin and drift histories of some microcontinents distributed in eastern margin of Asian Continent. *Earth Science*, 2001, vol. 55, no. 2, pp. 71–81.
75. Ernst R.E., Buchan K.L. Maximum size and distribution in time and space of mantle plumes: evidence from large igneous provinces. *Journal of Geodynamics*, 2002, vol. 34, no. 2, pp. 309–342.
76. Hobbs W. Lineaments of the Atlantic border region. *Geological Society of America Bulletin*, 1904, vol. 15, pp. 483–506.
77. Jakson E.D., Shaw H.R., Bargar K.E. Calculated geochronology and stress field orientations along the Hawaiian chain. *Earth Planet Sci. Lett*, 1975, vol. 26, pp. 145–155.
78. Karig D.E. Tectonic erosion at trenches. *Earth Planet. Sci. Lett*, 1974, vol. 21, pp. 209–202.
79. Klimets M.P. Speculations the Mesozoic plate tectonic evolution of Eastern China. *Tectonics*, 1983, vol. 2, no. 2, pp. 139–166.
80. Kojima S. Mesozoic Terrane accretion in North-East China, Sikhote-Alin and Japan regions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1989, vol. 69, pp. 213–232.
81. Lee J.S. Some Characteristic Structural Types in Eastern Asia and their Bearing upon the Problems of Continental Movements. *Geol. Mag*, 1929, vol. 66, pp. 422–430.
82. Ludwig W.J., Ewing J.I., Ewing M., Murauchi S., Den N., Asano S., Hotta H., Hayakawa M., Asanuma T., Ichikawa K., Noguchi I. Sediments and structure of the Japan Trench. *J. Geophys. Res.*, 1966, vol. 71, pp. 2121–2137.
83. Saunders A.D., Jones S.M., Morgan L.A., Pierce K.L., Widdowson M., Xu Y. Regional uplift associated with continental large igneous provinces: the role of mantle plumes and the lithosphere. *Chemical Geology*, 2007, vol. 241, pp. 282–318.
84. Sonder R.A. Die Lineament Tektonik und ihre Probleme. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 1938, vol. 31, no. 1, pp. 199–238.
85. Takeuchi A. Pacific swing: Cenozoic episodicity of tectonism and volcanism in Northeastern Japan. *Memoir of the Geological Society of China*, 1986, vol. 7, pp. 233–248.
86. Uyeda S. Subduction zone: facts, ideas and speculations. *Oceanus*, 1979, vol. 22, pp. 52–62.
87. Wadati K. On the activity of deep focus earthquakes in the Japan islands and neighbourhoods. *Geophysical Magazine*, 1935, vol. 8, pp. 305–325.
88. Wakita K. Accretionary tectonics in Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 1989, vol. 40, no. 5, pp. 251–253.
89. Xu Jiawei, Tong Weixing, Zhu Guang, Lin Shoufa, Ma Goufeng An outline of the pre-Jurassic tectonic framework of East Asia. *Journ. of Southeast Asian Earth Sci.*, 1989, vol. 3, no. 1–4, pp. 29–45.
90. Xu Jiawei, Zhu Guang, Tong Weixing et al. Formation and Evolution of Tancheng – Lujiang wrench fault system to the north-west of Pacific ocean. *Tectonophysics*, 1987, vol. 134, no. 1, pp. 273–310.

GEODYNAMICS AND HISTORY OF THE WESTERN PACIFIC MARGINAL SEAS FORMATION AS VORTEX STRUCTURES

L.A. Izosov, T.A. Emelyanova, Yu.I. Melnichenko, N.S. Lee

In the tectonic structure of the Earth, formed by rotational processes, a stable regmatic network (tectonic framework) and structures of the central type (ring, vortex, etc.) are of the main importance. Lithosphere plates are global vortex systems arisen as a result of the tectonic flow of masses in the state of a viscous fluid. Eddy structures are tectonic complexes in which the results of vertical and horizontal tectonic movements combination are captured and can be recorded by direct geological observations. In the Western Pacific Ocean, it is noteworthy a series of structures in the form of a system of marginal seas representing the Western Pacific continent-ocean transition zone. The tectonic evolution of the West Pacific region is the formation of lithosphere eddies series in the continent-ocean junction zone. It is associated with the Earth mantle and upper shells (tectonospheres) energy interaction, due to the unstable regime of the planet's rotational dynamics. Of particular interest are the global shear zones and eddies of the lithosphere formed as a result of horizontal and vertical tectonic movements combination. It is shown that: 1) all tectonic dislocations contain both horizontal and vertical components of the movement velocity, the former dominating in the structure formation of the region; 2) their interaction outcome is vortex and other nonlinear deformations of the lithosphere, which constitute the main type of structural elements of the region; 3) they are often accompanied by the tectonosphere magmatic activation in the form of convective movements and / or plumes "floating"; 4) the Western Pacific marginal-sea depressions are the funnels of convective cells, which formed lithosphere eddies under the conditions of a shift in the interacting lithosphere plates velocities.

Keywords: global vortex systems, rotational tectonics, ring structures, shear zones, tectonic mass flow, tectonic layering of the lithosphere.

Reference: Izosov L.A., Emelyanova T.A., Melnichenko Yu.I., Lee N.S. Geodynamics and history of the western Pacific marginal seas formation as vortex structures. *Regional'nye problemy*, 2023, vol. 26, no. 3, pp. 45–65. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2023-26-3-45-65.

Поступила в редакцию 16.02.2023

Принята к публикации 19.09.2023