



SPECIFIC FEATURES OF DEFORMATION OF THE CONTINENTAL AND OCEANIC LITHOSPHERE AS A RESULT OF THE EARTH CORE NORTHERN DRIFT

M.A. Goncharov¹, Yu.N. Raznitsin², Yu.V. Barkin³

¹Geological Faculty of Lomonosov State University of Moscow
Vorobiev Gory, Moscow, 119992, Russia

²Geological Institute of the RAS,
7 Pyzhevskiy per., 119017, Russia

³Sternberg Astronomical Institute under
Lomonosov State University of Moscow auspices,
13 Universitetskij Avenue, Moscow, 119992, Russia

Abstract: Drifting and submeridional compression of the continental and oceanic lithosphere, both with the northward vector (Figure 1) are revealed at the background of various directions of horizontal displacement combined with deformations of horizontal extension, compression and shear of the lithosphere (Figures 7–14). Among various structural forms and their parageneses, indicators of such compression, the north vergence thrusts play the leading role (Figures 15–17, 19, and 22–24). This process was discontinuous, manifested discretely in time, and superimposed on processes of collisional orogenesis and platform deformations of the continental lithosphere and accretion of the oceanic lithosphere in spreading zones. Three main stages of submeridional compression of the oceanic lithosphere are distinguished as follows: Late Jurassic-Late Cretaceous, Late Miocene, and the contemporary stages.

Based on the concept of balanced tectonic flow in the Earth's body, a model of meridional convection (Figure 25) is proposed. In this case, meridional convection is considered as an integral element of the overglobal convective geodynamic system of the largest-scale rank, which also includes the western component of the lithosphere drift (Figure 6) and the Earth's 'wrenching'. At the background of this system, geodynamic systems of smaller scale ranks are functioning (Table 1; Figures 2, and 3). The latter are responsible for the periodic creation and break-up of supercontinents, plate tectonics and regional geodynamical processes; they also produce the 'structural background', in the presence of which it is challenging to reveal the above mentioned submeridional compression structures. Formation of such structures is caused by the upper horizontal flow of meridional convection.

Meridional convection occurs due to drifting of the Earth core towards the North Pole (which is detected by a number of independent methods) and resistance of the mantle to drifting (Figures 26, and 27).

By comparing the equations that describe the model of the northern drift of the lithosphere and the model of the core drift towards the North Pole, it is possible to establish a quantitative 'bridge' between the structures of meridional compression of the lithosphere and the core drifting structures.

Conclusions based on the model of the northern drift of the lithosphere conform to many independent data and concepts, such as disturbance of the isostatic equilibrium of the Antarctica lithosphere and its high standing; the anomalously wide shelf of the Arctic ocean (Figure 28a) and the increased thickness of the sediment cover, that is rich in hydrocarbons, in combination with the ultralow velocity of spreading in Gakkel Ridge; the approximately equal areas of Antarctica and the Arctic ocean as antipodes (Figure 28b); elongation (according to GPS data) of the parallels in the Southern hemisphere, and their shortening in the Northern hemisphere (Figure 26); radial (relative to the South Pole) rifts and other lineaments in Antarctica (Figures 29, and 30); the sub-concentric (relative to the same pole) system of spreading around Antarctica, which develops northward into the submeridional system including three 'trunks' at a distance of about 90° (Figure 31).

Due to the higher velocity of the northern drift of the lithosphere within the band with the middle meridian 100° E – 80° W, wherein the main mass of the continental lithosphere is concentrated and whose two 'poles' are marked by the axes of the African and Pacific superplumes (Figures 3, 4, 5, and 32), the following specific features have developed: maximum elongation of the Antarctic continent in the Southern ('stretched') hemisphere (Figure 28 b); maximum shortening of the Arctic ocean in the Northern ('compressed') hemisphere (Figure 28a); maximum spreading velocity in the South-Eastern Indian Ridge (Figure 33); maximum northern component of the horizontal displacements velocity (according to GPS data) (Figure 34); the mantle Sunda diapir of maximum width and depth (to 400 km); the Himalayas as an orogen of maximum height; Tibet as a plateau of maximum width and height; and Baikal as a rift of maximum length and depth. The Hindustan indenter is neighboring this meridional band (Figure 20). The Himalayas, Tibet and more remote Baikal are located at its front, and the zone of intra-plate deformations (also caused by the meridional compression) is revealed in the rear. Also associated with this band is the Taimyr Peninsula (Figure 28a), in the direction of which the Earth core drifts.

Key words: convective geodynamic system, continental and oceanic lithosphere, meridional convection, the northern drift of the lithosphere and the Earth core, submeridional compression.

Recommended by Yu.G. Leonov 10 February 2012

Citation: Goncharov M.A., Raznitsin Yu.N., Barkin Yu.V. Specific features of deformation of the continental and oceanic lithosphere as a result of the Earth core northern drift // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2012. V. 3. № 1. P. 27–54. DOI:10.5800/GT-2012-3-1-0060.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ И ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЛИТОСФЕРЫ КАК СЛЕДСТВИЕ СЕВЕРНОГО ДРЕЙФА ЯДРА ЗЕМЛИ

М.А. Гончаров¹, Ю.Н. Разницин², Ю.В. Баркин³

¹Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Ленинские горы, Москва, 119992, Россия

²Геологический институт РАН,
7, Пыжевский пер., Москва, 119017, Россия

³Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
при МГУ, 13, Университетский пр-т, Москва, 119992, Россия

Аннотация: На фоне разнообразных направлений горизонтального перемещения, сочетающегося с деформациями горизонтального растяжения, сжатия и сдвига литосферы (рис. 1), обнаружено явление дрейфа и субмеридионального сжатия континентальной и океанической литосферы, вектор которых направлен на север (рис. 7–14). Среди различных структурных форм и их парагенезов – индикаторов такого сжатия – ведущую роль играют надвиги северной вергентности (рис. 15–17, 19, 22–24). Этот процесс не был непрерывным, но проявлял себя во времени дискретно, накладываясь на процессы коллизионного орогенеза и платформенных деформаций континентальной литосферы и аккреции океанической коры в зонах спрединга. Выявлены три основных этапа субмеридионального сжатия океанической литосферы: позднеюрский – позднемеловой, позднемиоценовый и современный.

Посредством представления о компенсационной организации тектонического течения в теле Земли предложена модель меридиональной конвекции (рис. 25) как составного элемента надглобальной конвективной геодинамической системы наиболее крупномасштабного ранга, включающей также западную компоненту дрейфа литосферы (рис. 6) и «скручивание» Земли. На фоне этой системы функционируют геодинамические системы более мелкомасштабных рангов (таблица; рис. 2, 3), ответственные за периодическое созидание и распад суперконтинентов, тектонику литосферных плит и региональные геодинамические процессы и создающие «структурный шум», наличие которого затрудняет обнаружение структур субмеридионального сжатия, упомянутых выше. Верхний горизонтальный поток меридиональной конвекции как раз и является причиной формирования этих структур.

Меридиональная конвекция – следствие установленного независимыми методами дрейфа ядра Земли к Северному полюсу и сопротивления мантии этому дрейфу (рис. 26, 27).

Сопоставление формул, описывающих модель северного дрейфа литосферы и модель дрейфа ядра к Северному полюсу, позволило перебросить количественный «мост» между структурами меридионального сжатия литосферы и дрейфом ядра.

Следствия из модели северного дрейфа литосферы согласуются со многими независимыми данными и концепциями. Это нарушение изостатического равновесия литосферы Антарктиды и ее высокое стояние; аномально широкий шельф Арктического океана (рис. 28, а) и повышенная мощность богатого углеводородами осадочного чехла в сочетании с ультранизкой скоростью спрединга в срединно-океаническом хребте Гаккеля; примерное равенство площадей антиподально расположенных Антарктиды и Арктического океана (рис. 28, б); удлинение (по данным GPS) параллелей в Южном полушарии и их укорочение в Северном полушарии (рис. 26); радиальные по отношению к Южному полюсу рифты и другие линеаменты в Антарктиде (рис. 29, 30); субконцентрическая (по отношению к тому же полюсу) система спрединга вокруг Антарктиды, переходящая к северу в субмеридиональную систему в виде трех «стволов» примерно через 90° (рис. 31).

Повышенная скорость северного дрейфа литосферы в полосе со средним меридианом 100° в.д. – 80° з.д., в которой сосредоточена основная масса континентальной литосферы и два «полюса» которой обозначены осями Африканского и Тихоокеанского суперплюмов (рис. 3–5, 32), обусловила следующие особенности: максимальное удлинение Антарктического континента в Южном («растянутом») полушарии (рис. 28, б); максимальное укорочение Арктического океана в Северном («сжатом») полушарии (рис. 28, а); максимальную скорость спрединга в Юго-Восточном Индийском срединном хребте (рис. 33); максимальную северную компоненту скорости горизонтальных перемещений (по данным GPS, рис. 34); максимально широкий и глубокий (до 400 км) мантийный диапир – Зондский; максимально высокий ороген – Гималаи; максимально широкое и высокое плато – Тибет; максимально длинный и глубокий рифт – Байкальский. Вблизи этой меридиональной полосы находится Индостанский индентор (рис. 20). На его фронте находятся Гималаи, Тибет и более удаленный Байкал, в его тылу – зона внутриплитных деформаций субмеридионального сжатия. К этой же полосе приурочен и п-ов Таймыр (рис. 28, а), в направлении которого и дрейфует земное ядро.

Ключевые слова: конвективная геодинамическая система, литосфера континентальная и океаническая, меридиональная конвекция, северный дрейф литосферы и земного ядра, субмеридиональное сжатие.

«... основным источником энергии становится взаимодействие между ядром и мантией. Именно оно определяло и определяет сейчас развитие Земли и преобразование внешних ее оболочек, являясь главной причиной эндогенных процессов, видоизменяющих лик Земли».

Л.П. Зоненшайн, Л.А. Савостин
[Zonenshain, Savostin, 1979]

1. ВВЕДЕНИЕ

Некоторое время назад авторы Мировой карты напряжений в литосфере (рис. 1) высказали версию о двухпорядковой иерархии полей напряжений [Zoback, 1992]. Они различают региональное и локальное поля напряжений.

Региональные напряжения – это напряжения горизонтального сжатия, ориентированные либо в направлении расхождения литосферных плит от осей спрединга, либо в направлении, перпендикулярном к простиранию коллизионных орогенов. Локальные отклонения от регионального поля напряжений отмечены, прежде всего, в рифтовых зонах.

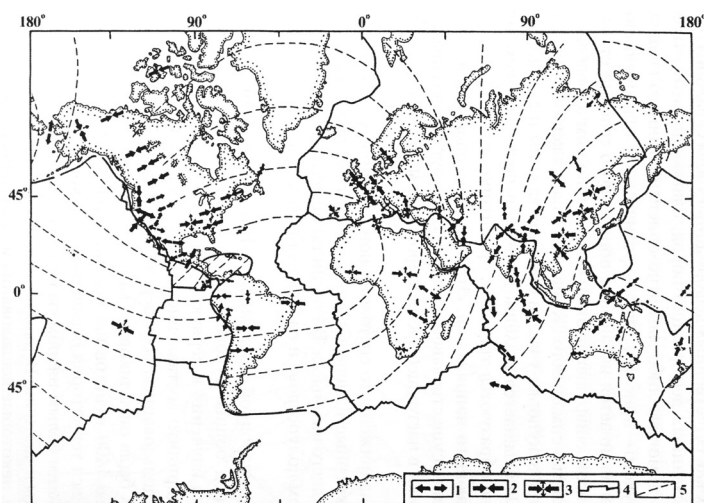


Рис. 1. Генерализованная карта напряжений в литосфере, составленная по международной программе «Литосфера», по [Zoback, 1992], из [Khain, Lomize, 2005]. Учтены решения фокального механизма землетрясений, наблюдения в скважинах, штрихи на сместителях разрывов, ориентировка выводных каналов при вулканических извержениях. Размер нанесенных на карту знаков пропорционален количеству и согласованности исходных данных.
1 – растяжение, образование сбросов; 2 – сжатие с образованием взбросов и надвигов; 3 – сжатие с образованием диагональных сдвигов; 4 – границы литосферных плит; 5 – траектории абсолютного движения литосферных плит согласно модели Минстера – Джордана.

Fig. 1. Generalized map of stress in the lithosphere, after [Zoback, 1992], extracted from [Khain, Lomize, 2005]. The solutions of the earthquakes focal mechanisms, wells measurements, and other data are taken into account. The size of signs on the map is proportional to the quantity and coherence of the original data.

1 – extension, forming of normal faults; 2 – compression, forming of reversed faults and thrusts; 3 – compression, forming of diagonal wrench faults; 4 – lithosphere plates boundaries; 5 – absolute movement trajectories of the lithospheric plates according to the Minster-Jordan model.

Однако такая иерархия полей напряжений свойственна лишь литосфере. Так, Африканская плита ограничена, как с запада, так и с востока, зонами спрединга, что, по логике авторов, предопределяет обстановку горизонтального сжатия Африканского континента. Горизонтальное же растяжение, обусловившее формирование Восточно-Африканской рифтовой системы, является всего лишь «локальным отклонением» от регионального поля напряжений горизонтального сжатия.

С такой трактовкой нельзя согласиться. В соответствии с палеогеодинамическими реконструкциями [Scotese, Golonka, 1993], после распада последней, вегнеровской, Пангеи от Африки «отодвигались», соответственно к западу и востоку, не только континенты Америки и Австралии, но и расположенные между ними зоны спрединга. Другими словами, обширная область, простирающаяся от Америки до Австралии, подверглась горизонтальному растяжению, одним из поверхностных, якобы «локальных» в трактовке [Zoback, 1992], проявлений которого является формирование Восточно-Африканской рифтовой системы.

Противоречие устраняется, если исходить из концепции геодинамики иерархически соподчиненных геосфер одного из авторов данной статьи – М.А. Гончарова

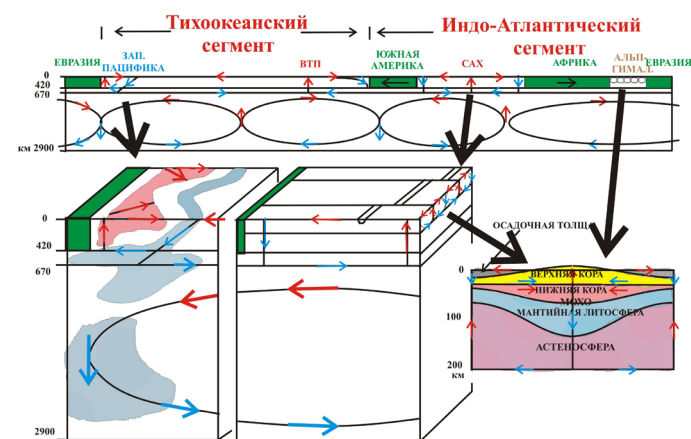


Рис. 2. Схема иерархии конвективных геодинамических систем трех рангов: 1-го ранга (наверху), 2-го ранга (внизу слева) и 3-го ранга (вверху слева и внизу справа). Зоны спрединга: ВТП – Восточно-Тихоокеанское поднятие, САХ – Срединно-Атлантический хребет, Альп-Гимал. – Альпийско-Гималайский орогенный пояс.

Fig. 2. Scheme of hierarchy of the convective geodynamic systems of three ranks: 1st rank (up), 2nd rank (down to the left), 3rd rank (up to the left and down to the right). Spreading zones: ВТП – East Pacific Rise, САХ – Mid-Atlantic Ridge, Альп-Гимал. – Alpine Himalayan orogenic belt.

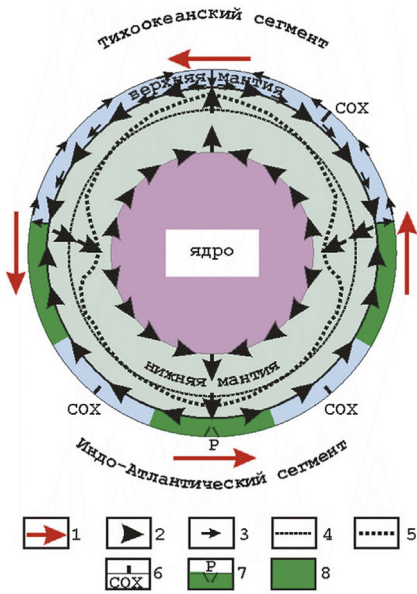


Рис. 3. Принципиальная схема функционирования геодинамической конвективной системы 1-го ранга (ГС-1) в мантии Земли. Разрез вдоль экватора, вид со стороны Южного полюса (по [Goncharov et al., 2005]).

1 – западная компонента дрейфа континентов в ГС-0; 2 – направление одноярусной конвекции во всей мантии в Индо-Атлантической ячейке ГС-1 и в нижнем ярусе (в нижней мантии) двухъярусной конвекции в Тихоокеанской ячейке ГС-1; 3 – направление конвекции в верхнем ярусе (в верхней мантии) двухъярусной конвекции в Тихоокеанской ячейке ГС-1; 4 – условный равноглубинный уровень в нижней мантии; 5 – условная изотерма в нижней мантии; 6 – зона спрединга в океанической мантии, мигрирующая под влиянием конвекции в ячейках ГС-1; 7 – рифтовая зона в континентальной мантии, возникающая над областью восходящего потока и горизонтального растяжения в ГС-1; 8 – континенты, испытывающие горизонтальное растяжение над областью восходящего потока в ГС-1 (прототип – Африка) и дрейф между областями восходящего и нисходящего потоков в ГС-1 (прототипы – Северная и Южная Америка и Евразия–Австралия).

Fig. 3. Functioning of the convective Geodynamic System of the first rank (GS-1) within the Earth mantle: a conceptual scheme, after [Goncharov et al., 2005]. A section along the equator viewed from the South Pole. 1 – western component of continental drift in GS-0; 2 – direction of one-level convection within the entire mantle in the Indo-Atlantic cell of the GS-1 and at the lower level (within the lower mantle) of two-level convection in the Pacific cell of the GS-1; 3 – direction of convection at the upper level (within the upper mantle) of two-level convection in the Pacific cell of the GS-1; 4 – conditional level of equal depth within the lower mantle; 5 – conditional isotherm within the lower mantle; 6 – spreading zone in the oceanic mantle that migrates under the effect of convection in cells of the GS-1; 7 – rift zone in the subcontinental mantle that arises above the region of ascending flow and horizontal extension in the GS-1; 8 – continents that undergo horizontal extension above the ascending flow in the GS-1 (Africa as a prototype) and drift between the ascending and descending flows in the GS-1 (both Americas and Eurasia–Australia as prototypes).

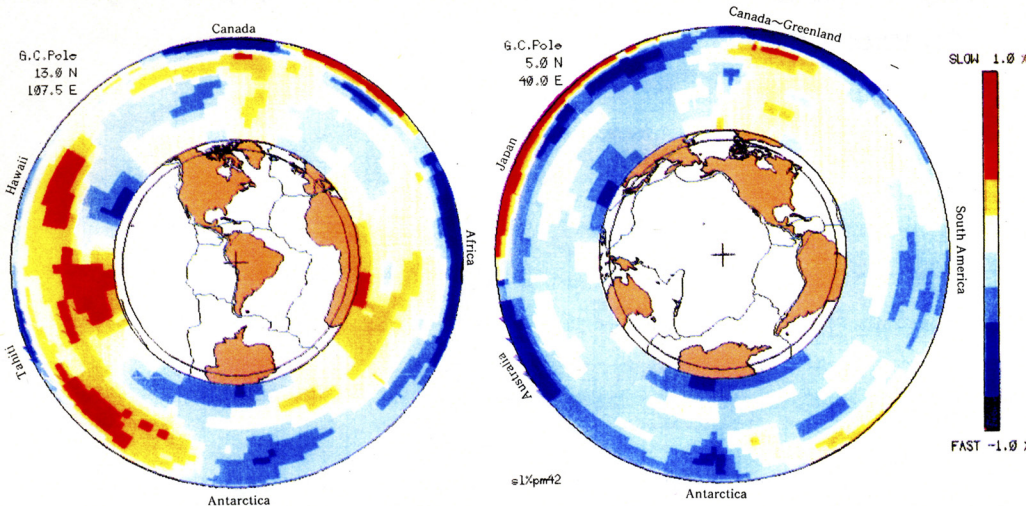


Рис. 4. Сейсмотомографические разрезы мантии Земли вдоль двух приблизительно взаимно ортогональных больших кругов на земной поверхности. Из [Journal..., 1994].

Шкала отражает отклонения скоростей сейсмических волн от средних значений, выраженные в %. На левом разрезе зафиксирована более «горячая» мантия и два суперплюма (Тихоокеанский и Африканский). На правом разрезе – более «холодная» мантия.

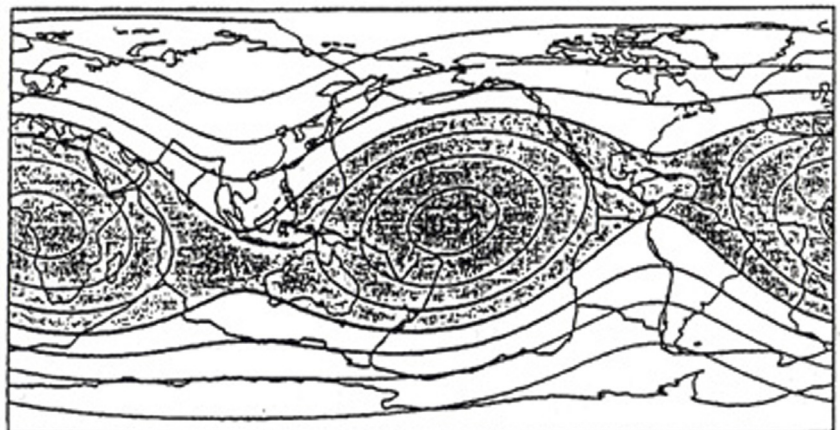
Fig. 4. Seismotomographic Earth mantle sections along two approximately mutually orthogonal big circles on the Earth surface. Extracted from [Journal..., 1994]. The scale reflects the deviations of the seismic wave velocities from the medium values stated in percents. On the left section, the «hotter» mantle and two super-plumes (Pacific and African) are shown. On the right section, the «colder» mantle is shown.

Рис. 5. Средние скорости сейсмических волн в нижней мантии. Области с пониженными скоростями отмечены крапом (по [Seidler et al., 1999]).

В экваториальной полосе пониженных скоростей выделяются две области, центры которых расположены в антиподальных точках, соответствующих центрам Тихоокеанского и Африканского суперплюмов.

Fig. 5. Medium seismic velocities in the lower mantle. The domains with lowered velocities marked by specks, (after [Seidler et al., 1999]).

Two domains, with centers in antipodal points corresponded with centers of Pacific and African superplumes, outstand in the equatorial zone of lowered velocities.



Геодинамика иерархически соподчиненных геосфер

Geodynamics of Hierarchically Subordinate Geospheres

| Ранг ГС | Геосфера, h (км) | Ареал | Процессы, структуры | Ранг ГЦ, t, Ma | h/t, см/год |
|---------|-------------------------|--|---|-----------------------------------|-------------|
| ГС-0 | Вся мантия 2900 | Повсеместно | Меридиональная компонента дрейфа континентов, связанная в новейшее время с поднятием Антарктиды и опусканием Арктики | Цикл меридионального дрейфа, 1600 | 0.18 |
| ГС-1 | Вся мантия 2900 | Повсеместно | Созидание и распад суперконтинентов | Циклы Вилсона, 800 | 0.36 |
| ГС-2 | Верхняя мантия 660÷670 | Под океанами | Субдукция, коллизия, спрединг | Циклы Бертрана, 175 | 0.38 |
| ГС-3 | Астеносфера + литосфера | В зонах повышенного теплопотока (субдукции, коллизии, спрединга) | Двухъярусная конвекция | | |
| | ГС-3а 300÷400 | | В зонах субдукции и коллизии – мантийные диапиры, впадины над ними, дугообразные желоба и зоны Беньюфа или центробежно-вергентные складчато-покровные сооружения на периферии | ? | ? |
| | ГС-3б 100÷220 | | В зонах коллизии – системы линейных продольных поднятий с «корнями» и впадин с «антикорнями» | Циклы Штилле, 30 | 0.53 |
| | ГС-3в 50÷100 | | В зонах спрединга – системы линейных поперечных поднятий с «корнями» и впадин с «антикорнями» | ? | ? |
| ГС-4 | Осадочный чехол 5÷15 | В зонах коллизии | Термофлюидная конвекция. Региональный метаморфизм. Антиклинории и синклинории, складки | Фазы складчатости, 1÷3 | – 0.50 |

Примечание. ГС – геодинамические системы; ГЦ – геодинамические циклы; циклы Вилсона, Бертрана и Штилле – по В.Е. Хаину [Khain, 2000]; h – мощность геосферы; t – длительность цикла; Ma – млн лет.

Note. ГС – geodynamic systems; ГЦ – geodynamic cycles; Wilson, Bertrand and Stille cycles according to [Khain, 2000]; h – lithosphere thickness; t – cycle duration; Ma – million years.

[Goncharov et al., 2005; Goncharov, 2006; Khain, Goncharov, 2006; Goncharov, 2011a] (таблица, рис. 2). В этой концепции распад Пангеи и последующий центробежный дрейф континентов вместе с их «корнями» обусловлены функционированием конвективной геодинамической системы 1-го ранга во всей мантии и коре (рис. 3). Восходящий поток отождествляется с Африканским суперплюмом (рис. 4, 5), одно из ответвлений которого и породило Восточно-Африканскую рифтовую систему в пределах малоподвижного Африканского континента. Горизонтальный же центробежный поток, в соответствии с концепцией «тектоники плавающих континентов» В.П. Трубицына [Trubitsyn, Rykov, 2000], «сцепленный» с «корнями» континентов Америки и Австралии, обеспечил их «отодвигание» от Африки.

Таким образом, якобы «локальные отклонения» от «регионального поля напряжений» в действительности представляют собой поверхностные проявления более крупномасштабного поля напряжений с большей глубиной заложения.

Исходя из этого, в задачи нашей работы входило: (а) выявление, на фоне разнонаправленных траекторий движения литосферных плит и «вмороженных» в них континентов, некоей общей для них компоненты перемещения, обусловленной более глубинными процессами; (б) обнаружение, среди разнообразных ориентировок главных осей напряжений, ориентировки, параллельной выявленной общей компоненте перемещения; (в) построение взаимно согласованной модели пере-

мещений и деформаций и сопоставление этой модели с характерными явлениями в глубинных недрах Земли.

2. ЗАПАДНАЯ И СЕВЕРНАЯ КОМПОНЕНТЫ ДРЕЙФА КОНТИНЕНТОВ В ФАНОРОЗОЕ

В фанерозое произошли два события, которые В.Е. Хаин трактует как проявление геодинамического цикла Вилсона 1-го ранга, соответствующего упомянутой выше геодинамической системе того же 1-го ранга [Khain, Goncharov, 2006]: амальгамация континентов в вегенеровскую Пангею и последующий распад этой Пангеи. Помимо этого, для фанерозоя характерны западная и северная компоненты дрейфа континентов [Khain, Goncharov, 2006], а также «скручивание» Земли (последнее происходило и в протерозое) [Goncharov, Vodovozov, 2010], которые выявлены достаточно определенно.

Западная компонента дрейфа обусловлена вращением верхних геосфер вокруг земной оси с меньшей скоростью, чем нижележащие геосферы. Иными словами, они относительно последних «вращаются» в противоположном – западном – направлении (рис. 6). Теоретически это обосновано в статье [Smith, Lewis, 1999], а результаты физического моделирования опубликованы в работе [Bobryakov et al., 1992]. Установлено, что в настоящее время внутреннее ядро Земли

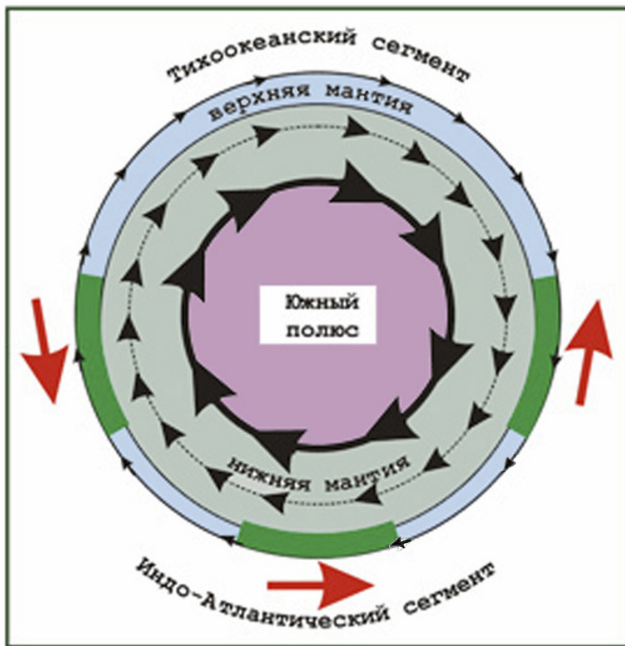


Рис. 6. Вращение (вокруг земной оси к востоку) нижележащих геосфер относительно вышележащих с большей скоростью (символически обозначенное разной длиной черных стрелок), приводящее к относительно «отставанию» наиболее возвышенной континентальной литосферы (зеленый цвет) – западному дрейфу континентов (красные стрелки).

Fig. 6. Rotation, around the Earth's axis to the east and symbolically pictured by the different length of the black arrows, of the underlying geospheres, relative to the overlying ones, with the higher speed, leading to the relative "lag" of the most elevated continental lithosphere (green color) and western continental drift (red arrow).

вращается вокруг земной оси несколько быстрее, чем вышележащие геосферы [Adushkin et al., 2002]. Однако при западном дрейфе геосферы просто «проворачиваются» друг относительно друга, не меняя своих размеров и тем самым не деформируясь.

«Скручивание» Земли. Имеется много признаков этого процесса [Goncharov, Vodovozov, 2010]; в первую очередь следует упомянуть смещение северных частей глобальных структур субмеридионального простираения к западу относительно их южных частей. Однако, как и при упомянутом западном дрейфе литосферы, ее «скручивание» выражается лишь в деформации простого левостороннего сдвига вдоль параллелей, также не приводящего ни к горизонтальному сжатию, ни к горизонтальному растяжению вдоль меридианов или параллелей.

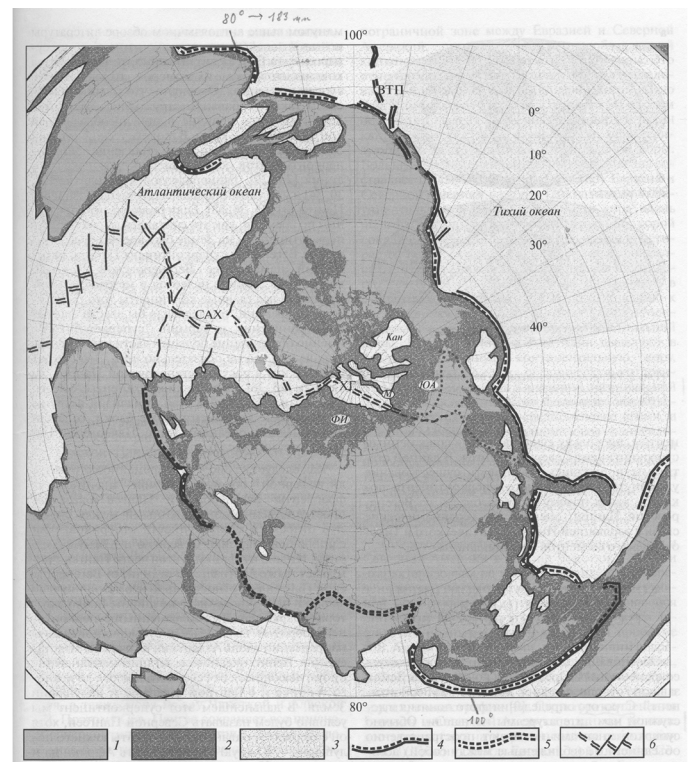


Рис. 7. Схема распределения континентов в Северной полушарии Земли (вид с Северного полюса), по [Kovalenko et al., 2010].

1 – 2 – континентальные плиты: 1 – собственно континенты, 2 – континентальный шельф; 3 – океанические плиты, 4 – 5 – конвергентные границы плит: 4 – зоны субдукции, 5 – зоны континентальной коллизии; 6 – дивергентные границы (спрединг-хребты).

Буквы на схеме: Кан – Канадская впадина, М – впадина Макарова, ХГ – Евразийский бассейн и спрединговый хребет Гаккеля, ФИ – архипелаг Земля Франца Иосифа, ЮА – Южно-Ануйская сутура, САХ – Срединно-Атлантический хребет и связанный с ним вулканизм, ВТП – Восточно-Тихоокеанское поднятие и связанный с ним вулканизм.

Fig. 7. Scheme of distribution of continents in the Northern Earth's hemisphere (view from the North Pole), after [Kovalenko et al., 2010].

1 – 2 – continental plates: 1 – continents proper, 2 – continental shelf; 3 – oceanic plates; 4 – 5 – convergent plate boundaries: 4 – subduction zones, 5 – zones of continental collision; 6 – divergent boundaries (spreading ridges). Letters on the scheme: Кан – Canadian depression, М – Makarov depression, ХГ – Eurasian basin and spreading Gakkela Ridge, ФИ – Frantz Josef Land Archipelago, ЮА – South Anui suture, САХ – Mid-Atlantic Ridge and associated volcanism, ВТП – East Pacific rise and associated volcanism.

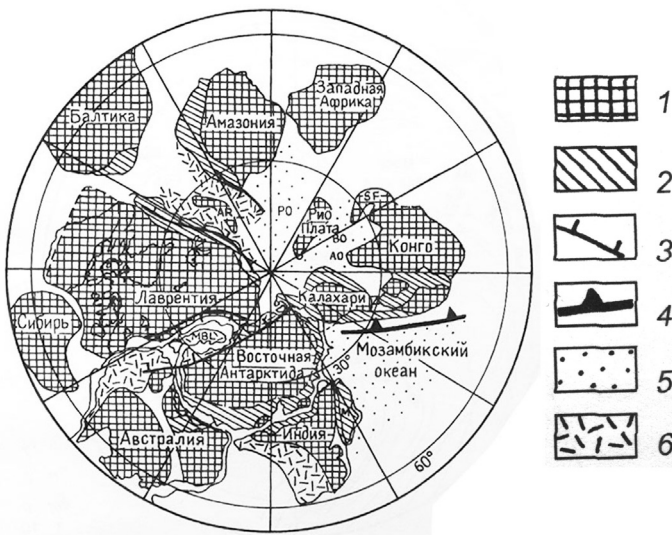


Рис. 8. Реконструкция позднекембрийского мегаконтинента (~ 750 млн лет, вид с Южного полюса). По И. Дизэлу (1991), из [Khain, 2001]. 1 – догренильские ядра кратонов; 2 – гренильские орогены; 3 – неопротерозойские рифтовые ограничения; 4 – главные зоны субдукции; 5 – панафриканские океаны; 6 – фанерозойские орогены. Террейны запада Северной Америки и Западной Антарктиды не показаны, за исключением Земли Мэри Берд (MBL) и блока гор Элсуэрт-Уайтмор, которые показаны в реставрированном относительно Восточной Антарктиды положении. PO – «океан Пампа»; BO – «океан Бразильский»; АО – океан Адамастер; AR – массив Арекипа; SF – кратон Сан-Франциско; М – Мадагаскар.

Fig. 8. Reconstruction of the Late Cambrian megacontinent (~ 750 Ma, view from the South Pole). After I.W.D. Dalziel (1991), extracted from [Khain, 2001]. 1 – Pre-Grenville craton cores; 2 – Grenville orogens; 3 – Neoproterozoic rift limitation; 4 – main subduction zones; 5 – panafrikan oceans; 6 – Phanerozoic orogens. Terranes of the West of the North America and West Antarctica aren't shown, except the Marie Byrd Land (MBL) and Ellsworth-Whitemore mountain block, shown in the restored position as compared to the Eastern Antarctica. PO – "Pampa ocean"; BO – "Brazil ocean"; AO – Adamaster ocean; AR – Arequipa massif; SF – San-Francisco craton; M – Madagascar.

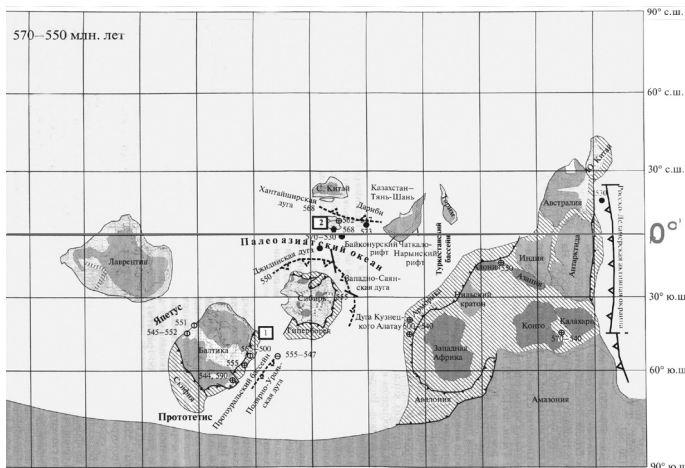


Рис. 9. Палеогеодинамическая реконструкция для интервала времени 570–550 млн лет (начало распада позднекембрийского мегаконтинента). По [Kheraskova et al., 2010]. Пояснения в тексте.

Fig. 9. The beginning of disintegration of the Late Precambrian megacontinent. After [Kheraskova et al., 2010]. Paleogeodynamic reconstruction for time interval of 570–550 Ma. Note that the legend keys are contained in (Figs. 1 and 5) and are insignificant for the statement of the fact that major part of continental masses is concentrated in the Southern hemisphere.

Северная компонента дрейфа континентов вызвала приуроченность большей части континентальных масс к Северному полушарию («Северная Пангея», по [Kovalenko et al., 2010] (рис. 7), в то время как к началу фанерозоя эти массы, в силу наличия южной компоненты дрейфа, сосредоточились в основном в Южном полушарии (рис. 8), образуя «Южную Пангею», которую одни авторы считают суперконтинентом, названным Паннотией, а другие по традиции – лишь мегаконтинентом Гондвана (для нас это не принципиально). На рубеже докембрия и фанерозоя южная компонента дрейфа сменилась на северную (рис. 9), ознаменовав начало нового геодинамического цикла нулевого ранга меридионального дрейфа континентальной литосферы (рис. 10), соответствующего геодинамической системе того же нулевого ранга, ответственной за западную и меридиональную компоненты дрейфа континентов [Khain, Goncharov, 2006] (таблица). Одним из проявлений функционирования этой геодинамической системы можно

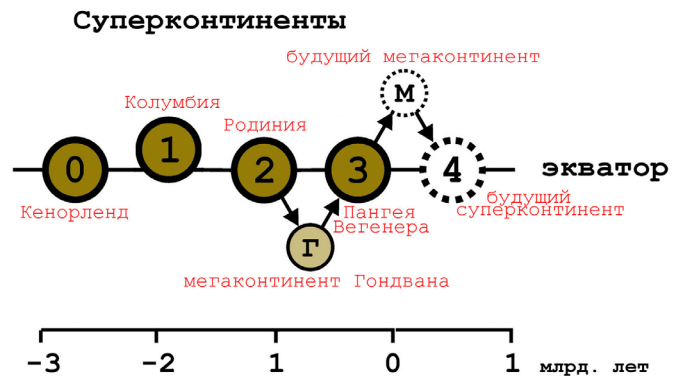


Рис. 10. Геодинамический цикл нулевого ранга (ГЦ–0) меридионального дрейфа континентов. По [Khain, Goncharov, 2006]. Суперконтиненты: Пангея–0 (Кенорленд), Пангея–1 (Колумбия), Пангея–2 (Родиния), Пангея–3 Вегенера и предполагаемая будущая Пангея–4 – формируются с периодичностью цикла Вилсона (около 0.8 млрд лет) в экваториальной зоне под действием центробежных ротационных сил в геодинамической системе нулевого ранга (ГС–0). Распад Пангеи–2 в геодинамической системе 1-го ранга (ГС–1) происходит в обстановке южнополярного меридионального дрейфа континентов в ГС–0; этот дрейф завершается объединением части континентов в расположенный в Южном полушарии мегаконтинент Гондвана (Г). После этого направление дрейфа в ГС–0 изменяется на северо-полярное; это направление сохраняется и во время соиздания и распада Пангеи–3 и завершается объединением части континентов в предполагаемый будущий мегаконтинент (М), расположенный в Северном полушарии (см. рис. 32, б), а также в [Yoshida, Santosh, 2011]. Цикл (ГЦ–0) общей продолжительностью около 1.6 млрд лет (удвоенный цикл Вилсона) завершается формированием будущей Пангеи–4.

Fig. 10. Geodynamic cycle of zero rank (GC–0) of the meridional continental drift. After [Khain, Goncharov, 2006]. Supercontinents: Pangea-0 (Kenorland), Pangea-1 (Columbia), Pangea-2 (Rodinia), Wegener's Pangea-3, and supposed future Pangea-4 – are forming with the periodicity of the Wilson cycle (~ 0.8 billion years) in equatorial zone under effect of the centrifugal rotation forces in the geodynamic system of the zero rank (GS–0). Disintegration of Pangea-2 in the Geodynamic System of the 1st rank (GS–1) takes place in conditions of the southpolar meridional continental drift in GS–0; this drift is terminated by the consolidation of several continents into the megacontinent Gondvana (Г) situated in the Southern hemisphere. After this, the drift direction in GS–0 changes to the northpolar; this direction is preserved during the creation and break-up of Pangea-3 and is terminated by the consolidation of several continents into the future megacontinent (M) in the Northern hemisphere. The Cycle (GC–0) lasts for ~ 1.6 billion years (double Wilson cycle) and is terminated by forming of the future Pangea-4.

считать северо-западный дрейф еще единой «экваториальной» Пангеи Вегенера в промежутке 250–200 млн лет назад (рис. 11).

Северная компонента дрейфа, отчетливо проявленная на палеотектонических реконструкциях (рис. 12), неизбежно должна деградировать по мере все более плотной «упаковки» континентов в области Северного полюса.

Океаническая литосфера также участвует в направленном к северу тектоническом течении. В частности, согласно традиционной гипотезе о генезисе Гавайско-Императорской цепи вулканических построек в Тихом океане как следа Гавайской горячей точки (рис. 13), Тихоокеанская плита сначала дрейфовала к северу-северо-западу, а затем (возможно, из-за скопления континентов вблизи Северного полюса) ее дрейф сменился на запад-северо-западный. Северная компонента дрейфа уменьшилась при постоянстве западной компоненты, которая не приводит к скоплению континентальных масс (см. рис. 6). Вместе с дрейфом этой плиты смещались к западу и северу и «вмороженные» в нее многочисленные террейны. Северная компонента дрейфа находится в соответствии с моделью конвекции в Тихоокеанском сегменте Земли (рис. 14) и с моделью формирования будущего мегаконтинента [Yoshida, Santosh, 2011].

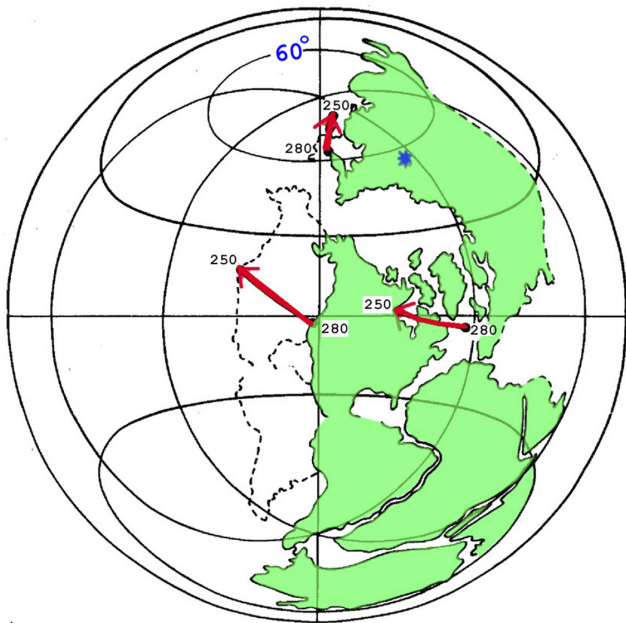


Рис. 11. Северо-западный дрейф тогда еще единой Пангеи в промежутке 250–200 млн лет назад. По [Zonenshain, Kuz'min, 1993]. Звездочкой обозначен полюс вращения Пангеи.

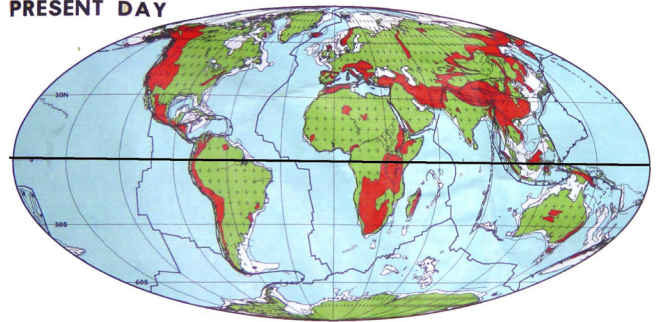
Западная и северная компоненты дрейфа Пангеи проявлены в «чистом виде», без влияния будущей компоненты ее распада. Положение полюса вращения Эйлера для Пангеи около 60° с. ш. свидетельствует о доминировании западной компоненты ее дрейфа.

Fig. 11. North-west drift of still consolidated Pangea in time interval of 250–200 Ma. After [Zonenshain, Kuz'min, 1993]. The Pangea rotation pole is marked by asterisk.

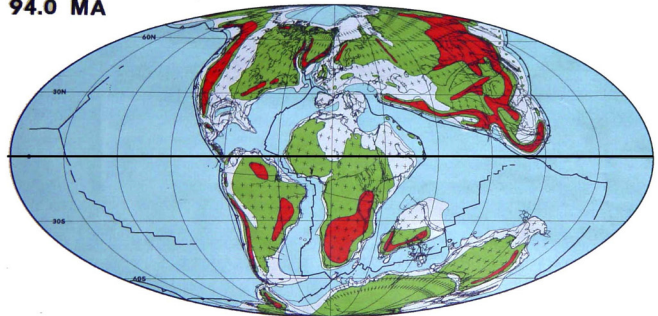
Western and northern drift components of still consolidated Pangea are manifested “per se”, without the influence of the future component of its break-up. Location of the Euler rotation pole for Pangea is about 60° N and testify about the domination of the Pangea western drift component.

Надглобальная геодинамическая система нулевого ранга, обусловленная действием внешних по отношению к Земле гравитационных сил и поэтому функционирующая во всей Земле, является крайним членом в иерархии интерферирующих конвективных геодинамических систем, функционирующих в столь же иерархически соподчиненных геосферах [Goncharov et al., 2005; Goncharov, 2006; Khain, Goncharov, 2006; Goncharov, 2011a] (таблица). Она создает *общий фон*, на котором разворачивается действие геодинамических систем более высокого ранга, вуалирующих структурные результаты функционирования этой надглобальной системы, подобно тому как широкомасштабное горизонтальное растяжение в верхней мантии завуалировано напряжениями сжатия в литосфере, о чем говорилось выше. Об этих структурных результатах и пойдет речь ниже.

PRESENT DAY

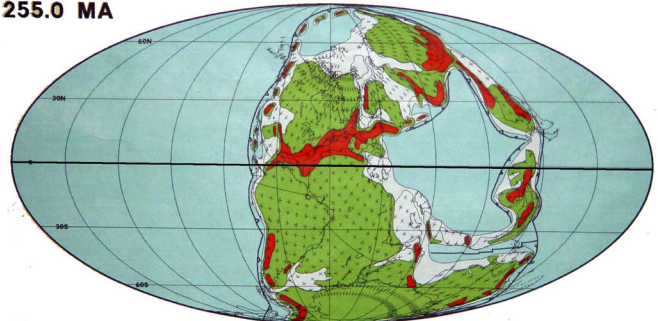


94.0 MA



LATE CRETACEOUS

255.0 MA



LATE PERMIAN

Рис. 12. Реконструкция расположения континентов в поздней перми, позднем мелу и в настоящее время. По [Scotese, Golonka, 1993].

При всей разнонаправленности дрейфа континентов, они постепенно смещались к северу (кроме Антарктиды).

Fig. 12. Reconstruction of the continental arrangement in the Late Permian, Late Cretaceous and in present time. After [Scotese, Golonka, 1993].

Despite of the differences of continental drift directions, the continents were gradually displacing in the northern direction (except for Antarctica).

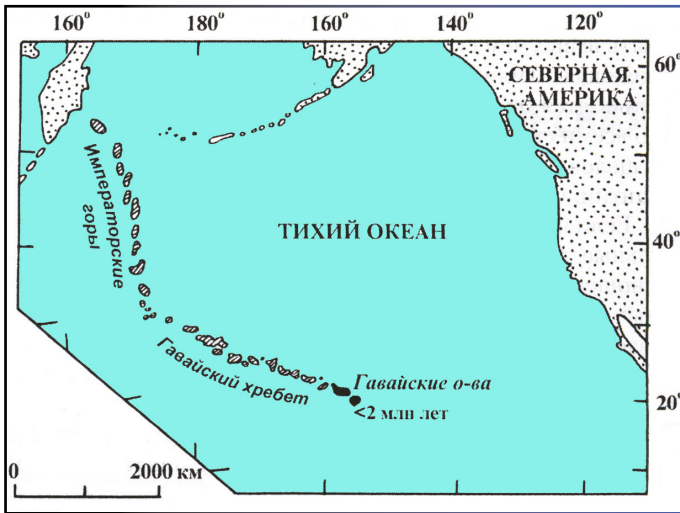


Рис. 13. Гавайско-Императорская цепь вулканических островов в Тихом океане. По D. Claque et al. [1975], из [Khain, Lomize, 2005].

Fig. 13. The Hawaiian-Emperor chain of volcanic islands in the Pacific Ocean. After D.A. Claque et al. [1975], extracted from [Khain, Lomize, 2005].

3. СТРУКТУРЫ СУБМЕРИДИОНАЛЬНОГО СЖАТИЯ НА ФОНЕ ДРУГИХ СТРУКТУРНЫХ ПАРАГЕНЕЗОВ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЛИТОСФЕРЫ

По данным В.И. Попкова [Popkov, 2001], на обширных территориях Закаспия, Предкавказья и Азовско-Черноморского региона, прилегающих с севера к Альпийско-Гималайскому орогенному поясу, в осадочном чехле на профилях МОГТ зафиксированы многочисленные надвиги с северной вергентностью, определяющие общую структуру этого региона и во многих случаях подтвержденные данными бурения.

Более того, сейчас можно считать доказанным аллохтонный характер сочленения эпипалеозойской платформы как с Альпийским поясом, так и с древней Русской плитой, надвигания более молодой континентальной коры в северном направлении до и после альпийского орогенеза [Popkov, 2001].

На рис. 15 приведена одна из многочисленных систем надвигов, иллюстрирующих упомянутую книгу. Данные надвиги нельзя считать «локально орогенными», поскольку они расположены между орогенами Крыма и Большого Кавказа.

Горизонтальное сжатие, ориентированное по направлению юг-юго-запад – север-северо-восток, и надвигообразование в обширной области Западной и Центральной Европы (Южная Франция, Испания) и Северной Африки, ограниченной известной линией Тейссейра-Торнквиста на северо-востоке и неогеновым Альпийско-Карпатским надвиговым фронтом на юго-западе, происходило в поздне меловую эпоху, также до альпийского орогенеза [Kley, Voigt, 2008].

Фронтальная надвиговая Новосибирско-Врангеля-Геральда-Лисберна-Бруксовская зона, ограничиваю-

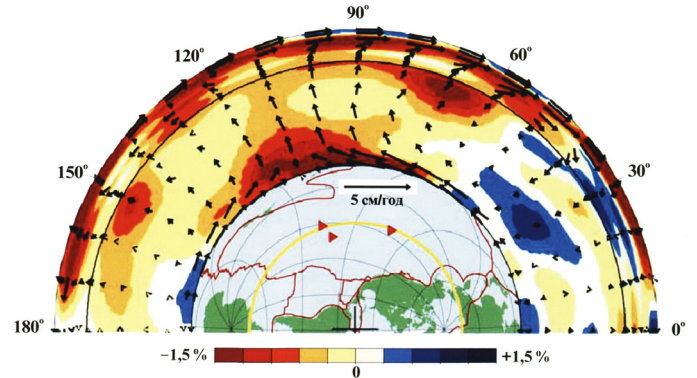


Рис. 14. Модель мантийной конвекции в Тихоокеанском сегменте Земли (черные стрелки – векторы скорости, их масштаб в центре рисунка), рассчитанная на основании данных сейсмической томографии (положительные и отрицательные аномалии скорости поперечных волн показаны цветом, шкала внизу). Сечение по большому кругу показано желтой линией на карте-врезке, где красные треугольники – горячие точки: Гавайская, Маркизская и Таити. По К. Габоре и др. (2003), из [Khain, Lomize, 2005].

Fig. 14. The model of mantle convection in the Pacific segment of the Earth (black arrows are velocity vectors, their scale is in the center of the figure), calculated basing on the data of seismic tomography (positive and negative anomalies of transversal waves are colored, the scale is below). Cross section around the big circle is shown as the yellow line on the map-inset. The red triangles designate hot points: Hawaiian, Marquesas and Tahitian. After C. Gaboret et al. (2003), from [Khain, Lomize, 2005].

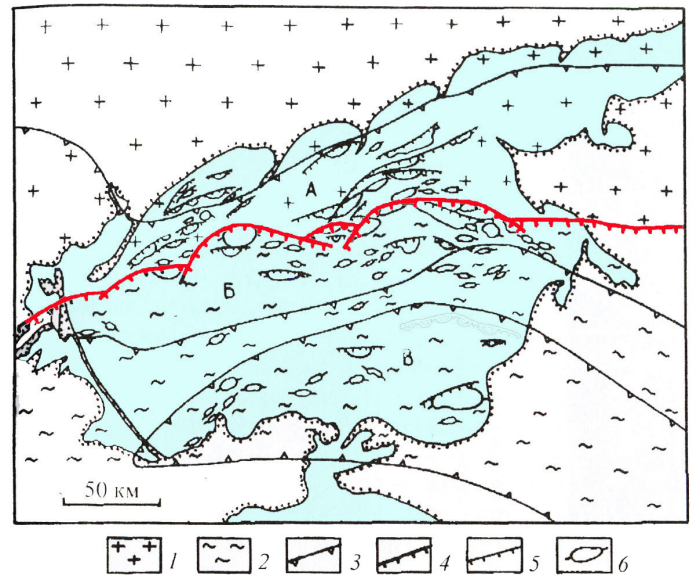


Рис. 15. Надвиги северной вергентности на фоне тектонической схемы Азовского моря, по [Popkov, 2001].

1 – Восточно-Европейская платформа; 2 – Скифская платформа; 3 – границы основных тектонических элементов (А – Северо-Азовский прогиб, Б – Азовский вал, В – Индоло-Кубанский прогиб); 4 – Главный Азовский надвиг; 5 – второстепенные надвиги; 6 – антиклинали.

Fig. 15. North-vergent thrusts on tectonic scheme of the Azov sea, after [Popkov, 2001].

1 – East-Europe platform; 2 – Scythian platform; 3 – borders of main tectonic elements (A – North-Azov depression, Б – Azov swell, В – Indol-Kuban depression); 4 – main Azov thrust; 5 – secondary thrusts; 6 – anticlines.

чая с северо-востока Чукотскую зону Верхояно-Чукотского орогенного пояса, представляет собой фронтальную часть деформированного в среднем мелу чехла эпикаледонской континентальной плиты, включая докембрийский кратон Арктида [Khain et al., 2009]. Образования этой зоны слагают полосу северо-западной ориентировки, шириной до 400 км и протяженностью около 2000 км, на юго западе по системе сдвигов примыкающую к Чукотской зоне, а на северо-востоке надвинутую на слабодеформированный чехол континентальной плиты (рис. 16).

Проявления субмеридионального сжатия в платформенной области Юго-Восточной Европы в новейшее время зафиксированы в монографии М.Л. Коппа [Kopp, 2005]. Критически пересмотрены существующие представления о «жесткости» Евразийской плиты в кайнозое.

Однако и на достаточном удалении от Альпийско-Гималайского орогенного пояса проявляется субмеридиональное сжатие континентальной литосферы. Многие исследователи не без оснований полагают, что байкальский рифтинг имеет пассивную компоненту, обусловленную субмеридиональным сжатием в новейшее время. Об индикаторах пассивного рифтогенеза Ю.Г. Леонов опубликовал специальную работу [Leonov, 2001].

Для осадочных бассейнов Северного полушария А.И. Тимурзиев [Timurziev, 2009] выполнил реконструкции напряженно-деформированного состояния земной коры и их тектонофизическую интерпретацию [Timurziev, 2009]. Эти бассейны включают: Восточно-Европейскую (Прикаспийская впадина) и Северо-Африканскую (бассейн Иллизи) докембрийские плат-

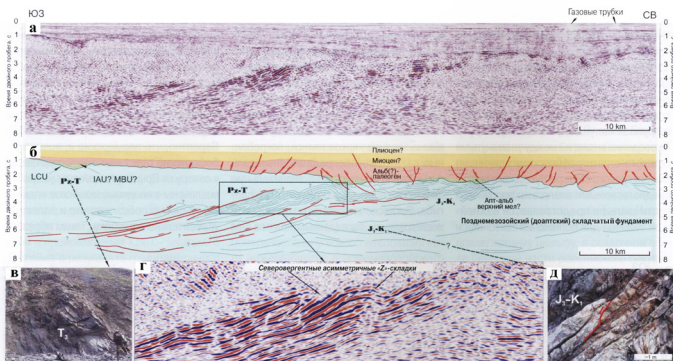


Рис. 16. Структура фундамента и осадочного чехла Южно-Чукотского прогиба: фрагмент сейсмического профиля (а), его интерпретированного разреза (б) и увеличенный фрагмент сейсмопрофиля (с) для Южно-Чукотского прогиба в сопоставлении с примерами деформаций триасовых (в) и верхнеюрско-неокомских (д) отложений на Чукотке в районе г. Певек. По [Verzhbicky et al., 2010].

Fig. 16. Structure of the basement and sedimental cover of the South-Chukchi depression: fragment of seismic profile (a), interpreted section (b) and enhanced fragment of seismic profile (c) for South-Chukchi depression in comparison to the examples of the Triassic deformations (v) and Upper Jurassic-Neocomian (d) sediments of Chukchi Peninsula near the Pevек town. Photo by E.V. Verzhbicky, S.D. Sokolov, and M.I. Tuchkova. After [Verzhbicky et al., 2010].

формы; Туранскую (Южно-Мангышлакский прогиб и Бузачинский свод) и Западно-Сибирскую (Надым-Пурская и Пур-Тазовская синеклизы) эпигерцидские плиты; Тихоокеанский тектонический пояс (Зондский шельф Вьетнама). Главная закономерность – это существование для осадочных бассейнов Северного полушария устойчивых сдвиговых полей с субмеридионально ориентированной осью максимального сжатия на новейшем этапе тектонического развития. Наиболее достоверно, с привлечением физического моделирования, такая ориентировка установлена для Западно-Сибирской плиты [Koronovsky et al., 2009].

Новейшее субмеридиональное сжатие обнаружено не только в осадочных бассейнах, но и на Балтийском щите в геопространстве Кольской сверхглубокой скважины [Zaitsev, 2009].

4. СТРУКТУРЫ СУБМЕРИДИОНАЛЬНОГО СЖАТИЯ НА ФОНЕ ДРУГИХ СТРУКТУРНЫХ ПАРАГЕНЕЗОВ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЛИТОСФЕРЫ

Картина субмеридионального сжатия, полученной для континентов, не противоречат геолого-геофизические данные по океанам. Хотя эти данные весьма фрагментарны, не подлежит сомнению, что океаническая литосфера подвержена самым разнообразным деформациям. На большей части океанов, за исключением узких приосевых зон срединно-океанических хребтов и долин трансформных разломов, формируются не структуры горизонтального растяжения, «естественные» в процессе спрединга, а структуры горизонтального сжатия, в первую очередь надвигов. Тектонические напряжения, ответственные за их формирование, в основной массе ориентированы в двух направлениях: по направлению спрединга (вкrest простираения рифтовых зон) и параллельно оси срединно-океанического хребта [Raznitsin, 2004, 2006].

На этом общем фоне выделяются структуры, сформировавшиеся под воздействием субмеридионального сжатия с формированием надвигов северной вергенции. Результаты изложены недавно в тезисной форме [Raznitsin, Barkin, 2010]. Здесь же представлен их расширенный вариант.

4.1. Атлантический океан

Наиболее ранние этапы субмеридионального сжатия проявлены на сейсмических профилях в глубоководных котловинах Центральной и Южной Атлантики в виде надвигов с преимущественным наклоном их сместителей в южном направлении, что указывает на движение литосферных масс по направлению с юга на север. Надвиги, как правило, пересекают весь коровый разрез, не прослеживаясь в перекрывающем его

осадочном чехле. Отсюда верхний предел времени становления надвигов ограничивается возрастом базальных горизонтов последнего. Анализ разрезов глубоководных впадин Атлантики показал, что этот возраст в Северо-Американской впадине соответствует временному отрезку поздняя юра – поздний мел; в Канарской котловине – концу альба – началу позднего мела; в Бразильской впадине – апту – альбу; в Ангольской – апту; во впадине Сьерра-Леоне – апту – нижнему альбу [Pushcharovsky, 2004]. Таким образом, наиболее ранний этап субмеридионального сжатия в Атлантике в целом отвечает меловому периоду. На рис. 17 приведены примеры таких надвигов в Северо-Американской котловине.

Деформации океанической литосферы Атлантики наиболее широко проявлены в ее северной и южной приэкваториальных областях, где Срединно-Атлантический хребет рассечен большим количеством трансформных разломов. Именно они определяют облик этой сложнейшей тектонической зоны (рис. 18).

Субмеридиональное сжатие на рубеже ~ 10 млн лет тому назад отчетливо проявлено в зонах крупнейших разломных зон Центральной Атлантики – Вима, Сан Паулу и Романш [Knipper, Raznitsin, 2008]. Так, в зоне разлома Вима верхнемантийные и коровые образования слагают пакет тектонических пластин, полого погружающийся на юг [Raznitsin, 2001] (рис. 19). Возраст формирования чешуйчато-надвиговой структуры 8–10 млн лет. Более того, устанавливается синхронность этих дислокаций с деформациями сжатия в за-

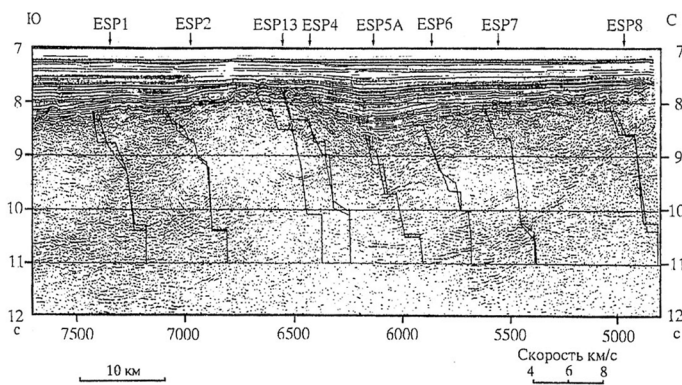


Рис. 17. Фрагмент профиля ШГСП (широкоугольного глубинного сейсмического профилирования) в Северо-Американской котловине, в районе разлома Блэк Спур, по [Minshul et al., 1991]. ESP – точки зондирования на профиле.

Отчетливо видны пакеты полого наклоненных на юг отражающих горизонтов (надвигов). Кора вдоль профиля крайне гетерогенна по скоростным характеристикам. Никакого соответствия между границами «слоев» с различными скоростями и многочисленными наклонными рефлекторами нет.

Fig. 17. Fragment of the Expanding Spread Profile in the North-American basin, in the area of the Black Spur Fracture Zone, after [Minshul et al., 1991]. ESP – sounding points on profile.

The escape packages reflectors (thrusts), slightly dipping to the south, are distinctly seen. The crust along the profile is extremely heterogeneous as of velocity characteristics. There is no correspondence between “layers” boundaries with different velocities and dipping reflectors.

падной части Средиземноморья, где они обусловлены дрейфом Африканского континента на север [Knipper, Raznitsin, 2008].

Субмеридиональное сжатие литосферы Атлантики имеет место и на современном этапе. Об этом свидетельствуют пликативные дислокации осадочного чехла некоторых глубоководных котловин, проявленные только на субмеридиональных профилях [Mazarovich, 2000], и конвергенция пассивных частей трансформных разломов к востоку от Срединно-Атлантического хребта (САХ), между 15° и 7° с.ш. (см. рис. 18), которую возможно объяснить только таким сжатием [Mazarovich, 2000].

По данным С.Ю. Соколова [Sokolov, 2009], концентрация так называемых аномальных механизмов

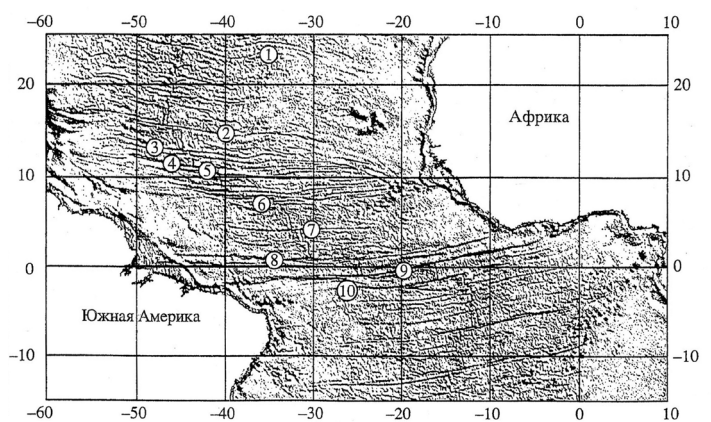


Рис. 18. Альтиметрия центральной части Атлантического океана, по [Sandwell, Smith, 1997].

Цифрами обозначены разломы: 1 – Кейн, 2 – Зеленого Мыса, 3 – Марафон, Меркурий, 4 – Вима, 5 – Архангельского, Долдрамс, 6 – Богданова, 7 – Страхова, 8 – Сан Паулу, 9 – Романш, 10 – Чейн.

Fig. 18. Altimetry of the central part of the Atlantic ocean, after [Sandwell, Smith, 1997].

The following numbers label fracture zones: 1 – Kein, 2 – Cape Verde; 3 – Marathon, Mercury, 4 – Vema, 5 – Archangelsky, Doldrums, 6 – Bogdanov, 7 – Strakhov, 8 – San-Paulo, 9 – Romanche, 10 – Chain.

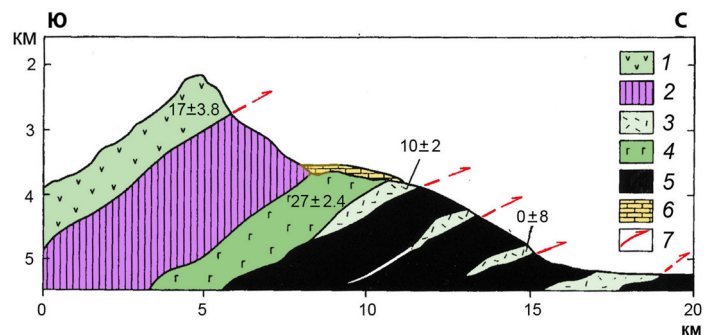


Рис. 19. Схематический разрез южного трансверсивного хребта разлома Вима, по [Knipper, Raznitsin, 2008].

1 – базальты; 2 – дайковый комплекс; 3 – амфиболиты; 4 – габбро; 5 – ультрамафиты; 6 – известняки (поздний миоцен); 7 – надвиги. Цифры – абсолютный возраст пород (млн лет).

Fig. 19. Schematic geological profile of the south transverse ridge of the Vema Fracture Zone, after [Knipper, Raznitsin, 2008].

1 – basalts; 2 – sheeted dike complex; 3 – amphibolites; 4 – gabbros; 5 – ultramafics; 6 – limestones (Late Miocene); 7 – thrusts. Numbers – absolute age of rocks (Ma).

очагов тяготеет к широтным зонам активации напряжений и деформаций на пространстве от САХ до континентальных склонов, которые выявлены в литосфере Атлантики по контрастному сочетанию максимумов аномалий Буге и минимумов изостатических аномалий (такая картина свойственна преддуговым областям на западе Тихого океана, где, как известно, господствуют условия горизонтального сжатия). Более того, зоны активации сопряжены с наличием надвиговых структур, в том числе и северовергентных, выявленных, как показано выше, сейсморазведкой в глубоководных котловинах Атлантики.

Уверенность в существовании субмеридиональной компоненты движения в северном направлении на современном этапе также вселяют данные наблюдений GPS и VLBI (радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами – Very Long Baseline Interferometry) на прилегающих континентах Америки и Африки [Sokolov et al., 2008].

Если принять гипотезу о генезисе линейного вулканического поднятия Китового хребта северо-восточного простирания как следа горячей точки, то обнаружится не только *восточный* дрейф океанической части Африканской плиты в связи с процессом спрединга, но и ее северный дрейф [Goncharov et al., 2011].

4.2. Индийский океан

В отличие от Атлантического океана, облик которого определяется простирающимся в срединной части Срединно-Атлантическим хребтом, Индийский океан характеризует весьма прихотливый общий контур и резко выраженная структурная рассогласованность. Тем не менее надвиговые деформации земной коры и верхней мантии этого океана проявлены ничуть не меньше, чем в Атлантике.

Ярчайшим примером деформаций субмеридионального сжатия океанической литосферы является широкоизвестная зона внутриплитных деформаций в северо-восточной части Индийского океана, открытая еще в начале 70-х годов прошлого столетия (рис. 20). Основной отличительной чертой этой зоны являются молодые и современные деформации осадочно-го чехла и кровли фундамента разных масштабов. По результатам глубоководного бурения (скв. ODP 717–719) определен возраст главной фазы этих деформаций – позднемiocеновый, с последующими эпизодическими проявлениями субмеридионального сжатия, прежде всего на современном этапе.

Отчетливая картина надвигов в Центральной котловине представлена на глубинных сейсмических разрезах [Chamot-Rooke et al., 1993]. Региональный профиль МОГТ пересекает почти всю зону деформаций в меридиональном направлении на расстоянии 2100 км. На фрагментах этого профиля (рис. 21) хорошо видно, что в осадочном слое разрывы субвертикальны. В твердой коре они выполаживаются до 30° и ме-

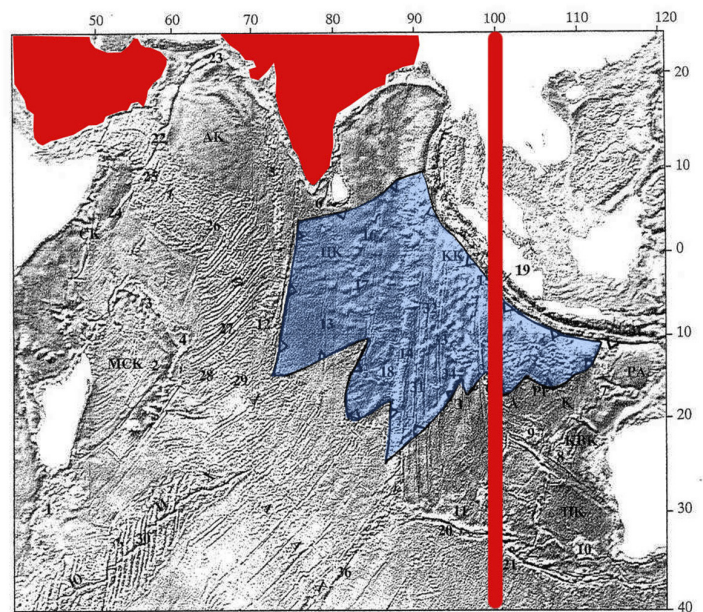


Рис. 20. Положение зоны «внутриплитных» молодых и современных деформаций Индийского океана (синий цвет) на альтиметрической карте. По [Raznitsin, 2004].

Fig. 20. Location of zone of “intra-plate” young and recent deformations in the Indian Ocean (blue colour) on altimetry map, after [Raznitsin, 2004]. Digital & marks, irrelevant in this context, see ibid [Raznitsin, 2004].

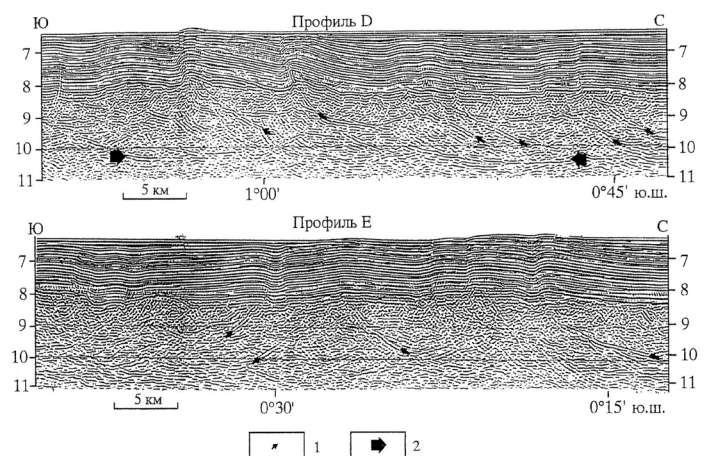


Рис. 21. Фрагменты меридиональных профилей МОБ ОГТ в Центральной котловине Индийского океана, по [Chamot-Rooke et al., 1993].

1 – отражающие горизонты (надвиги) в коре; 2 – положение поверхности М. На профиле D надвиги наклонены на север и на уровне 10.0–10.5 с срезаются субгоризонтальной поверхностью М; в осадочном чехле они прослеживаются в виде крутых взбросов.

На профиле E надвиги наклонены как на север, так и на юг. Сформированный дивергентный структурный веер характерен для центральных частей систем, образовавшихся в обстановке горизонтального сжатия.

Fig. 21. Fragments of the meridional CDP-profiles in the Central basin of the Indian ocean, after [Chamot-Rooke et al., 1993].

1 – reflectors in the crust (thrusts); 2 – Moho surface. On D profile, the thrusts incline to the north and at the level of 10.0–10.5 s are cut by the Moho surface; they are traced as steep reversed faults in the sediment cover.

On profile E, the thrusts incline both to the north and to the south. Divergent structure plan is typical for the central parts of systems formed in condition of the horizontal compression.

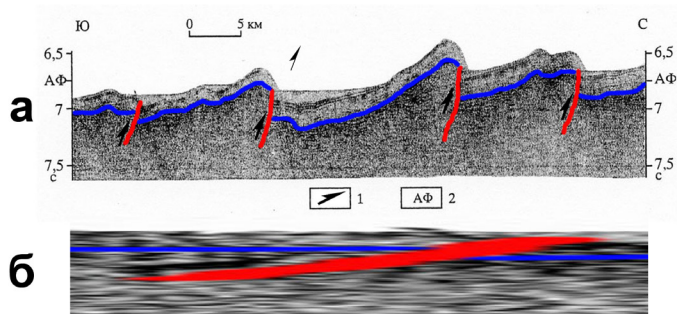


Рис. 22. Фрагмент временно́го разреза НСП вдоль меридионального профиля в районе северо-восточного подножия плато Осборн, по [Korsakov, Pilipenko, 1991].

a – особенность метода непрерывного сейсмического профилирования – превышение горизонтального масштаба над вертикальным ~ в 25 раз. 1 – направление смещения блоков коры; 2 – акустический фундамент; *б* – при перестроении профилей в масштабе 1:1 крутопадающие разрывные нарушения становятся пологими надвигами (показан самый южный надвиг).

Fig. 22. Fragment of single channel profile illustrating character of tectonic deformations in the area of north-east foot of Osborn plateau, after [Korsakov, Pilipenko, 1991].

a – particularity of single channel profiling – surplus of the horizontal scale over the vertical one twenty five times more. 1 – displacement direction of crust blocks; 2 – acoustic basement; *б* – in scale 1:1, the steep faults appear to be as gentle thrusts (the most south thrust is presented).

нее, прослеживаясь на 10–15 км по латерали до глубин порядка 10 с, и сливаются с субгоризонтальной поверхностью М. Изменение полярности надвигов контролируется крупными ундуляциями рельефа и акустического фундамента с длиной волны около 230 км.

Помимо Центральной котловины, субмеридиональная компонента сжатия в виде пологих надвигов субширотного простирания, имеющих северную вергентность, проявлена на сейсмических разрезах в пределах некоторых других структур, входящих в зону молодых и современных деформаций Индийского океана (рис. 22). Это плато Осборн, поднятие Афанасия Никитина и Восточно-Индийский хребет. Все эти данные различных авторов сведены в работе [Rasnitsin, 2004].

Наличие системы пологих надвигов широтного простирания в Центральной котловине подтверждается сейсмологическими данными – оси сжимающих напряжений наиболее сильных землетрясений занимают положение, близкое к горизонтальному, и в большинстве случаев ориентированы в субмеридиональном направлении [Stein et al., 1989]. При этом деформациями здесь может быть затронута не только кора, но и вся литосфера в целом [Bergman, Solomon, 1985; Shemenda, 1989].

По сейсмологическим данным, в районе южнее п-ва Индостан, где обособляется самая крупная в глубоководных котловинах Мирового океана отрицательная аномалия Фая (до 60 мГал), а геоид продавлен вниз по отношению к сфероиду на 100 м [Kropotkin, Efremov, 1991], в очагах землетрясений на глубинах нескольких десятков километров наблюдаются очень

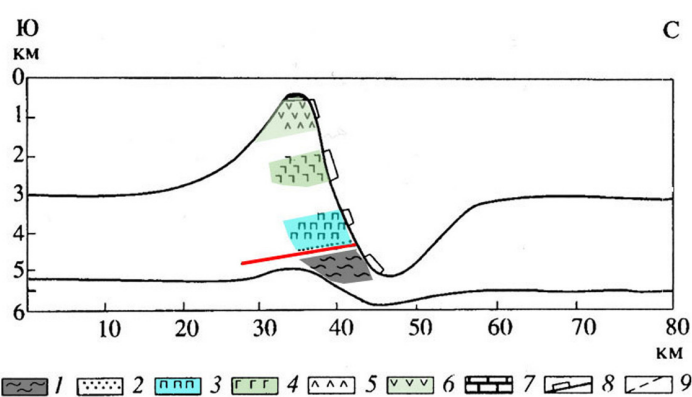


Рис. 23. Поперечный профиль и интервалы ступенчатого драгирования разлома Элтанин, по [Kashintsev, 1991], с изменением ориентировки.

1 – амфиболитовые сланцы; 2 – гранулиты; 3 – ультрамафиты; 4 – габбро; 5 – долериты; 6 – базальты; 7 – известняки; 8 – места опробований; 9 – предполагаемый надвиг.

Fig. 23. Geological cross-section and drags intervals of the Eltanin Fracture Zone, after [Kashintsev, 1991],

1 – amphibolite shales; 2 – granulites; 3 – ultramafics; 4 – gabbros; 5 – dolerites; 6 – basalts; 7 – limestones; 8 – testing points; 9 – assumed thrust.

высокие (до 20 кбар) касательные напряжения [Singh, 1988]. Разработана модель, в которой эта крупнейшая депрессия поверхности геоида рассматривается как результат горизонтального сжатия литосферы, ориентированного по направлению север-северо-запад – юг-юго-восток, а горизонтальные напряжения при этом могут достигать колоссальных значений в сотни МПа [Zuber, 1987].

4.3. Тихий океан

Тектоническая расслоенность литосферы свойственна не только молодым медленноспрединговым Атлантическому и Индийскому океанам, но и древнему, быстроспрединговому, Тихому. Все имеющиеся данные на этот счет, в том числе и оригинальные, с многочисленными ссылками на соответствующих авторов, сведены в работе [Rasnitsin, 2006].

Новый сейсмический имидж океанической коры, так же как в свое время в Атлантике [White et al., 1990], установлен в Северо-Западной Пацифике на региональном профиле МОВ ОГТ, ориентированном в северо-северо-западном направлении [Reston et al., 1999]. Здесь в мезозойской коре на всем 700-километровом профиле выявлена масса полого наклоненных рефлекторов, рассекающих весь коровый разрез и срезающихся субгоризонтальной поверхностью М. Становление надвигов на коровом уровне происходило в меловое время.

Вероятно, в это же время происходило тектоническое сучивание литопластин в основаниях океанических поднятий и также под воздействием

горизонтального субмеридионального сжатия с преобладающей северной компонентой.

Морфотектонический анализ Магеллановых гор, представляющих собой протяженную систему подводных гор и гайотов длиной около 1100 км, показал, что они сформировались в условиях меридионального сжатия океанической коры [Utkin et al., 2006]. Возраст последней в рассматриваемом районе по данным глубоководного бурения составляет 150–170 млн лет.

Явное сходство ориентировки и инфраструктуры Магеллановых гор, а также гор Маркус-Уэйк и Срединно-Тихоокеанских, сформированных на валобразных поднятиях океанической коры и ориентированных в субширотном направлении, по мнению тех же авторов, указывает на сходство условий их формирования в результате смятия океанической коры в крупные складки под действием меридионального сжатия. Аналогичный механизм предполагается для протягивающихся в северо-западном направлении на тысячи километров интраокеанических вулканических цепей Лайн Туамоту, Маршалла-Гилберта и др. [Utkin et al., 2006].

Становление чешуйчато-надвиговых структур широтного простирания в трансверсивном хребте крупнейшей тихоокеанской разломной зоны Элтанин (рис. 23), скорее всего, имело место на рубеже 10 млн лет (поздний миоцен).

Структуры тектонического сжатия установлены в обширном пространстве между разломами-гигантами Кларион и Клиппертон, к западу от Восточно-

Тихоокеанского поднятия [Korsakov, Pilipenko, 1989]. Надвиги имеют тенденцию выполаживания с глубиной и прослеживаются в осадочном слое вплоть до поверхности дна, формируя его неровную, пологоволнистую поверхность (рис. 24). Осадочный слой вплоть до самых верхов разреза интенсивно деформирован в соответствии с деформациями фундамента. Все это свидетельствует о современной активности движений по надвигам, сформировавшимся в результате сжатия с движением масс в субмеридиональном направлении.

Прямые доказательства тектонического расслабления океанической коры на современном этапе получены в широкоизвестной скважине глубоководного бурения 504В, расположенной в 200 км к югу от рифта Коста-Рика, между разломными зонами Эквадор и Панама. Эта самая глубокая скважина в Мировом океане вскрыла разрез молодой (5.9 млн лет) океанической коры мощностью 1562 м. Между базальтами и дайковым комплексом обособляется мощная (более 100 м) тектоническая зона, маркирующая субгоризонтальный срыв, сформировавшийся практически на современном этапе в условиях очень высокого горизонтального сжимающего напряжения при субмеридиональном сжатии верхней части литосферы [Agar, 1991; Moos, Zoback, 1990; Kent et al., 1996; Langseth et al., 1988].

Итак, горизонтальное сжатие литосферы Атлантики и Пацифики с движением масс в северном и северо-западном направлении проявляло себя, начи-

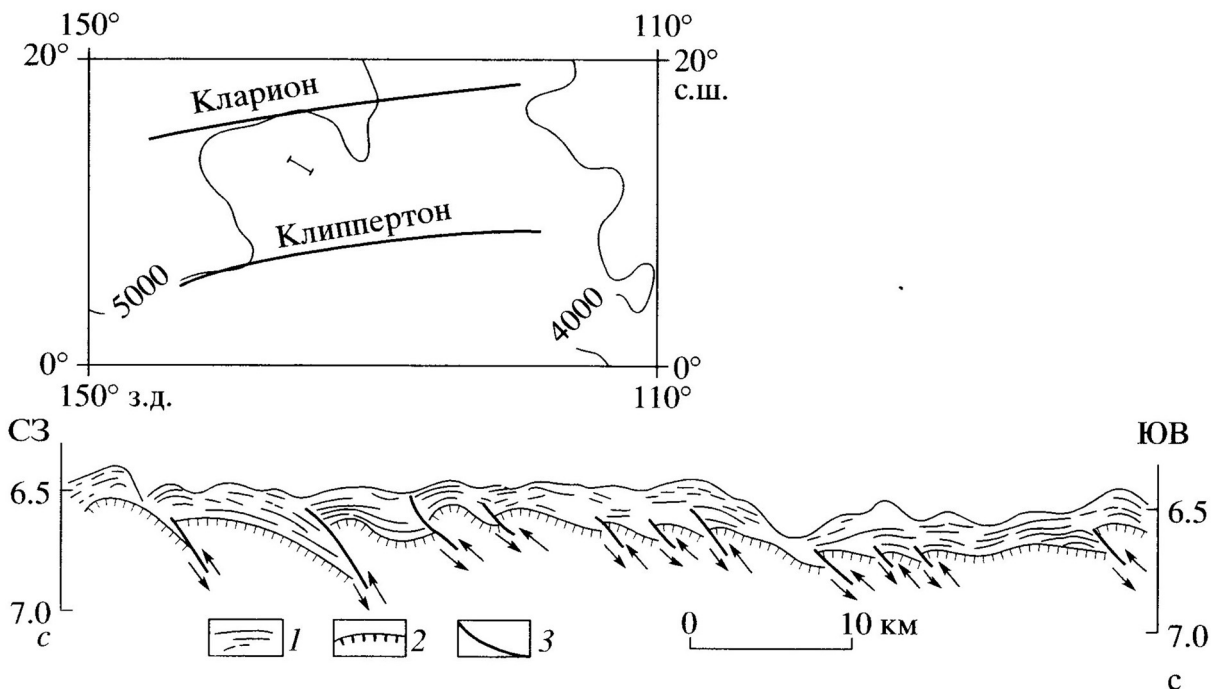


Рис. 24. Характер взбросо-надвиговых дислокаций на интерпретированном сейсмоакустическом разрезе непрерывного сейсмического профилирования между разломами Кларион и Клиппертон, по [Korsakov, Pilipenko, 1989], с изменением ориентировки. 1 – отражающие горизонты в осадочном чехле; 2 – поверхность акустического фундамента; 3 – надвиги.

Fig. 24. Character of the reversed fault-thrust dislocations on the interpreted single channel profile between Clarion and Clipperton Fracture Zones, after [Korsakov, Pilipenko, 1989], with the change of orientation. 1 – reflectors in sediment cover; 2 – acoustic basement; 3 – thrusts.

ная с мелового времени и заканчивая современным этапом. Имеющиеся на сегодня данные позволяют фиксировать данное явление в Индийском океане только с позднего миоцена. Это сжатие не носило стационарного характера, но проявляло себя во времени дискретно, накладываясь на процессы аккреции океанической коры в зонах спрединга.

Приведенные выше примеры субмеридионального сжатия континентальной и океанической литосферы можно рассматривать как некое «окно», через которое «просвечивает» поле напряжений, фиксируемое по структурам глобального ранга. Аналогично в начале статьи мы попытались показать, что горизонтальное растяжение, ответственное за формирование Восточно-Африканской рифтовой системы, – это не «локальное отклонение» от господствующего на Африканской литосферной плите горизонтального сжатия, а такого же рода «окно» в глубинную зону надрегионального горизонтального растяжения.

В целом, в Северном полушарии на фоне разнообразных локальных ориентировок осей главных напряжений в пределах распространения континентальной литосферы доминирует субмеридиональное сжатие. Это сжатие часто приписывают локальному воздействию инденторов, которые якобы распространяют свое влияние на самые северные области Евразии, иногда «перескакивая» через слабodeформированные регионы. Между тем сами эти инденторы – всего лишь звенья в цепи общего направленного к северу тектонического течения литосферы, о чем свидетельствует, в частности, структурный парагенез субмеридионального сжатия в тылу Индостанского индентора (см. выше). Особо следует подчеркнуть, что во всех приведенных примерах рассматриваются не локальные надвиги северной вергентности, но крупные области, подверженные субмеридиональному сжатию.

Все эти примеры, свидетельствующие о субмеридиональном сжатии океанической литосферы с движением масс в северном направлении, так же как и на континентах, имеют региональный характер. Так, зоны крупнейших трансформных разломов в Атлантике и в Тихом океане, где устанавливается такое явление, простираются на расстояние, превышающее тысячу километров, а их межрифтовые, «активные», отрезки – на сотни километров. Ширина таких зон, включая разломную долину и обрамляющие ее трансверсивные хребты, достигает многих десятков километров.

Колоссальные размеры зоны внутриплитных деформаций Индийского океана (около 10 000 000 км²), пространства между разломами Клариион и Клипертон, крупного массива Магеллановых гор и протягивающихся на тысячи километров вулканических цепей Лайн-Туамоту, Маршалла-Гилберта – Тихого океана также говорят о региональном характере проявления субмеридионального сжатия.

5. МЕРИДИОНАЛЬНАЯ КОНВЕКЦИЯ В ЗЕМЛЕ

В новой модели стратификации мантии, основанной на анализе многочисленных сейсмографических карт и данных о глубинных минеральных преобразованиях, обособляется шесть геосфер: верхняя часть верхней мантии – до глубины 410 км, ее нижняя часть до рубежа 670 км, средняя мантия с ограничениями 840–1700 км, нижняя мантия – 2200–2900 км, зона раздела I, расположенная между верхней и средней мантией (глубины 670–840 км), и зона раздела II, разделяющая среднюю и нижнюю мантию (глубины 1700–2200 км). Слои D'' рассматриваются как нижняя часть нижней мантии. Глобальные рубежи 2900 и 5146 км отвечают соответственно разделам ядро – мантия и внешнее – внутреннее ядро. При этом утверждается, что мантийные геосферы «...отнюдь не являются инертными монолитами, им свойственно движение материала как в радиальном, так и в латеральном направлении, его тектоническое течение; вероятно также существование пологих срывов» [Pushcharovsky, 1997].

Развивая этот новый в геотектонике тезис, Ю.М. Пушчаровский отмечал, что все в большей степени научным сообществом усваивается, что Земля – это космическое тело и что эндогенная энергия ядра в сочетании с внешними воздействиями на Землю приводит в движение геосферные массы, что делает сами эти геосферы продуцирующими геодинамические импульсы. Главное в новой модели – созидание тектонических структур на всех уровнях коры и мантии [Pushcharovsky, 1996, 1998].

Именно в этом ключе, на глубинном рубеже 2900 км, отвечающем разделу ядро – мантия, ниже предлагается новая модель меридиональной конвекции в Земле и рассматриваются причины конвекции во внешнем (жидком) ядре.

Выполненные исследования структур дна океанов в совокупности с литературными данными по континентам позволили выявить фундаментальную планетарную особенность, а именно существование надвиговых структур с полярной ориентацией, с движением масс преимущественно в северном направлении. Следовательно, механизм, ответственный за их формирование, также является планетарным.

Ранее одним из авторов данной работы была предложена простейшая кинематическая модель [Bozhko, Goncharov, 1993; Goncharov, 2007], в рамках которой можно объяснить наличие субмеридионального вектора движения литосферных масс, направленного на север. Такая компонента, скорее всего, характерна и для течения подконтинентальной мантии.

В основу модели положен принцип компенсационной организации тектонического течения [Goncharov, 1994]. В рассматриваемом случае этот принцип заключается в следующем (рис. 25). В тылу меридионального тектонического потока (под Южным полюсом)

неизбежен компенсирующий восходящий поток, а на фронте (под Северным полюсом) – компенсирующий нисходящий поток. Другими словами, в мантии и во внешнем ядре Земли происходит конвекция.

Перемещение цепочки элементарных объемов вдоль меридиана в северном направлении происходит от Южного до Северного полюса. В то же время только северная часть этого потока испытывает субмеридиональное сжатие. Южная же часть потока неизбежно подвергнется тоже субмеридиональному, но растяжению. Вследствие сферичности Земли элементарные объемы в южной части расходятся вдоль меридианов и тем самым подвергаются также и субширотному растяжению. В северной части меридианы сходятся, обеспечивая также и субширотное сжатие. Таким образом, поверхность Южного полушария расширяется, а поверхность Северного полушария сокращается, что подтверждается приведенными ниже данными GPS. Идею о подобной полярности двух полушарий и о периодических инверсиях этой полярности впервые высказал Н.А. Божко [Bozhko, 1992], основываясь на сравнительном анализе геологических данных по разным континентам.

Расхождение масс от Южного полюса компенсируется восходящим потоком в мантии, который поддерживает высокое стояние Антарктического материка (с учетом ледовой нагрузки). Схождение масс к Северному полюсу компенсируется длительным и весьма интенсивным прогибанием аномально широ-

кого шельфа Арктического океана – антипода Антарктиды по своим очертаниям. Не исключено, что именно благодаря этому обстоятельству под арктическим шельфом сосредоточено около 25 % углеводородных запасов Земли.

Эти два вертикальных направленных в разные стороны потока должны замыкаться на глубине горизонтальным потоком противоположного направления. Нижний горизонтальный замыкающий поток происходит в подошве мантии под соответствующими поверхностными меридианами, т.е. вдоль «меридианов» внешнего ядра. Этот поток в мантии над поверхностью «жидкого» ядра «сцеплен» с аналогичным потоком вещества ядра под этой поверхностью. По аналогии с потоком на поверхности Земли, можно прийти к выводу, что в тылу расходящегося поверхностного потока ядра под Северным полюсом существует компенсирующий восходящий поток во внешнем ядре, а на фронте этого поверхностного потока под Южным полюсом – компенсирующий нисходящий поток во внешнем ядре. Возможная причина конвекции – смещение центра масс ядра Земли – обсуждается ниже.

Простейшая математическая модель поля скоростей поверхностного горизонтального потока такова [Goncharov, 2007]:

$$v_{\varphi} = A \cos \varphi, \tag{1}$$

где φ – широта, принятая для расчетов отрицательной в Южном полушарии и положительной в Северном полушарии, а A – константа, определяющая характерную скорость конвекции и зависящая от скорости дрейфа ядра (см. ниже). На основе (1) нетрудно определить скорость деформации в меридиональном (ϵ'_{φ}) и широтном (ϵ'_{λ}) направлениях, возникающей в неравномерном по скорости v_{φ} (зависящей от широты φ) и расходящемся (в Южном полушарии) или сходящемся (в Северном полушарии) вдоль меридианов поверхностном потоке:

$$\epsilon'_{\varphi} = \frac{dv_{\varphi}}{dl_{\varphi}} = -\left(\frac{A}{R}\right) \sin \varphi, \tag{2}$$

$$\epsilon'_{\lambda} = \frac{dl_{\lambda}}{l_{\lambda} dt} = -\left(\frac{A}{R}\right) \sin \varphi. \tag{3}$$

Здесь l – длина дуги меридиана (l_{φ}) или параллели (l_{λ}), R – радиус Земли, t – время. Принимая, как обычно, величину удлинения положительной, а величину укорочения – отрицательной, можно с учетом знаков заключить, что в Южном полушарии как меридианы, так и параллели удлиняются, а в Северном полушарии они укорачиваются, причем, что особенно примечательно, – с одинаковой скоростью.

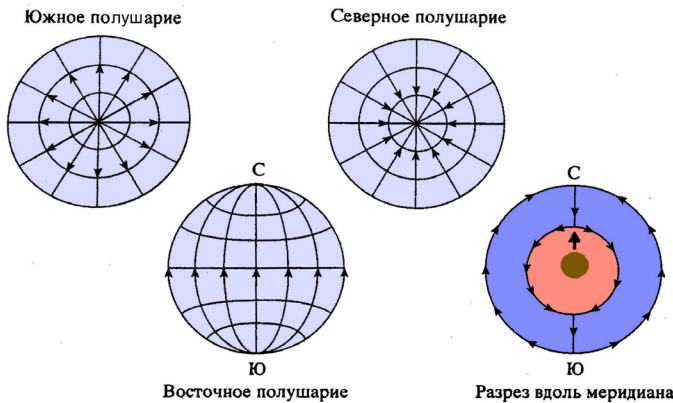


Рис. 25. Простейшая кинематическая модель меридиональной конвекции в Земле, по [Bozhko, Goncharov, 1993], с изменениями по [Goncharov, 2007]. Поверхностный горизонтальный поток, направленный вдоль меридианов к северу, компенсируется нисходящим потоком в области Северного полюса и восходящим потоком в области Южного полюса. Эти три потока должны замыкаться нижним горизонтальным «противопотоком» на границе мантии и ядра, направленным к югу также вдоль меридианов. Этот «противопоток» является следствием дрейфа ядра к Северному полюсу и сопротивления мантии этому дрейфу (см. рис. 27).

Fig. 25. Simplest kinematic model of meridional convection in the Earth, after [Bozhko, Goncharov, 1993], changed in [Goncharov, 2007]. The surface-northward (directed along meridians) horizontal flow is balanced by the ascending flow near the South Pole and the descending flow near the North Pole. These three flows should be closed by the deep southward horizontal counter flow along the mantle/core boundary also directed along meridians. This lower counter flow is the result of the core drift to the North Pole and mantle resistance to this drift (see Figure 27).

6. ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА КОНВЕКЦИИ ВО ВНЕШНЕМ ЯДРЕ

Такой причиной, вероятнее всего, является дрейф земного ядра по направлению к Северному полюсу, обусловленный гравитационным воздействием ближнего Космоса. Эту концепцию развивает в последнее время один из авторов данной работы – Ю.В. Баркин [Barkin, 2002, 2005, 2008, 2009; Barkin, Shatina, 2005; Barkin, Shuanggen, 2007]. Суть ее состоит в возвратно-поступательном полярном дрейфе ядра Земли относительно вязкоупругой и термодинамически изменяемой мантии Земли.

В первую очередь здесь речь идет об относительных смещениях центров масс ядра и мантии и их геодинамических следствиях на интервалах времени в миллионы лет. Но если подобные явления имели место в геологическом прошлом, то их отражения или их косвенные подтверждения мы наблюдаем в современную эпоху подобно тому, как движение материков и плит подтверждается высокоточными данными GPS. Так, вариации напряженных состояний Земли и ее деформации недавно были подтверждены открытием явления медленного «удлинения» параллелей Южного полушария Земли со средней скоростью около 1.5 мм/год [Barkin, Shuanggen, 2007], аргументирующего сказанное в предыдущем разделе. Было показано, что фундаментальным явлением здесь выступает медленный вековой дрейф центра масс ядра относительно центра масс деформируемой мантии Земли [Barkin, 2005]. Практически многие вековые планетарные процессы, наблюдаемые в современную эпоху на Земле, – это динамические следствия векового тренда ядра со скоростью 2.6 см/год по направлению к северу, или, более точно, к географической точке с координатами 70° с.ш., 104° в.д. (район полуострова Таймыр) [Barkin, 2008].

Ядро обладает колоссальной избыточной массой, обусловленной большим контрастом средних плотностей ядра и мантии; эта масса составляет около 19 % массы всей Земли (примерно 17 масс Луны). Следовательно, при вековом смещении ядра должны проявлять себя и наблюдаться гравитационные вариации во всех геосферах, а также на поверхности Земли.

Относительные смещения ядра и мантии имеют вынужденный характер и обусловлены гравитационным воздействием Луны и Солнца, планет и других небесных тел, включая глобальное влияние поля Галактики и галактического движения всей Солнечной системы.

Вековые вариации силы тяжести на поверхности Земли изучаются около ста лет, а свое происхождение и объяснение получили лишь недавно и именно с помощью обсуждаемого механизма дрейфа ядра [Barkin, 2009].

Этот механизм вызывает планетарные деформации и изменения грушевидной формы Земли. Один

из наиболее известных выводов «спутниковой геодезии», полученных еще в 60-х годах прошлого столетия, состоит в том, что Земля имеет грушевидную форму [King-Hele, 1967]. Грушевидность фигур планет не является раз и навсегда данным свойством, как полагали астрономы, а представляет собой динамический отклик на медленные относительные смещения ядра и мантии. Чем больше относительные смещения ядра и мантии, тем четче выражена грушевидность. Она тем больше, чем больше эксцентricность в положении ядра. Планета Марс обладает большой грушевидностью, и, по нашим оценкам, ядро этой планеты смещено в северном направлении (к широте примерно 60°) на 20–25 км. У Земли эксцентricность ядра меньше, по разным оценкам около 3–4 км, и ее грушевидность значительно меньше. На рис. 26 схематически изображен геоид и приведена кривая вековых изменений длин параллелей в Северном и Южном полушариях Земли. Хорошо заметна корреляция этой кривой с формой геоида. Эти данные свидетельствуют в пользу того, что в современную эпоху грушевидность Земли продолжает увеличиваться и ключевую роль в этом процессе играет гравитационное притяжение избыточной массы смещающегося к северу ядра.

Подтверждения подобным силовым воздействиям дают недавно выполненные исследования вариаций силы тяжести на поверхности Земли в современную эпоху. Впервые получили объяснение наблюдаемые вековые вариации силы тяжести на базовых гравиметрических станциях, где высокоточные наблюдения ведутся много лет (Нью-Алесунд, Сайова, Чурчиль, Медисина и др.) [Barkin, 2009]. Основной вклад в вариации силы тяжести дает гравитационное притяже-

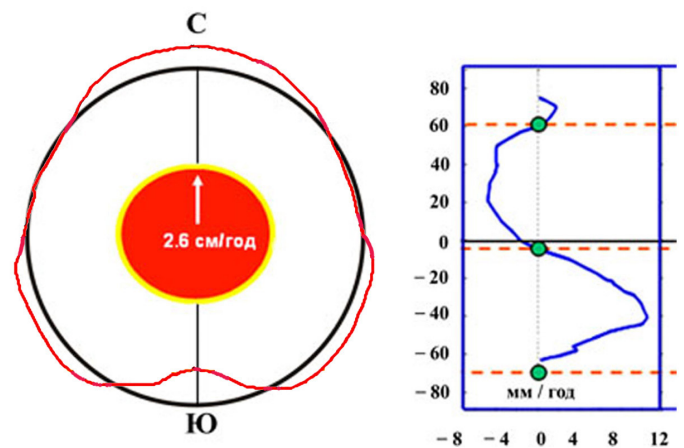
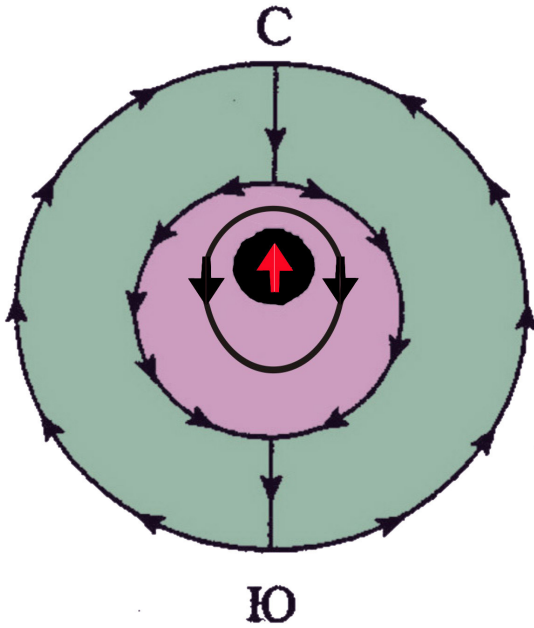


Рис. 26. Грушевидная форма геоида Земли и ее изменения в современную эпоху, по [Barkin, 2005].

В левой части рисунка – грушевидная форма геоида (красная линия), обусловленная северным дрейфом ядра со скоростью 2.6 см/год; в правой – зависимость скорости удлинения (+) и укорочения (–) земных параллелей от их широты, по данным GPS.

Fig. 26. Pear-shape of the Earth geoid and its changing in the recent age, after [Barkin, 2005].

In the left part of the figure – pear-shape of the Earth geoid (red line) is forced by the northern core drift with the velocity of 2.6 cm/year; in the right one – variations of the length of the latitude circles in the Northern and Southern hemispheres.



Разрез вдоль меридиана

Рис. 27. Механизм возбуждения вынужденной конвекции во внешнем ядре Земли, обусловленный дрейфом всего ядра к Северному полюсу и сопротивлением значительно более вязкой мантии этому дрейфу.

Fig. 27. The trigger mechanism of forced convection in the outer core of the Earth due to drift of the whole core to the North Pole and resistance of the much more viscous mantle to this drift.

ние смещающейся избыточной массы ядра, а также планетарные деформации поверхности Земли.

Если смещение ядра является возвратно-поступательным с достаточно большим периодом, то обсуждаемые надвиговые структуры, как на континентах, так и в океанах, также приобретут черты циклических изменений и различных стилей формирования надвигов (по интенсивности, времени формирования и др.). Указанные планетарные геодинамические процессы происходят синхронно и под «динамическую команду» единого механизма – северного дрейфа гравитирующего ядра.

Дрейф «выжимает» по горизонтали вещество «жидкого» внешнего ядра на фронте своего движения, вынуждая это вещество «обтекать» внутреннее ядро и заполнять в тылу движущегося внутреннего ядра освободившееся пространство (рис. 27). Это перетекание и есть конвективный поток во внешнем ядре. Ясно, что эта конвекция – вынужденная и обусловлена дрейфом земного ядра. Течение на поверхности внешнего ядра сопряжено с течением в подошве мантии (рис. 27). Однако при этом речь идет только о компоненте течения в рассматриваемой геодинамической системе нулевого ранга (ГС-0, см. таблицу и рис. 25. Другая компонента относится к ГС-1 (см. таблицу и рис. 3). Этот вопрос об интерференции ГС-0 и ГС-1 выходит далеко за рамки статьи и требует специального исследования.

7. КОЛИЧЕСТВЕННОЕ СОПОСТАВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДРЕЙФА ЯДРА ЗЕМЛИ И ДРЕЙФА ЛИТОСФЕРЫ

В работе [Barkin, Shatina, 2005] выведена формула, связывающая скорость изменения длины параллели на поверхности идеально сферической Земли со скоростью дрейфа ядра:

$$l'_{\lambda} = -0.399462 \cdot \rho' \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi, \quad (4)$$

где ρ' – скорость дрейфа ядра, φ – географическая широта на поверхности Земли. Разделив скорость изменения длины параллели l'_{λ} на длину самой параллели $l_{\lambda} = 2\pi R \cos \varphi$ (R – радиус Земли), получаем скорость деформации изменения длины параллели:

$$\varepsilon'_{\lambda} = -\left(\frac{A}{R}\right) \sin \varphi, \quad (5)$$

где $A = (0.399462 \times \rho') / 2\pi$ является постоянной величиной относительно переменной широты φ . Эта формула в точности аналогична формуле (3) скорости деформации удлинения параллели, выведенной на основе приведенных выше чисто кинематических соображений [Goncharov, 2007]. Поскольку изменение длины параллелей реально фиксируется с помощью GPS, то в работе [Barkin, Shatina, 2005] на основе приведенной выше формулы была оценена скорость дрейфа земного ядра в настоящее время – 2.6 см/год. A в работе [Goncharov, 2011b] на этой же основе оценена максимальная скорость северного дрейфа литосферы, которая, в соответствии с формулой (1), имеет место на экваторе, – 0.25 см/год.

8. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных исследований на фоне разнообразных направлений горизонтального перемещения, сочетающегося с деформациями горизонтального растяжения, сжатия и сдвига литосферы, выявлено субмеридиональное сжатие континентальной и океанической литосферы, вектор которых направлен на север. Это сжатие не носит стационарного характера, но проявляет себя во времени дискретно, накладываясь на процессы коллизионного орогенеза, платформенных деформаций континентальной литосферы и аккреции океанической коры в зонах спрединга. Среди различных структурных форм и их парагенезов – индикаторов такого сжатия – ведущую роль играют надвиги северной вергентности. Выявлено три основных этапа субмеридионального сжатия океанической литосферы: меловой, позднемiocеновый и современный. Такая же этапность намечается и для континентальной литосферы.

Посредством представления о компенсационной организации тектонического течения в теле Земли предложена модель меридиональной конвекции как

составного элемента надглобальной конвективной геодинамической системы наиболее крупномасштабного ранга, на фоне которой функционируют геодинамические системы более мелкомасштабных рангов (см. таблицу и рис. 2). Последние ответственны за периодическое созидание и распад суперконтинентов, тектонику литосферных плит и региональные геодинамические процессы, а также за создание «структурного шума», наличие которого затрудняет выявление

структур субмеридионального сжатия, упомянутых выше. Верхний горизонтальный поток меридиональной конвекции как раз и является причиной формирования указанных выше структур горизонтального субмеридионального сжатия.

Меридиональная конвекция является следствием установленного независимыми методами дрейфа ядра Земли к Северному полюсу и сопротивления мантии этому дрейфу. Дрейф «выжимает» по горизонтали вещество «жидкого» внешнего ядра на фронте своего движения, вынуждая это вещество «обтекать» внутреннее ядро и заполнять в тылу движущегося внутреннего ядра освободившееся пространство. Это перетекание и есть конвективный поток во внешнем ядре. Ясно, что эта конвекция вынужденная и обусловлена дрейфом земного ядра.

Сопоставление следствий из модели дрейфа литосферы с независимыми данными и концепциями позволяет сделать ряд выводов, имеющих глобальное значение и сводящихся к следующему.

Восходящий поток под Южным полюсом, имеющий своим источником нижнюю мантию и даже ядро, рассматривается в независимой работе [Grushinsky et al., 2004] как причина нарушения изостатического равновесия литосферы Антарктиды. Он обусловил аномально высокое (3 км) стояние Антарктического материка (даже с учетом ледовой нагрузки). Расхождение ветвей восходящего потока под Антарктидой привело к ее горизонтальному растяжению (детали см. ниже).

Нисходящий поток под Северным полюсом обусловил понижение кровли литосферы под Арктическим океаном в виде аномально широкого шельфа и повышенной мощности богатого углеводородами осадочного чехла; глубоководная же часть океана – это следствие спрединга (рис. 28, а). Схождение ветвей нисходящего потока под Арктикой вызвало обстановку горизонтального сжатия и, как следствие, – ультрамедленную скорость спрединга в срединно-океаническом хребте Гаккеля.

Примерно одинаковая ширина восходящего потока под Южным полюсом и нисходящего потока под Северным полюсом обусловила примерное равенство площадей антиподально расположенных Антарктиды и Арктического океана (рис. 28, б).

В Южном полушарии меридианы и параллели удлиняются, а в Северном – укорачиваются. Такое изменение длин параллелей зафиксировано по данным GPS (см. выше). На поверхности идеально сферической Земли скорость деформации вдоль меридианов, по формуле (2), равна скорости деформации вдоль параллелей, по формуле (3):

$$\varepsilon'_{\varphi} = -\left(\frac{A}{R}\right) \sin\varphi = \varepsilon'_{\lambda}. \quad (6)$$

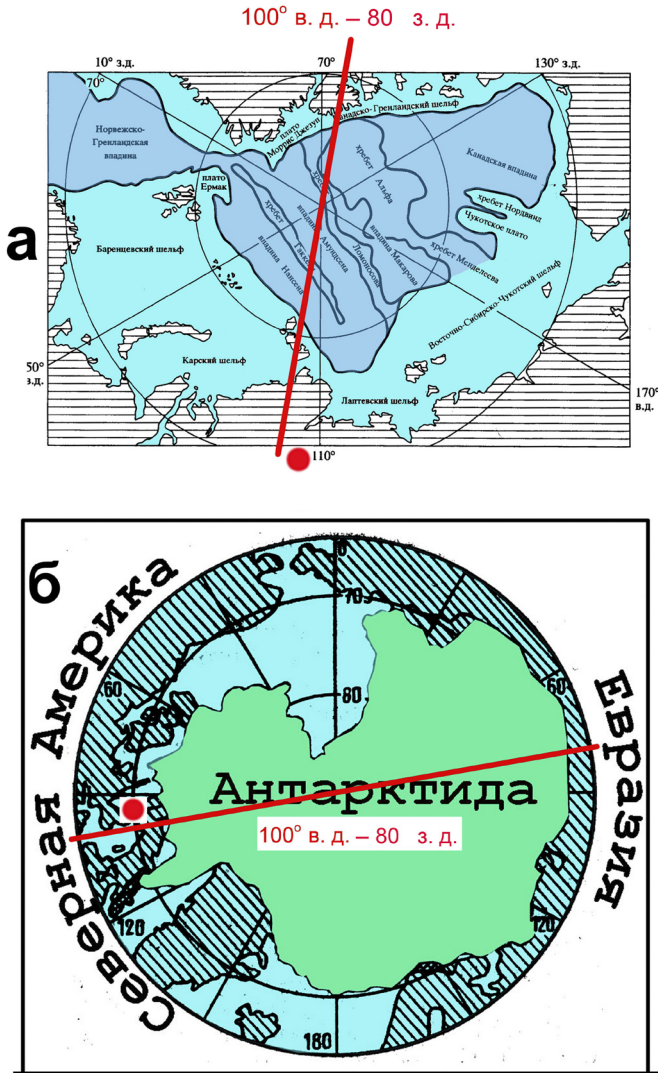


Рис. 28. Арктика и Антарктида, ориентированные относительно 100° в.д. Красным кружком помечена точка на земной поверхности Северного полушария, к которой дрейфует земное ядро (по расчетам Ю.В. Баркина), а также антиподальная точка в Южном полушарии (пояснения в тексте). **а** – аномально широкий шельф Арктического океана (голубой тон) по сравнению с его глубоководной акваторией (синий тон), по [Bogdanov, 2004]; **б** – примерно одинаковая конфигурация Арктического океана и антиподальной Антарктиды, по С.У. Кэри, из книги [Belousov, 1989].

Fig. 28. The Arctic and Antarctica, orientated in relation to 100° E. Red circle marks a point on the Earth surface of the Northern hemisphere. The Earth core drifts in the direction of this point, after Yu.V. Barkin. Another red circle marks the antipodal point in the Southern hemisphere (see the explanation in the text). **a** – anomalously wide shelf of the Arctic ocean (light blue field), in relation to the abyssal water area (dark blue field), after [Bogdanov, 2004]. **b** – nearly equal configuration of the Arctic ocean and antipodal Antarctica, after S.W. Carey, from the book [Belousov, 1989].

Однако это равенство весьма «шатко». Оно легко нарушается под влиянием «малых параметров» (например, грушевидной формы геоида) (см. рис. 26). Имеет место *нелинейная* зависимость, когда малые отклонения приводят к далеко идущим последствиям.

Начнем с Антарктиды. Здесь скорость удлинения параллелей превышает скорость удлинения меридианов. В результате возникают резко доминирующие меридиональные (радиальные по отношению к Южному полюсу) мегатрещины отрыва (рифты и другие линеаменты) [Anokhin, Odesskii, 2001; Khain, 2001]

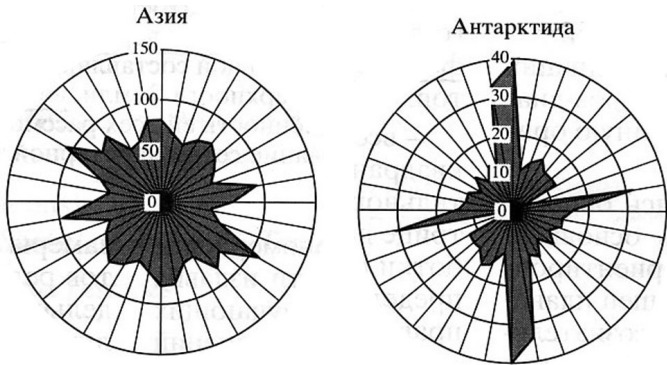


Рис. 29. Розы-диаграммы простираний линеаментов для различных континентов, по [Anokhin, Odesskii, 2001]. В Антарктиде резко преобладают субмеридиональные (радиальные по отношению к Южному полюсу) простирания. Для сравнения приведена роза-диаграмма для Азии.

Fig. 29. Rose-diagrams of lineaments strike trends for various continents, after [Anokhin, Odesskii, 2001]. Submeridional strike (radial relatively to the South Pole) strongly prevails in Antarctica. Rose diagrams for Asia are shown for comparison.

(рис. 29 и 30, а), мелкомасштабным аналогом которых являются структуры «разбитой тарелки» на куполах (рис. 30, б). На некотором же удалении от Антарктиды скорость удлинения меридианов больше скорости удлинения параллелей. В результате возникает субконцентрическая (по отношению к Южному полюсу) система спрединга. После обособления Антарктиды и «отодвигания» от нее смежных континентов оси субконцентрического спрединга также «отодвигались» от Антарктиды в результате северной компоненты дрейфа литосферы, о котором говорилось выше. На еще большем удалении от Антарктиды снова преобладает субмеридиональная система спрединга в виде трех «стволов» примерно через 90° (рис. 31).

В простейшей модели, формула (1), скорость северного дрейфа литосферы зависит только от широты и не зависит от долготы. Однако в действительности столь равномерного тектонического течения не бывает. В глобальном масштабе вдоль разных меридианов фиксируется разная скорость северного дрейфа литосферы. Наиболее выразительна в этом отношении меридиональная полоса со средним меридианом 100° в.д. – 80° з.д. Вдоль этой полосы сосредоточена основная масса континентальной литосферы с тяготением к Северному полюсу; радиус, проведенный из центра Земли перпендикулярно к большому кругу этих меридианов, приблизительно совпадает с осями Африканского и Тихоокеанского суперплюмов (рис. 32). Вероятно, из-за этого контур разреза Земли вдоль экватора представляет собой в первом приближении эллипс,

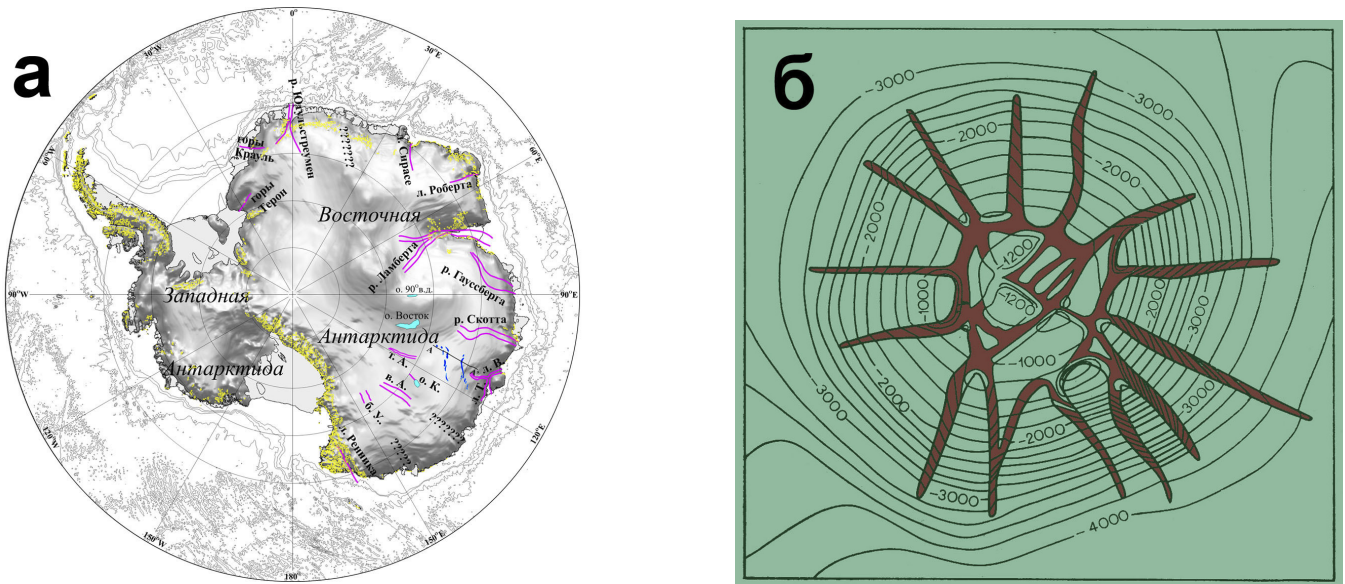


Рис. 30. Радиальная система рифтогенных структур разного масштабного ранга. **а** – схема размещения крупных тектонических линейных структур Восточной Антарктиды (в том числе и рифтогенной природы, лиловый цвет), по [Golynsky A.V, Golinsky D.A., 2009]; **б** – трещины над куполом, округ Вашингтон, штат Техас, из [Ramberg, 1981]. Изолинии поверхности купола даны в футах (0.3 м).

Fig. 30 Radial system of rift structures of different scale rank. **a** – scheme of distribution of the large tectonic linear structures of the East Antarctica (also of the rift nature, violet colour), after [Golynsky A.V, Golinsky D.A., 2009]; **b** – fractures over a dome, Wachington county, Texas state, from [Ramberg, 1981]. Isolines of the dome surface are presented in feet (0.3 m).

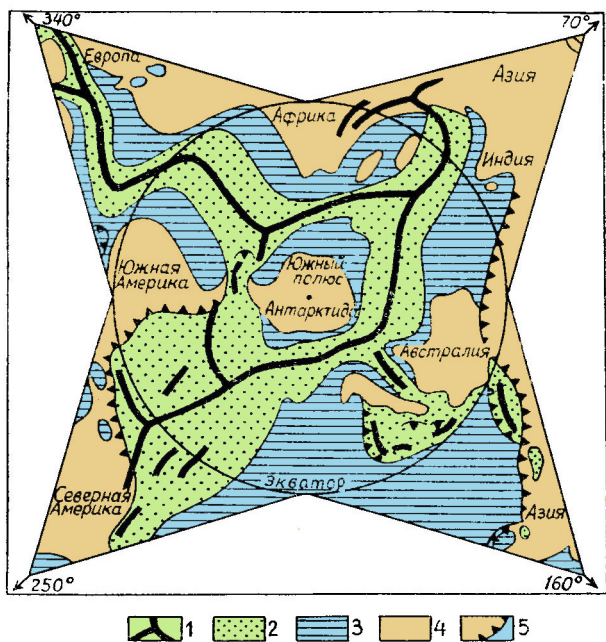


Рис. 31. Геометрическая правильность размещения глобальной системы зон спрединга и рифтинга относительно оси вращения Земли, по Е.Е. Милановскому и А.М. Никишину (1988), из [Khain, Lomize, 2005].
 1 – кайнозойские оси спрединга и рифтинга, главным образом активные; 2 – океаническая литосфера кайнозойского возраста; 3 – то же мезозойского возраста; 4 – области с континентальной литосферой; 5 – конвергентные границы.

Fig. 31. Geometric regularity of the global system of distribution of spreading and rifting zones relative to the axis of Earth's rotation, after (Милановский, Никишин, 1988), extracted from [Khain, Lomize, 2005].
 1 – Cenozoic spreading and rifting zones axis, mainly active ones; 2 – Cenozoic oceanic lithosphere; 3 – the same is for the Mesozoic oceanic lithosphere; 4 – areas of continental lithosphere; 5 – convergent boundaries.

длинная ось которого ограничена меридианами, соответственно 15° в.д. и 165° з.д. Такая двухполюсная конструкция возникла в результате интерференции геодинамических систем нулевого и 1-го рангов [Goncharov et al., 2005], о которых говорилось выше (см. таблицу и рис. 3). В меридиональной же полосе 100° в.д. – 80° з.д. имеет место максимальная скорость северного дрейфа и деформации литосферы, что выражают следующие показатели:

1. Имеет место максимальное удлинение Антарктического континента в Южном («растянутом») полушарии (см. рис. 28, б).
2. Арктический океан максимально укорочен в Северном («сжатом») полушарии (см. рис. 28, а).
3. В Южном («растянутом») полушарии к меридиональной полосе 100-го градуса приурочена максимальная скорость спрединга в Австрало-Антарктическом срединном хребте на фоне повышенной скорости северного дрейфа литосферы Индийского океана по отношению к смежным Атлантическому и Тихому океанам (рис. 33).
4. В Северном («сжатом») полушарии к меридиональной полосе 100-го градуса приурочены: максимальные северные компоненты скорости горизонтальных перемещений по данным GPS (рис. 34); максимально широкий и глубокий (до 400 км)

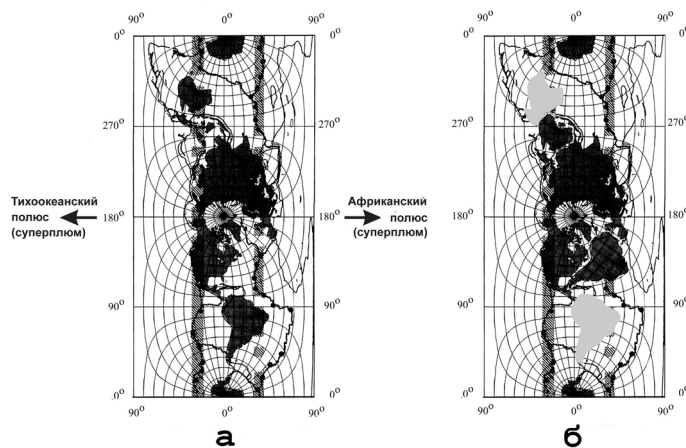


Рис. 32. Континенты и главные литосферные плиты в координатах GRS (Geotectonic Reference System), по [Pavoni, Müller, 2000], с упрощением, изменением и дополнением.

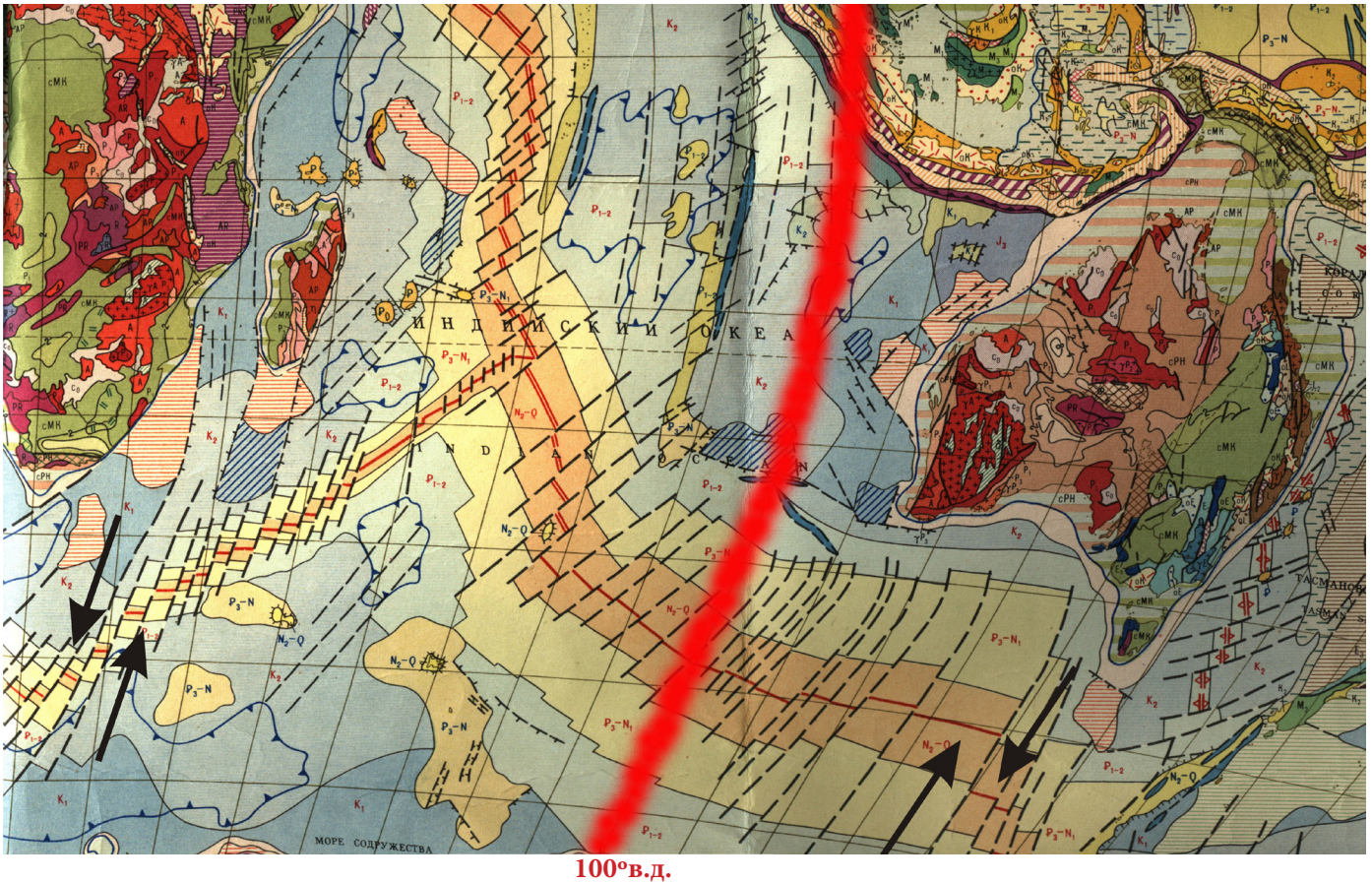
а – карта Мира в цилиндрической равнопромежуточной проекции. Экватор и меридианы GRS земной сферы взаимно ортогональны. «Обычные» географические координаты изображены в виде искривленной сетки. Все континенты, кроме Африки, тяготеют к экваториальной полосе GRS (субмеридиональной полосе в «обычных» географических координатах), а также к Северному полюсу. Экваториальная область GRS ограничена заштрихованными малыми кругами GRS, к которым, в свою очередь, тяготеют зоны спрединга. Африка находится в полярной области GRS; **б** – грубая качественная реконструкция будущего мегаконтинента – аналога поздневендской Гондваны (М на рис. 10) – в системе GRS путем перемещения Южной Америки и Австралии в соответствии с их современными GPS-векторами.

Fig. 32. Continents and major lithospheric plates in coordinates of the Geotectonic Reference System (GRS), after [Pavoni, Müller, 2000], with alteration, simplification and addition.

а – World map is shown in the cylindrical equal-spaced projection. The equator and GRS meridians of the Earth sphere are mutually orthogonal. Common geographic coordinates are depicted as a curved grid. All continents except Africa are drawn to the equatorial GRS tract (near-meridional belt in common geographic coordinates) as well as to the North Pole. The equatorial GRS domain is bounded by small circles (hatched); spreading zones are drawn toward these circles. Africa is situated in the polar GRS region; **б** – coarse qualitative reconstruction of a future megacontinent as an analog of the Late Vendian Gondwana, in the GRS system by the displacement of the South America and Australia in accordance with their present-day GPS-vectors.

мантийный диапир – Зондский (о его проявлении см. в работе [Goncharov et al., 2005]); максимально высокий ороген – Гималаи; максимально широкое и высокое плато – Тибет; максимально длинный и глубокий рифт – Байкальский.

5. Вблизи этой меридиональной полосы находится Индостанский индентор. На его фронте находятся Гималаи, Тибет и более удаленный Байкал. В тылу этого индентора – зона внутриплитных деформаций субмеридионального сжатия, о которых говорилось выше.
6. По уточненным расчетам одного из авторов данной статьи (Ю.В. Баркин) земное ядро дрейфует не просто в северном направлении, но конкретно в направлении п-ва Таймыр к географической точке с координатами 70° с.ш., 104° в.д. (район полуострова Таймыр, см. рис. 28, а, красный кружок). Эта точка также располагается в рассмотренной субмеридиональной полосе 100-го градуса. Не исключено, что именно по этой причине Антарктида



100° в.д.

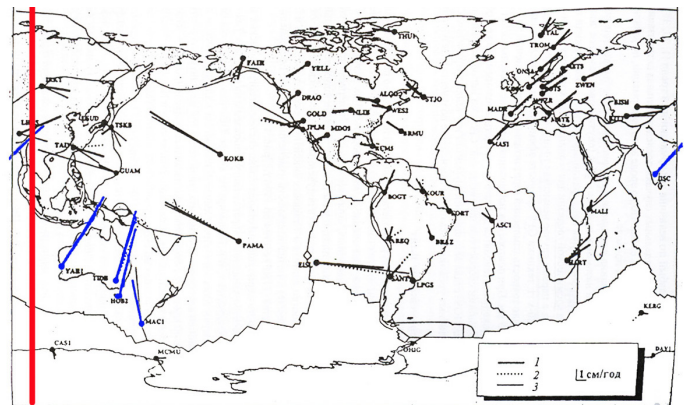
Рис. 33. Повышенная скорость спрединга в Австрало- Антарктическом срединном хребте. По [Tectonic map..., 1982], с добавлениями. Черными стрелками обозначены демаркационные субмеридиональные, соответственно, левосдвиговая Африкано-Антарктическая и правосдвиговая Австрало-Антарктическая разломные системы глубинного заложения, ограничивающие с запада и востока Индийский океан [Pushcharovsky, 2010] и смещающие его литосферу к северу относительно литосферы смежных Атлантического и Тихого океанов.

Fig. 33. High spreading velocities in the Australian-Antarctic ridge, after [Tectonic map..., 1982], with addition. Black arrows show the demarcation submeridional African-Antarctic (left-handed strike-slip) and Australian-Antarctic (right-handed strike-slip) deep-seated fracture systems limiting Indian ocean from west and east [Pushcharovsky, 2010] and removing its lithosphere to the north relatively to neighboring Atlantic and Pacific oceans.

немного смещена к северу от полюса в сторону Евразии, так как в этом случае центр восходящего потока конвекции располагается под антиподальной точкой (красный кружок на рис. 28, б). Возможно, по той же причине центр Арктического океана тоже смещен в сторону Евразии (Гренландия и Канада расположены ближе к Северному полюсу, чем Евразия, см. рис. 28, а), поскольку расположение нисходящего потока под п-вом Таймыр препятствует дальнейшему дрейфу Евразии к северу.

9. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основе палеотектонических реконструкций и анализа данных о разломной тектонике океанов и континентов разработаны модельные представления о северном дрейфе и субмеридиональном сжатии литсферных масс Земли.
2. Сжатие проявляет себя во времени дискретно, накладываясь на процессы коллизионного орогенеза и формирования платформенных деформаций в



100° в.д.

Рис. 34. Векторы горизонтальных перемещений станций IGS за 1993–1996 гг. По [Trifonov, Pevnev, 2001], с дополнением. Синим цветом выделены векторы со значительной северной компонентой перемещения. Они оказались расположенными в меридиональной полосе со средним меридианом 100° в.д.

Fig. 34. Horizontal displacement vectors of the IGS-stations for the period of 1993–1996, after [Trifonov, Pevnev, 2001], with addition. Dark blue colour shows the significant northern component of displacement vectors. They occurred to be situated in 100° E in the meridional band with middle 100° E meridian.

- континентальной литосфере и процессы аккреции в зонах спрединга в океанической литосфере.
3. Выявлены три основных этапа субмеридионального сжатия океанической литосферы: меловой, позднемеловый и современный. Такая же этапность намечается и для континентальной литосферы.
 4. Предложена новая модель меридиональной конвекции, охватывающей мантию и внешнее ядро Земли.
 5. Посредством представления о компенсационной организации тектонического течения и меридиональной конвекции в теле Земли переброшен количественный «мост» между северным дрейфом и структурами меридионального

сжатия литосферы с одной стороны и северным дрейфом ядра Земли – с другой.

10. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне признательны Ю.Г. Леонову и анонимному Рецензенту за серьезные и конструктивные замечания, способствовавшие как улучшению статьи, так и более глубокому осознанию тех проблем, которые предстоит решать в будущем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты РФФИ 06-05-64547, 12-05-00113, 09-05-00150).

11. ЛИТЕРАТУРА

- Adushkin V.V., An V.A., Ovchinnikov V.M.* Issledovanie geodinamicheskikh processov seismicheskimi metodami [The study of geodynamic processes with application of seismic methods] // *Tektonika i geofizika litosfery*. M.: GEOS, 2002. T. I. S. 13–17 (in Russian).
- Agar S.M.* Microstructural evolution of a deformation zone in the upper ocean crust: evidence from DSDP hole 504B // *Journal of Geodynamics*. 1991. V. 13, № 2–4. P. 119–140. [doi.org/10.1016/0264-3707\(91\)90035-D](https://doi.org/10.1016/0264-3707(91)90035-D).
- Anokhin V.M., Odessky I.A.* Characteristics of the global pattern of planetary fracturing // *Geotectonics*. 2001. V. 35, № 5. P. 335–340.
- Barkin Yu.V.* Ob'yasnenie endogennoj aktivnosti planet i sputnikov i ee ciklichnosti [The explanation of endogenic activity of planets and planetary satellites and its cyclicity] // *Izvestiya seksii nauk o Zemle RAEN*. 2002. Vyp. 9. M.: VINITI. S. 45–97 (in Russian).
- Barkin Yu.V.* Nebesnaya mehanika yadra i mantii Zemli: geodinamicheskie i geofizicheskie sledstviya [The gravitational astronomy of the Earth's core and mantle: geodynamic and geophysical consequences] // *Tektonika zemnoj kory i mantii. Tektonicheskie zakonomernosti razmescheniya poleznyh iskopaemyh: Materialy XXXIII Tektonicheskogo soveschaniya*. M.: GEOS, 2005. T. 1. S. 30–33 (in Russian).
- Barkin Yu.V.* Vekovoj polyarnyj dreyf yadra v sovremennuyu epohu: geodinamicheskie i geofizicheskie sledstviya i podtverzheniya [The centenary polar drift of the core in the recent epoch: geodynamic and geophysical consequences and evidences] // *Obschie i regional'nye problemy tektoniki i geodinamiki: Materialy XLI Tektonicheskogo soveschaniya*. M.: GEOS, 2008. T. 1. S. 55–59 (in Russian).
- Barkin Yu.V.* Ob'yasnenie vekovykh variacij sily tyazhesti na stanciyah N'yu Jork Olesunn, Medisin, Churchill i Sajova [The explanation of centenary variations of gravity at New York-Alesund, Medicine, Churchill and Sayova Stations] // *Materialy Mezhdunarodnoj Konferencii: «Pyatye nauchnye chteniya Yu.P. Bulashevicha. Glubinnoe stroenie. Geodinamika. Teplovoe pole Zemli. Interpretaciya geofizicheskikh polej»*. Ekaterinburg, 2009. S. 27–31 (in Russian).
- Barkin Yu.V., Shatina A.V.* Deformations of the Earth's mantle due to core displacements // *Astronomical & Astrophysical Transactions*. 2005. V. 24. Issue 3. P. 195–213. [doi:10.1080/10556790500496339](https://doi.org/10.1080/10556790500496339).
- Barkin Yu.V., Shuanggen J.* On variations of the mean radius of the Northern and Southern Hemispheres of the Earth. EGU General Assembly (Vienna, Austria, 15–20 April 2007) // *Geophysical Research Abstracts*. V. 9. 2007. Abstract EGU07-A-08183.
- Belousov V.V.* Osnovy geotektoniki [Fundamentals of Geotectonics]. 2-e izd. M.: Nedra, 1989. 382 s. (in Russian).
- Bergman E.A., Solomon S.C.* Earthquake source mechanisms from body wave inversion and intraplate tectonics in the Northern Indian ocean // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 1985. V. 40. P. 1–23. [doi:10.1016/0031-9201\(85\)90002-0](https://doi.org/10.1016/0031-9201(85)90002-0).

- Bobryakov A.P., Revuzhenko A.F., Shemyakin E.I.* Tidal deformation of planets: experience in tentative modelling // *Geotectonics*. 1992. V. 25, № 6. P. 473–482.
- Bogdanov N.A.* Tectonics of the Arctic ocean // *Geotectonics*. 2004. V. 38, № 3. P. 166–181.
- Bozhko N.A.* Geodynamic reversals in the polar system of Northern and Southern hemispheres of the Earth // *Moscow University Geology Bulletin*. 1992. V. 47, № 5. P. 24–33.
- Bozhko N.A., Goncharov M.A.* Global balanced arrangement of the geodynamic polarity of Earth's Southern and Northern hemispheres // *L.P. Zonenshain Confer. on Plate Tectonics*. Kiel (Germany): GEOMAR, 1993. P. 43–44.
- Chamot-Rooke N., Jestin F., de Voogd B., and Phedre Working Group* // Intraplate shortening in the central Indian ocean determined from a 2100 km-long north-south deep seismic reflection profile // *Geology*. 1993. V. 21. P. 502–516. doi:10.1130/0091-7613(1993)021<1043:ISITCI>2.3.CO;2.
- Golynsky A.V., Golynsky D.A.* Riftovye sistemy v tektonicheskoy strukture Vostochnoj Antarktity [Rift system in the tectonic structure of East Antarctica] // *Nauchnye rezultaty geologo geofizicheskikh issledovanij v Antarktike*. Vyp. 2. SPb.: FGUP «VNIIOkeangeologiya im. I.S. Gramberga», 2009. S. 132–162 (in Russian).
- Goncharov M.A.* Balanced arrangement of tectonic flow and structural parageneses // *Geotectonics*. 1994. V. 27, № 4. P. 282–292.
- Goncharov M.A.* Quantitative correlation between geodynamic systems and geodynamic cycles of various ranks // *Geotectonics*. 2006. V. 40, № 2. P. 83–100. doi:10.1134/S0016852106020014.
- Goncharov M.A.* Kinematicheskaya model' severnoj komponenty drejfa kontinentov kak prichiny rasshireniya Yuzhnogo i sokrascheniya Severnogo polushariya Zemli [The kinematic model of the northern component of continental drift as a cause of expansion of the Southern Hemisphere of the Earth and compression of the Northern Hemisphere of the Earth] // *Rotacionnye processy v geologii i fizike*. M.: KomKniga, 2007. S. 279–286 (in Russian).
- Goncharov M.A.* Plate tectonics as a component of geodynamics of hierarchically subordinate geospheres // *Horizons in Earth Science Research*. V. 5. New York: Nova Science Publishers, 2011a. P. 133–176. Available from https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=31679 (last accessed April 3, 2012).
- Goncharov M.A.* Kolichestvennaya svyaz' nablyudaemogo izmeneniya dliny zemnyh paralelej s severnym drejfm yadra Zemli i severnoj komponentoj drejfa kontinentov [The quantitative relationship of the observed changes in lengths of the Earth's parallels and the northward drift of the Earth's core and the northern component of continental drift] // *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. 2011b. № 4 (2). S. 418–420 (in Russian).
- Goncharov M.A., Raznitsin Yu.N., Barkin Yu.V.* Osobennosti deformacii kontinental'noj i okeanskoj litosfery kak svidetel'stvo severnogo drejfa yadra Zemli [Specific features of deformation of the continental and oceanic lithosphere as evidences of the northward drift of the Earth's core] // *Sovremennoe sostoyanie nauk o Zemle*. (Materialy mezhdunarodnoj konferencii, posvyaschennoj pamyati Viktora Efimovicha Khaina, g. Moskva, 1–4 fevralya 2011 g.) M.: Izd-vo Geologicheskogo fakul'teta MGU imeni M.V. Lomonosova, 2011 (CD-ROM). S. 461–466 (in Russian).
- Goncharov M.A., Talitsky V.G., Frolova N.S.* Vvedenie v tektonofiziku [Introduction to Tectonophysics]. M.: Knizhnyj dom «Universitet», 2005. 496 s. (in Russian).
- Goncharov M.A., Vodovozov V.Yu.* Some features of twisting of the Earth in geological history: the tectonophysical aspect // *Moscow University Geology Bulletin*. 2010. V. 65, № 6. P. 406–409. doi:10.3103/S0145875210060086.
- Grushinsky A.N., Stroev P.A., Koryakin E.D.* Stroenie litosfery Antarktiki i ee izosticheskoe sostoyanie [The structure of the lithosphere of the Antarctic and its isostatic state] // *Otechestvennaya geologiya*. 2004. № 2. S. 30–36 (in Russian). *Journal of the Geological Society of Japan*. 1994. V. 100, № 1.
- Kashintsev G.L.* Glubinnye porody okeanov [Deep rocks of oceans]. M.: Nauka, 1991. 279 s. (in Russian).
- Kent G.M., Swift S.A., Detrick R.S. et al.* Evidence for active normal faulting on 5.9 Ma crust near Hole 504B on the southern flank of the Costa Rica rift // *Geology*. 1996. V. 24, № 1. P. 83–86. doi:10.1130/0091-7613(1996)024<0083:EFA NFO>2.3.CO;2.
- Khain V.E.* Large-scale cyclicity in the Earth's tectonic history and its possible origin // *Geotectonics*. 2000. V. 34, № 6. P. 431–441.
- Khain V.E.* Tektonika kontinentov i okeanov (god 2000) [Tectonics of continents and oceans (Year 2000)]. M.: Nauchnyj mir, 2001. 606 s. (in Russian).
- Khain V.E., Filatova N.I., Polyakova I.D.* Tektonika, geodinamika i perspektivy neftegazonosnosti Vostochno-Arkticheskikh morej i ih kontinental'nogo obramleniya [Tectonics, Geodynamics and Petroleum Potential of the Eastern Arctic Seas and their Continental Borders]. M.: Nauka, 2009. 227 s. (Tr. GIN RAN. Vyp. 601.) (in Russian).
- Khain V.E., Goncharov M.A.* Geodynamic cycles and geodynamic systems of various ranks: their relationships and evolution in the Earth's history // *Geotectonics*. 2006. V. 40, № 5. P. 327–344. doi:10.1134/S0016852106050013.
- Khain V.E., Lomize M.G.* Geotektonika s osnovami geodinamiki [Geotectonics with the Fundamentals of Geodynamics]. 2-e izd. M.: Knizhnyj dom «Universitet», 2005. 560 s. (in Russian).
- Kheraskova T.N., Bush V.A., Didenko A.N., Samygin S.G.* Breakup of Rodinia and early stages of evolution of the Paleoa-

- sian ocean // *Geotectonics*. 2010. V. 44, № 1. P. 3–24. doi:10.1134/S0016852110010024.
- King-Hele D.* The shape of the Earth // *Scientific American*. 1967. V. 217, № 4. P. 67–68.
- Kley J., Voigt T.* Late Cretaceous intraplate thrusting in central Europe: Effect of Africa Iberia-Europe convergence, not Alpine collision // *Geology*. 2008. V. 36, № 11. P. 839–842. doi:10.1130/G24930A.1.
- Knipper A.L., Raznitsin Yu.N.* Synchronism in compression of the lithosphere in the Central Atlantic and Western Tethys at the Tortonian–Messinian transition // *Geotectonics*. 2008. V. 40, № 2. P. 83–100. doi:10.1134/S0016852108010032.
- Kopp M.L.* Mobilisticheskaya neotektonika platform Yugo Vostochnoj Evropy [Mobilistic neotectonics of platforms in South-Eastern Europe]. M.: Nauka, 2005. 340 s. (Tr. GIN RAN, vyp. 552.) (in Russian).
- Koronovsky N.V., Gogonenkov G.N., Goncharov M.A., Timurzиеv A.I., Frolova N.S.* Role of shear along horizontal plane in the formation of helicoidal structures // *Geotectonics*. 2009. V. 43, № 5. P. 379–391. doi:10.1134/S0016852109050033.
- Korsakov O.D., Pilipenko A.I.* Compression structures in the Pacific between the Clarion and Clipperton fracture zones // *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR. Earth Science Sections*. 1989. T. 309, № 6. P. 77–79.
- Korsakov O.D., Pilipenko A.I.* Tektonicheskie deformacii Vostochno-Indijskogo hrebta [Tectonic deformation of the East Indian ridge] // *Doklady AN SSSR*. 1991. T. 320, № 2. S. 407–411 (in Russian).
- Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Bogatikov O.A.* The contemporary North Pangea supercontinent and the geodynamic causes of its formation // *Geotectonics*. 2010. V. 44, № 6. P. 448–461. doi:10.1134/S0016852110060026.
- Kropotkin P.N., Efremov V.N.* Geoid i deformacii v tektonosfere [Geoid and deformation in tectonosphere] // *Geodinamika i razvitie tektonosfery*. M.: Nauka, 1991. S. 85–92 (in Russian).
- Langseth M.G., Mottle M.J., Hobart M., Fisher A.* The distribution of geothermal and geochemical gradients near site 501/504: Implications for hydrothermal circulation in the oceanic crust // *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. Part A. V. 111. Ocean Drilling Program, College Station. Texas, USA, 1988. P. 23–32.*
- Leonov Yu.G.* Kontinental'nyj riftogenez: sovremennye predstavleniya, problemy i resheniya [Continental rifting: modern ideas, problems and solutions] // *Fundamental'nye problemy obschej tektoniki*. M.: Nauchnyj mir, 2001. S. 155–173 (in Russian).
- Mazarovich A.O.* Geologicheskoe stroenie Central'noj Atlantiki: razlomy, vulkanicheskie sooruzheniya i deformacii okeanskogo dna [Geology of the Central Atlantic: Fractures, Volcanic Edifices and Oceanic Bottom Deformations]. M.: Nauchnyj mir. 2000. 176 s. (in Russian).
- Minshull T.F., White R.S., Mutter J.C. et al.* Crustal structure at the Blake Spur fracture zone from Expanding Spread profiles // *Journal of Geophysical Research*. 1991. V. 96, № B6. P. 9955–9984.
- Moos D., Zoback M.D.* Utilization of observations of well bore failure to constrain the orientation and magnitude of crustal stresses: application to continental, Deep Sea Drilling Project, and Ocean Drilling Program boreholes // *Journal of Geophysical Research*. 1990. V. 95, № 6. P. 9305–9325. doi:10.1029/JB095iB06p09305.
- Pavoni M., Müller M.V.* Geotectonic bipolarity, evidence from the pattern of active oceanic ridges bordering the Pacific and African plates // *Journal of Geodynamics*. 2000. V. 30, № 5. P. 593–601. doi:10.1016/S0264-3707(00)00006-5.
- Popkov V.I.* Skladchato-nadvigovye dislokacii (Zakaspij, Predkavkaz'e, Azovsko Chernomorski region) [Fold-thrust dislocations (Transcaspian, Pre-Caucasian, and Azov-Black Sea Regions)]. M.: Nauchnyj mir, 2001. 136 s. (in Russian).
- Pushcharovskii Yu.M.* Seismic tomography and the mantle structure: tectonic aspects // *Doklady Earth Science*. 1996. V. 351A, № 9. P. 1424–1427.
- Pushcharovsky Yu.M.* New Ideas in Tectonics // *Geotectonics*. 1997. V. 31, № 4. P. 313–318.
- Pushcharovsky Yu.M.* Seismic tomography, tectonics, and deep geodynamics // *Doklady Earth Science*. 1998. V. 360, № 4. P. 514–517.
- Pushcharovskii Yu.M.* Deep-sea basins of the Atlantic ocean: The structure, time and mechanisms of their formation // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2004. V. 6, № 2. P. 133–152.
- Pushcharovsky Yu.M.* Tectonic structure and geodynamics of the divide between the Atlantic and Arctic oceans // *Geotectonics*. 2010. V. 44, № 3. P. 228–236. doi:10.1134/S0016852110030027.
- Ramberg H.* Gravity, deformation and the Earth's crust. London: Academic Press, 1981. 452 p.
- Raznitsin Yu.N.* Structure and geodynamics of the Vema fracture-zone transverse ridge, Central Atlantic // *Geotectonics*. 2001. V. 35, № 3. P. 217–223.
- Raznitsin Yu.N.* Tektonicheskaya rassloennost' litosfery molodyh okeanov i paleobassejnov [Tectonic layering of the lithosphere of young oceans and paleobasins]. M.: Nauka, 2004. 270 s. (in Russian).
- Raznitsin Yu.N.* Tectonic delamination of the Pacific lithosphere // *Geotectonics*. 2006. V. 40, № 2. P. 111–119. doi:10.1134/S0016852106020038.
- Raznitsin Yu.N., Barkin Yu.V.* Submeridional'noe szhatie okeanskoj litosfery kak rezul'tat severnogo drejfa yadra Zemli [Submeridional compression of the oceanic lithosphere as a result of the northward drift of the Earth's core] //

- Tektonika i geodinamika skladchatyh oblastej fanerozoja: Materialy LIII Tektonicheskogo soveschaniya. M.: GEOS. 2010. T. 2. S. 186–190 (in Russian).
- Reston T.J., Ranero C.R., Belykh I. The structure of Cretaceous oceanic crust of the NW Pacific: Constraints on processes at fast spreading centers // *Journal of Geophysical Research*. 1999. № B1. P. 629–644. doi:10.1029/98JB02640.
- Sandwell D.T., Smith W.H.F. Marine gravity anomaly from Geosat and ERS-1 Satellite Altimetry // *Journal of Geophysical Research*. 1997. V. 102, № B5. P. 10039–10054. doi:10.1029/96JB03223.
- Scotese C.R., Golonka J. PALEOMAP Paleogeographic Atlas, PALEOMAP Progress Record No. 20. Department of Geology, University of Texas at Arlington. 1993. 28 maps.
- Seidler E., Jacoby W.R., Cavsak H. Hotspot distribution, gravity, mantle tomography: evidence for plumes // *Journal of Geodynamics*. 1999. V. 27, № 4–5. P. 585–608. doi:10.1016/S0264-3707(98)00020-9.
- Shemenda A. I. Modeling of intraplate deformations in the north-eastern part of the Indian ocean // *Geotectonics*. 1989. V. 23, № 3. P. 223–231.
- Singh D.D. Strain deformation in the northern Indian ocean // *Marine Geology*. 1988. V. 79, №1–2. P. 105–118. doi:10.1016/0025-3227(88)90159-4.
- Smith A.D., Lewis Ch. Differential rotation of lithosphere and mantle and the driving forces of plate tectonics // *Journal of Geodynamics*. 1999. V. 28, № 2–3. P. 97–116. doi:10.1016/S0264-3707(98)00027-1.
- Sokolov S.Yu. Anomal'nye mehanizmy ochagov zemletryasenij Atlantiki i ih geodinamicheskaya interpretaciya [Anomalous earthquake focal mechanisms of the Atlantic, and their geodynamic interpretation] // *Materialy XYIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Shkoly) po morskoy geologii*. M.: GEOS, 2009. T. 5. S. 153–155 (in Russian).
- Sokolov S.Yu., Sokolov N.S., Dmitriev L.V. Geodynamic zonation of the Atlantic ocean lithosphere: Application of cluster analysis procedure and zoning inferred from geophysical data // *Russian Journal of Sciences*. 2008. V. 10. P. 1–30. doi:10.2205/2007ES000218. (<http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes>).
- Stein C.A., Cloetingh S., Wortal R. Seasat-derived gravity constraints on stress and deformation in the northeastern Indian ocean // *Journal of Geophysical Research*. 1989. V. 16, № 8. P. 823–876.
- Tectonic map of the World*. 1:45000000 / Eds. Yu.G. Leonov, V.E. Khain. St. Petersburg: Mingeo USSR, VSEGEI, 1982.
- Timurziev A.I. Kinematika i zakonomernosti orientirovki razryvnyh narushenij i osey napryazhenij v osadochnyh bassejnah Severnogo polushariya [The kinematics and regularities of faulting and orientation of stress axes in sedimentary basins of the Northern Hemisphere] // *Otechestvennaya geologiya*. 2009. № 6. S. 52–59 (in Russian).
- Trifonov V.G., Pevnev A.K. Sovremennye dvizheniya zemnoj kory po dannym kosmicheskoy geodezii [The modern movements of the Earth's crust according to satellite geodetic data] // *Fundamental'nye problemy obschej tektoniki*. M.: Nauchnyj mir, 2001. S. 374–401 (in Russian).
- Trubitsyn V.P., Rykov V.V. Mantijnaya konvekciya s plavayuschimi kontinentami [The mantle convection with floating continents] // *Problemy global'noj geodinamiki*. M.: GEOS, 2000. S. 7–28 (in Russian).
- Utkin V.P., Hanchuk A.I., Mihailik E.V., Hershberg L.B. Strukturno-dinamicheskie usloviya formirovaniya gajotov Magellanovyh gor (Tihij okean) [Structural and dynamic conditions of formation of guyots in the Magellanic mountains (Pacific)] // *Tihookeanskaya geologiya*. 2006. T. 25, № 2. S. 3–14 (in Russian).
- Verzhbicky E.V., Sokolov S.D., Frantzen E.M., Tuchkova M.I., Bannikov G.A. Tektonicheskaya struktura, osadochnye bassejny i perspektivy neftegazonosnosti shel'fa Chukotskogo morya (Rossiiskaya Arktika) [The tectonic structure, sedimentary basins and petroleum potential of the Chukotskoe sea shelf (Russian Arctic)] // *Gazovaya promyshlennost'*. Specvypusk 654/2010. C. 32–37 (in Russian).
- White R.S., Detrick R.S., Mutter J.C. New seismic images of oceanic crustal structure // *Geology*. 1990. V. 18. № 5. P. 462–465. doi:10.1130/00917613(1990)018<0462:NSIOOC>2.3.CO;2.
- Yoshida M., Santosh M. Future supercontinent in the northern hemisphere // *Terra Nova*. 2011. V. 23, № 5. P. 333–338. doi:10.1111/j.1365-3121.2011.01018.x.
- Zaitsev A.V. Diz'yunktivnaya tektonika i novejshee napryazhennoe sostoyanie geoprostranstva Kol'skoj sverhglubokoj skvazhiny [Disjunctive tectonics and the most recent state of stresses in the kol'skaya super-deep well's geospace]: Avtoref. dis. ... kand. geol.-min. nauk. M.: MGU, 2009. 22 s. (in Russian).
- Zoback M.L. First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: the World stress map project // *Journal of Geophysical Research*. 1992. V. 97. P. 11703–11728. doi:10.1029/92JB00132.
- Zonenshain L.P., Kuz'min M.I. *Paleogeodinamika* [Paleogeodynamics]. M.: Nauka, 1993. 192 s. (in Russian).
- Zonenshain L.P., Savostin L.A. *Vvedenie v geodinamiku* [Introduction to Geodynamics]. M.: Nedra, 1979. 311 s. (in Russian).
- Zuber M.T. Compression of oceanic lithosphere: an analysis of intraplate deformation in the Central Indian basin // *Journal of Geophysical Research*. 1987. V. 92, № B6. P. 4817–4825.

Сведения об авторах / Author information:



Гончаров Михаил Адрианович

д.г.-м.н.,
зав. лаб. тектонофизики и геотектоники
им. В.В. Белоусова
МГУ им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы
Тел.: (495)-939-19-12
[e-mail: m.a.gonch@mail.ru](mailto:m.a.gonch@mail.ru)

Goncharov, Mikhail A.

Doctor of Geology and Mineralogy
Head of Belousov Laboratory of Tectonophysics and Geotectonics
Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University,
Leninskie Gory, Moscow 119991, GSP-1, Russia
Tel.: (495)-939-19-12
[e-mail: m.a.gonch@mail.ru](mailto:m.a.gonch@mail.ru)



Разницин Юрий Николаевич

д.г.-м.н., в.н.с.
Геологический институт РАН
Россия, 109017, Москва, Пыжевский пер., д. 7
Тел.: (495)-953-43-81
[e-mail: razn46@mail.ru](mailto:razn46@mail.ru)

Raznitsin, Yuri N.

Doctor of Geology and Mineralogy
Lead Researcher
Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7 Pyzhevsky pereulok, Moscow 109017, Russia
Tel.: (495)-953-43-81
[e-mail: razn46@mail.ru](mailto:razn46@mail.ru)



Баркин Юрий Владимирович

д.ф.-м.н., профессор, в.н.с.
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ
Россия, 119992, Москва, Университетский пр-т, д. 13
Тел.: (495)-939-50-24
[e-mail: barkin@inbox.ru](mailto:barkin@inbox.ru)

Barkin, Yuri V.

Doctor of Physics and Mathematics, Professor
Lead Researcher
The Sternberg Astronomical Institute
Lomonosov Moscow State University
13 Universitetsky prospect, Moscow 119992, Russia
Tel.: (495)-939-50-24
[e-mail: barkin@inbox.ru](mailto:barkin@inbox.ru)