

Вопросы глобальной тектоники

©2022 Л. А. Изосов[✉], Т. А. Емельянова, Н. С. Ли, Ю. И. Мельниченко

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
ул. Балтийская, 43, 690041, Владивосток, Российская Федерация;*

Аннотация

Введение: Глобальная тектоника Земного шара, сформированная ротационными процессами, определяется существованием устойчивой регматической сети (тектонического каркаса) и структур центрального типа (кольцевых и вихревых). Литосферные плиты являются глобальными вихревыми системами, возникшими в результате тектонического течения масс. Вихревые структуры представляют собой тектонические комплексы, в которых запечатлены результаты сочетания вертикальных и горизонтальных тектонических движений и которые могут быть зафиксированы прямыми геологическими наблюдениями.

Методика: Целью исследований является получение общей картины глобальной геодинамики с применением линеamentного анализа, использованием фундаментальных источников и оригинальных разработок авторов.

Результаты и обсуждение: Вихревые структуры – основной тип тектонических элементов Земли, ключ к пониманию ее геологической эволюции. Они начали формироваться в нуклеарную стадию развития планеты. При смещении верхних оболочек Земли относительно друг друга в них остаются «отпечатки» существовавших ранее глубинных структур (кольцевых, вихревых, разломных). Кольцевые, вихревые структуры отличаются высокой проницаемостью и часто являются магмоконтролирующими и рудоносными. Намечается парагенетическая связь между вихревыми и кольцевыми структурами. К мегаструктурам вихревого типа относится впадина Тихого океана. Возможно, кольцевые структуры могут представлять собой конечный этап развития тектонического вихря, когда его ветви («рукава») присоединились к ядру. Литосферными вихрями являются также Западно-Тихоокеанские окраинные моря, которые сформировались в результате тектонического взаимодействия Евроазиатской и Тихоокеанской литосферных плит из-за сдвига скорости.

Выводы: Изложенные представления позволяют по-новому рассматривать тектоническую эволюцию Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент–океан – как литосферную вихревую мегаструктуру.

Ключевые слова: регматическая сеть, вихревые системы, ротационная тектоника, кольцевые структуры, сдвиговые зоны.

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

Для цитирования: Изосов Л.А., Емельянова Т.А., Ли Н.С., Мельниченко Ю.И. Вопросы глобальной тектоники // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2022. № 4. С. 4–19. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/4/4-19>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Изосов Леонид Александрович, e-mail: donkifa@mail.ru

Введение

В статье анализируется фундаментальная научная проблема, охватывающая основные вопросы глобальной тектоники. На Земном шаре существуют: 1) устойчивая регматическая сеть [1, 2 и др.] – глобальный тектонический каркас (рис. 1, 2) и 2) многочисленные структуры центрального типа, в том числе кольцевые и вихревые [3–8 и др.] (рис. 3, 4).

Цель работы заключается в осмыслении взаимосвязей главных геотектонических процессов в получении общей картины глобальной геодинамики с применением линементного анализа, а также в обобщении материалов многочисленных исследований и оригинальных разработок авторов

настоящей статьи.

Следует подчеркнуть, что геологические процессы, происходящие на Земле, относятся к нелинейным [12, 13 и др.]. С позиций синергетики [14] это означает, что когда в определенных пределах термодинамических параметров и состоянии непрерывного потока энергии происходит закономерно упорядоченная организация вещества в условиях, отдаленных от термодинамического равновесия, в неравновесных и критических ситуациях возникают диссипативные (нестабильные) геологические системы. К типу таких неравновесных глобальных систем относится литосфера, которая непрерывно обменивается веществом и энергией с другими оболочками Земли.

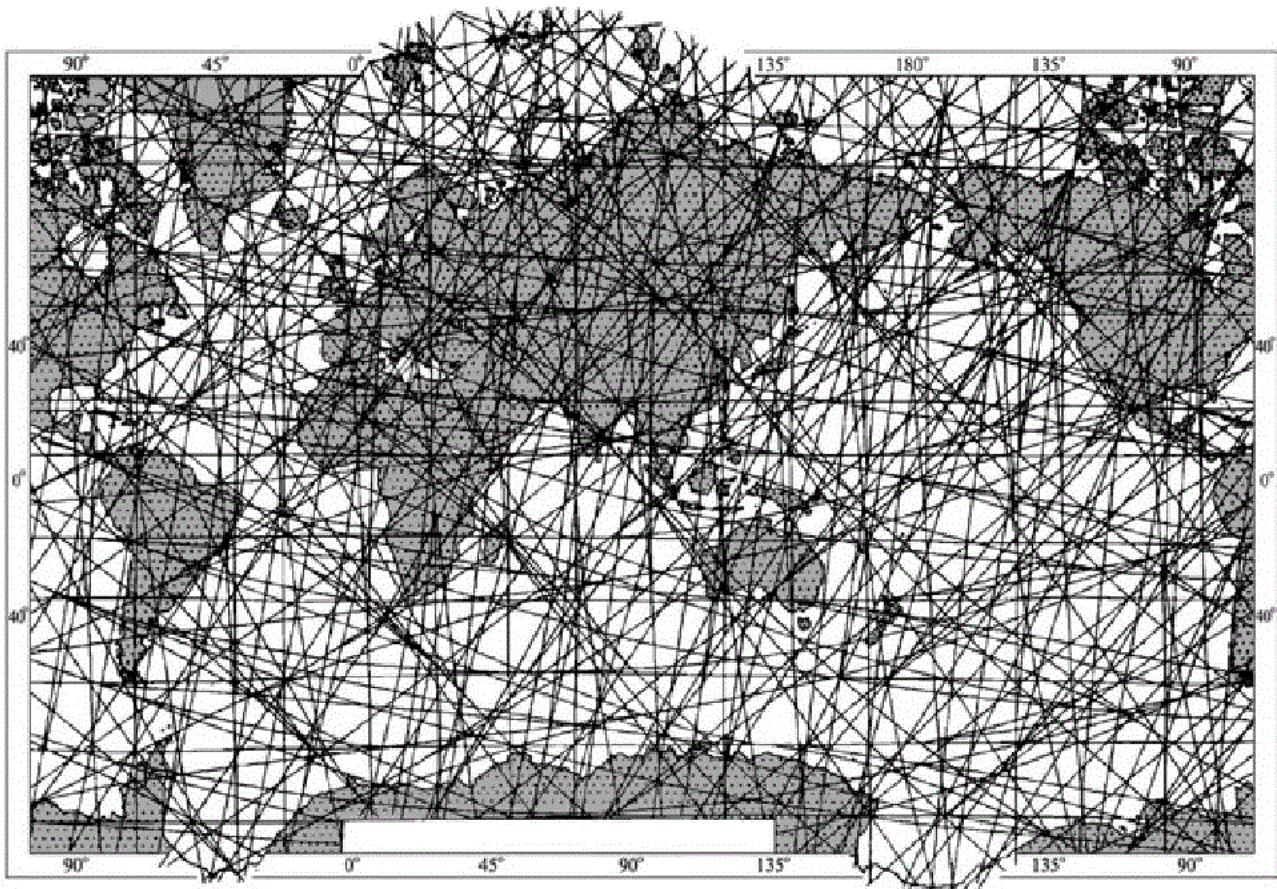


Рис. 1. Карта каркаса планетарной трещиноватости [9].
[Fig. 1. Map of the planetary fracturing frame [9].]

Методика

Объектом настоящих исследований является перечисленный выше комплекс тектонических структур, сформировавшихся в результате глобальной геодинамики, среди которых видное место занимают вихревые образования. В последние годы они 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 линементного анализа [2, 15 и др.], который на совре-

менном научном уровне представляет собой комплекс геоморфологических, геологических, геофизических и других методов геологического картирования. При его проведении используются: 1) материалы космических исследований; 2) топографические и батиметрические карты; 3) карты геологического и геофизического содержания.

Основными являются методы морфоструктурных построений, которые успешно применяются при исследовании как планетарной сети разломов и рельефа земной поверхности [16, 17, 2, 1], так и различных структур центрального типа [7, 8].

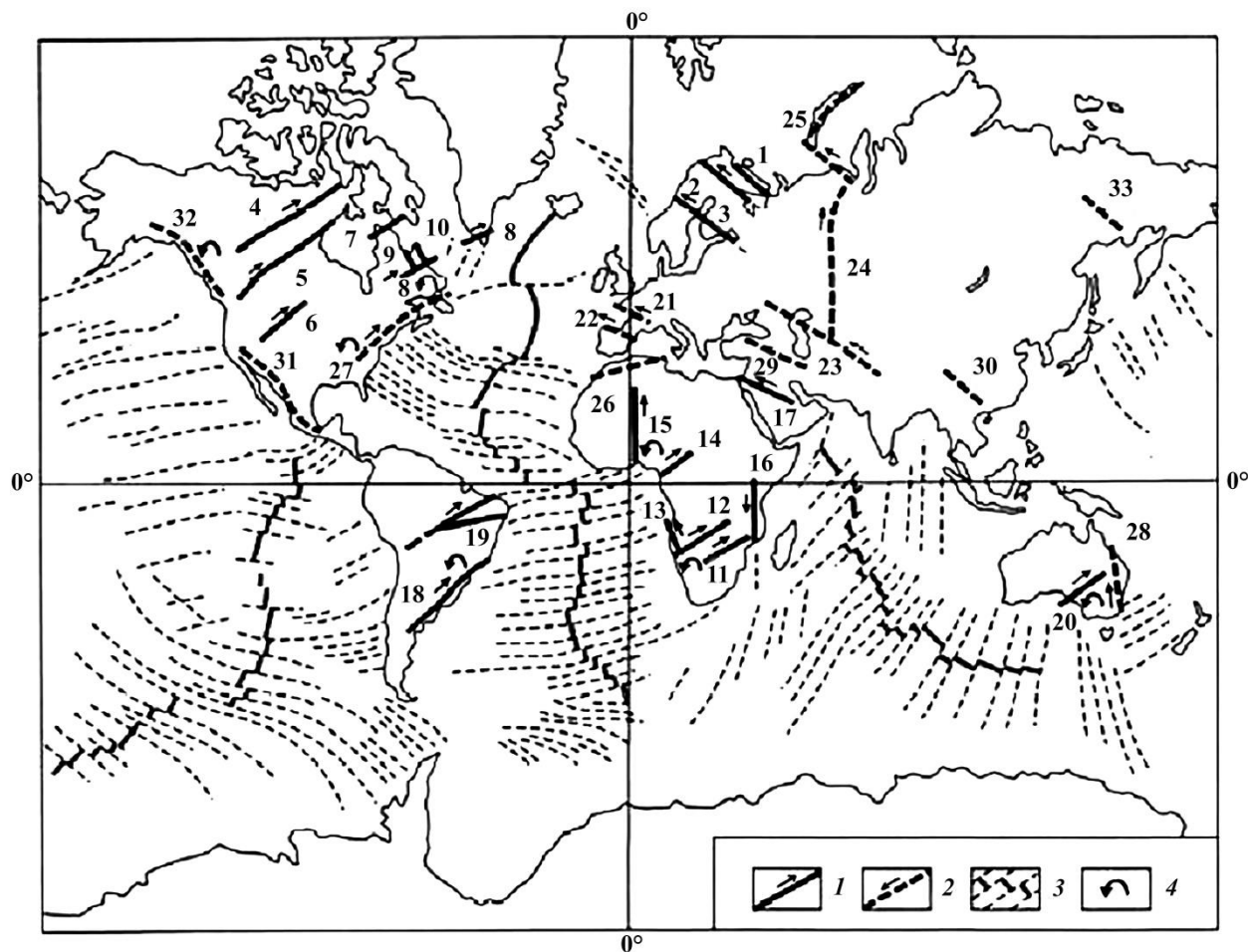


Рис. 2. Схема расположения разновозрастных линейных подвижных поясов на континентах [10]. Показаны только те пояса, для которых автором проанализированы структурно-кинематические данные в сопоставлении с системой трансформных разломов мирового океана. Условные знаки: 1 – докембрийские пояса; 2 – фанерозойские пояса; 3 – система трансформных разломов и рифтов океанов; 4 – места, где установлено вращение вектора силового воздействия на подвижный пояс. Цифры на схеме: 1 – зона Колмозеро-Воронье, 2 – Беломорско-Лапландский пояс, 3 – Саво-Ладожская зона, 4 – сдвиговая зона Грэйт Слэйв Лэйк, 5 – тектоническая зона Сноуберд, 6 – зона Грэйт Фол, 7 – складчатый пояс Кейп Смит, 8 – пояс Макковик-Кителиды, 9 – пояс Новый Квебек, 10 – пояс Торнгат, 11 – пояс Лимпопо, 12 – пояс Дамара, 13 – пояс Каоко, 14 – пояс Камерун, 15 – пояс Адрар де Ифорас, 16 – Мозамбикский пояс, 17 – сдвиговые зоны Нубийского щита, 18 – пояс Рибейра-Арасуаи, 19 – система сдвиговых зон Барборема, 20 – сдвиговая зона Калиньяла, 21 – сдвиговые зоны Армориканского массива, 22 – Пиренеи, 23 – Южный Тянь-Шань, 24 – Урал, 25 – Пай-Хой, 26 – Атлас, 27 – Аппалачи, 28 – пояс Ярролл-Новая Англия, 29 – Северо-Анатолийская сдвиговая зона, 30 – сдвиговые зоны южного Китая, 31 – пояс Американских Кордильер, 32 – пояс Канадских Кордильер, 33 – Яно-Колымская зона.

[Fig. 2. Layout of linear mobile belts of different ages on the continents [10]. Only those belts are shown whose structural and kinematic data were analysed by the author and compared with the system of transform faults of the world ocean. Symbols: (1) – Precambrian belts; (2) – Phanerozoic belts; (3) – a system of oceanic transform faults and rifts; (4) – places where the rotation of the vector of force impact on the mobile belt was established. Numbers in the diagram: (1) – Kolmzero-Voronye zone, (2) – White Sea-Lapland belt, (3) – Savo-Ladoga zone, (4) – Great Slave Lake shear zone, (5) – Snowbird tectonic zone, (6) – Great Falls zone, (7) – Cape Smith fold belt, (8) – Makkovik-Ketilidian belt, (9) – New Quebec belt, (10) – Torngat belt, (11) – Limpopo belt, (12) – Dhamar belt, (13) – Kaoko belt, (14) – Cameroon belt, (15) – Adrar des Ifoghas belt, (16) – Mozambique belt, (17) – Nubian Shield shear zones, (18) – Ribeira-Araçuaí belt, (19) – Borborema shear zone system, (20) – Kalinjala shear zone, (21) – Armorican Massif shear zones, (22) – Pyrenees, (23) – Southern Tien Shan, (24) – Urals, (25) – Pai Khoi, (26) – Atlas, (27) – Appalachian Mountains, (28) – Yaroll-New England belt, (29) – North Anatolian shear zone, (30) – shear zones in southern China, (31) – American Cordillera belt, (32) – Canadian Cordillera belt, (33) – Yana-Kolyma zone.]

Термин «линеамент» был предложен У. Хоббсом для обозначения линейно вытянутых элементов рельефа и геологической структуры. Такой подход, конечно, в значительной мере сужал возможности выявления различных тектонических элементов. В настоящее время большинство исследователей считают, что линеаменты представляют собой линии резкого изменения параметров географической, геологической и геофизической сред: 1) топо-, бати-, фото-,

космолинеаменты; 2) гео-, тектоно-, металлолинеаменты; 3) магнито-, грави- и сейсмолинеаменты. Выделяются трансконтинентальные, трансрегиональные, региональные и локальные линеаменты, выраженные на космических снимках различного уровня генерализации четкими линиями, линейными зонами с определенной внутренней структурой, и широкие пояса. На региональных и глобальных космофотоснимках с высокой разрешающей способностью, охватывающих

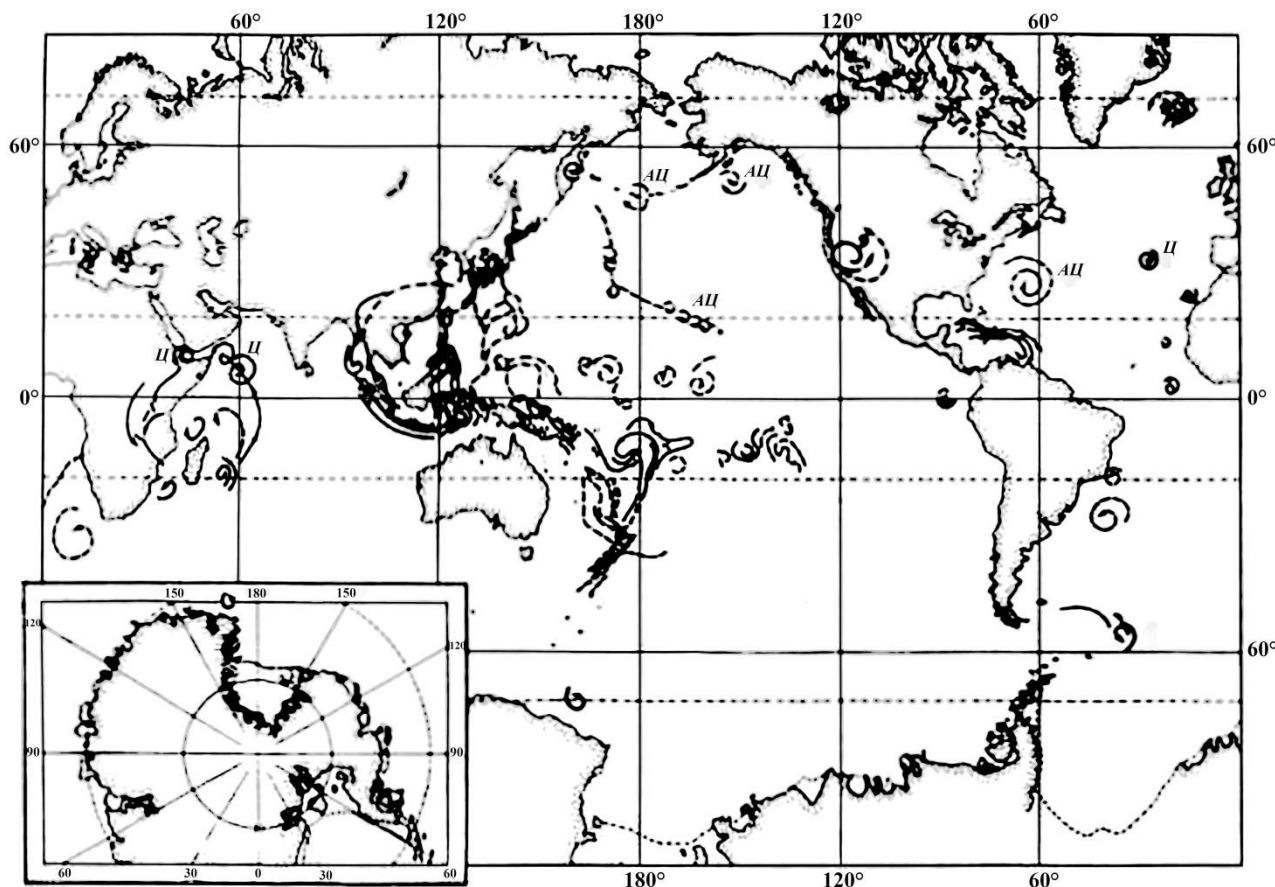


Рис. 3. Предполагаемое распространение вихревых структур [11]: Ц – вихри циклонального типа АЦ – антициклонального. Пунктиром показаны менее четко выраженные фрагменты вихревых структур.
[Fig. 3. Estimated distribution of vortex structures [11]: (Ц) – cyclonic vortices, (АЦ) – anticyclonic vortices. Dotted lines show less pronounced fragments of vortex structures.]

огромные территории, четко проявляются как линейменты, так и многочисленные изометрические морфоструктуры центрального типа, многие из которых интерпретируются как литосферные вихри.

Что касается глобальной регулярной сети линейментов и разрывных нарушений (рис. 1), то она существует в настоящей конфигурации с начала фанерозоя. Направленность главных систем глобальной разрывной сети: 1) ортогональной, включающей субмеридиональную и субширотную составляющие (0–10° и 80–90°, соответственно) и 2) диагональной северо-восточной (30–60°), диагональной юго-восточной (120–150°).

Глобальная разрывная сеть состоит из систем нескольких порядковых уровней: от линий 1-го порядка (широтная – экватор + две глобальные диагонали) до сетей 7-го и 8-го порядка (прослеженные линейные структуры, чередующиеся с шагом 5–10 км). Глубинность проявления этой сети, установленная по сейсмичности зон Беньофа, определяется подошвой тектоносферы. Она сформировалась под действием ротационных сил, при участии приливных и пульсационных процессов.

В Тихоокеанском регионе четко выделяются глобальные сдвиговые зоны северо-восточного направ-

ления в пределах краевых частей Тихого океана и его континентального обрамления [18–20 и др.], а также гигантские сквозные системы Таньлу и Срединной тектонической линии Японии [21, 20 и др.]. Вероятно, они представляют элементы Перитихоокеанской вихревой системы.

Существующие представления о глобальной упорядоченности рельефа земной поверхности [22] исходят из понятия самоорганизации геологической системы. При этом, расположение главных форм рельефа признается постоянным с древнейших геологических времен. Так, срединно-океанические хребты, островные дуги и другие крупные формы рельефа субмеридионального направления распределяются примерно через 90° [23–25]. В то же время, крупные кольцевые структуры, возникшие в нуклеарную стадию развития Земли [26] 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 свое новое отражение в рельефе и еще больше осложняют сложившийся морфоструктурный план.

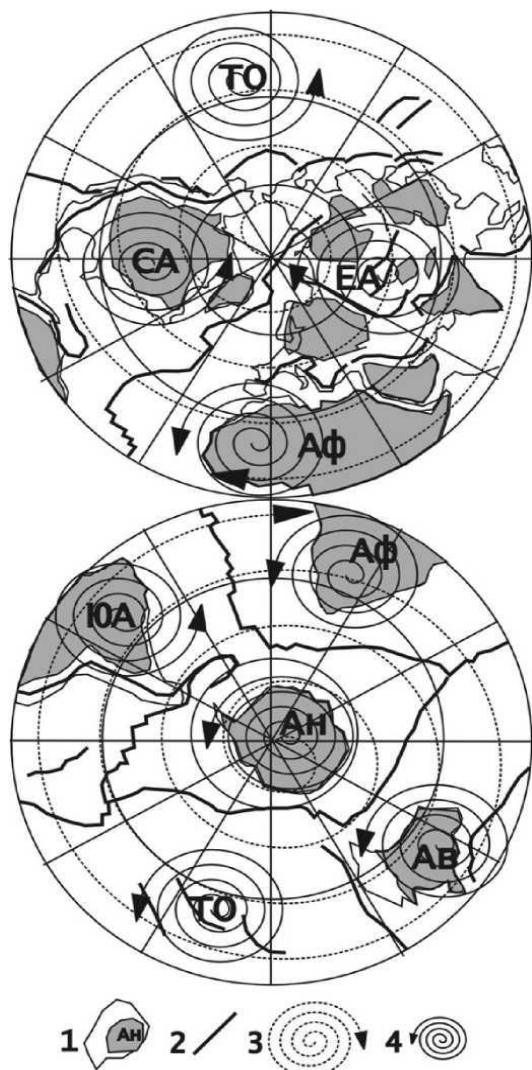


Рис. 4. Система литосферных плит и связанные с ними вихревые структуры [5]: 1 – контуры континентов и древние платформы в их пределах; 2 – линейные структуры сжатия и растяжения по границам литосферных плит; вихревые структуры; 3 – полярный правозакрученный вихрь; 4 – литосферные левозакрученные вихри. Литосферные плиты: *CA* – Северо-Американская; *IOA* – Южно-Американская; *EA* – Евразийская; *Аф* – Африканская; *Ан* – Антарктическая; *ТО* – Тихоокеанская, *Ав* – Австралийская.

[Fig. 4. The system of lithospheric plates and associated vortex structures [5]: (1) – contours of continents and cratons within them; (2) – linear structures of compression and tension along the boundaries of lithospheric plates; vortex structures; (3) – polar right-handed vortex; (4) – lithospheric left-handed vortices. Lithospheric plates: (*CA*) – North American; (*IOA*) – South American; (*EA*) – Eurasian; (*Аф*) – African; (*Ан*) – Antarctica; (*ТО*) – Pacific, (*Ав*) – Australian.]

Результаты и обсуждение

Авторами настоящей статьи поднят и проанализирован обширный фактический материал по затронутой проблеме. Особое внимание уделено вихревой тектонике, которая была подробно рассмотрена в работах Р. Зондера [16], Ли Сы-гуана [27, 28], Г.Н. Каттерфельда [29], О.И. Слензака [30], Л.А. Маслова [31], Т.Ю. Тверетиновой и А.В. Викулина [5], И.В. Мелекесцева [4] и др. Тектоническое вращение является

важнейшей составной частью процесса тектонического течения. Еще в 30–50-х годах прошлого столетия многие исследователи пришли к выводу о том, что литосфера (тектоносфера) – гидросфера – атмосфера представляют собой единую нелинейную систему, движение которой определяется ротацией Земли.

То есть, при трактовке происхождения тех или иных структур следует учитывать фактор вращения Земли [17, 32 и др.]. Именно ротационный режим, при котором главную роль играли тангенциальные напряжения, обусловил расположение сети планетарных разломов, закономерно ориентированных относительно меридианов. При этом осуществляется определенная упорядоченность зон сжатия и растяжения, обуславливающая зональность складчатых структур. Так, Г.Н. Каттерфельд [29] связывал зависимость развития широтных и меридиональных дизъюнктивов от неравномерного гравитационного сжатия трехосной 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 – ее опускание.

Известны также представления о «критических параллелях», в пределах которых располагаются наиболее дислоцированные пояса Земли. Так, А. Веронне [33] отмечал приуроченность высоких горных хребтов к параллелям $\pm 35^\circ$, испытывающих особое напряжение и характеризующихся повышенной сейсмичностью. Это обусловлено колебанием оси вращения Земли, вызванным космическими факторами. К таким «критическим» относятся также параллели 62° и 70° и экваториальная зона, где развиваются сдвиговые и нисходящие движения с формированием грабенов.

С вращением Земли связывают и появление крупномасштабных горизонтальных тектонических движений, объясняющих [17] распределение циркумтихоокеанских складчатостей. Этим течениям придается ведущее значение в геотектонике [34]: на них основана и концепция новой глобальной тектоники [35 и др.]. Согласно принципам тектонической расслоенности литосферы [12 и др.] ее верхние оболочки имеют тенденцию смещаться относительно друг друга в условиях колебаний осевой скорости вращения Земли. Важную роль Ю.М. Пушаровский отводит дифференцированным горизонтальным перемещениям континентов, литопластин, а также отдельных блоков внутри континентов и океанского ложа. При столкновении их друг с другом, в результате развития надвиговых и чешуйчатых деформаций проявляются вихревые дислокации.

Все тектонические дислокации содержат как горизонтальные, так и вертикальные компоненты скорости движения, причем первые господствуют в структурообразовании. Конечным результатом их взаимодействия служат вихревые и прочие нелинейные (кольцевые, спиральные, дуговые) деформации литосферы, составляющие основной тип структурных элементов региона. Они часто сопровождаются магматической

активизацией тектоносферы в форме конвективных движений и/или «всплывания» плюмов.

На примере Западной Пацифики показано [7, 8, 36–39], что морские и океанические впадины представляют, в сущности, воронки конвективных ячеек, которые в условиях сдвига скоростей движения взаимодействующих геоблоков литосферы структурировались в форму тектоносферных вихрей. Изложенные представления позволяют связывать тектоническую эволюцию Западно-Тихоокеанского региона с энергетическим взаимодействием мантии и верхних оболочек (тектоносфер) Земли, что обусловлено неустойчивым режимом ротационной динамики планеты.

Весьма широко распространенные на планете структуры центрального типа представлены кольцевыми и вихревыми образованиями. Крупные кольцевые магматогенные структуры, вероятно, имеют мантийное происхождение, так как эмпирически установлено, что глубина заложения таких структур соответствует их диаметру (более 20 км) в плане. Как правило, они имеют длительную (многофазную) историю развития, отражают следы эволюции глубинных флюидно-магматических систем и могут контролироваться местами пересечения глубинных разломов [20 и др.]. Можно полагать, что при горизонтальном движении крупных, ранее стабилизированных участков земной коры (блоковый дрейф) мантийные очаговые зоны («горячие точки») и зоны магмоконтролирующих разломов остаются на месте, а «отпечатки» коровых кольцевых и линейных структур меняют свое местоположение, отрываясь от своих корней. Мантийные очаги и разломы фундамента с течением времени снова активизируются и генерируют новые приповерхностные тектономагматические комплексы. Таким образом, вместе со сложно телескопированными мантийными кольцевыми и линейными структурами на поверхности Земли существуют и их «отпечатки». Они находятся в пределах тектонических блоков, испытавших крупномасштабные горизонтальные перемещения. Подобные «отпечатки» могут наблюдаться и в сложно дислоцированных покровно-складчатых комплексах, залегающих в виде аллохтонов (тектонических перекрытий) на платформенном субстрате.

Гигантская система энергетических вихрей литосферы намечена практически вдоль всей Западно-Тихоокеанской области сочленения континент – океан по впадинам окраинных морей [40]. Она выделяется в глобальной структуре гравитационного поля Земли (модель GEM-9) и хорошо выражается в рисунке горизонтальных течений верхней мантии по данным сейсмической томографии. Примечательно, что впадины, как правило, развиты на периферии гигантских морфоструктур центрального типа, определяющих современный тектонический план региона. Они представляют своеобразный тип упорядоченности рельефа с особым видом симметрии-антисимметрии, названной инь-ян-системами [41]. Эти образования рассматриваются как ячейки земной коры второго (после континентально-океанического) уровня иерархии и

широко распространены за пределами Тихоокеанской окраины Азии.

Вихри формировались в процессе взаимодействия Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит, когда мощно проявились как горизонтальные, так и вертикальные движения тектонических масс [6–8 и др.] (рис. 5, 6). Конечным продуктом этих движений стали масштабные морфотектонические преобразования Западно-Тихоокеанского региона, которые привели, в том числе, к формированию впадин окраинных морей Азии и Австралии.

Что касается кольцевых морфоструктур, как и вихревых конструкций, то они часто отражают комбинации вертикальных и горизонтальных тектонических движений [20 и др.]. По существу, они представляют наложенные друг на друга поля разновозрастных и разномасштабных деформаций континентальной окраины. Например, в Южно-Синегорской впадине, которая рассматривается как тектоносферная воронка, установлены также и локальные вихревые вулканотектонические депрессии [20].

Вероятно, именно вихревые структуры являются теми образованиями, в которых естественным образом сочетаются горизонтальные и вертикальные тектонические движения. Первичными, по мнению многих исследователей, являются все-таки структуры, связанные с вращением Земли (ротационного типа). При изменении скорости вращения планеты, как раз и возникают мощные горизонтальные и провоцируемые ими вертикальные напряжения; создаются условия для активизации магматизма и формирования различных тектономагматических структур. Как известно, такие скачкообразные изменения в скорости вращения Земли вызываются космическими причинами (диспозицией других планет Солнечной системы, приливным воздействием на Землю Луны и Солнца с развитием волновых движений). Притяжение этих космических тел образует волны в жидкой и твердой оболочках Земли, что оказывает влияние на ее форму. Приливные силы, наряду с центробежными силами, связанными с энергией вращения Земли, могут вызвать смещения материков и формирование гигантских вихревых структур. Сами по себе колебательные движения определяются волновой природой распространения тектонических напряжений. При своем движении такие волны активизируют глубинные процессы и создают условия для «всплывания» плюмов, развития магматической конвекции, рифтогенеза и др.

При общем господстве горизонтальных движений, вызываемых ротацией планеты, в определенные «революционные» периоды, тангенциальные напряжения на границах тектоносфер могут проявляться очень ярко и приводить к формированию самых разнообразных тектонических структур, когда в той или иной мере сочетаются горизонтальные и вертикальные векторы. Например, при чисто горизонтальных подвижках возникают турбулентные структуры, которые развиваются по типу «буравчика».

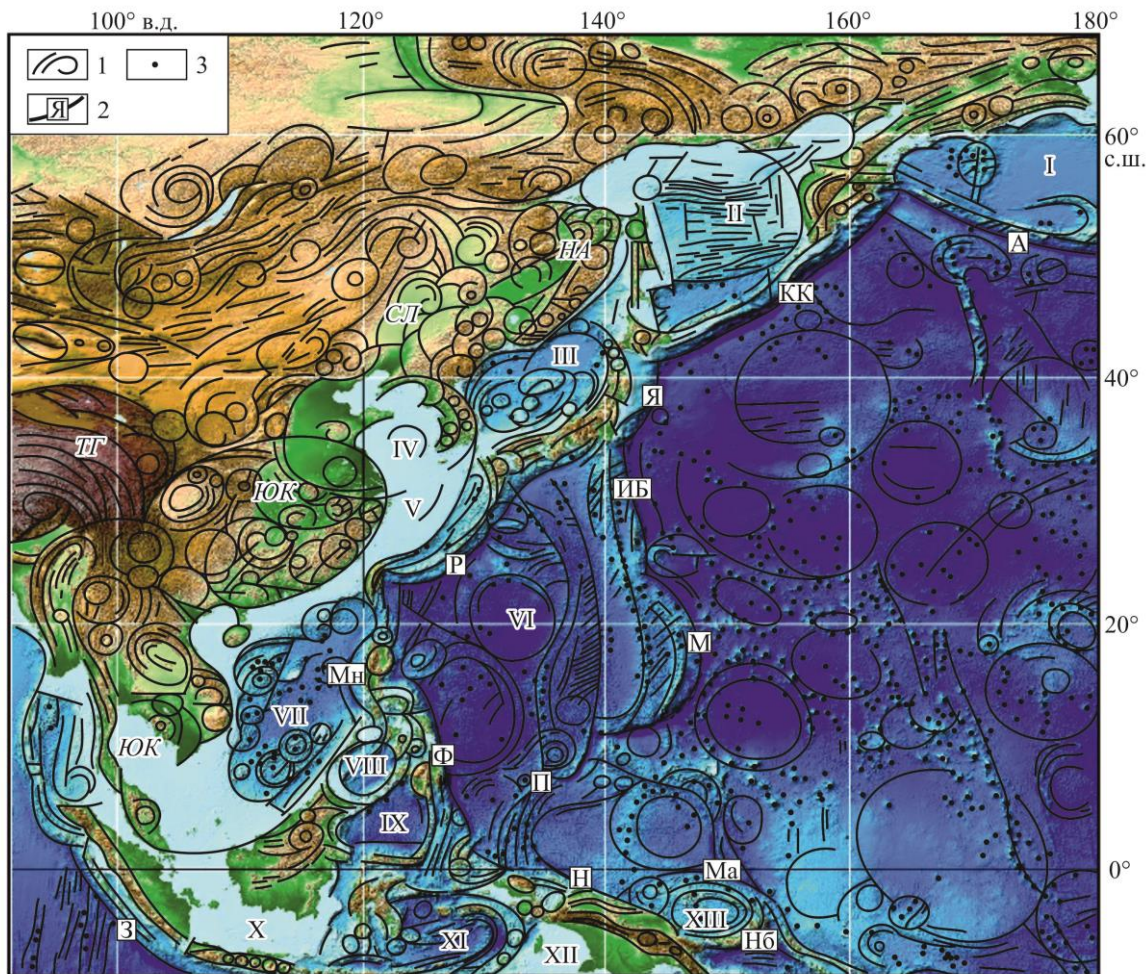


Рис. 5. Морфоструктурная схема Западной части Тихого океана и его континентального обрамления [15]: 1 – линейменты; 2 – глубоководные желоба: А – Алеутский, КК – Курило-Камчатский, Я – Японский, ИБ – Идзу-Бонинский, Р – Рюкю, М – Марианский, Мн – Манильский, Ф – Филиппинский, П – Палау, Н – Новогвинейский, 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 (Бисмарка). Континентальные и региональные вихревые морфоструктуры: НА – Нижнеамурская, СЛ – Сунляо, ЮОК – Южно-Китайская, ТГ – Тибетско-Гималайская.

[Fig. 5. Morphostructural scheme of the Western Pacific Ocean and its continental framing [15]: (1) – linear structures; (2) – deep-sea trenches: (A) – Aleutian, (KK) – Kurilo-Kamchatsky, (Я) – Japanese, (ИБ) – Izu-Ogasawara, (Р) – Ryukyu, (М) – Marian, (Мн) – Manila, (Ф) – Philippine, (П) – Palau, (Н) – New Hebrides, (Ма) – Manus, (З) – Sunda, (Нб) – New Britain; (3) – presumably Cenozoic basaltic shield volcanoes. Marginal seas of the Pacific Ocean (numbers in the scheme): (I) – Bering, (II) – Okhotsk, (III) – Japan, (IV) – Yellow, (V) – East China, (VI) – Philippine, (VII) – South China, (VIII) – Sulu, (IX) – Sulawesi (Celebes), (X) – Java, (XI) – Banda, (XII) – Arafura, (XIII) – Bismarck. Continental regional vortex morphostructures: (NA) – Nizhny Amur, (SL) – Songliao, (SC) – South China, (TH) – Tibetan-Himalayan.]

Действительно, существуют тектонические комплексы, в которых запечатлены результаты проявления и вертикальных, и горизонтальных дислокаций, которые могут быть зафиксированы прямыми геологическими наблюдениями. Еще в 1976 г. в Южном Приморье при проведении крупномасштабной геологической съемки описаны так называемые «комбинированные структуры» [20]. Они представляют собой кольцевые вулканотектонические депрессии, сформировавшиеся в результате сочетания проседания кровли магматических очагов (cauldron subsidence) и вращательного сдвига.

Возможно, именно вихревые образования являются

ключом для понимания тектоники Земли и представляют собой основной тип структур, в которых естественно сочетаются горизонтальные и вертикальные дислокации [7]. По данным О.И. Слензака [30] 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. Этот исследователь полагал, что их формирование есть результат напряжений, возникающих в теле Земли в связи с ее неравномерным вращением и периодическим воздействием приливных волн.

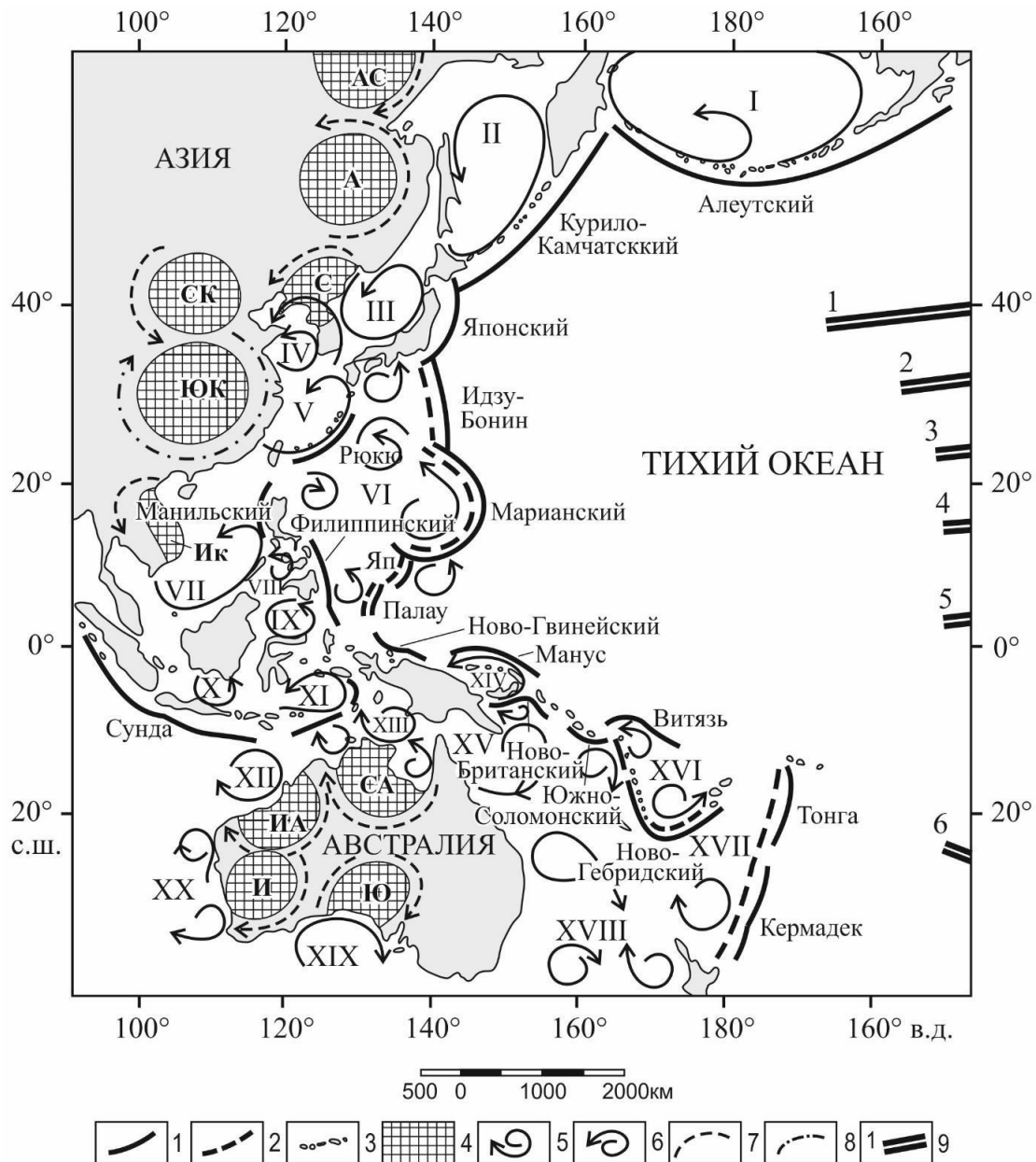


Рис. 6. Тектоническая схема Западной части Тихого океана [39]: Условные обозначения: 1 – глубоководные трюги; 2 – островные дуги; 3 – фронтальные подводные хребты; 4 – нуклеары: АС – Алдано-Становой, А – Амурский, С – Синокорейский, СК – Северо-Китайский, ЮК – Южно-Китайский, Ик – Индокитайский, ИА – Индо-Австралийский, СА – Северо-Австралийский, И – Ийльгарийский, 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. 6. Tectonic scheme of the Western Pacific [39]: Legend: (1) – deep-sea troughs; (2) – island arcs; (3) – frontal underwater ridges; (4) – nuclears: (AC) – Aldano-Stanovoy, (A) – Amur, (C) – China-Korean, (CK) – North China, (YOK) – South China, (Ik) – Indochina, (IA) – Indo-Australian, (CA) – North-Australian, (IO) – Iylgarisky, (IO) – Yuklinsky; (5) – cyclonic (Northern Hemisphere) and anticyclonic (Southern Hemisphere) lithospheric vortices (arrows indicate the direction of rotation); (6) – anticyclonic (Northern Hemisphere) and cyclonic (Southern Hemisphere) lithospheric vortices (arrows indicate the direction of rotation); (7) – cyclonic vortices associated with nuclears (arrows indicate the direction of rotation); (8) – anticyclonic vortices associated with nuclears (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. Numbers in the scheme: marginal seas of the Pacific Ocean ((I) – Bering, (II) – Okhotsk, (III) – Japan, (IV) – Yellow, (V) – East China, (VI) – Philippine, (VII) – South China, (VIII) – Sulu, (IX) – Sulawesi (Celebes), (X) – Java, (XI) – Banda, (XII) – Timor, (XIII) – Arafura, (XIV) – Bismarck, (XV) – Coral, (XVI) – North Fijian, (XVII) – South Fijian, (XVIII) – Tasman, (XIX) – South Australian, (XX) – Perth.]

Вихревые структуры различной иерархии распространены на планете в различных геотектонических обстановках, включая континенты и океаны [5 и др.]. На примере Северной Атлантики показано [42 и др.], что при океанообразовании в «твердых» оболочках Земли возникают вихревые движения и образуются рифтовые и спрединговые системы, имеющие тенденцию к закручиванию по оси раздвига. Современные океаны как раз и представляют собой такого рода структуры.

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 [5] мегарегиональные зоны сдвиговых деформаций. Ярким примером глобальной правосдвиговой зоны является рифтовая система Атлантического океана. Ее строение может быть связано с вращением против часовой стрелки Северо-Американской и Евразийской плит в северном полушарии и Южно-Американской и Африканской плит – в южном.

Результатом вращения Земли в течение всей ее эволюции является формирование глобальных вихревых турбулентных систем – комплексов циклонов и антициклонов (всасываний и нагнетаний). Со спиральными восходящими и нисходящими вихрями было связано образование первичной континентальной коры и преобразование ее в современную кору [43 и др.].

По данным многочисленных исследователей в восходящих потоках из-за подъема вещества мантии давление падает, и создаются условия для формирования вихрей циклонического типа, которые вращаются в Южном полушарии по часовой стрелке, а в Северном – против. В то же время, в нисходящих потоках рост давления приводит к возникновению антициклонических вихрей, вращающихся в Северном полушарии по часовой стрелке, а в Южном – против. Таким образом, восходящие и нисходящие вихри отражают зоны растяжения и сжатия земной коры.

В работах И.В. Мелекесцева [4 и др.] показано, что восходящие вихри фиксируются сводами, которые возникают на древних материковых плитах, молодых платформах и океанических плитах. Нисходящие потоки мантийного вещества проявлены в Юго-Западном секторе Тихого океана, в котором выделяются четыре гигантских вихря, закрученные против часовой стрелки. Как полагает этот автор, в результате деятельности разнонаправленных астеносферных вихрей (Западного и Восточного) Индийская плита, при своем движении на север, столкнулась с Евразийской, что привело к формированию Гималаев, Тибета, Памира, Тянь-Шаня и, возможно, глубоководных впадин окраинных морей (Японского, Охотского и др.), а также Байкальской рифтовой зоны.

В настоящее время еще недостаточно исследованы упругие, пластические и разрывные деформации в масштабах земной коры, происходящие в условиях постоянно вращающейся Земли в течение продолжи-

тельных отрезков времени. Как известно из учения о сопротивлении материалов, главными силами, вызывающими эти деформации, являются напряжения сжатия, растяжения, сдвига, изгиба и кручения. Многими исследователями подчеркивается, что на свойства горных пород огромное влияние оказывает фактор геологического времени. То есть, за длительные периоды времени они способны течь в твердом состоянии.

Механизм образования литосферных вихрей определяется ротационными процессами, когда возникают скачкообразные изменения в скорости вращения Земли, вызванные космическими причинами. При резких и быстрых деформациях земная кора ведет себя как твердое тело и образуются разломы и системы трещин, а при длительных – формируются литосферные вихри, ветви которых представляют собой дугообразные складчатые зоны.

Вращательные движения являются важной составной частью тектонического течения вообще [44 и др.], когда выделяются эффекты: 1) прямого тектонического вращения, которое совпадает с вращением Земли против часовой стрелки и обратного вращения, 2) горизонтального тектонического вращения за счет неравномерного перемещения по сдвигам, ограничивающим жесткие блоки, и 3) вертикального тектонического вращения, примером которого служат конвективные течения.

В свете ротационного подхода, литосферные плиты, как и поворачивающиеся «элементарные» сейсмофокальные блоки, должны быть окружены полями упругих напряжений, имеющих соответствующим образом ориентированные моменты сил [43 и др.]. Данные геодинимических и геодезических измерений, указывающих на поворотный (колебательный) характер движения плит, включая и самую большую – Тихоокеанскую плиту и Австралийский континент, подтверждают это [31 и др.].

В последнее время получены данные о высокой подвижности коры и литосферы, а также о важной роли продольного перемещения тектонических масс в формировании лика Земли, которые могут быть объяснены с позиции парадигмы тектонической расслоенности литосферы [12 и др.]. В рамках этой парадигмы предполагаются провороты тектоносфер относительно друг друга в связи с изменением осевой скорости вращения Земли. Ведущее значение в ней отводится дифференцированным горизонтальным перемещениям континентов, отдельных блоков и литопластин внутри континентов и океанского ложа. Поэтому в рассматриваемом случае можно предполагать повсеместное проявление вихревой геодинимики.

На примере исследованного нами Тихоокеанского региона [7, 8, 36–39] (рис. 5, 6) можно прийти к выводу, что, вероятно, литосферные плиты представляют собой гигантские вихри такие, как, Тихоокеанская депрессия. Она является одной из глобальных вихревых структур [31 и др.], которая с середины олигоцена по настоящее время испытала систематические повороты по часовой стрелке и против нее, с ампли-

тудами смещения до нескольких сотен километров. Судя по данным Е.Д. Джэксона с соавторами [45] Тихоокеанская депрессия совершает знакопеременное вращение с центром в Гавайской «горячей точке».

Как полагал У. Кэрри [46], Земля подвергается воздействию глобальных процессов кручения вдоль двух кольцевых зон. Кручение в Тетической зоне происходило вдоль экватора, где материка Северного полушария смещаются влево относительно материков Южного полушария, а в правосторонней Циркумтихоокеанской – происходит главное тектоническое перемещение материков по часовой стрелке вокруг Тихого океана. Данное явление вызвано взаимодействием инерционных сил и сил тяготения, обусловленных более высоким положением центра масс на материках. То есть, относительные перемещения блоков коры по У. Кэрри представляют собой сложные сочетания следующих движений: 1 – взаимное разделение блоков при движении в радиальном направлении от центра Земли с формированием между ними океанической коры; 2 – левостороннее кручение в зоне Тетис между полушариями; 3 – правостороннее Циркумтихоокеанское кручение; 4 – асимметрия между западом и востоком, выраженная в большем расширении вдоль западной окраины по сравнению с восточной; 5 – асимметрия между севером и югом – большее расширение Южного полушария по сравнению с Северным.

Большой интерес в этом плане представляют переходные зоны континент – океан, в частности, Западно-Тихоокеанская. И.В. Мелекесцев [4, 43] разработал концепцию о фронтальной природе таких зон, базируясь на позициях вихревой вулканической гипотезы. Структуры переходных зон, по его мнению, можно рассматривать как гигантские очень вязкие потоки коро-мантийного вещества, расплзающиеся 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.

И.И. Берснев [32] выдвинул плодотворную идею, согласно которой Японское море сформировалось в результате подбема мантийного диапира, вращавшегося против часовой стрелки. В последние годы камчатскими геологами [43 и др.] и нами [7, 8 и др.] Япономорская впадина, как и другие Западно-Тихоокеанские моря, рассматривается в качестве вихревой структуры левого типа.

В результате бокового взаимодействия Евроазиатской и Тихоокеанской литосферных плит в Западно-Тихоокеанской зоне перехода происходило дробление континентальной и океанической коры, формирование мантийных диапиров и приуроченных к ним окраинно-континентальных морей [7]. Характерно что, под Западно-Тихоокеанскими окраинными морями располагаются активные выступы астеносферы [47], из которых и поднимаются магматические диапиры, в которых вероятно, происходит зарождение вихревого движения. Как известно, астеносфера явля-

ется главным источником магматической деятельности на планете и характеризуется пониженной вязкостью. Возникающие в ней расплавы испытывают медленные горизонтальные и вертикальные перемещения, формирующие названные магматические диапиры и – как следствие – литосферные вихри и окраинные моря.

Впервые подробно описанная нами [7 и др.] Япономорская вихревая структура является преимущественно коровым образованием: она четко фиксируется на картах: 1) аномального гравитационного поля в редукции Фая (аномалии «в свободном воздухе»), 2) аномального магнитного поля и 3) по данным космической альтиметрии, которые отражают, в целом, циклональную структуру Япономорской впадины. Она сформировалась в связи с раскрытием Японского моря, в основном, в миоцене в зоне взаимодействия Евроазиатской и Тихоокеанской плит и сопровождается мощными проявлениями базальтового вулканизма и сейсмической активности

Разломная тектоника Японского моря определяет тем, что в данном регионе имеются два структурных этажа: мантийный и коровый. В строении первого глубинные разломы образуют долгоживущий тектонический каркас, а в пределах второго, тесно связанного в своем развитии с подстилающей его астеносферой, господствуют вихревые структурные линии.

Хотя преобладающее вращение Западно-Тихоокеанских морей направлено против часовой стрелки, можно наметить следующие геодинамические пары. Так, крупное Филиппинское море, закрученное 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 Кораллово – Северо-Фиджийское и Тасманово – Северо-Фиджийское. То есть, такие сочетания являются закономерными.

Если взглянуть на батиметрическую карту Мирового океана [48], можно увидеть явное господство вихревых морфоструктур самой различной иерархии. Наиболее ярко в этом плане, например, выделяются такие материка, как Южная Америка и Африка, которые представляют собой вихри, закрученные против часовой стрелки («левое ухо»). Поворот Африки против часовой стрелки подчеркивается Средиземноморско-Гималайской вихревой системой (северное обрамление). Тихоокеанская вихревая система левого типа четко фиксируется на рассматриваемой карте характером размещения подводных хребтов и поднятий (Южно-Тихоокеанское, Восточно-Тихоокеанское и др.). Северная и Южная полярные области представляют, соответственно, левый и правый вихри.

Особо следует остановиться на взаимоотношениях различных типов глобальных тектонических структур. Эти взаимоотношения зачастую не определены как в пространстве, так и во времени и только пред-

полагаются. Такие структуры, как глубинные разломы и тектонические воронки с телескопированным строением, многофазным развитием магматизма и глубокими корнями, вероятно, отражают преимущественно вертикальные движения. Эти же движения приводят к формированию различных магматических (вулканогенно-интрузивных) куполов и вулканотектонических поднятий. Характерно, что кольцевые структуры самых различных иерархических уровней четко выделяются на космических снимках Земли и часто бывают рудоносными [20].

Некоторые исследователи [26] считают, что формирование крупных кольцевых структур – оваловидов, ячеек основного и кислого состава [49], составляющих древний каркас Земли, связано с самой ранней стадией ее развития (лунной, нуклеарной), когда из первично однородного тела планеты путем дифференциации вещества формировалась земная кора. Поэтому крупные кольцевые структуры особенно четко фиксируются на докембрийских щитах. В свете известной парадигмы тектонической расслоенности литосферы Ю. М. Пушаровского [12] можно полагать, что силы продольного сжатия приводят к формированию серии тектонических клиньев и чешуй, которые при вращении Земли перекрывают друг друга. При этом, «нуклеарные» структуры «просвечиваются» сквозь вышележащие образования и сохраняется «отпечаток» докембрийского субстрата.

На всех последующих стадиях древний каркас Земли контролирует тектоническую и мантийную магматическую активность, а также рудные процессы. Действительно, крупные кольцевые структуры имеют огромные размеры (1000–1500 км) и уходят на большие глубины, соизмеримые с их размерами в плане. На Дальнем Востоке многокольцевые вулканотектонические структуры закартированы в Приморье в пределах Восточно-Сихотэ-Алинского и Западно-Сихотэ-Алинского вулканических поясов [50]. Подобные же образования или их фрагменты могут быть намечены в других регионах Япономорской зоны, если учесть тот факт, что в домиоценовое время Японские острова составили часть Азиатского континента [51]. Примечательно, что и в Япономорской впадине многими исследователями уже давно выделяются кайнозойские щитовидные вулканы и различные кольцевые магматические структуры, которые контролируются системами широтных разломов фундамента, прослеживающихся в пределы Азиатского континента.

Еще раз подчеркнем, что большой интерес в плане настоящих исследований представляют разнообразные рифты и вихревые структуры [27, 30 и др.], которые отражают и вертикальные и горизонтальные тектонические движения. Если взять литосферные вихри, то они развиваются подобно циклонам и антициклонам: в их развитии ведущую роль играют горизонтальные перемещения. Однако, в их осевых зонах проявляются вертикальные движения – как восходящие, так и нисходящие. Представляется, что именно

литосферные вихри являются ключевыми для понимания и разрешения поставленной проблемы. Сочетая в себе и горизонтальные и вертикальные напряжения, эти структуры, прежде всего, отражают тот факт, что они зарождаются и развиваются на вращающейся Земле, а причинами их становления, как отмечалось выше, помимо ротации, являются и космические факторы. Вихревая геодинамика, вероятно, формирует главные геотектонические элементы Земли, а все остальные являются лишь их разновеликими фрагментами. В этом отношении не исключено, что региональные сдвиги представляют собой составляющие разнопорядковых литосферных вихрей.

При поступательном движении литосферных плит и микроконтинентов под влиянием полей планетарных деформаций вихревого типа они могли формировать структуры типа «литоциклон и литоантициклон», «тектонические воронки нисходящие и восходящие» и другие подобные образования различного размера с корнями, проникающими в верхние горизонты мантии. Вероятно, «восходящие» тектонические воронки являются структурами растяжения – в них «засасываются» и выводятся на поверхность мантийные образования. В «нисходящих» воронках, напротив, происходит сжатие – скручивание и нагнетание корового вещества, которое транспортируется в нижние слои литосферы. Нередко тектонические воронки обоих типов образуют пары, в которых происходит циркуляция коромантийного вещества – своего рода конвективные ячейки.

Многими исследователями отмечается, что в архее в пределах кристаллических щитов существовали особые тектонические формы, не нарушенные позднейшими дислокациями – огромные куполовидные поднятия, связанные со становлением гранитных батолитов, имеющие грибообразное строение. Как считает Л. И. Салоп [49], древнейшие протоструктуры представляли собой системы интенсивно дислоцированных куполовидных ячеек («овоидов» и «амебовидных образований»), разделенные зонами, в которых складчатость проявлена значительно слабее. Такую унаследованность развития кольцевых структур и тесно связанных с ними вихревых образований, вероятно, можно объяснить тем, что ячеистые протоструктуры, сохранившиеся в раннедокембрийском фундаменте платформ и остаточных массивов (микроконтинентов), представляют собой зоны повышенной проницаемости – своего рода, постоянно действующие каналы, пронизывающие земную кору.

Заключение

В тектонической структуре Земного шара, сформированной ротационными процессами, главное значение имеют: 1) устойчивая регматическая сеть (тектонический каркас) и структуры центрального типа (кольцевые, вихревые и т.п.). Представляется, что литосферные плиты являются глобальными вихревыми системами, возникшими в результате тектонического течения масс. Вихревые структуры различного

иерархического уровня являются широко распространенными тектоническими образованиями на Земном шаре.

Анализируя материалы по проблеме соотношения вертикальных и горизонтальных тектонических движений, авторы пришли к следующим основным выводам. При этом выбранное направление исследований, в целом, несомненно, является перспективным, поскольку позволяет исследовать фундаментальные вопросы геотектоники с новых позиций, базирующихся на современных данных.

1. Все тектонические дислокации, по существу, являются многокомпонентными и содержат как горизонтальные, так и вертикальные компоненты скорости движения. Эти движения сопровождаются возникновением пространственных, временных и пространственно-временных диссипативных структур различных типов.

2. В различных геологических процессах могут господствовать те или иные тектонические напряжения и в зависимости от этого формироваться соответствующие движения и провоцируемые ими структуры.

3. В большинстве случаев тектонические движения сопровождаются магматической деятельностью (процесс тектономагматической активизации) – происходит энергетическое взаимодействие мантии и верхних оболочек (тектоносфер) Земли.

4. Главные причины тектонических движений: 1) ротационные (в том числе, изменение скорости вращения Земли); 2) сила тяжести (изостатическое выравнивание); 3) космические (движение Земли по своей орбите, влияние Солнца и Луны).

5. Господствующий планетарный структурообразующий фактор – это горизонтальные движения, которые возникают при смещении тектоносфер относительно друг друга и инициируют другие типы движения (вертикальные, вихревые).

6. Образование кольцевых структур и глубинных разломов связано с приливными волнами в литосфере (колебательные движения) – активизация мантии, мантийный диапиризм, вспучивание и растрескивание земной коры.

7. Вихревые структуры – основной тип тектонических элементов Земли, ключ к пониманию ее геологической эволюции. Они начали формироваться в нуклеарную стадию развития планеты.

8. При смещении верхних оболочек Земли относительно друг друга в них остаются «отпечатки» существовавших ранее глубинных структур (кольцевых, вихревых, разломных).

9. Кольцевые, вихревые структуры и разломы фундамента отличаются высокой проницаемостью и часто являются магмоконтролирующими и рудоносными.

Показано, что намечается определенная парагенетическая связь между вихревыми и кольцевыми структурными комплексами. Подчеркнем, что к мегаструктурам кольцевого типа относится впадина Тихого океана, ограниченная зонами кольцевых и дуговых

глубинных разломов. Судя по характерному рисунку этих тектонических линий, данная мегаструктура несет черты вихревых образований.

Кольцевые структуры могут представлять собой конечный этап развития тектонического вихря, когда его ветви («рукава») присоединились к ядру. Литосферными вихрями являются также Западно-Тихоокеанские окраинные моря, которые сформировались в результате тектонического взаимодействия Евроазиатской и Тихоокеанской литосферных плит в результате сдвига скорости.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин В.М. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. СПб: Недра, 2006. 161 с.
2. Буш В.А. Системы трансконтинентальных линейментов Евразии // *Геотектоника*. 1983. № 3. С. 15–31.
3. Кац Я.Г., Козлов В.В., Полетаев А.И., Сулиди-Кондратьев Е.Д. Кольцевые структуры Земли: миф или реальность? М.: Наука, 1989. 190 с.
4. Мелекесцев И.В. Вихревая вулканическая гипотеза и некоторые перспективы ее применения. Проблемы глубинного вулканизма. М.: Наука, 1979. С. 125–155.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Чупрынин В.И., Изосов Л.А. Модель формирования краевых морей Западной части Тихого океана // *ДАН*. 2017. Т. 472. № 1. С. 68–71.
9. Линейменты (линейные структуры Земли) [Электронный ресурс]: URL: <https://www.garshin.ru/evolution/geology/geosphere/geophysics/lineaments.html> (дата обращения: 05.06.2022)
10. Морозов Ю.А. К феноменологии структур и процессов ротационного генезиса. Ротационные процессы в геологии и физике. М.: Комкнига, 2007. С. 471–574.
11. Мелекесцев И.В. Роль вихрей в происхождении и жизни Земли. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.kscnet.ru/ivs/publication/whirlwinds/Melekesev.htm>. (дата обращения: 05.06.2022)
12. Пушаровский Ю.М. О трех парадигмах в геологии // *Геотектоника*. 1995. № 1. С. 4–11.
13. Чупрынин В.И. Нелинейные явления в геосистемах. М.: Наука, 2008. 197 с.
14. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512 с.
15. Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Мельниченко Ю.И., Ли Н.С. Морфоструктурный анализ при решении геологиче-

- ских проблем востока Азии // *Геоморфология*. 2018. № 4. С. 3–17.
16. Sonder R.A. Die Lineament tectonic und ihre problem // *Ed. Geol. Helv.* 1938. Vol. 31. No. 1. P. 199–238.
17. Штилле Г. Избранные труды. М.: Мир, 1964. 887 с.
18. Уткин В.П. Восточно-Азиатская глобальная сдвиговая система, вулканический пояс и окраинные моря // *Доклады Академии наук СССР*. 1978. Т. 240. № 2. С. 400–403.
19. Regional Geology of Jilin province (Geological memoirs). Geological Publishing House: Beijing, 1989. Series 1. No 10. 698 p.
20. Изосов Л.А., Коновалов Ю.И., Емельянова Т.А. Проблемы геологии и алмазности зоны перехода континент – океан (Япономорский и Желтоморский регионы). Владивосток: Дальнаука, 2000. 326 с.
21. Tanaka K., Nozawa T. (eds.). Geology and mineral resources of Japan: 3rd ed., Vol. 1, Geology. Geological Survey of Japan, Tokyo, 1977. 430 p.
22. Кинг Л. Морфология Земли. М.: Прогресс, 1967. 559 с.
23. Уфимцев Г.Ф. Черты порядка в глобальном рельефе Земли // *Тихоокеанская геология*. 1988. № 4. С. 105–113.
24. Шолпо В.Н. Структура Земли: упорядоченность или беспорядок? М.: Наука, 1986. 160 с.
25. Hughes T. Coriolis perturbation of mantle convection related to a two-phase convection model // *Tectonophysics*. 1973. Vol. 18. No. 3–4. P. 215–230.
26. Павловский Е.В. Ранние стадии развития земной коры // *Известия АН СССР. Серия Геология*. 1970. № 5. С. 23–39.
27. Ли Сы-гуан. Вихревые и другие проблемы, относящиеся к сочетанию геотектонических систем северо-западного Китая. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 129 с.
28. 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.
29. Каттерфельд Г.Н. Лик Земли. М.: ГИГЛ, 1962. 152.
30. Слензак О.И. Вихревые структуры литосферы и структуры докембрия. Киев: Наук. думка, 1972. 183 с.
31. Маслов Л.А. Геодинамика литосферы Тихоокеанского подвижного пояса. Хабаровск–Владивосток: Дальнаука, 1996. 200 с.
32. Берсенев И.И. Осевое вращение Земли как одна из причин геотектогенеза. Строение и развитие земной коры. М.: Наука, 1964. С. 194–200.
33. Véronnet A. Rotation de l'ellipsoïde hétérogène et figure exacte de la Terre // *Journal de mathématiques pures et appliquées*. 1912. Vol. 6. No. 8. P. 331–463.
34. Фундаментальные проблемы общей тектоники. Под ред. Ю.М. Пушаровский. М.: Научный мир, 2001. 520 с.
35. Kojima S. Mesozoic Terrane accretion in North-East China, Sikhote-Alin and Japan regions // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1989. No. 69. P. 213–232.
36. Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Ли Н.С. Япономорская сейсмоактивная вихревая структура // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2017. Вып. 35. № 3. С. 26–35.
37. Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Ли Н.С. Ротационные процессы в эволюции Тихого океана: Асимметрия и переходные зоны Пасифики // *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. 2018. № 2. С. 45–57.
38. 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 // *Вулканология и сейсмология*. 2020. № 1. С. 49–63.
39. 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. Вып. 46. С. 85–101.
40. Дмитриевский А.Н., Володин И.А., Шипов Г.И. Энергоструктура Земли и геодинамика. М.: Наука, 1993. 154 с.
41. Казанский Б.А. Упорядоченность рельефа Тихоокеанской окраины Азии // *Тихоокеанская геология*. 1997. Т. 16. № 3. С. 29–33.
42. Мирлин Е.Г. Проблема вихревых движений в «твердых» оболочках Земли и их роль в геотектонике // *Геотектоника*. 2006. № 4. С. 43–60.
43. Вихри в геологических процессах. Ред. А.В. Викулин. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского гос. пед. ун-та, 2004. 297 с.
44. Лукьянов А.В. Пластические деформации и тектоническое течение в литосфере. М.: Наука, 1991. 144 с.
45. Jackson E.D., Shaw H.R., Bargar K.E. Calculated geochronology and stress field orientations along the Hawaiian chain // *Earth and Planetary Science Letters*. 1975. Vol. 26. No. 2. P. 145–155.
46. Кэрри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. История догм в науках о Земле (перевод с англ.). М.: Мир, 1991. 448 с.
47. Родников А.Г. Соотношение астеносферы и структур земной коры окраины Тихого океана // *Тихоокеанская геология*. 1986. № 4. С. 15–22.
48. General Bathymetric Chart of the Oceans. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.gebco.net> (дата обращения: 05.02.2014)
49. Салоп Л.И. Два типа структур докембрия: гнейсовые складчатые овалы и гнейсовые купола // *Бюллетень МОИП. Отдел геологический*. 1971. № 4. С. 5–30.
50. 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.
51. Chinzei K. Opening of the Japan Sea and marine Biogeography during the Miocene // *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*. 1986. Vol. 38. No. 5. P. 487–494. <http://dx.doi.org/10.5636/jgg.38.487>.

Issues of global tectonics

©2022 L. A. Izosov[✉], T. A. Emelyanova, N. S. Lee, Yu. I. Melnichenko

*Ilichev Pacific Oceanological Institute, Far-Eastern Division of the Russian Academy of Sciences,
43 Baltiyskaya ul., 690041, Vladivostok, Russian Federation*

Abstract

Introduction: Global tectonics, which has been formed by rotational processes, is determined by a stable regmatic network (tectonic frame) and structures of the central type (ring and vortex). Lithospheric plates are global vortex systems caused by the tectonic mass flow. Vortex structures are tectonic complexes that capture the results of a combination of vertical and horizontal tectonic movements and which can be recorded by direct geological observations.

Methodology: The purpose of the research is to obtain a general understanding of global geodynamics using lineament analysis, fundamental research data, and original developments of the authors.

Results and discussion: Vortex structures is the main type of tectonic elements of the Earth, they offer a key to understanding its geological evolution. They started to form during the nuclear stage of the planet's development. Displacement of the upper shells of the Earth relative to each other always leave "impressions" of previously existing deep structures (ring, vortex, fault structures). Ring and vortex structures are characterised by high permeability and are often magma-controlling and ore-bearing. There is a paragenetic relationship between vortex and ring structures. The depression of the Pacific Ocean is a vortex megastructure. Ring structures may represent the final stage of the development of the tectonic vortex when its branches ("arms") had joined the core. Examples of lithospheric vortices are marginal seas in the West Pacific, which were formed as a result of the tectonic interaction of the Eurasian and Pacific lithospheric plates due to a velocity shear.

Conclusion: The described ideas provide a new understanding of the tectonic evolution of the West Pacific "continent-ocean" transition zone as a lithospheric vortex megastructure.

Keywords: regmatic network, vortex systems, rotational tectonics, ring structures, shear zones.

Funding: The work was carried out within the framework of the state task of the POI FEB RAS (Reg. no. 121021700342-9, no. 121021500055-0, no. AAA-A19-119122090009-2).

For citation: Izosov L.A., Emelyanova T.A., Lee N.S., Melnichenko Yu.I. Issues of global tectonics. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2022, no. 4, pp. 4–19. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/4/4-19>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Anokhin V.M. *Global'naja diz'junktivnaja set' Zemli: stroenie, proishozhdenie i geologicheskoe znachenie* [Global Disjunctive Network of the Earth: Structure, Origin, and Geological Significance]. Saint Petersburg, Nedra publ., 2006,

161 p. (In Russ.)

2. Bush V.A. Sistemy transkontinental'nykh lineamentov Evrazii [Transcontinental lineament systems of Eurasia]. *Geotektonika – Geotectonics*, 1983, no. 3, pp. 15–31 (In Russ.)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Leonid A. Izosov, e-mail: donkifa@mail.ru

3. Katz Y.G., Kozlov V.V., Poletaev A.I., Solidi-Kondrat'ev E.D. *Kol'tsevye struktury Zemli: mif ili real'nost'?* [The ring structures of the Earth: myth or reality?]. Moscow, Nauka publ., 1989, 190 p. (In Russ.)
4. Melekestsev I.V. Vihrevaya vulkanicheskaya gipoteza i nekotorye perspektivy ee primeneniya [Vortex volcanic hypothesis and some prospects of its application]. *Problemy glubinogo vulkanizma* [Problems of deep volcanism]. Moscow, Nauka, 1979, pp. 125–155 (In Russ.)
5. Tveritinova T.Yu., Vikulin A.V. Geologicheskie i geofizicheskie priznaki vihrevykh struktur v geologicheskoy srede [Geological and geophysical signs of vortex structures in geological medium]. *Vestnik Kraunts. Ser. nauki o Zemle – Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*, 2005, no. 5, pp. 59–76 (In Russ.)
6. Koloskov A.V., Anosov G.I. Osobennosti geologicheskogo stroeniya i pozdnekajnozoijskij vulkanizm Vostochno-Aziatskoj okrainy v ramkah koncepcii vihrevoj geodinamiki [Features of geological structure and Late Cenozoic vulcanism of the East Asian margin within the framework of the concept of vortex geodynamics]. *Fundamental'nye issledovaniya morej i okeanov* [Fundamental research of seas and oceans]. Moscow, Nauka, 2006, pr. 1, pp. 278–291 (In Russ.)
7. Izosov L.A., Chuprynin V.I. O mekhanizme formirovaniya struktur central'nogo tipa Zapadno-Tihookeanskoj zony perekhoda kontinent – okean [Formation mechanism of central-type structures in the West Pacific continent–ocean transition zone]. *Geotectonics*, 2012, vol. 46, no. 3, pp. 232–250 (In Russ.)
8. Chuprynin V.I., Izosov L.A. Model' formirovaniya kraevykh morej Zapadnoj chasti Tihogo okeana [Model of the formation of marginal seas in the western Pacific Ocean]. *Doklady Earth Sciences*, 2017, vol. 472, no. 1, pp. 16–19 (In Russ.)
9. Lineamenty (linejnye struktury Zemli) [Lineaments (linear structures of the Earth)] Available at: <https://www.garshin.ru/evolution/geology/geosphere/geophysics/lineaments.html> (accessed: 05.06.2022) (In Russ.)
10. Morozov Yu.A. K fenomenologii struktur i protsessov rotatsionnogo genezisa [To the phenomenology of structures and processes of rotational genesis]. *Rotatsionnye protsessy v geologii i fizike* [Rotation processes in geology and physics]. Moscow, KomKniga, 2007, pp. 471–504 (In Russ.)
11. Melekescev I.V. Rol' vihrej v proiskhozhdenii i zhizni Zemli [The role of vortices in the origin and life of the Earth] Available at: <http://www.kscnet.ru/ivs/publication/whirlwinds/Melekescev.htm> (accessed: 05.06.2022) (In Russ.)
12. Pushcharovsky Yu.M. O trekh paradigmah v geologii [On Three Paradigms in Geology]. *Geotektonika – Geotectonics*, 1995, no.1, pp. 4–11 (In Russ.)
13. Chuprynin V.I. *Nelineinye yavleniya v geosistemakh* [Non-linear phenomena in geosystems]. Moscow, Nauka publ., 2008, 197 p. (In Russ.)
14. Nikolis G., Prigozhin I. *Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemakh* [Self-Organization in Nonequilibrium Systems]. Moscow, Mir publ., 1979, 512 p. (In Russ.)
15. Izosov L.A., Chuprynin V.I., Mel'nichenko Yu.I., Lee N.S. Morfostrukturnyj analiz pri reshenii geologicheskikh problem vostoka Azii [Morphostructural analysis in solving geological problems of Eastern part of Asia]. *Geomorfologiya – Geomorfologiya*, 2018, no. 4, pp. 3–17. <https://doi.org/10.7868/S0435428118040016> (In Russ.)
16. Sonder R.A. Die Lineament tectonic und ihre problem. *Ed. Geol. Helv*, 1938, vol. 31, no. 1, pp. 199–238.
17. Stille G. *Izbrannye Trudy* [Selected Works]. Moscow, Mir publ., 1964, 887 p. (In Russ.)
18. Utkin V.P. Vostochno-Aziatskaya global'naya sdvigovaya sistema, vulkanicheskij poyas i okrainnye morya [East Asian global shear system, volcanic belt and marginal seas]. *Doklady Akademii nauk SSSR – Proceedings of the USSR Academy of Sciences*, 1978, vol. 240, no. 2, pp. 400–403 (In Russ.)
19. Regional Geology of Jilin province (Geological memoirs). *Geological Publishing House*, Beijing, 1989, Ser. 1, no. 10, 698 p.
20. Izosov L.A., Konovalov Yu.I., Emel'yanova T.A. *Problemy geologii i amazonosnosti zony perekhoda kontinent-okean. Yaponomorskii i Zheltomorskii regiony* [Problems of geology and diamond potential of the continent-ocean transition zone. Regions of the Japan and Yellow Seas]. Vladivostok, Dalnauka publ., 2000, 325 p. (In Russ.)
21. Tanaka K., Nozawa T. (eds.). Geology and mineral resources of Japan: 3rd ed., vol. 1, *Geology. Geological Survey of Japan*, Tokyo, 1977, 430 p.
22. King L. *Morfologiya Zemli* [The Earth's Morphology]. Moscow, Progress publ., 1967, 559 p. (In Russ.)
23. Ufimtsev G. F. Cherty poryadka v global'nom reliefe Zemli [Features of order in global relief of Earth]. *Tihookeanskaya geologiya – Geology of the Pacific Ocean*, 1988, no. 4, pp. 105–113 (In Russ.)
24. Sholpo V.N. *Struktura Zemli: uporyadochenost' ili besporядok?* [The structure of the Earth: order or disorder?]. Moscow, Nauka publ., 1986, 160 p. (In Russ.)
25. Hughes T. Coriolis perturbation of mantle convection related to a two-phase convection model. *Tectonophysics*, 1973, vol. 18, no. 3–4, pp. 215–230.
26. Pavlovsky E.V. Rannie stadii razvitiya zemnoj kory [Early stages of the development of the earth's crust]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya Geologiya – Izvestiya an SSSR. Series Geology*, 1970, no. 5, pp. 23–39. (In Russ.)
27. Li Sy-guan. *Vihrevye 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.)
28. 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.
29. Katterfeld G.N. *Lik Zemli* [The Face of the Earth]. Moscow, GIGL publ., 1962, 152 p. (In Russ.)
30. 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.)
31. Maslov L.A. *Geodinamika litosfery Tikhookeanskogo podvizhnogo poyasa* [Geodynamics of the lithosphere of the Pacific mobile belt]. Khabarovsk-Vladivostok, Dalnauka publ., 1996, 200 p. (In Russ.)
32. Bersenev I.I. Osevoe vrashchenie Zemli kak odna iz prichin geotektogeneza [Axial rotation of the Earth as one of the causes of geotectogenesis]. *Stroenie i raz-vitie zemnoj kory* [Structure and development of the Earth's crust]. Moscow, Nauka, 1964, pp. 194–200. (In Russ.)
33. Véronnet A. Rotation de l'ellipsoïde hétérogène et figure exacte de la Terre. *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 1912, vol. 6, no. 8, pp. 331–463.
34. *Fundamental'nye problemy obshchei tektoniki* [Fundamental problems of general tectonic]. In Pushcharovskii Yu.M. (eds.) Moscow, Nauchnyi mir publ., 2001, 520 p. (In Russ.)
35. Kojima S. Mesozoic Terrane accretion in North-East China, Sikhote-Alin and Japan regions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1989, no. 69, pp. 213–232.
36. Izosov L.A., Chuprynin V.I., Lee N.S. Yaponomorskaya sejsmoaktivnaya vihrevaya struktura [Seismically active vortex structure in the Sea of Japan]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle – Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center»*. *Earth Sciences*, 2017, no. 3 (35), pp. 26–35 (In Russ.)

37. Izosov L.A., Chuprynin V.I., Lee N.S. Rotatsionnye protsessy v ehvolyutsii Tikhogo okeana: Asimetriya i perekhodnye zony Patsifiki [Rotational processes in the evolution of the Pacific ocean: Asymmetry and transition zones of the Pacific]. *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle – Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center»*. *Earth Sciences*, 2018, no. 2. pp. 45–57 (In Russ.)
38. 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. *Journal of Volcanology and Seismology*, 2020, vol. 14, no. 1, pp. 44–57. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.1134/S0742046320010029>
39. Izosov L.A., Chuprynin V.I., Petrishchevskij A.M., Emel'yanova T.A., Mel'nichenko Yu.I., Vasil'eva M.A., Lee N.S. Formirovanie okrainnykh morej Tihogo okeana: sledstvie sdvigovoj neustojchivosti i astenosfernogo diapirizma [Formation of marginal seas of the Pacific Ocean: a consequence of shear instability and asthenospheric diapirism]. *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle – Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center»*. *Earth Sciences*, 2020, no. 2(46). pp. 85–101 (In Russ.)
40. Dmitrievskiy 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.)
41. Kazansky B.A. Uporyadochennost' rel'efa Tikhookeanskoi okrainy Azii [Orderliness of the relief of the Pacific margin of Asia]. *Tikhookeanskaya geologiya – Russian Journal of Pacific Geology*, 1997, vol. 16, no. 3, pp. 29–33 (In Russ.)
42. Mirlin E.G. Problema vikhrevykh dvizheniy v «tvoryordiykh» obolochkah Zemli i ih roli v geotektonike [The problem of vortex motions in the "hard" shells of the Earth and their role in geotectonics]. *Geotektonika – Geotectonics*, 2006, no 4, pp 43–60 (In Russ.)
43. *Vikhri v geologicheskikh protsessakh* [Vortex-related events of the geological processes] In Vikulin A.V. (eds.) Petropavlovsk-Kamchatskij, Kamchatskij gosudarstvennyj pedagogicheskiy universitet publ., 2004, 297 p. (In Russ.)
44. Lukyanov A.V. *Plasticheskie deformacii i tektonicheskoe techenie v litosfere* [Plastic Deformation and Tectonic Flow in the Lithosphere]. Moscow, Nauka publ., 1991, 144 p. (In Russ.)
45. Jakson E.D., Shaw H.R., Bargar K.E. Calculated geochronology and stress field orientations along the Hawaiian chain. *Earth and Planetary Science Letters*, 1975, vol. 26, no. 2, pp. 145–155.
46. Kerri U. *V poiskah zakonomernostej razvitiya Zemli i Vselennoj. Istoriya dogm v naukah o Zemle* (perevod s angl.) [Theories of the Earth and Universe – a History of Dogma in the Earth Sciences]. Moscow, Mir publ., 1991, 448 p. (In Russ.)
47. Rodnikov A.G. Sootnoshenie astenosfery i struktur zemnoj kory okrainy Tihogo okeana [The ratio of the asthenosphere and crustal structure of the margin of the Pacific ocean]. *Tikhookeanskaya geologiya – Russian Journal of Pacific Geology*, 1986, no. 4, pp. 15–22 (In Russ.)
48. General Bathymetric Chart of the Oceans. Available at: <https://www.gebco.net> (accessed 05.02.2014).
49. Salop L.I. Dva tipa struktur dokembriya: gneisovye skladchatye ovaly i gneisovye kupola [Two types of Precambrian structures: gneiss folded ovals and gneiss domes]. *Byulleten' MOIP. Otdel geologicheskij – Bulletin MOIP. Geological department*, no. 4, pp. 5–30 (In Russ.)
50. Izosov L.A., Konovalov Yu.I. *Zapadno-Cikhoteh-Alinskii okrainno-kontinental'nyi vulkanicheskii poyas i ego tektonicheskaya pozitsiya v Zapadno-Tikhookeanskoi zone perekhoda kontinent – okean* [West Sikhote-Alin marginal continental volcanic belt and its tectonic position in the West Pacific continent-ocean transition zone]. Vladivostok, Dalnauka publ., 2005, 315 p. (In Russ.)
51. Chinzei K. Opening of the Japan Sea and marine Biogeography during the Miocene. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 1986, vol. 38, no. 5. pp. 487–494. <http://dx.doi.org/10.5636/jgg.38.487>.

Izosov Leonid Aleksandrovich – д.г.-м.н., главный научный сотрудник, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация; E-mail: donkifa@mail.ru, ORCID 0000-0002-7881-4704

Emel'yanova Tat'yana Andreevna – к.г.-м.н., ведущий научный сотрудник, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация; E-mail: emelyanova@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-4790-7270

Lee Natalia Sergeevna – научный сотрудник, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация; E-mail: lee@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0001-6658-6946

Melnichenko Yuriy Ivanovich – к.г.-м.н.; старший научный сотрудник, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Российская Федерация; E-mail: yumel@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-8870-9350

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Izosov L. Aleksandrovich – PhD, Dr. habil. in Geol.-Min., Chief Researcher, Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation; E-mail: donkifa@mail.ru, ORCID 0000-0002-7881-4704

Emel'yanova T. Andreevna – PhD in Geol.-Min., Leading Researcher, Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation; E-mail: emelyanova@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-4790-7270

Lee N. Sergeevna – Researcher, Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation; E-mail: lee@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0001-6658-6946

Melnichenko Yu. Ivanovich – PhD in Geol.-Min., Senior Researcher, Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation; E-mail: yumel@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-8870-9350

All authors have read and approved the final manuscript.