

ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.24(265)

ОСОБЕННОСТИ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЗАПАДНО-ТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА: ФОРМИРОВАНИЕ ЛИТОСФЕРНЫХ ВИХРЕЙ

Л.А. Изосов¹, Ю.И. Мельниченко¹, В.И. Чупрынин², Н.С. Ли¹, Б.А. Казанский¹,
Т.А. Емельянова¹, В.В. Лепешко¹, Е.Б. Осипова¹

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
ул. Балтийская 43, г. Владивосток, 690041,
e-mail: donkifa@mail.ru

²Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041

На примере Западно-Тихоокеанского сегмента Земли рассматривается взаимосвязь вертикальных и горизонтальных тектонических движений – важнейшей и далеко не разрешённой в настоящее время проблемы геотектоники. Приводится обзор представлений о глобальной упорядоченности различных форм земной поверхности как конечного результата действия геодинамических сил. Авторские разработки касаются вопросов происхождения структур, связанных со взаимодействием и влиянием эндогенных сил на формирование регионального рельефа. Главным инструментом его изучения служили структурно-геоморфологические методы и линейно-ментный анализ. Установлено, что: 1) все тектонические дислокации содержат как горизонтальные, так и вертикальные компоненты скорости движения, причём первые господствуют в структурообразовании региона; 2) конечным результатом их взаимодействия служат вихревые и прочие нелинейные (кольцевые, спиральные, дуговые и т.п.) деформации литосферы, составляющие основной тип структурных элементов региона; 3) они часто сопровождаются магматической активизацией тектоносферы в форме конвективных движений и/или «всплывания» плюмов; 4) морские и океанические впадины Западной Пацифики представляют, в сущности, воронки конвективных ячеек, которые в условиях сдвига скоростей движения взаимодействующих геоблоков литосферы структурировались в форму тектоносферных вихрей. Предложена модель конвекции трехслойной тектоносферы, движение которой в поле силы тяжести обусловлено локальным разуплотнением и снижением вязкости кусочно-неоднородной среды. Изложенные представления позволяют рассматривать тектоническую эволюцию Западно-Тихоокеанского региона как формирование литосферного мегавихря в зоне сочленения континент – океан. Его развитие связывается с энергетическим взаимодействием мантии и верхних оболочек (тектоносфер) Земли, что обусловлено неустойчивым режимом ротационной динамики планеты.

Ключевые слова: зона перехода континент – океан, ротация Земли, разломы фундамента, рифты, литосферные вихри, кольцевые структуры.

Образец цитирования: Изосов Л.А., Мельниченко Ю.И., Чупрынин В.И., Ли Н.С., Казанский Б.А., Емельянова Т.А., Лепешко В.В., Осипова Е.Б. Особенности тектонической эволюции Западно-Тихоокеанского региона: формирование литосферных вихрей // Региональные проблемы. 2021. Т. 24, № 1. С. 10–25. DOI: 10.31433/2618-9593-2021-24-1-10-25.

Введение

Тектоническая эволюция Западно-Тихоокеанского региона – это формирование серии литосферных вихрей в зоне сочленения континент – океан (рис. 1). Оно связано с энергетическим взаимодействием мантии и верхних оболочек (тектоносфер) Земли, обусловленным неустойчи-

вым режимом ротационной динамики планеты. Особый интерес представляют глобальные сдвиговые зоны [42, 58] и вихри литосферы [27, 29, 39], сформировавшиеся в результате комбинации горизонтальных и вертикальных тектонических движений [13, 48]. Авторы рассмотрели заявленную проблему с широким привлечением материа-

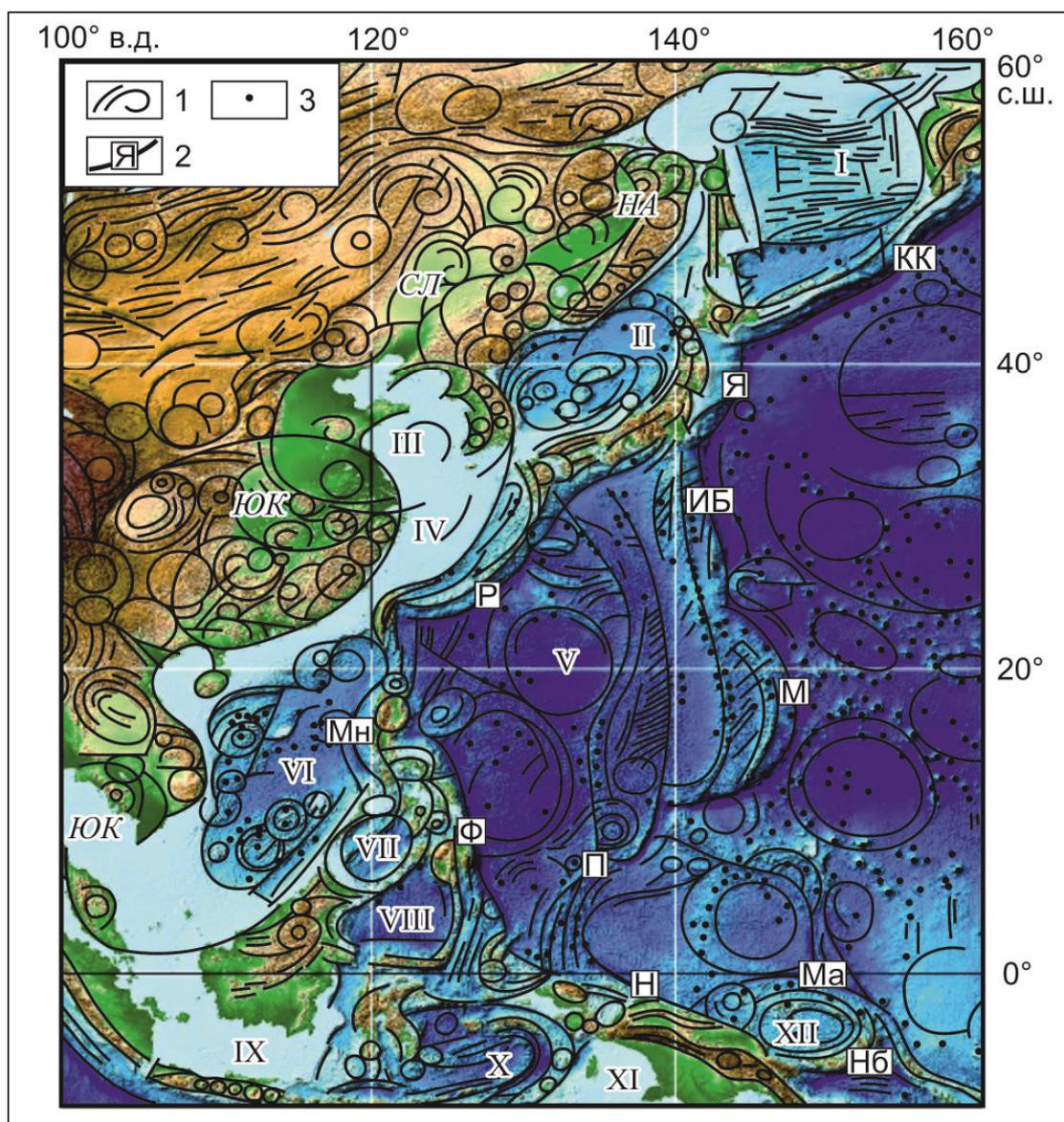


Рис. 1. Морфоструктурная схема западной части Тихого океана и его континентального обрамления ([14], с изменениями):

1 – линеаменты; 2 – глубоководные желоба: КК – Курило-Камчатский, Я – Японский, ИБ – Идзу-Бонинский, Р – Рюкю, М – Марианский, Мн – Манильский, Ф – Филиппинский, П – Палау, Н – Новогвинейский, Ма – Манус, Нб – Новобританский; 3 – предположительно кайнозойские базальтовые щитовидные вулканические постройки. Окраинные моря Тихого океана (цифры на схеме): I – Охотское, II – Японское, III – Желтое, IV – Восточно-Китайское, V – Филиппинское, VI – Южно-Китайское, VII – Сулу, VIII – Сулавеси (Целебесское), IX – Яванское, X – Банда, XI – Арафурское, XII – Новогвинейское (Бисмарка). Континентальные региональные вихревые морфоструктуры: НА – Нижнеамурская, СЛ – Сунляо, ЮК – Южно-Китайская

Fig. 1. The morphostructural scheme of the Western Pacific ocean and its continental frame (Izosov et al., 2018a; with changes):

1 – lineaments; 2 – deep-water troughs: KK – Kuril-Kamchatka, J – Japanese, IB – Izu-Bonin, R – Ryukyu, M – Mariana, Mn – Manila, F – Philippine, P – Palau, N – New Guinea, MA – Manus, NB – New British; 3 – presumably Cenozoic basalt shield volcanic constructions. The marginal seas of the Pacific ocean (numbers in the scheme): I – Okhotsk, II – Japanese, III – Yellow, IV – East China, V – Philippine, VI – South China, VII – Sulu, VIII – Sulawesi (Celebes), IX – Java, X – Banda, XI – Arafura, XII – New Guinea (Bismarck). Continental regional vortex morphostructures: ON – Nizhneamur, SL – Songliao, SC – South China

лов по довольно хорошо изученной Япономорской зоне перехода континент – океан [9, 12, 14, 16, 17].

Исключительно мантийными образованиями являются разломы фундамента и многочисленные кольцевые структуры, которые функционируют в течение длительных промежутков геологического времени и, как правило, не смещаются по сдвигам или смещаются на незначительные расстояния [12].

Структурами, в развитии которых наиболее тесно взаимодействуют вертикальные и горизонтальные тектонические движения, являются литосферные вихри. Поэтому установление и прослеживание связей между ними, даже самых слабых, является, на наш взгляд, одной из интереснейших задач геодинамики. Анализ именно этих соотношений служит главной целью настоящей статьи.

Состояние проблемы

Существующие представления о глобальной упорядоченности рельефа земной поверхности [22] исходят из понятия самоорганизации геологической системы. При этом расположение главных форм рельефа признаётся постоянным с древнейших геологических времён. Так, срединноокеанические хребты, островные дуги и другие крупные формы рельефа субмеридионального направления распределяются примерно через 90° [43, 50]. В то же время крупные кольцевые структуры, возникшие в нуклеарную стадию развития Земли [33] и имеющие глубокие корни, в пределах мощных докембрийских сооружений сохраняют устойчивое положение в течение длительного времени и перемещаются вместе с ними в этапы развития горизонтальных движений. Эти мантийные структуры при дальнейших всплесках тектономагматической активизации находят своё новое отражение в рельефе и ещё больше осложняют сложившийся морфоструктурный план. В связи с этим можно полагать, что упорядоченные формы рельефа не являются одноактными образованиями, а периодически возникали в течение всего геологического времени, нередко накладываясь друг на друга или перерабатывая уже существовавшие морфоструктуры.

При трактовке происхождения тех или иных структур следует, в первую очередь, учитывать фактор вращения Земли [3, 6, 15, 24, 44]. Именно ротационный режим, при котором главную роль играли тангенциальные напряжения, обусловил расположение сети планетарных разломов, закономерно ориентированных относительно меридианов [6, 44]. Так, ещё Г.Н. Каттерфельд (1962) связывал зависимость развития широтных и мери-

диональных дизъюнктивов с неравномерным гравитационным сжатием трёхосной фигуры Земли. В связи с притяжением Солнца и главным образом Луны при замедлении угловой скорости вращения Земли уменьшается полярное сжатие и в высоких широтах происходит поднятие литосферы, а в низких – её опускание. С вращением Земли связывают и появление крупномасштабных горизонтальных тектонических движений, которым также придаётся ведущее значение в геотектонике [46].

Согласно принципам тектонической слоенности литосферы [36, 41] её верхние оболочки имеют тенденцию смещаться относительно друг друга в условиях колебаний осевой скорости вращения. Проворотом тектоносфер относительно друг друга, в которые вовлекаются коровые и мантийные массы, и движениями по сублатеральным срывам могут быть обусловлены обстановки, благоприятные для крупномасштабного растяжения – сжатия и, как следствие, для проявления рифтогенных и коллизионных процессов. При столкновении их друг с другом в результате развития надвиговых и чешуйчатых деформаций образуются характерные хаотические аккреционные комплексы. Важную роль Ю.М. Пушаровский (1965) отводит дифференцированным горизонтальным перемещениям континентов, литопластин и отдельных блоков внутри континентов и океанского ложа.

С этих позиций сравнительно легко объясняется повсеместное проявление в их пределах вихревых дислокаций. Так, О.И. Слензак (1972) объяснял формирование вихревых структур вращением Земли и периодическим действием приливных волн, когда в литосфере возникают напряжения сдвига и кручения, стремящиеся повернуть каждый блок литосферы против часовой стрелки. Вращение планеты также вызывает мощные силы, формирующие турбулентные потоки литосферных масс глобального масштаба и подчинённые им локальные структуры того или иного иерархического уровня – комплексы литосферных циклонов и антициклонов, всасываний и нагнетаний вещественных масс [5, 27].

Следует подчеркнуть, что геологические процессы, происходящие на Земле, относятся к нелинейным [36, 47]. С позиций синергетики [31] это означает, что, когда в определённых пределах термодинамических параметров и состоянии непрерывного потока энергии происходит закономерно упорядоченная организация вещества в условиях, отдалённых от термодинамического равновесия, в неравновесных и критических ситу-

ациях возникают диссипативные (нестабильные) геологические системы. К типу таких неравно-весных глобальных систем относится литосфера, которая непрерывно обменивается веществом и энергией с другими оболочками Земли. Её структурообразование в результате развития сложных нелинейных процессов, имеющих, вероятно, и космические причины, идёт по пути возрастания неоднородностей [50], когда возникают новые, перерабатываются или захватываются прежние тектонические структуры.

Методика исследований

В этой работе внимание прежде всего концентрируется на формах геологических тел (геологических структурах), равно как и на их взаимоотношениях. Соответственно, решались следующие задачи: 1) выделение по морфологическим, литостратиграфическим, геофизическим признакам структурных единиц различного тектонического уровня; 2) определение их связей и соотношений и установление парагенетических комплексов; 3) анализ геодинамических обстановок развития нелинейных (вихревых) дислокаций и выяснение их роли в эволюции Западно-Тихоокеанского сегмента планеты. При этом вначале проводились морфоструктурные построения и осуществлялся линеаментный анализ земной поверхности, которые успешно применяются как при исследовании планетарной сети разломов и рельефа Земли [1, 11, 15, 21, 26], так и различных структур центрального типа [11, 13, 48].

Методический комплекс составили структурное дешифрирование космофотоснимков, топографических и батиметрических карт, а также интерпретация карт аномалий гравитационного и магнитного полей, данные сейсмотектоники, сейсмопрофилирования и геотермии, построение региональных схем линеаментов и разломов, в том числе сейсмоактивных [17]. Проводилась обработка данных спутниковой альтиметрии с построением схем цифрового рельефа земной поверхности [25]. Генерализация линеаментов, отражающих энергоструктуру континентальных районов, корректировалась с системой линеаментов морских впадин, выделенных по геоморфологическим и геофизическим признакам [16, 38].

Для реконструкции особенностей структурно-морфологической эволюции континентально-океанической зоны перехода осуществлялось механико-математическое моделирование тектоносферы региона [32, 55]. Она моделируется трехслойной кусочно-неоднородной средой, движение которой в естественном поле силы тяжести обу-

словлено действием локального разуплотнения, и отличается снижением вязкости.

Результаты исследований и обсуждения

Впадина Тихого океана с позиций морфологической тектоники рассматривается как кольцевая мегаструктура планетарного масштаба, испытывавшая в кайнозое знакопеременные вращательные движения [28, 57]. Естественно, при взаимодействии плиты Тихого океана с континентальной плитой наибольшие амплитуды сдвигов наблюдаются в зоне их сочленения – Тихоокеанском тектоническом поясе [36]. В западной части пояса выделяется Восточно-Евразийская глобальная сдвиговая система [42]. Восточная окраина Евразии является областью широкого развития аккреционной тектоники [51, 54], что связано с перемещением крупных тектонических масс в северном направлении. Их движение началось в позднем палеозое и завершилось в мезозое [53].

В целом тектоника данного региона определяется распадом Гондваны и аккрецией Азии. В результате этого процесса произошло столкновение двух литосферных плит – Евразийской и Тихоокеанской, а также их дробление на блоки и формирование структур, связанных с «косой субдукцией» [58]. Тектонические движения (горизонтальные и вертикальные) и сопутствующие им магматические проявления развивались в этой мобильной зоне по законам нелинейной геодинамики в условиях сложного сочетания деформаций растяжения и сжатия как во времени, так и в пространстве [25]. Через скрытые разломы фундамента происходило проникновение мантийного субстрата – астеносферный и нижнемантийный плюмовый апвеллинг [8]. Это способствовало формированию тектоносферных воронок (восходящих и нисходящих вихрей литосферы) и приуроченных к ним впадин окраинных морей [13, 48]. Во вращение вовлекались блоки литосферы, возникали литосферные вихри и кольцевые структуры [5, 13, 27, 39]. Литосферные вихри (литоциклоны и антилитоциклоны) являются именно теми образованиями, в которых естественным образом сочетаются и взаимодействуют вертикальные и горизонтальные тектонические движения.

Гигантская система энергетических вихрей литосферы намечена практически вдоль всей Западно-Тихоокеанской области сочленения континент – океан по впадинам окраинных морей [7]. Примечательно, что впадины, как правило, развиты на периферии гигантских морфоструктур центрального типа, определяющих современный тектонический план региона, и представляют

своеобразный тип упорядоченности рельефа с особым видом симметрии-антисимметрии, названной инь-ян-системами [18]. Эти образования рассматриваются как ячейки земной коры второго (после континентально-океанического) уровня иерархии и широко распространены за пределами Тихоокеанской окраины Евразии.

Морфотектоническая структура вихрей формировалась, вероятно, в процессе косога взаимодействия Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит, когда мощно проявились как горизонтальные, так и вертикальные движения тектонических масс [13, 48]. Конечным продуктом этих движений стали масштабные морфотектонические преобразования Западно-Тихоокеанского региона, которые привели в том числе к формированию впадин окраинных морей Евразии и Австралии (рис. 1).

Проведённые нами палинспатические исследования [52], основанные на палеомагнитных данных и палеобиогеографических реконструкциях [54, 56], показывают, что Япономорская зона перехода континент – океан до раскрытия Японского моря представляла собой область стыковки крупных докембрийских блоков раздробленной Китайской платформы. Они были разделены долгоживущими покровно-складчатými системами с широко развитыми позднемезозойскими хаотическими комплексами [40, 54].

Взаимосвязь и взаимодействие горизонтальных и вертикальных составляющих тектонических движений наиболее отчетливо проявились в развитии складчатости Япономорской зоны перехода континент – океан. В этом регионе, с одной стороны, наблюдаются элементы разломно-блоковой тектоники, связанной с трендом горизонтальных движений Амурской и Тихоокеанской плит (рис. 2). При этом в рельефе земной поверхности наблюдаются деформации, обусловленные вращательными движениями геоблоков. Так, впадина Японского моря с Японской островной дугой и частью прилегающей континентальной окраины составляют структуры Япономорского и Нижнеамурского циклонических литосферных вихрей (рис. 3). Их бинарную инь-ян-систему морфотектонических элементов земной коры отличает характерное соотношение гипсометрических уровней (верхний-нижний) [19]. Весьма примечательно, что имеющиеся палеомагнитные данные указывают на вращение отдельных Японских островов при раскрытии, в основном в миоцене Японского моря [56]. Вращательные движения в этом регионе, судя по наблюдениям за геодези-

ческими знаками, сохраняются и в голоцене [37]. Они могут быть обусловлены и ротационными силами Земли [3, 15].

Формирование морской впадины сопровождалось массовыми излияниями базальтов. Это объясняется внедрением масс мантийного вещества в верхние горизонты земной коры (диапиризм): например, раскрытие Японского моря, как и других морей Западно-Тихоокеанской переходной зоны, связывается с ростом корово-мантийного диапира [4].

Проведенное механико-математическое моделирование механизма вертикальных движений масс астеносферы тыловодужных бассейнов (расчет в безразмерных координатах) указывает на два возможных сценария: в режиме «купола» и в режиме «прогиба» [2, 32, 55].

В режиме «купола» движение масс тектоносферы происходит по схеме конвекции с восходящими потоками в разуплотненной области и нисходящими – у боковых границ конвективной ячейки (рис. 4, верхняя модель). Векторное поле распределения градиентов интенсивности напряжений характеризует взаимодействие среднего разуплотненного слоя с верхним вязко-жестким и нижним однородным слоями. На границах раздела слоев выражена тенденция к усилению поля напряжений, градиенты интенсивности достигают максимальных значений 486.406 МПа. Всплытие разуплотненного вещества вызывает поднятие верхнего слоя («штампованная» складчатость «жесткой» коры), а также восходящий поток вещества нижнего слоя. По распределению изолиний и градиентов в зоне максимального разуплотнения (центральная часть ячейки) наибольшее значение интенсивности напряжений наблюдается в среднем слое. В краевых частях конвективной ячейки происходит компенсационное оседание среды.

В режиме «прогиба» (при условии охлаждения в верхних горизонтах и изменения вязкости по глубине) разуплотненное вещество растекается под перекрывающим его более вязким верхним слоем, вызывая его утонение и проседание свободной верхней границы (рис. 4, нижняя модель). Распределение изолиний интенсивности напряжений моделирует тенденцию к проседанию границы и прилегающей части верхнего слоя. Выражена зона центрального погружения над областью максимального разуплотнения среднего слоя, который отвечает за перераспределение напряжений. Режим «прогиба» является естественным в поле силы тяжести и происходит быстрее в масштабах геологического времени.

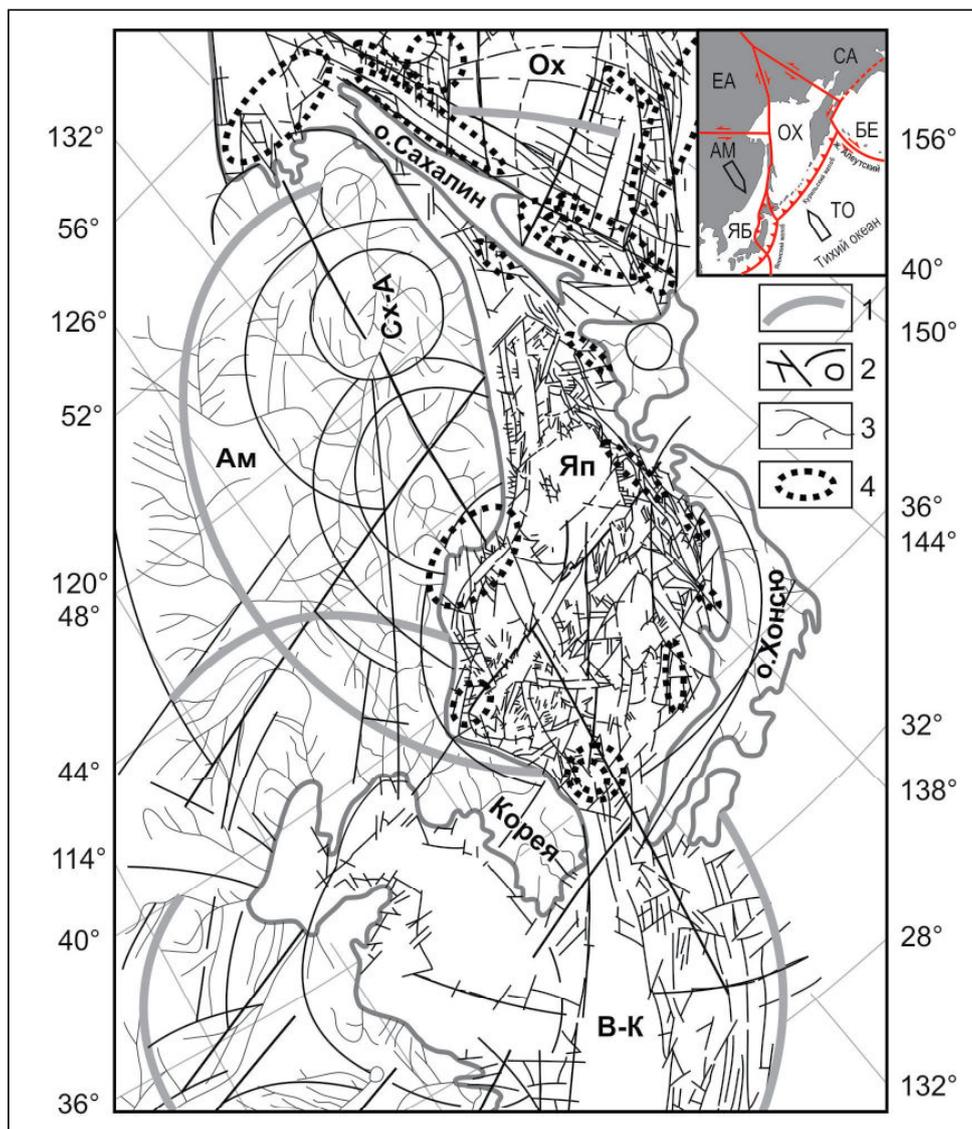


Рис. 2. Схема линейментов земной коры области Азиатско-Тихоокеанского сочленения континент – океан: Геоблоки (Красный, 1984):

Ам – Амурский, Яп – Японский, Ох – Охотский. Области мезо-кайнозойской складчатости континентально-островного обрамления Японского моря: Сихотэ-Алинь (Сх-А), Корейский п-ов (Корея), о. Хонсю, о. Сахалин. 1 – предполагаемые границы внешней сферы вихревых систем: Японо-Амурской и Восточно-Китаеморской; 2 – линейные и дуговые линейменты земной поверхности и фрагменты зон трансрегиональных разломов; 3 – фрагменты речной сети; 4 – участки газогеохимических аномалий, газогидратов и потоков метана. Вставка: границы плит Северо-Американской (СА), Евразийской (ЕА), Тихоокеанской (ТО) и геоблоков – Амурского (АМ), Берингоморского (БЕ), Охотского (ОХ), Японского (ЯР). Стрелками показан тренд движений Амурской и Тихоокеанской плит

Fig. 2. The scheme of lineaments of Earth crust of the Asia-Pacific continent-ocean junction: Geoblocks (Krasny, 1984):

Am – Amur, Jap – Japanese, Okh – Okhotsk. Areas of Mesozoic-Cenozoic folding of the continental island frame of the sea of Japan: Sikhote-Alin (Ckh-A), Korean Peninsula (Korea), Honshu island, Sakhalin island. 1 – the proposed boundaries of the outer sphere of vortex systems: the Japan-Amur and East China Sea; 2 – linear and arc lineaments of the Earth's surface and fragments of transregional fault zones; 3 – fragments of the river network; 4 – areas of gas-geochemical anomalies, gas hydrates and methane flows. Insert: boundaries of plates of North American (NA), Eurasian (EA), Pacific (PO) and geoblocks of Amur (AM), Bering Sea (BE), Okhotsk (OKH), Japan (JA). Arrows show the trend of movements of the Amur and Pacific plates

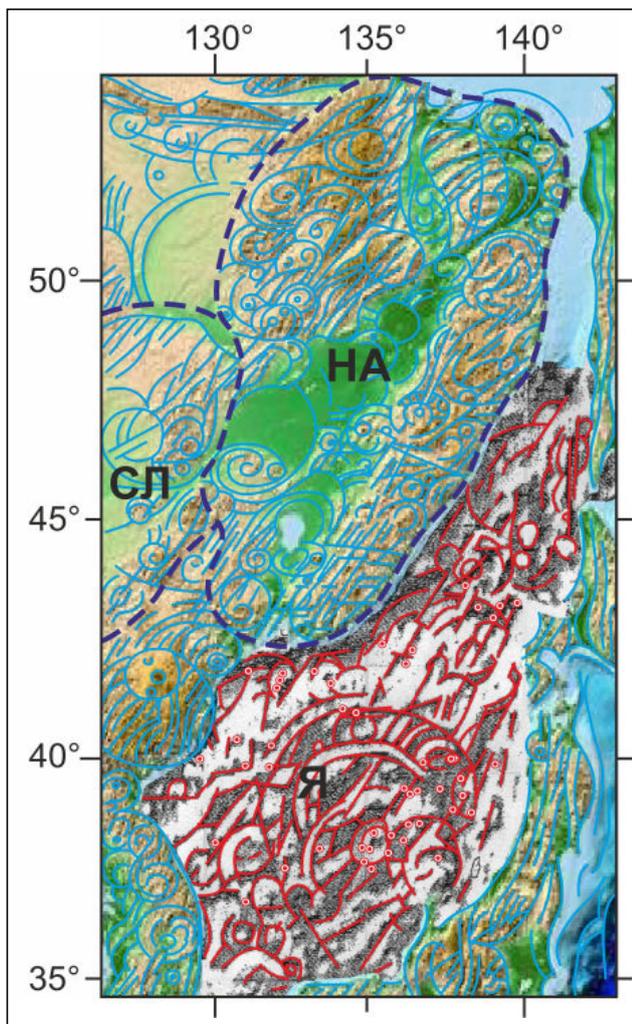


Рис. 3. Вихревые структуры Япономорского региона. Линиями отмечены резкие границы аномалий плотности земной коры. Точками выделены станции драгирования пород акустического фундамента. НА – Нижнеамурская вихревая структура, СЛ – впадина Сунляо, Я – впадина Японского моря

Fig. 3. The vortex structures of the Japan Sea region. Lines marked the sharp boundaries of anomalies of the density of the Earth's crust. Points are allocated stations of dredging of rocks of the acoustic basement. NA – Nizhneamur vortex structure, SL – the depression Songliao, J – basin of the Sea of Japan

Модель инверсии движения мантийной массы иллюстрирует динамическое воздействие восходящего потока вещества астеносферы на контактах материкового и океанического блоков литосферы. В обеих моделях наблюдаются явления адвекции масс вещества с периферии ячейки

в центральную область. Поднимающаяся магма расчленяет, сдвигает в стороны, поднимает и погружает континентальные блоки земной коры, формирует фундамент островной дуги. Появление котловин в тылу дуги с субокеаническим или океаническим типом земной коры является следствием остывания верхов мантии. Данные процессы осуществляются в условиях пульсации электромагнитных полей и ротационных движений Земли, на которые накладываются горизонтальные силы нелинейных взаимодействий коровых блоков. Все это создает эффект вихревого (спирального) движения масс литосферы.

Дискретность и неоднократность диапиризма, развитие трещин внедрения и разломов различной ориентировки и глубины создают условия для формирования разного рода вулканотектонических комплексов. Анализ морфологических особенностей дна, их корреляция с остаточными аномалиями гравитационного поля и аномалиями магнитного (ΔT_a) и термического полей и данных геологического опробования показывает резкое преобладание вулканоструктур в строении дна Японского моря. В совокупности они как бы «срезают» докайнозойские складчатые образования докембрийского фундамента (рис. 3). Лишенные гранитного слоя котловины характеризуются «субокеаническим» и новообразованным «океаническим» типом коры.

Вулканоструктуры котловин Японского моря в общих чертах характеризует структурно-территориальное распределение центров вулканической деятельности. Архитектоника впадины моря представлена гигантской депрессией центрального типа диаметром примерно 420 км. Тектоническим каркасом служат долгоживущие трансрегиональные глубинные разломы субширотного и субмеридионального направлений – части регматической сети Земли (рис. 2). По диагонали от о-ва Цусима до о-ва Сахалин впадину пересекает структурный шов (сутура), который составляет часть трансрегионального линеамента северо-восточного простирания. По морфологическим признакам он протягивается от Южно-Китайского моря до Пенжинского залива Охотского моря и рассматривается как реликт древней границы литосферы, разделяющей её на континентальную и океаническую части [19].

Основные морфологические элементы дна (котловины, возвышенности, линейные своды, отдельные горы и хребты) формируются разными в вещественном и возрастном отношениях вулканическими структурами (рис. 3). Это вулканические

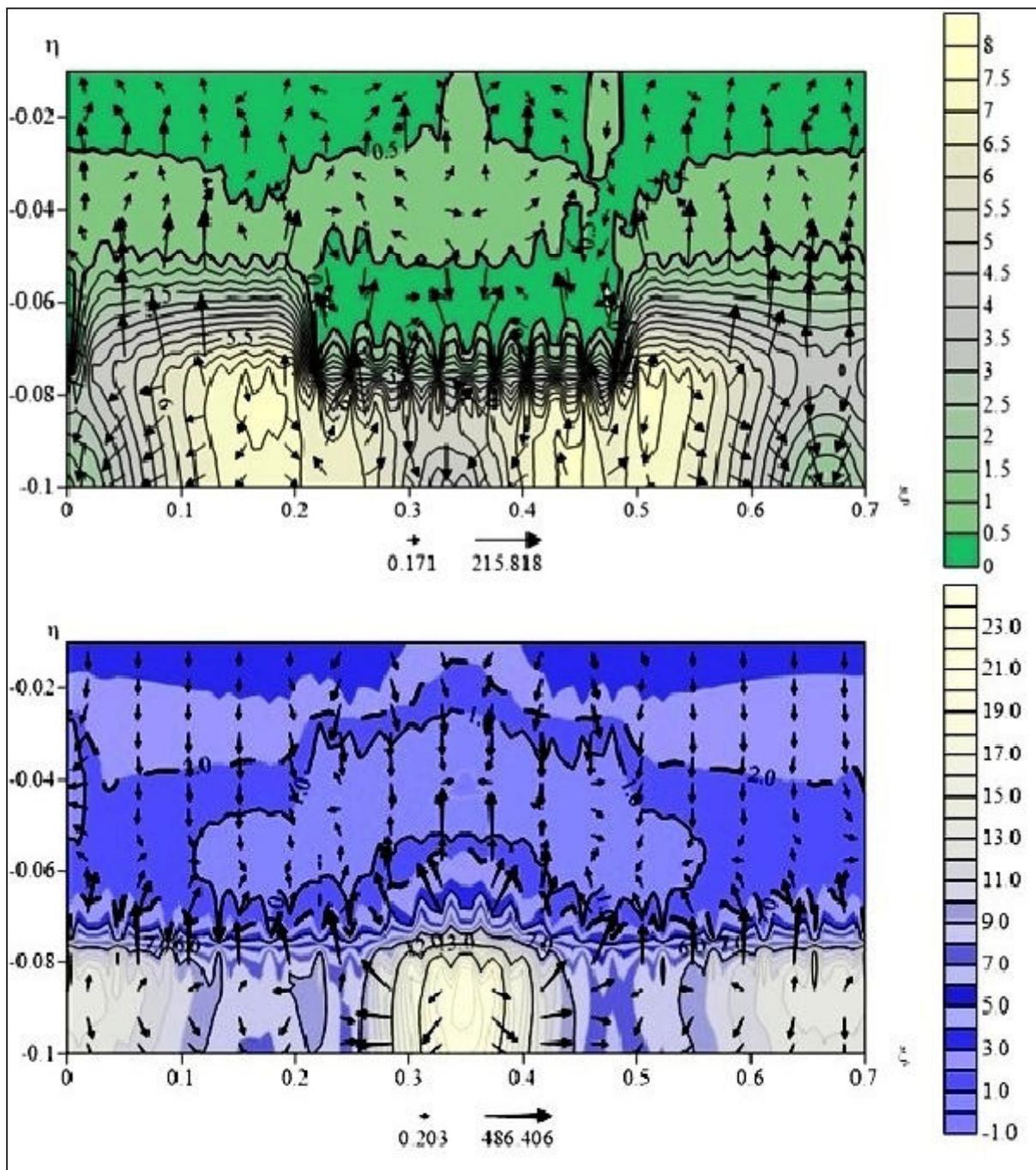


Рис. 4. Модель инверсии тектонического течения разуплотненного вещества тектоносферы Западно-Тихоокеанской зоны перехода в режимах «купола» (верхний график) и «прогиба» (нижний график) (по: [32, 55]):

численно-графический анализ выполнен в безразмерных координатах ξ и η для прямоугольной области с размерами горизонтали 3000 км ($0 \leq \xi \leq 0.7$ [0, 3000 км]) и вертикали 420 км ($-0.01 \leq \eta \leq 0.1$ [0, 420 км]). Начиная с верхней, заданные границы раздела слоев в безразмерных величинах равны: $\eta = -0.01$ (-42 км), $\eta = -0.025$ (-105 км), $\eta = -0.075$ (-315 км), $\eta = -0.1$ (-420 км). В режиме «купола» («подъем» вещественных масс) цветная легенда значений и контурный график изолиний интенсивности напряжений в интервале (0.0 МПа, 8.0 МПа), векторный график распределения градиентов интенсивности напряжений в интервале (0.171 МПа, 215.818 МПа). В режиме «прогиба» («погружение» масс) цветная легенда значений и контурный график изолиний интенсивности напряжений в интервале (-1.0 МПа, 23.0 МПа), векторный график распределения градиентов интенсивности напряжений в интервале (0.203 МПа, 486.406 МПа). Примечательно, что согласно моделированию в режиме «прогиба» продолжается подъем масс среднего слоя (η от -0.04 до -0.06) в центре конвекционной ячейки (ξ от 0.3 до 0.4)

Fig. 4. The model of the inversion of the tectonic flow of the decompressed material of the tectonosphere of the West Pacific transition zone in the «dome» (upper graph) and «trough» (lower graph) modes (after: [32, 55]):

numerical-graphical analysis was performed in dimensionless coordinates (ξ and η) for a rectangular area with horizontal dimensions of 3000 km ($0 \leq \xi \leq 0.7$ [0, 3000 km]) and vertical 420 km ($-0.01 \leq \eta \leq 0.1$ [0, 420 km]). Starting from the upper one, the specified interfaces of the layers in dimensionless quantities are: $\eta = -0.01$ (-42 km), $\eta = -0.025$ (-105 km), $\eta = -0.075$ (-315 km), $\eta = -0.1$ (-420 km). In the «dome» mode («rise» of material masses), a colored legend of values and a contour graph of stress intensity isolines in the interval (0.0 MPa, 8.0 MPa), a vector graph of the distribution of stress intensity gradients in the interval (0.171 MPa, 215.818 MPa). In the «deflection» mode («immersion» of masses), a colored legend of values and a contour graph of the stress intensity isolines in the interval (-1.0 MPa, 23.0 MPa), a vector graph of the distribution of stress intensity gradients in the interval (0.203 MPa, 486.406 MPa). It is noteworthy that, according to modeling in the «deflection» mode, the mass of the middle layer continues to rise (η from -0.04 to -0.06) in the center of the convection cell (ξ from 0.3 to 0.4)

конусы, грабены, вулканотектонические впадины и мелкие депрессии рифтов и локальных разломов. Они как бы «нанизаны» на регматическую сеть разломов Японского моря [4]. Выделяются локальные и групповые вулканические постройки, расположенные на разных гипсометрических уровнях (от 2000 до 800 м). Для них характерны такие элементы, как кратеры, кальдеры проседания, кольцевой вал, секторный грабен и пр. Наиболее крупные из вулканоструктур развивались в зонах трансрегиональных линеаментов и на их пересечениях. К ним относятся рифтовые котловины Японского моря, где в форме коротких хребтов, отдельных гор или поднятий также обособляются структуры вулканических построек. Вулканоструктуры часто накладываются на ранее сформировавшиеся вулканические комплексы, в том числе на фрагменты Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса.

Что касается впервые выявленного нами на основе линеаментного анализа Нижнеамурского литосферного вихря (рис. 3), то он чётко проявляется в рельефе. Во-первых, с востока он ограничен хребтом Сихотэ-Алинь северо-восточного простирания, который на севере и на юге разворачивается в широтном направлении. Во-вторых, на западе его границей служат дугообразные хребты Буреинский и Турана, обращённые выпуклостью на СЗ. В-третьих, центральная часть этой структуры представлена крупной мезо-кайнозойской межгорной впадиной. Судя по тому, что в строении Нижнеамурского вихря участвуют Западно- и Восточно-Сихотэ-Алинские вулканические пояса и одновозрастные с ними линейные вулканогенные зоны [10, 45], формирование этой структуры началось в позднем кембрии, а закончилось в кайнозое, когда в Япономорском регионе в процес-

се гималайского тектогенеза активно проявился базальтовый вулканизм и произошло раскрытие Японского моря [30]. Нижнеамурский вихрь в своём ЮЗ окончании сочленяется с известной нефтегазоносной впадиной Сунляо, что позволяет рассматривать его как возможно перспективную структуру в отношении углеводородного сырья [30, 34].

Развитие Япономорского и Нижнеамурского литоциклонов обусловлено, вероятно, функционированием глобального Индо-Тихоокеанского энергетического вихря, выделенного А.Н. Дмитриевским с соавторами (1993) на западной окраине Тихого океана. Формирование циклональных движений в литосфере вызывает подъем и радиальные тектонические течения вязких масс тектоносферы, что приводит к деформации и реструктуризации земной коры региона [11, 55]. По геологическим данным, они развивались в периоды: 1) поздний кембрий – кайнозой (Нижнеамурский вихрь) и 2) 30–23 млн лет, 16–13 млн лет (Япономорский вихрь). Последний этап, видимо, стал определяющим для формирования морфоструктуры морской впадины [23] на границе геоблоков Евразии (Амурского и Хуанхэ) и северо-западного геоблока Тихого океана (рис. 2).

Вероятно, «восходящие» тектоносферные воронки являются структурами растяжения – в них «засасываются» и выводятся на поверхность мантийные массы. В «нисходящих» воронках, напротив, происходит сжатие – скручивание и нагнетание корового вещества, которое транспортируется в нижние слои литосферы [32, 55]. При этом в первом случае развивается преимущественно основной магматизм, а во втором – кислый. Нередко тектоносферные воронки обоих типов образуют пары, в которых происходит цир-

куляция коро-мантийного вещества – своего рода конвективные ячейки.

Не исключено, что литосферные вихри контролируют алмазоносные кимберлитовые трубки. Об этом свидетельствуют данные Л. Шевалье (1997), который связывает образование вихревых структур с движениями турбулентных потоков мантийного вещества. С изложенных нами позиций этот факт может быть объяснён наличием сверхвысоких давлений в ядре тектоносферной воронки, находящейся на рубеже перехода от сжатия к растяжению. Их происхождение, вероятно, связано с образованием всплывающих «магматических пузырей» – плюмов, магматических колонн и т.п.

В Япономорской впадине нами выделена [14, 16] потенциально алмазоносная неоген-четвертичная щелочно-базальтоидная формация, включающая жерловые фации базальтоидов с глубинными ксенолитами гипербазитов. Эксплозивные тела щелочных базальтов входят в большое семейство нетрадиционных коренных проявлений алмазов. Проявление диапиризма при становлении данной структуры обуславливает формирование трубок взрыва и вынос из мантии по этим каналам алмазов, а вращательные движения – «затягивание» их в ослабленные подвижные вихревые зоны.

Заключение

Выбранное направление исследований по проблеме соотношения горизонтальных и вертикальных тектонических движений в целом, несомненно, является перспективным, поскольку позволяет исследовать фундаментальные вопросы геотектоники с новых позиций, что позволило авторам сделать следующие выводы.

1. Все тектонические дислокации содержат как горизонтальные, так и вертикальные компоненты скорости движения. 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.

2. Конечным результатом тектонической эволюции рассматриваемого региона служат вихревые и прочие нелинейные деформации литосферы. Они часто сопровождаются тектономагматической активизацией в форме конвективных потоков и/или «всплывания» плюмов, когда происходит энергетическое взаимодействие астенос-

ферной и нижней мантии с верхними оболочками Земли.

3. Крайинно-морские 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.

4. Главные причины тектонических движений: 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.

5. 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. К мегаструктурам кольцевого типа относится и сама впадина Тихого океана, ограниченная зонами кольцевых и дуговых глубинных разломов. Судя по характерному рисунку тектонических линий, эта мегаструктура несёт черты вихревых образований.

Изложенные представления позволяют рассматривать тектоническую эволюцию Западно-Тихоокеанского региона как формирование серии литосферных вихрей в зоне сочленения континент – океан, что обусловлено неустойчивым режимом ротационной динамики геосфер Земли.

Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований ТОИ ДВО РАН (№ 121021700342-9, 121021500055-0, 121021500053-6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин В.М. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. СПб.: Недра, 2006. 161 с.
2. Безверхний В.Л., Осипова Е.Б. О возможном механизме инверсии вертикальных движений литосферы тыловодужных бассейнов западно-тихоокеанского региона // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28, № 2. С. 27–35.
3. Берсенев И.И. Осевое вращение Земли как одна из причин геотектогенеза // Строение

- и развитие земной коры. М.: Наука, 1964. С. 194–200.
4. Берсенев И.И., Безверхний В.Л., Леликов Е.П. Строение и развитие дна Японского моря // Геодинамические исследования. № 11. М.: Межведомственный геофизический комитет АН СССР, 1988. С. 60–67.
 5. Вихри в геологических процессах / ред. А.В. Викулин. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского гос. пед. ун-та, 2004. 297 с.
 6. Воронов П.С. Роль ротационных сил Земли в истории становления структуры её литосферы // Эволюция геологических процессов в истории Земли. М.: Наука, 1993. С. 104–114.
 7. Дмитриевский А.Н., Володин И.А., Шипов Г.И. Энергоструктура Земли и геодинамика. М.: Наука, 1993. 154 с.
 8. Емельянова Т.А., Леликов Е.П. Вулканизм и происхождение Японского и Охотского морей как результат влияния Тихоокеанского суперплюма // ДАН. 2014. Т. 456, № 2. С. 181–183.
 9. Изосов Л.А. Палеотектонические и металлогенические реконструкции Япономорской зоны перехода континент – океан // Региональные проблемы. 2014. Т. 17, № 2. С. 13–21.
 10. Изосов Л.А., Коновалов Ю.И. Западно-Сихотэ-Алинский окраинно-континентальный вулканический пояс и его тектоническая позиция в Западно-Тихоокеанской зоне перехода континент – океан. Владивосток: Дальнаука, 2005. 315 с.
 11. Изосов Л.А., Ли Н.С. Линеаментный анализ при тектонических и металлогенических построениях в Япономорском регионе // Региональные проблемы. 2014. Т. 17, № 1. С. 9–14.
 12. Изосов Л.А., Рязанцева М.Д. Палеозойские магматические комплексы юга Ханкайского массива // Советская геология. 1977. № 2. С. 77–90.
 13. Изосов Л.А., Чупрынин В.И. О механизме формирования структур центрального типа Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент – океан // Геотектоника. 2012. № 3. С. 70–91.
 14. Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Ли Н.С. Проблемы алмазности Япономорской сейсмоактивной вихревой структуры // Вестник ДВО РАН. 2018. № 6. С. 43–51.
 15. Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Ли Н.С. Ротационные процессы в эволюции Тихого океана: асимметрия и переходные зоны Пацифики // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2018. № 2. С. 45–57.
 16. 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.
 17. Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Мельниченко Ю.И., Ли Н.С., Крамчанин К.Ю. Связь сейсмической активности с тектоническими и вулканоогенными структурами Япономорского звена Западно-Тихоокеанской мегазоны перехода континент – океан // Литосфера. 2014. № 6. С. 3–21.
 18. Казанский Б.А. Упорядоченность рельефа Тихоокеанской окраины Азии // Тихоокеанская геология. 1997. Т. 16, № 3. С. 29–33.
 19. Казанский Б.А. Ключевая роль Японского моря в системе дальневосточных морей // Геология Дальневосточных морей России и их обрамления: тез. докл. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2016. С. 35–37.
 20. Каттерфельд Г.Н. Лик Земли и его происхождение. М.: ГИГЛ, 1962. 152 с.
 21. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра, 1986. 144 с.
 22. Кинг Л. Морфология Земли. М.: Прогресс, 1967. 559 с.
 23. Красный Л.И. Глобальная система геоблоков. М.: Недра, 1984. 224 с.
 24. Куликов К.А. Вращение Земли. М.: Недра, 1985. 159 с.
 25. Лепешко В.В., Казанский Б.А., Мельниченко Ю.И. Парагенетическая интерпретация неотектоники азиатско-тихоокеанского сочленения // Физика геосфер: тр. девятого Всеросс. симпоз. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 326–329.
 26. 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.
 27. Ли Сы-гуан. Вихревые и другие проблемы, относящиеся к сочетанию геотектонических систем северо-западного Китая. М.: Гостеолтехиздат, 1958. 131 с.
 28. Маслов Л.А. Геодинамика литосферы Тихоокеанского подвижного пояса. Хабаровск; Владивосток: Дальнаука, 1996. 200 с.
 29. Мелекесцев И.В. Вихревая вулканическая гипотеза и некоторые перспективы её применения // Проблемы глубинного вулканизма. М.: Наука, 1979. С. 125–155.

30. Мельников Н.Г., Изосов Л.А. Кайнозойские тектонические покровы и перспективы угле-нефтегазоносности Приморья // Геотектоника. 1990. № 3. С. 80–87.
31. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512 с.
32. Осипова Е.Б. Моделирование процесса структурообразования в зонах дифференциации вещества тектоносферы // ГИАБ: Нефть и газ. М.: Горная книга, 2015. СВ 36. С.104–113.
33. Павловский Е.В. Ранние стадии развития земной коры // Известия АН СССР. Серия Геология. 1970. № 5. С. 23–39.
34. Перспективы нефтегазоносности Япономорской провинции / Г.Л. Кириллова, Л.А. Изосов, Е.П. Леликов и др. // Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: ГЕОС, 2002. С. 123–128.
35. Пушаровский Ю.М. Основные черты строения Тихоокеанского тектонического пояса // Геотектоника. 1965. № 6. С. 19–34.
36. Пушаровский Ю.М. О трёх парадигмах в геологии // Геотектоника. 1995. № 1. С. 4–11.
37. Рикитакэ Т. Геофизические и геологические данные о Японской островной дуге и её обрамлении // Краины континентов и островные дуги. М.: Мир, 1970. С. 217–236.
38. Сигова К.И. Линеаменты разломных деформаций Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода // Вопросы морфотектоники Западно-Тихоокеанской переходной зоны. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 88–107.
39. Слензак О.И. Вихревые структуры литосферы и структуры докембрия. Киев: Наук. думка, 1972. 183 с.
40. Смирнов А.М. Сочленение Китайской платформы с Тихоокеанским складчатым поясом. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 157 с.
41. Тектоническая расслоенность литосферы / ред. А.В. Пейве. М.: Наука, 1980. 215 с. (Тр. ГИН АН СССР; вып. 343).
42. Уткин В.П. Восточно-Азиатская глобальная сдвиговая система, вулканический пояс и окраинные моря // ДАН СССР. 1978. Т. 240, № 2. С. 400–403.
43. Уфимцев Г.Ф. Черты порядка в глобальном рельефе Земли // Тихоокеанская геология. 1988. № 4. С. 105–113.
44. Филатьев В.П. Механизм формирования зоны перехода между Азиатским континентом и северо-западной Пацификой (с позиций ротационной тектоники). Владивосток: Дальнаука, 2005. 273 с.
45. Фремд Г.М. Орогенный вулканизм Южно-Джунгарского и Восточно-Сихотэ-Алинского поясов. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1972. 471 с.
46. Фундаментальные проблемы общей тектоники / отв. ред. Ю.М. Пушаровский. М.: Научный мир, 2001. 520 с.
47. Чупрынин В.И. Нелинейные явления в геосистемах. М.: Наука, 2008. 197 с.
48. Чупрынин В.И., Изосов Л.А. Модель формирования краевых морей Западной части Тихого океана // ДАН. 2017. Т. 472, № 1. С. 68–71.
49. Шевалье Л. Распределение и тектоника меловых кимберлитов Южной Африки: приложение для динамики мантии // Геология и геофизика. 1997. Т. 38, № 1. С. 477–485.
50. Шолпо В.Н. Структура Земли: упорядоченность или беспорядок? М.: Наука, 1986. 160 с.
51. 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.
52. Izosov L.A. Paleotectonics and paleometallogeny of Japan Sea continent – ocean Transitional zone // Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of the Active Continental Margins. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 105–107.
53. Klimets M.P. Speculations the Mesozoic plate tectonic evolution of Eastern China // Tectonics. 1983. Vol. 2, N 2. P. 139–166.
54. Kojima S. Mesozoic Terrane accretion in North-East China, Sikhote-Alin and Japan regions // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1989. N 69. P. 213–232.
55. Osipova E.B., Melnichenko Yu. I, S'edin V.T. Volcanotectonic Deformations and Japan Sea Basin Geodynamics // The 5th PEACE International Ocean Workshop. Sept. 11–12 2010. Gangneung. Korea: Gangneung-Wonju National University, 2010. P. 227–234.
56. Otofujii Y., Matsuda T. Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan // Earth. Planet. Sci. Lett. 1983. Vol. 62, N 3. P. 349–359.
57. Takeuchi A. Pacific swing: Cenozoic episodicity of tectonism and volcanism in Northeastern Japan // Memoir of the Geol. Soc. of China. 1986. N 7. P. 233–248.
58. Xu Jiawei, Tong Weixing, Zhu Guang, Lin Shoufa, Ma Goufeng. An outline of the pre-Jurassic tectonic framework of East Asia // Journal of Southeast Asian Earth Sciences. 1989. Vol. 3, N 1–4. P. 29–45.

REFERENCES

1. Anokhin V.M. *Global'naya diz'yunktivnaya set' Zemli: stroenie, proiskhozhdenie i geologicheskoe znachenie* (The Earth's Global disjunctive Network: structure, origin and geological significance). Saint-Petersburg: Nedra Publ., 2006. 161 p. (In Russ.).
2. Bezverkhny V.L., Osipova E.B. A possible mechanism of inversion of lithosphere vertical movements within back-arc basins of the West Pacific region. *Tikhookeanskaya geologiya*, 2009, vol. 28, no. 2, pp. 27–35. (In Russ.).
3. 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.).
4. Bersenev I.I., Bezverkhny V.L., Lelikov E.P. Structure and development of the bottom of the Sea of Japan, in *Geodinamicheskie issledovaniya* (Geodynamic studies), no. 11. Moscow: Interdepartmental Geophysical Committee of the USSR Academy of Sciences, 1988, pp. 60–67. (In Russ.).
5. *Vikhri v geologicheskikh protsessakh* (Vortices in geological processes). Vikulin A.V., Ed. Petropavlovsk-kamchatsky: KamGPU, 2004. 297 p. (In Russ.).
6. Voronov P.S. The role of the Earth's rotational forces in the history of the formation of the structure of its lithosphere, in *Evolutsiya geologicheskikh protsessov v istorii Zemli* (Evolution of geological processes in the history of the Earth). Moscow: Nauka Publ., 1993, pp. 104–114. (In Russ.).
7. Dmitrievsky A.N., Volodin I.A., Shipov G.I. *Energostruktura Zemli i geodinamika* (The Earth's Energy Structure and Geodynamics). Moscow: Nauka Publ., 1993. 154 p. (In Russ.).
8. Emel'yanova T.A., Lelikov E.P. Volcanism and the Origin of the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk as A Response to Development of the Pacific Superplume. *Doklady akademii nauk*, 2014, vol. 456, no. 2, pp. 181–183. (In Russ.).
9. Izosov L.A. Paleotectonic and metallogenic reconstructions of the Japan Sea Section of the West-Pacific Continent-Ocean transitional zone. *Regional'nye problemy*, 2014, no. 2, pp. 13–21. (In Russ.).
10. Izosov L.A., Konovalov Yu.I. *Zapadno-Sikhote-Alinskii okrainno-kontinental'nyi vulkanicheskii poiyas i ego tektonicheskaya pozitsiya v Zapadno-Tikhookeanskoi zone perekhoda kontinent – okean* (The Western Sikhote-Alin marginal continental volcanic belt and its tectonic position in the Western Pacific continent-Ocean transition Zone). Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2005. 315 p. (In Russ.).
11. Izosov L.A., Lee N.S. Lineament analysis in tectonic and metallogenic investigations in The Sea of Japan Region. *Regional'nye problemy*, 2014, vol. 17, no. 1, pp. 9–14. (In Russ.).
12. Izosov L.A., Ryazantseva M.D. Paleozoic magmatic complexes in the south of the Khankai massif. *Sovetskaya geologiya*, 1977, no. 2, pp. 77–90. (In Russ.).
13. Izosov L.A., Chuprynin V.I. Formation mechanism of Central-Type structures in the West Pacific Continent-Ocean transition zone. *Geotektonika*, 2012, no. 3, pp. 70–91. (In Russ.).
14. Izosov L.A., Chuprynin V.I., Lee N.S. The problems of diamond potential of the Sea of Japan seismically active vortex structure. *Vestnik DVO RAN*, 2018, no. 6, pp. 43–51. (In Russ.).
15. Izosov L.A., Chuprynin V.I., Lee N.S. Rotational processes in the evolution of the Pacific Ocean: asymmetry and transition zones of the Pacific. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*, 2018, no. 2, pp. 45–57. (In Russ.).
16. Izosov L.A., Chuprynin V.I., Melnichenko 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.).
17. Izosov L.A., Chuprynin V.I., Melnichenko Yu.I., Lee N.S., Kramchanin K.Yu., Ogorodny A.A. Geological, geomorphological and geophysical factors of control Japan Sea Link seismic active zones in the West-Pacific continent–ocean transitional megazone. *Litosfera*, 2014, no. 6, pp. 3–21. (In Russ.).
18. Kazansky B.A. Relief regularity of the Pacific margin of Asia. *Tikhookeanskaya geologiya*, 1997, vol. 16, no. 3, pp. 29–33. (In Russ.).
19. Kazansky B.A. The key role of the Sea of Japan in the system of the Far Eastern seas, in *Geologiya Dal'nevostochnykh morei Rossii i ikh obramleniya: tez dokl.* (Geology of the Russian Far Eastern Seas and their framing). Vladivostok: POI FEB RAS, 2016, pp. 35–37. (In Russ.).
20. Katterfel'd G.N. *Lik Zemli i ego proiskhozhdenie* (The Face of the Earth and its origin). Moscow: GIGL Publ., 1962. 152 p. (In Russ.).
21. Kats Ya.G., Poletaev A.I., Rumyantseva E.F. *Osnovy lineamentnoi tektoniki* (Fundamentals of lineament tectonics). Moscow: Nedra Publ., 1986. 144 p. (In Russ.).

22. King L. *Morfologiya Zemli* (Earth Morphology). Moscow: Progress Publ., 1967. 559 p. (In Russ.).
23. Krasnyi L.I. *Global'naya sistema geoblokov* (Global geoblock system). Moscow: Nedra Publ., 1984. 224 p. (In Russ.).
24. Kulikov K.A. *Vrashchenie Zemli* (Earth's Rotation). Moscow: Nedra Publ., 1985. 159 p. (In Russ.).
25. Lepeshko V.V., Kazansky B.A., Melnichenko Yu.I. Paragenetic interpretation of the neotectonics of the Asia-Pacific junction, in *Fizika geosfer*: tr. devyatogo Vseross. simpoz. (Physics of geospheres). Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2015, pp. 326–329. (In Russ.).
26. Lee N.S. On Interdependence Between Earthquakes and the Japan Sea Section of the West-Pacific Continent-Ocean transitional zone. *Regional'nye problemy*. 2013, vol. 16, no. 2, pp. 25–29. (In Russ.).
27. 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 Northwest China). Moscow: Gosgeoltekhizdat Publ., 1958. 131 p. (In Russ.).
28. Maslov L.A. *Geodinamika litosfery Tikhookeanskogo podvizhnogo poyasa* (Geodynamics of the Pacific Mobile Belt lithosphere). Khabarovsk; Vladivostok: Dal'nauka Publ., 1996. 200 p. (In Russ.).
29. Melekestsev I.V. The vortex volcanic hypothesis and some prospects for its application, in *Problemy glubinnogo vulkanizma* (Problems of deep volcanism). Moscow: Nauka Publ., 1979, pp. 125–155. (In Russ.).
30. Melnikov N.G., Izosov L.A. Cenozoic tectonic covers and prospects of coal-and-oil-and-gas potential of Primorye. *Geotektonika*, 1990, no. 3, pp. 80–87. (In Russ.).
31. Nikolis G., Prigozhin I. *Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemakh* (Self-organization in non-equilibrium systems). Moscow: Mir Publ., 1979. 512 p. (In Russ.).
32. Osipova E.B. Modeling the process of structure formation in the zones of differentiation of the tectonosphere matter, in *GIAB: Neft' i gaz* (GIAB: Oil and Gas). Moscow: Gornaya kniga Publ., 2015, no. 36, pp. 104–113. (In Russ.).
33. Pavlovskii 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.).
34. Prospects for the oil and gas potential of the Japan Sea province. G.L. Kirillova, L.A. Izosov, E.P. Lelikov i dr. in *Geologiya i poleznye iskopayemye shel'fov Rossii* (Geology and mineral resources of the Russian shelf areas). Moscow: GEOS Publ., 2002, pp. 123–128. (In Russ.).
35. Pushcharovskii Yu.M. The main features of the structure of the Pacific tectonic belt. *Geotektonika*, 1965, no. 6, pp. 19–34. (In Russ.).
36. Pushcharovskii Yu.M. Three paradigms in geology. *Geotektonika*, 1995, no. 1, pp. 4–11. (In Russ.).
37. Rikitake T. Geophysical and Geological Data on the Japanese Island Arc and Its Framing, in *Okrainy kontinentov i ostrovnnye dugi* (Outskirts of continents and island arcs). Moscow: Mir Publ., 1970, pp. 217–236. (In Russ.).
38. Sigova K.I. Lineamenty razlomnykh deformacij Aziatsko-Tihookeanskoj zony perekhoda, in *Voprosy morfotektoniki Zapadno-Tihookeanskoj perekhodnoi zony* (Questions of morphotectonics of the West Pacific transition zone). Vladivostok: Dal'nauka Publ., 1999, pp. 88–107. (In Russ.).
39. 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.).
40. Smirnov A.M. *Sochlenenie Kitaiskoj platformy s Tikhookeanskim skladchatym poyasom* (Articulation of the Chinese platform with the Pacific Fold Belt). Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1963. 157 p. (In Russ.).
41. *Tektonicheskaya rassloennost' litosfery* (Tectonic stratification of the lithosphere). Peive A.V., Ed. Moscow: Nauka Publ., 1980. 215 p. (Tr. GIN AN SSSR; no. 343). (In Russ.).
42. Utkin V.P. East Asian Global Shear System, volcanic belt, and marginal seas. *DAN SSSR*, 1978, vol. 240, no. 2, pp. 400–403. (In Russ.).
43. Ufimtsev G.F. Features of order in the Earth's global relief. *Tikhookeanskaya geologiya*, 1988, no. 4, pp. 105–113. (In Russ.).
44. Filat'ev V.P. *Mekhanizm formirovaniya zony perekhoda mezhdu Aziatskim kontinentom i severo-zapadnoi Patsifikoi (s pozitsii rotatsionnoi tektoniki)* (The Mechanism of Forming the Transitional zone between the asian continent and North-West Pacific (from the perspective of rotational tectonics)). Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2005. 273 p. (In Russ.).
45. Fremd G.M. *Orogennyi vulkanizm Yuzhno-Dzhungarskogo i Vostochno-Sikhote-Alinskogo poyasov* (Orogenic volcanism of the South-Dzungarian and East-Sikhote-Alin belts). Tomsk: TSU, 1972. 471 p. (In Russ.).

46. *Fundamental'nye problemy obshchei tektoniki* (Fundamental problems of general tectonic). Pushcharovskii Yu.M., Ed. Moscow: Nauchnyi mir Publ., 2001. 520 p. (In Russ.).
47. Chuprynin V.I. *Nelineinye yavleniya v geosistemakh* (Nonlinear phenomena in geosystems). Moscow: Nauka Publ, 2008. 197 p. (In Russ.).
48. Chuprynin V.I., Izosov L.A. Model of the formation of Marginal Seas in the Western Pacific ocean. *DAN*, 2017, vol. 472, no. 1, pp. 68–71. (In Russ.).
49. Sheval'e L. Distribution and tectonics of the Cretaceous kimberlites of South Africa: an application for mantle dynamics. *Geologiya i geofizika*, 1997, vol. 38, no. 1, pp. 477–485. (In Russ.).
50. Sholpo V.N. *Struktura Zemli: uporyadochennost' ili besporyadok?* (The structure of the Earth: order or disorder?). Moscow: Nauka Publ., 1986. 160 p. (In Russ.).
51. 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.
52. Izosov L.A. Paleotectonics and paleometallogeny of Japan Sea continent – ocean Transitional zone, in *Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of the Active Continental Margins*. Vladivostok: Dalnauka Publ., 2004, pp. 105–107.
53. Klimets M.P. Speculations the Mesozoic plate tectonic evolution of Eastern China. *Tectonics*, 1983, vol. 2, no. 2, pp. 139–166.
54. Kojima S. Mesozoic Terrane accretion in North-East China, Sikhote-Alin and Japan regions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1989, no. 69, pp. 213–232.
55. Osipova E.B., Melnichenko Yu. I., S'edin V.T. Volcanotectonic Deformations and Japan Sea Basin Geodynamics, in *The 5th PEACE International Ocean Workshop*. Sept. 11–12 2010. Gangneung. Korea: Gangneung-Wonju National University, 2010, pp. 227–234.
56. Otofujii Y., Matsuda T. Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. *Earth. Planet. Sci. Lett*, 1983, vol. 62, no. 3, pp. 349–359.
57. Takeuchi A. Pacific swing: Cenozoic episodicity of tectonism and volcanism in Northeastern Japan. *Memoir of the Geol. Soc. of China*, 1986, no. 7, pp. 233–248.
58. Xu Jiawei, Tong Weixing, Zhu Guang, Lin Shoufa, Ma Goufeng. An outline of the pre-Jurassic tectonic framework of East Asia. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1989, vol. 3, no. 1–4, pp. 29–45.

TECTONIC EVOLUTION OF THE WEST-PACIFIC REGION: FORMATION OF LITHOSPHERIC VORTEXES

L.A. Izosov, Yu.I. Melnichenko, V.I. Chuprynin, N.S. Lee, B.A. Kasanskiy,
T.A. Emelyanova, V.V. Lepeshko, E.B. Osipova

Using the example of the West Pacific Segment of the Earth, the interrelation of vertical and horizontal tectonic movements is considered – the most important and far from being solved at present problem of geotectonics. An overview of the concept of the global ordering of various forms of the earth's surface as an end result of the action of geodynamic forces is given. The author's developments concern the issues of the origin of structures associated with the interaction and influence of endogenous forces on the formation of a regional relief. The main tools for its study were structural-geomorphological methods and lineament analysis. It has been established that: 1) all tectonic dislocations contain both horizontal and vertical components of the velocity of movement, and the former dominate in the structure formation of the region; 2) the end result of their interaction is vortex and other nonlinear (ring, spiral, arc, etc.) deformations of the lithosphere, which constitute the main type of structural elements of the region; 3) they are often accompanied by magmatic activation of the tectonosphere in the form of convective movements and / or «floating» of plumes; 4) the sea and oceanic depressions of the Western Pacific are, in essence, funnels of convective cells, which, under the conditions of shear velocities of the movement of interacting geoblocks of the lithosphere, were structured into the form of tectonospheric eddies. A model of convection of a three-layer tectonosphere is proposed, the movement of which in the gravity field is caused by local decompaction and a decrease in the viscosity of a piecewise inhomogeneous medium. The outlined concepts allow us to consider the tectonic evolution of the West Pacific region as the formation of a lithospheric mega-vortex in the continent-ocean junction zone. Its development is associated with the energy interaction of the mantle and the upper shells (tectonospheres) of the Earth, which is due to the unstable regime of the planet's rotational dynamics.

Keywords: continent – ocean transition zone, the Earth rotation, faults of basement, rifts, lithospheric vortexes, ring structures.

Reference: Izosov L.A., Melnichenko Yu.I., Chuprynin V.I., Lee N.S., Kasanskiy B.A., Emelyanova T.A., Lepeshko V.V., Osipova E.B. Tectonic evolution of the West-Pacific region: formation of lithospheric vortexes. *Regional'nye problemy*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 10–25. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2021-24-1-10-25.