



WAVE TECTONICS OF THE EARTH

T. Yu. Tveritinova

Lomonosov Moscow State University, Geological Faculty, 119992, Moscow, Vorob'yevy Gory, Russia

Abstract: In the Earth's lithosphere, wavy alternation of positive and negative heterochronous structures is revealed; such structures are variable in ranks and separated by vergence zones of fractures and folds. In the vertical profile of the lithosphere, alternating are layers characterized by relatively plastic or fragile rheological properties and distinguished by different states of stress. During the Earth's evolution, epochs of compression and extension are cyclically repeated, including planetary-scale phenomena which are manifested by fluctuating changes of the planet's volume. Migration of geological and geophysical (geodynamic) processes takes place at the Earth's surface and in its interior. The concept of the wave structure and evolution of the Earth's lithosphere provides explanations to the above-mentioned regularities. Wavy nature of tectonic structures of the lithosphere, the cyclic recurrence of migration and geological processes in space and time can be described in terms of the multiple-order wave geodynamics of the Earth's lithosphere that refers to periodical variations of the state of stress. Effects of structure-forming tectonic forces are determined by «interference» of tangential and radial stresses of the Earth. The tangential stresses, which occur primarily due to the rotational regime of the planet, cause transformations of the Earth's shape, redistributions of its substance in depths, the westward drift of the rock mass in its upper levels, and changes of structural deformation plans. The radial stresses, which are largely impacted by gravity, determine the gravitational differentiation of the substance, vertical flattening and sub-horizontal flow of the rock masses, and associated fold-rupture deformation. Under the uniform momentum geodynamic concept proposed by [Vikulin, Tveritinova, 2004, 2005, 2007, 2008], it is possible to provide consistent descriptions of seismic and volcanic, tectonic and geological processes, i.e. migration waves of seismic and volcanic activity, plate movements, vortex and other structures.

Keywords: wave geodynamics, stress field, deformational wave, vergence.

Recommended by V.S. Imayev 4 August 2010

Tveritinova T. Yu. Wave tectonics of the Earth // Geodynamics & Tectonophysics. 2010. V. 1. № 3. P. 297–312.

ВОЛНОВАЯ ТЕКТОНИКА ЗЕМЛИ

Т. Ю. Тверитинова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, 119899, Москва, Воробьевы горы, Россия

Аннотация: В строении литосферы Земли волнообразно чередуются положительные и отрицательные разновозрастные структуры разных порядков, разделенные вергентными зонами разрывно-складчатых деформаций. В вертикальном разрезе литосферы сменяются слои с относительно пластическими и хрупкими реологическими свойствами и разным напряженным состоянием. В истории Земли циклически повторяются эпохи сжатия и растяжения, в том числе общепланетарные, выражающиеся в пульсационном изменении ее объема. На поверхности Земли и в ее недрах происходит миграция геологических и геофизических (геодинамических) процессов. Указанные закономерности объясняются в рамках волновой концепции строения и развития литосферы Земли. Волнообразный характер тектонических структур литосферы, циклический характер и миграция геологических процессов во времени и пространстве – выражение многопорядковой волновой геодинамики литосферы Земли, отражающей периодическое изменение ее напряженного состояния. Действие структурообразующих тектонических сил определяется «интерференцией» тангенциальных и радиальных напряжений Земли. Тангенциальные

напряжения, обусловленные в первую очередь ротационным режимом планеты, вызывают перестройку фигуры Земли, перераспределение вещества в ее глубинных сферах, западный дрейф горных масс в ее верхних горизонтах, смену структурных планов деформаций. Радиальные напряжения, на которые в значительной степени действует сила тяжести, обуславливают гравитационную дифференциацию вещества, вертикальное расплющивание горных масс, их субгоризонтальное течение и сопутствующие складчато-разрывные деформации. При этом сейсмические и вулканические (волны миграции сейсмической и вулканической активности), тектонические (движения границ плит) и геологические (вихревые и другие структуры) процессы, как оказывается, непротиворечивым образом могут быть описаны в рамках единой моментной геодинамической концепции [Викулин, Тверитинова, 2004, 2005, 2007, 2008].

Ключевые слова: волновая геодинамика, поля напряжений, деформационная волна, вергентность.

ВВЕДЕНИЕ

Современная структура поверхности Земли характеризуется закономерным структурным рисунком с проявлением элементов симметрии и асимметрии [Воронов, 1968, 1993; Долицкий, 1969, 1985, 2000; Каттерфельд, 1962; Милановский, 1996; Расцветаев, 1980; Стовас, 1968; Структурные перестройки..., 1981; Тверитинов, 1980, 1981; Тверитинов, Тверитинова, 2004; Тяпкин, 1974, 1996; Хаин, 1969, 1978, 1994; Шолпо, 2001; Tveritinov, Tveritinova, 2005; и др.], что указывает на общепланетарную организованность структуры литосферы Земли, а история ее развития определяется циклическостью геологических процессов [Божко, 2003; Милановский, 1995; Хаин, 2001; Хаин, Халилов, 2009; Штилль, 1964; и др.]. Имеются и другие многочисленные прямые и косвенные признаки проявления в структуре и истории Земли процессов «волновой» природы [Богацкий, 1977, 1986; Вихри..., 2004; Коковин, 2006; Мушкетов, 1935; Одесский, 1972; Ротационные процессы..., 2007; Юдахин и др., 2003; и др.]. Большинство современных геотектонических концепций, например концепция тектоники литосферных плит, подробно не рассматривают причины закономерной организованности современной структуры литосферы, считая результат в какой-то мере случайным.

ВАЖНЕЙШИЕ ПРИЗНАКИ ПРОЯВЛЕНИЯ В СТРУКТУРЕ И ИСТОРИИ ЗЕМЛИ ПРОЦЕССОВ «ВОЛНОВОЙ» ПРИРОДЫ

Волнообразное чередование геологических и тектонических структур

В литосфере чередуются положительные и отрицательные структуры разных порядков, т.е. распределение структур подчиняется знакопеременному закону. Это свойство литосферы является универсальным и проявляется на уровнях от глобального до локального, а также в структурах разного возраста – от древнейших до современных. На поверхности Земли чередуются континенты и океаны, горные и равнинные области, древние платформы и разновозрастные складчатые пояса, более мелкие положительные и отрицательные структурные формы. Размер таких структур Земли изменяется от сантиметров (элементарные складки) до тысяч и десятков тысяч километров (неровности

поверхности ядра, аномалии геоида). И в фигуре Земли, как трехосном эллипсоиде, имеются признаки «волнообразного» распределения структур (рис. 1) [Викулин, 2004; Кропоткин, Ефремов, 1991; Магницкий, 2006; и др.]. Косвенно на такой «волнообразный» характер расположения геологических и тектонических структур Земли указывает также распределение аномалий различных геофизических полей.

Характерной чертой современного структурного облика Земли является ее общая асимметрия. Она выражена различно построенными и развивающимися полушариями (сегментами), которые можно рассматривать как структуры Земли первого порядка: преимущественно континентальным Арктическим и преимущественно океаническим Антарктическим [Кочемасов, 2007; и др.]; континентально-океаническим Индо-Атлантическим и океаническим Тихоокеанским (рис. 2) [Кочемасов, 2007; Моссакоский и др., 1998; 2001; Пушаровский, 1997, 2000; Пушаровский, Меланхолина, 1992; Tveritinova, 2005; и др.]. Полушария отличаются распределением континентов и океанов, историей геологического развития и современной геодинамикой, площадями проявления и скоростями океанического спрединга и т.д.

Наиболее отчетливо характерные «волновым» образом генерирующиеся структуры литосферы в целом видны на геологических и структурных разрезах (рис. 3) [Магницкий, 2006].

Если с положением, что крупнейшие структуры Земли отражают такую волноподобную природу, большинство исследователей могут согласиться, то по поводу мелких структурных форм (складчатых) имеются сомнения, так как их характер отражает способность литосферы деформироваться пластически, то есть течь. Как будет показано ниже, есть основания считать, что и в развитии процесса складкообразования возбудителем направленного течения, приводящего к формированию складчатой структуры, также выступает процесс, имеющий волновую природу.

Переходные вергентные зоны

Большинство геологических и тектонических структур литосферы разного порядка характеризуется асимметричным строением – между положительными и отрицательными структурами располо-

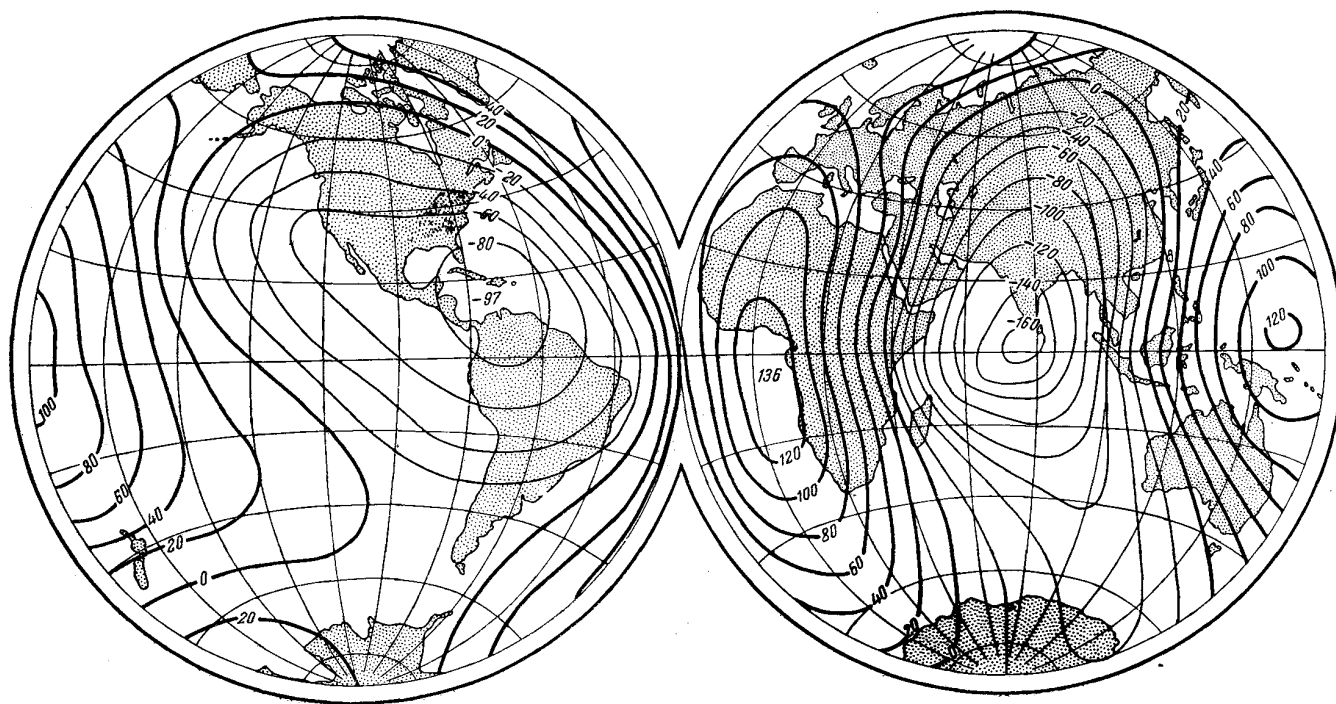


Рис. 1. Карта высот геоида (в м), составленная по данным гравиметрических наблюдений [Магницкий, 2006].

Fig. 1. Map of geoid's heights (in meters), according to gravimetric data [Магницкий, 2006].

жены переходные асимметрично построенные вергентные (однонаправленно-скошенные) разрывно-складчатые зоны. Вергентность характерна для активных окраин континентов и для внутриконтинентальных подвижных поясов (зоны сочленения горно-складчатых сооружений со стабильными погруженными блоками), где наблюдаются максимальные амплитуды размаха рельефа и происходит резкая смена геодинамических обстановок по латерали. Менее характерна вергентность на пассивных континентальных окраинах и во внутренней части платформенных областей, выражающаяся здесь незначительной асимметрией структур в их поперечном разрезе.

Наличие асимметричных переходных зон отмечается в структурах разного масштаба. Асимметричная структура планетарного масштаба – расположенный между Индо-Атлантическим и Тихоокеанским сегментами Земли Тихоокеанский подвижный окраинно-континентальный пояс с вергентностью в сторону Тихого океана, выраженной в строении аккреционных призм, надвижении континентальных комплексов на океанические, формировании погружающихся под континент зон субдукции. С течением времени в поясе происходит миграция активных геодинамических процессов в сторону Тихого океана, то есть происходит рост Индо-Атлантического сегмента за счет Тихоокеанского [Моссаковский и др., 2001].

Асимметричным строением с проявлением вергентности характеризуются периферические (фрон-

тальные) части горных сооружений на их контакте с древними платформами и молодыми плитами. На Восточно-Европейскую платформу надвинуты байкалиды Тимана, каледониды Скандинавии, герциниды Урала и погребенного кряжа Карпинского, альпиды Карпат. На Сибирскую платформу надвинуты байкалиды Енисейско-Присяянской и Байкальской зон, ранние киммериды Таймыра, поздние киммериды Верхояно-Чукотской складчатой области. Складчатые сооружения северной ветви Средиземноморско-Гималайского складчатого пояса надвинуты на структуры его северного обрамления, складчатые сооружения южной ветви – на структуры южного обрамления.

Цикличность в развитии Земли (складчатости)

В истории Земли чередуются эпохи сжатия и растяжения, выражающиеся в пульсационном изменении объема литосферы, а возможно, и всей планеты [Авсюк, 2001; Баренбаум, Ясаманов, 1999; Божко, 2003; Милановский, 1995; Хаин, 2001; Хаин, Гончаров, 2006; Хаин, Халилов, 2009; Эрлих, Мелекесцев, 1974]. Анализ пульсационной динамики Земли указывает на существование циклов разных порядков. Наиболее крупные циклы имеют период порядка 0.8–1.0 млрд лет; их осложняют циклы с периодом в 200 млн лет, которые, в свою очередь, осложняются еще более мелкими циклами продолжительностью в десятки млн лет и менее [Милановский, 1995]. По-видимому, этот ряд можно продол-

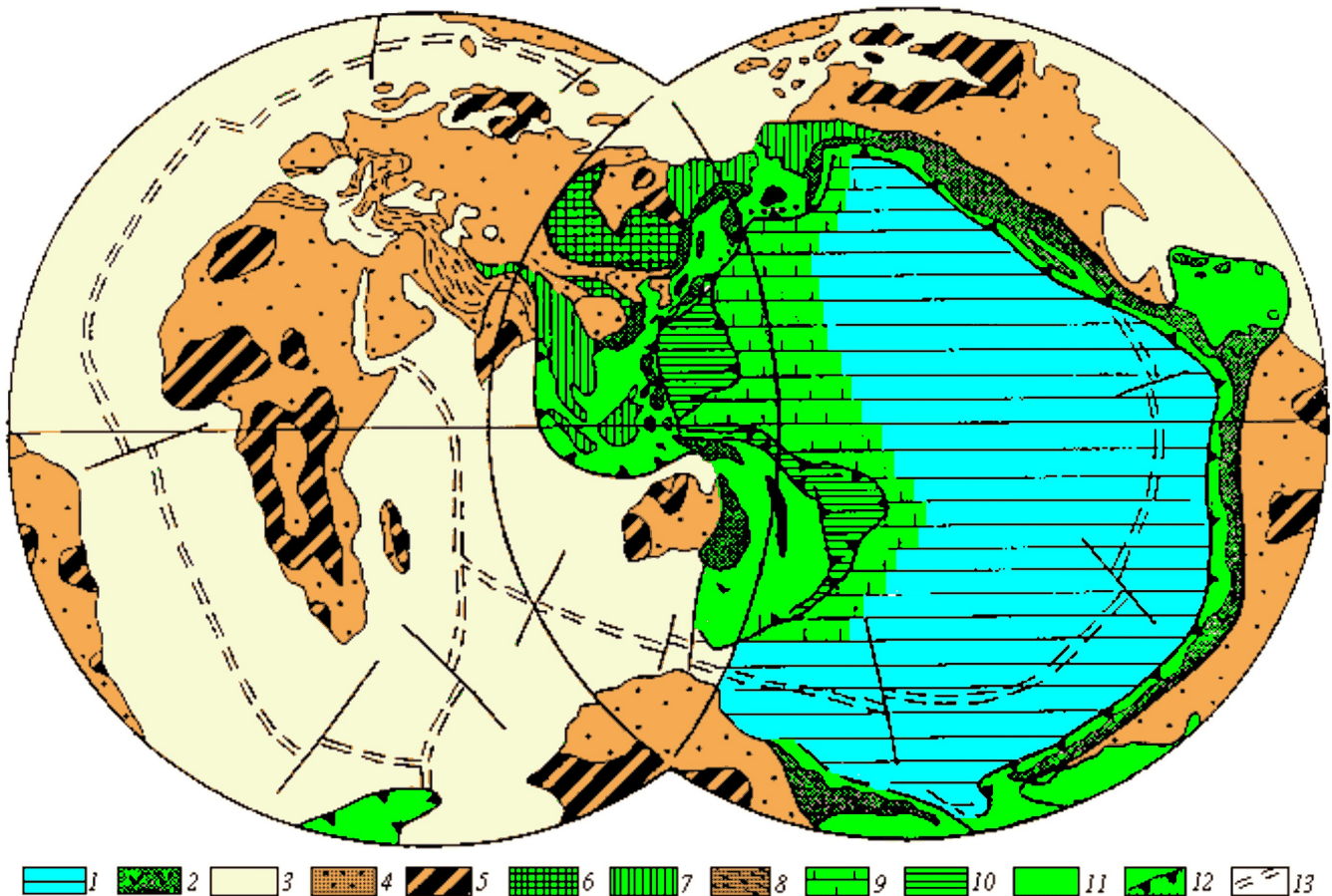


Рис. 2. Схема размещения тектонических сегментов в современной структуре Земли [Моссаковский и др., 2001]. Тихоокеанский сегмент: 1 – ложе Тихого океана, 2 – PZ и MZ аккреционные системы Тихоокеанского тектонического пояса; Индо-Атлантический сегмент: 3 – океанические бассейны, 4 – континенты, в т.ч. 5 – выступы AR-PR комплексов, 6 – PZ и 7 – MZ мозаичные аккреционные сооружения, 8 – Альпийско-Гималайский складчатый пояс; современные микроплитные системы: 9 – Алеутско-Меланезийская, 10 – Филиппинско-Тонганская, 11 – Индонезийско-Тасманская (черным цветом показаны бассейны с океанической корой); 12 – сейсмофокальные зоны; 13 – мировая рифтовая система.

Fig. 2. Relationships between tectonic segments in the recent structure of the Earth [Моссаковский и др., 2001]. Pacific segment: 1 – Pacific Ocean floor; 2 – the Paleozoic and Mesozoic accretionary systems of the Pacific belt; Indo-Atlantic segment: 3 – ocean basins, 4 – continents, including 5 – salients of the Arhean-Proterozoic complexes, 6 – the Paleozoic mosaic accretionary orogens, 7 – the Mesozoic mosaic accretionary orogens, 8 – the Alpine-Himalayan belt; recent micro-plate systems: 9 – Aleutian-Melanesian, 10 – Philippine-Tonga, 11 – Indonesia-Tasman (black shading shows basins with oceanic crust); 12 – seismic-foci zones; 13 – the world rift system.

жить до более мелких интервалов. Е.Е. Милановский [1995] показал, что тектонические циклы разных порядков содержат экспансионную и контракционные фазы (рис. 4).

Миграция тектонических процессов

С течением времени в литосфере происходит миграция геологических и тектонических процессов: вертикальные и горизонтальные перемещения блоков земной коры, смещение границ осадочных бассейнов и складчатых систем, изменение их площадей, миграция зон с различной геодинамикой, перемещение литосферных плит. В процессе рифтинга и спрединга удаляются от осевых зон плечи или борта рифта, в процессе субдукции и коллизии происходит сближение литосферных плит. Скорости миграции геологических и тектонических процессов

в литосфере можно рассчитать по смещению разновозрастных зон с характерными геодинамическими признаками. Скорости геологических процессов составляют для континентов в среднем 1–10 мм/год, для океанов – 10–100 мм/год [Викулин, Тверитинова, 2005, 2007, 2008; Кукал, 1987; Тверитинова, 2004; Трифонов и др., 2002].

Скорость геодинамических процессов можно попытаться установить, зная размеры геодинамических систем и действующих в них геодинамических циклов [Хаин, Гончаров, 2006]. Физический смысл полученной величины 4.5 ± 1.0 мм/год, определенной как отношение размера геосфер Земли разных порядков к соответствующим геодинамическим циклам, рассматривается авторами [Хаин, Гончаров, 2006] как усредненная по времени скорость подъема малого элементарного объема геосферы от ее подошвы к кровле, то есть как скорость конвекции.

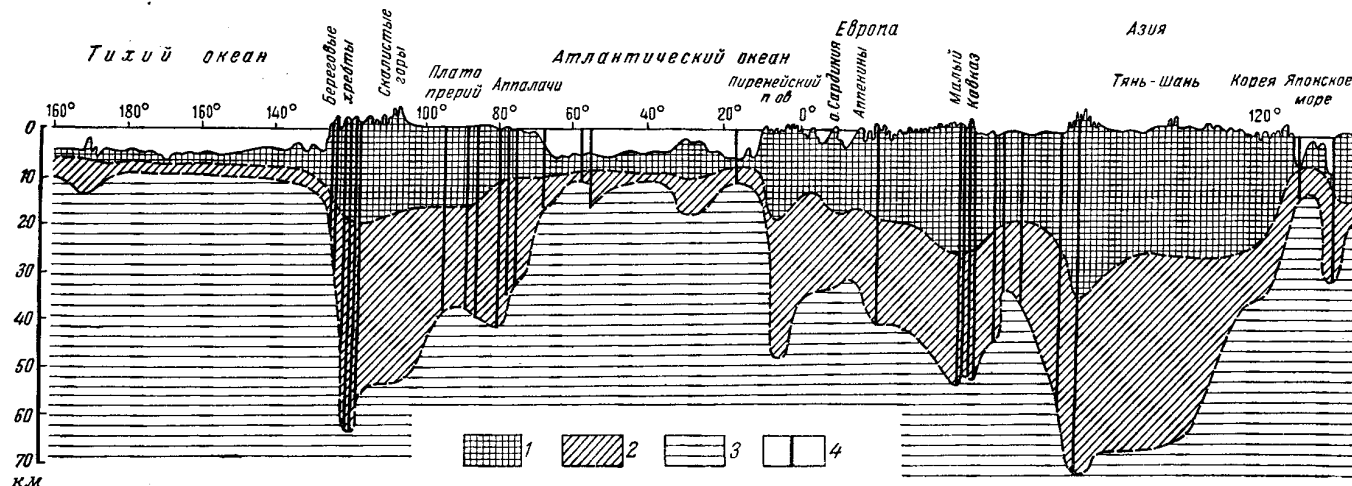


Рис. 3. Разрез земной коры по 40° с. ш., построенный по значениям аномалии Буге [Магницкий, 2006]. 1 – гранит с включением осадочных и метаморфических отложений; 2 – базальт; 3 – гипербазит; 4 – глубина земной коры по сейсмическим определениям.

Fig. 3. The Earth's crust profile at 40° N latitude that was constructed from the Bouguer anomaly data [Магницкий, 2006]. 1 – granite with inclusion of sedimentary and metamorphic rocks; 2 – basalt; 3 – гипербазит; 4 – depth of the Earth's crust, according to seismic definitions.

Приведенные выше скорости миграции геологических (геодинамических) процессов попадают в пределы скоростей миграции вулканической и сейсмической активности. Действительно, согласно данным, полученным многочисленными исследователями, скорости миграции очагов землетрясений располагаются в пределах 10^{-2} см/с – 10 км/с [Викулин, 2003, с. 67–69; Викулин, 2009а, с. 296], а скорости миграции вулканической активности и вулканических извержений в пределах 10^{-5} – 10^3 км/год и 1–100 км/год соответственно [Викулин, 2009а, с. 320–328]. При этом оказывается возможным «миграционные» вулканические, сейсмические и тектонические движения связать в рамках единой волновой геодинамической концепции [Викулин, 2003, 2009а, б; Викулин, Тверитинова, 2005, 2007, 2008].

Закономерности смены полей напряжений в пространстве и времени

Латеральная миграция в литосфере геологических и тектонических процессов отражает изменение тектонических полей напряжений. Подробно вопрос закономерной смены во времени и пространстве полей напряжений рассмотрен в работах О.И. Гущенко [1979, 1999], который на основе изучения сейсмотектонических деформаций и кинематики малых дизъюнктивных форм выявил закон относительной геохронологии и установил, что смена полей напряжений происходит закономерно, отражая непрерывные деформационные циклы (рис. 5).

Продолжительность устанавливаемых деформационных циклов различна в зависимости от типа изучаемых структур. По «немой» (т.е. лишенной кинематических индикаторов) трещиноватости улавливаются наиболее короткие деформационные циклы [Гущенко, 1999]. Кинематическая трещинова-

тость, а также структуры с заполнением (жилы, отрывы) дают более продолжительные деформационные циклы. По закону смены деформационных циклов может проводиться периодизация геологических и тектонических процессов [Васильев, Мострюков, 2002; Гущенко, 1979; Тверитинова, 2003].

Кинематические структурные индикаторы как отражение смены различных типов полей напряжений

Современная геодинамика литосферы фиксируется инструментальными методами, в том числе сейсмическими, геодезическими и геоморфологическими. В первом приближении, игнорируя вектор вертикальных движений земной коры, о прохождении современных волн растяжения и сжатия можно судить на основании распределения отрицательных и положительных структур – океанов и континентов, равнин и горных областей, хотя при растяжении в основном формируются отрицательные структуры, при сжатии – как положительные, так и отрицательные. Информацию о геодинамике прошлых геологических эпох мы получаем только на основании геологических данных, например, распределения древних бассейнов и поднятий, а также кинематических характеристик разновозрастных складчато-разрывных структур. Индикаторами динамических условий растяжения, сжатия и сдвига являются структуры различного кинематического типа. Суть заключается в том, что в условиях любого типа полей напряжений могут формироваться самые различные кинематические структуры. Подробное описание парагенезов региональных структур, формирующихся в условиях растяжения, сжатия или сдвига, приведено в работах [Лукьянов, 1965; Пейве, 1967; Разломообразование..., 1991, 1992, 1994;

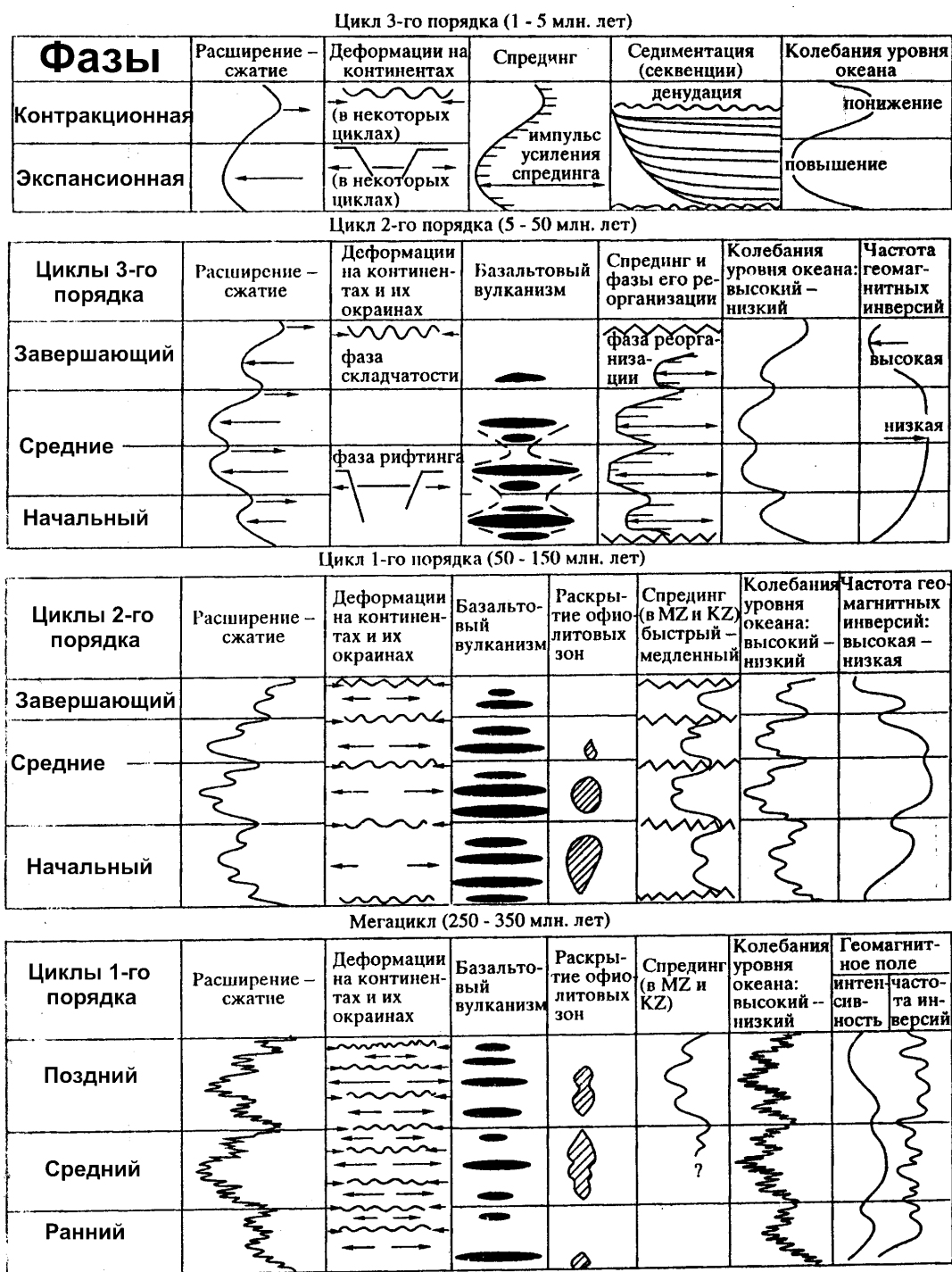


Рис. 4. Модели строения геопульсационных циклов разных порядков. Стрелками показано глобальное преобладание деформаций растяжения и сжатия в те или иные фазы или циклы [Милановский, 1995].

Fig. 4. Modeling of geo-oscillatory cycles of different ranks. Arrows indicate the global domination of tension or compression stresses for specific phase or cycles [Милановский, 1995].

Разломы..., 1963; Расцветаев, 1987б].

Подмечено, что для земной коры больше характерны дизъюнктивные структуры растяжения, формирующиеся в самых разнообразных геодинамических условиях – будь то растяжение, сжатие или сдвиг [Гзовский, 1975; Разломообразование..., 1992; Расцветаев, 1987а, б]. Они практически все-

гда являются обязательным составляющим элементом структурных парагенезов любых геодинамических обстановок. Это происходит потому, что прочность горных массивов на отрыв обычно меньше, чем прочность на скалывание.

Структуры растяжения, формирующиеся в обстановках динамического растяжения, представле-

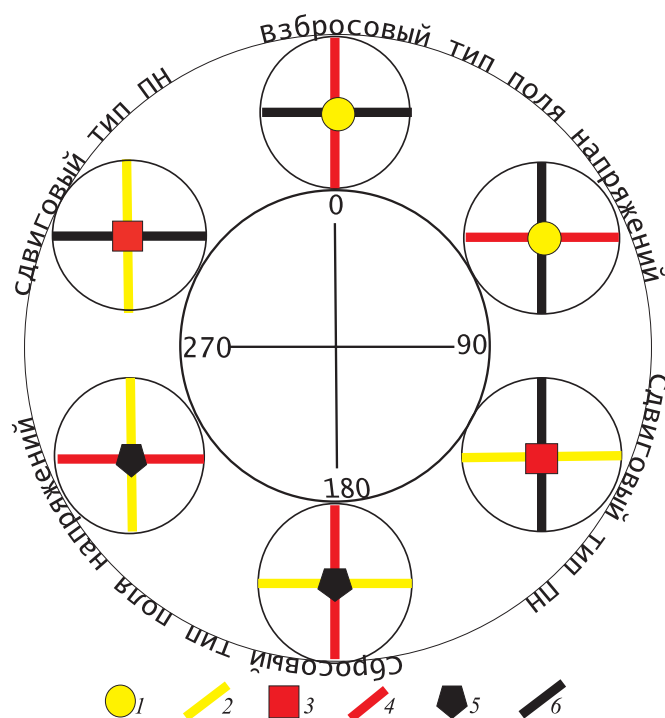


Рис. 5. Типы полей напряжений в едином деформационном цикле распространения волны сжатия – растяжения. 1–6 – оси эллипсоида напряжений: 1–2 – растяжения (1 – вертикальная, 2 – горизонтальная), 3–4 – сжатия (3 – вертикальная, 4 – горизонтальная), 5–6 – промежуточного напряжения (5 – вертикальная, 6 – горизонтальная).

Fig. 5. Types of stress fields in the single deformation cycle with compression-tension wave propagation. 1–6 – axes of the stress ellipsoid: 1–2 – extension (1 – vertical, 2 – horizontal), 3–4 – compression (3 – vertical, 4 – horizontal), 5–6 – transitional stress (5 – vertical, 6 – horizontal).

ны разнообразными сбросовыми, раздвиговыми, отрывно-раздвиговыми, сбросо-раздвиговыми зонами. На поверхности Земли структуры растяжения выражены в большинстве своем отрицательными формами: океанами, различного типа впадинами, подвижными поясами и т.д. и фиксируются формированием разновозрастных стратифицированных отложений.

Структуры растяжения, формирующиеся в обстановках динамического сжатия, представлены преимущественно отрывно-раздвиговыми дизъюнктивами, поперечными главенствующим структурам сжатия. И если структуры сжатия выражены волнообразно чередующимися поднятиями и прогибами, то структуры растяжения обычно представлены при этом поперечными формами типа отрывов, по которым могут закладываться antecedentные долины.

Структуры растяжения, формирующиеся в обстановках динамического сдвига, представлены также отрывно-раздвиговыми дизъюнктивами при характерной сдвиговой тектонике. Это так называемые пулл-апараты – присдвиговые структуры растяжения.

Условия латерального сжатия литосферы проявляются формированием в ней структур корабле-

ния литосферы – «волновым» образом чередующихся сопряженных друг с другом положительных и отрицательных структур – антиклинальных и синклинальных складок, поднятий и прогибов разного размера и характера. На региональном уровне это поднятия, на которых происходит денудационный срез, и разделяющие их компрессионные прогибы (межгорные и предгорные). Но в условиях сжатия на региональном и, тем более, глобальном, уровне возрастает роль положительных структур, то есть поднятий, и уменьшается роль структур отрицательных, то есть прогибов. Это значит, что расширение областей денудации указывает на распространение некой «волны» латерального сжатия, а расширение прогибов, как океанических, так и эпиконтинентальных, – на распространение соответствующей «волны» латерального растяжения.

Что касается структур локального и детального уровня, то в зависимости от типа напряженного состояния и реологических свойств горных массивов структурные рисунки малых структурных форм характеризуются большим разнообразием. В структурных парагенезах присутствуют дизъюнктивы отрыва, скалывания и сплющивания [Рассветаев, 1987б; и др.] в самых разных сочетаниях. Принципиально это объясняется тем, что если в условиях строго раздвигового поля напряжений в деформированном горном массиве развиваются сбросы, отрывы и сдвиги (трехосный эллипсоид), в условиях поля напряжений сжатия взбросы, отрывы и сдвиги (трехосный эллипсоид), то при некоторых отклонениях нормальных осей напряжений могут появиться более сложные по кинематике дизъюнктивы. Тем не менее, изучая распределение структурных форм различной кинематики, можно установить обстановки деформирования горных массивов, соответствующие сжатию, растяжению или сдвигу.

КОНЦЕПЦИИ ТЕКТНИЧЕСКИХ ВОЛН

В современной геологической литературе разрабатываются концепции волновой ротационной тектоники Земли и представления о тектонических или медленных деформационных волнах [Быков, 2005, 2009; Викулин, 2002, 2003, 2008, 2009а, б; Викулин и др., 2000; Викулин, Тверитинова, 2008; Структурные перестройки..., 1981; Тверитинова, 2003; Хаин, Халилов, 2009; и др.].

Концепция деформационных волн

Доказательством существования медленных деформационных волн со скоростями порядка км/год является периодически возникающее асейсмическое медленное скольжение по разлому и сейсмический тремор [Быков, 2005, 2009] и особенности распространения сейсмического процесса в виде уединенных волн миграции землетрясений и деформации [Викулин и др., 2000]. Медленные деформационные волны имеют определенное теоретическое обоснование и косвенно выявляются в геофизических полях, но прямые экспериментальные доказательства существования этих волн пока

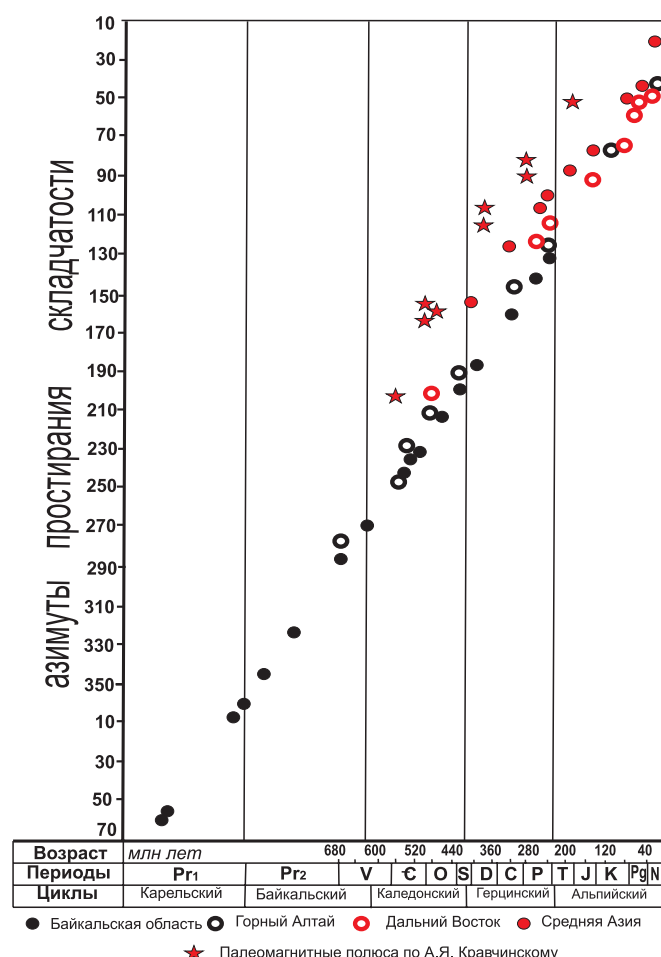


Рис. 6. Диаграмма простираций складчатости в тектонических областях России и Средней Азии [Структурные перестройки..., 1981].

Fig. 6. Folding in tectonic regions of Russia and Central Asia [Структурные перестройки..., 1981].

немногочисленны, потому что их трудно инструментально зарегистрировать в связи с малой скоростью и сверхнизкой частотой. Наиболее доступным способом их регистрации в настоящее время является изучение изменения параметров геофизических полей, отражающих прохождение деформационных волн. Точного определения деформационных (тектонических) волн и переносимой ими энергии в современной теории нет [Быков, 2005]. Наиболее общее понимание заключается в том, что в недрах Земли порождается имеющее волновую природу возмущение, транслируемое от точки к точке и воздействующее на геологическое пространство, геофизические поля и процессы. Возможным источником таких тектонических деформационных волн могут являться процессы, протекающие в глубинных зонах Земли (граница ядро – мантия), в скоплениях очагов сильнейших землетрясений (островных дугах и континентальных окраинах) или области значительных деформаций в очаге отдельно взятого сильного землетрясения [Викулин, 2003, 2008; Халилов, 2009].

Концепция волновой ротационной геодинамики и тектонические перестройки

Концепция волновой ротационной геодинамики успешно разрабатывается А.В. Викулиным [2003, 2004, 2008, 2009а, б, 2010]. Свойства нелинейной геофизической среды (блоковой, вращающейся) и геодинамического процесса (блоки движутся по волновым законам) рассматриваются им в свете блоковой модели среды Пейве – Седова – Садовского, в которой блоки и плиты имеют собственный момент, а планетарное упругое поле, связанное с их взаимодействием, является дальнедействующим. Решения волновых уравнений определяют характерную скорость геодинамического процесса – скорость распространения геодинамических ротационных упругих волн [Викулин, 2008, 2009а, б]. Главный вывод при этом – то, что сейсмический, вулканический и тектонический процессы являются отражением в разных полях планетарного геодинамического волнового процесса, представленного самосогласованным движением единой совокупности геофизических блоков и тектонических плит – «кусковатой» геосреды [Викулин, 2010].

В общем виде явление тектонических перестроек общепризнано, но представления об их динамике и кинематике дискуссионны. В кажущемся противоречии с закономерными перестройками находится наблюдаемое многообразие типов структур, в том числе мегаструктур центрального типа, развитие которых происходило унаследованно на протяжении ряда тектонических эпох. Большинство исследователей рассматривает явление тектонических перестроек с позиций ротационных гипотез. В основе их данные о симметрии в расположении мегаструктур и о системах планетарной трещиноватости, интерпретируемой как ротационно-обусловленной [Шульц, 1966, 1971; Долицкий, 1969, 1985; Воронов, 1968; Каттерфельд, Чарушин, 1970; и др.]. Концепции закономерной направленности в процессах тектонических перестроек разрабатывались многими исследователями [Бубнов, 1960; Долицкий, 1969, 1985; Михайлов, 1984; Попов, Рыжков, 1955; и др.]. Наиболее полной и отвечающей реальной тектонической ситуации, на взгляд автора данной статьи, является концепция геодинамических перестроек, разрабатываемая Ю.И. Тверитиновым, которым установлен факт закономерной смены в пространстве и во времени структурных планов [Структурные перестройки..., 1981; Тверитинов, 1980; 1988; Тверитинов, Тверитинова, 2004].

На основании сравнительного изучения структурных планов ряда регионов Северной Евразии с использованием специальной методики пространственно-статистического анализа складчатых структур [Тверитинов, 1981] с привлечением геофизических и геохимических данных были установлены их закономерные пространственно-временные соотношения [Структурные перестройки..., 1981; Тверитинова, 2003]. Сводные данные о простирациях разновозрастных структур в изученных регионах приведены на рис. 6. На всех этапах эти регионы обладали определенной общностью геодинамиче-

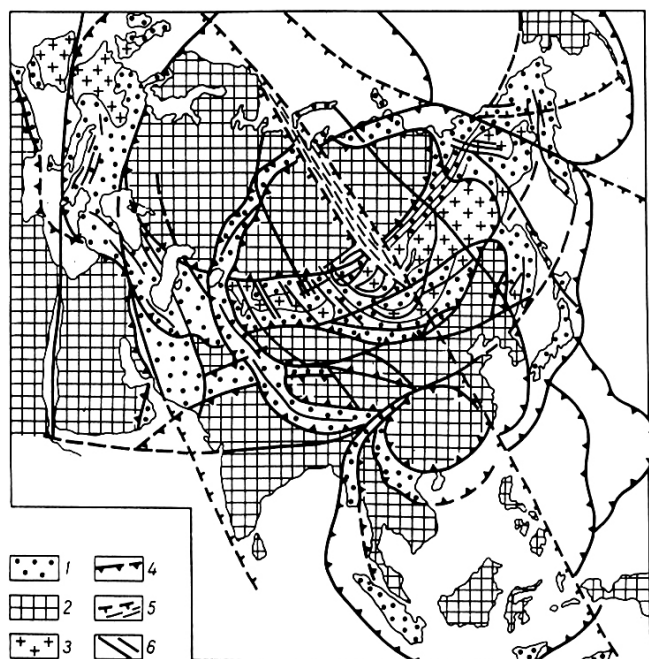


Рис. 7. Схема размещения супергеоконов Евразии (составлена на основе Тектонической карты Евразии масштаба 1:5000000, 1966, гл. редактор А.Л. Яншин). 1 – подвижные пояса, зоны тектономагматической активизации; 2 – относительно стабильные блоки – щиты, плиты, срединные массивы; 3 – гранитоиды; 4 – границы подвижных поясов – глубинные конические и кольцевые разломы; 5 – трансрегиональные глубинные разломы (Саяно-Филиппинский линеамент); 6 – прочие разломы.

Fig. 7. Scheme of locations of the Eurasian supergeocones, compiled on the basis of the Tectonic Map of Eurasia (Scale 1:5000000), Editor-in-chief A.L. Yanshin, 1966. 1 – mobile belts and zones of tectonic-magmatic activation; 2 – relatively stable blocks (shields, plates, median masses); 3 – granitoids; 4 – borders of mobile belts (deep cone- and ring-faults); 5 – trans-regional deep faults (Sayan-Philippine lineament); 6 – other faults.

ских условий тектогенеза и их формирование происходило под влиянием одинаково ориентированных трансрегиональных тектонических сил. Структурные планы смежных тектонических циклов или однотипных геодинамических систем различаются между собой примерно на 90° , на этот угол от цикла к циклу переориентируются векторы тангенциальных напряжений. Разноориентированные структуры составляют последовательные ряды, в которых каждая последующая система оказывается повернутой по отношению к предшествующей в направлении против часовой стрелки. Нередки примеры веерообразного расположения последовательно формировавшихся структур. Вследствие дисперсии ориентировок на диаграммах разноориентированные системы сливаются в дугообразные (круговые) пояса. Отсюда следует, что смена структурных планов предопределяется непрерывной переориентировкой вектора тангенциальных напряжений, а не его «мгновенным» переосакиванием из одного положения в другое. Переориентировка структур выглядит как процесс поворачивания (вращения) структурных планов и, соответственно, векторов

тангенциальных напряжений в направлении против часовой стрелки, совершающегося со средней угловой скоростью 0.34° в млн лет. Выявляется корреляционная связь между сменой структурных планов под действием ротационных процессов и тектонической цикличностью. Она выражается в ритмично повторяющемся увеличении скорости вращения структурных планов от начальных стадий тектонических циклов к конечным. Крупнейшие фазы складчатости повторяются при повороте векторов напряжений на $35\text{--}45^\circ$, при повороте на $70\text{--}90^\circ$ происходит коренная структурная перестройка, завершающая цикл. Вращение структурных планов коррелируется с аналогичной тенденцией вращения палеомеридианов [Кравчинский, 1977, 1979].

При восходящих движениях процесс тектонических перестроек фиксируется всеми импульсами тангенциального сжатия, при нисходящих движениях – одной инверсионной фазой складчатости. Напряженность складчатости усиливается снизу вверх, и приблизительно отражает изменение тангенциальных напряжений. Фактом разной степени тангенциального сжатия на разных гипсометрических уровнях объясняется «неподчинение» закону вращения структурных планов депрессионных структур и его слабая выраженность в структурах предшествующей консолидации, где последующие деформации совершаются унаследованно в условиях пассивного перемещения (квазипластического течения) горных масс [Тверитинов, Тверитинова, 2004].

Перестройки на уровне супраструктуры проявляются в зависимости от эндогенных режимов и глубинных неоднородностей земной коры, среди которых наиболее значимы мегаструктуры центрального типа – «геоконы» [Соловьев, 1978; Структурные перестройки..., 1981]. Внутренние части геоконов представляют раннедокембрийские сиалические ядра материковой коры. В радиальном направлении в геоконах чередуются структуры, развивавшиеся в режимах восходящих либо нисходящих движений с тенденцией омоложения структур к периферии геоконов. Структурно-вещественные особенности периферических подвижных поясов в системе геоконов – их дугообразная форма, характерные пространственные соотношения формаций островодужного – рифтогенного типов, наличие пологозалегающих каналов эруптивных и тектонических брекчий, наклоненных в сторону гипоцентров, – позволяют рассматривать указанные пояса в качестве гомологов зон Заварицкого–Беньофа. Геоконы характеризуются асимметричным строением, разделяясь на примерно равные относительно приподнятую и относительно опущенную половины, разделенные разломами; к пересечениям последних с геофизическими разделами, предположительно, приурочены глубинные энергетические центры.

Наряду с геоконами реконструируются глобальные структуры центрального типа – супергеоконы (рис. 7) [Структурные перестройки..., 1981; Ежов, 1986]. По многим особенностям геологического строения супергеоконы идентичны геоконам. Их внутренние части представляют собой относительно

но стабильные геоблоки (древние платформы, плиты), периферические – дуговые подвижные пояса с радиусом кривизны около 2400 км. В составе подвижных поясов – современные и ископаемые зоны Заварицкого-Беньюфа, зоны тектономагматической активизации. Общей осью симметрии супергеоконов является Саяно-Филиппинский линеамент – глобальная структура, расчленяющая супергеоконы на сегменты с разными режимами развития. Гипоцентры супергеоконов тяготеют к узлам пересечения линеамента с подвижными поясами иных простираний. Очевидна значительно большая глубина их нахождения по сравнению с геоконами. Система супергеоконов имеет общее северо-западное простирание, совпадающее со структурным планом герцинид. Достаточно очевиден средне-позднепалеозойский возраст ее заложения, что подтверждают многочисленные данные о времени геосинклинально-складчатого развития обрамляющих супергеоконы подвижных поясов.

Концепция волновой геодинамики Земли

Все перечисленные выше факты можно интерпретировать как отражение единой волновой геодинамики Земли с периодической сменой в пространстве и времени напряженного состояния земных недр – проявлений в них условий растяжения или сжатия. Геологический и геофизический материал, а также новые физические данные о процессах внутри и на поверхности Земли свидетельствуют о том, что существуют медленные, периодически изменяющиеся геологические и геофизические (геодинамические) процессы, скорости которых составляют порядка см/год. Естественно предположить, что такие медленные циклически изменяющиеся процессы в литосфере и формирующиеся в ней знакопеременные волнообразные структуры определяются одной причиной – волновой геодинамикой литосферы. В Земле происходит изменение геосреды в результате эволюционирующих в ней процессов. За наиболее медленные процессы, протекающие в литосфере и оставляющие в ней зримые свидетельства – волнообразно чередующиеся структуры разных порядков, ответственны, в первую очередь, медленные геодинамические волны со скоростями порядка см/год и менее.

Геодинамическая активность Земли обусловлена, с одной стороны, стремлением фигуры вращающейся Земли к равновесному состоянию под действием гравитации и с другой – выводимыми из этого состояния геодинамическими процессами: сейсмичностью, вулканизмом и др. Благодаря таким процессам элементы геосреды – блоки, тектонические плиты – приобретают «собственные» моменты и вследствие вращения Земли вокруг своей оси создают планетарное ротационное упругое поле [Викунин, 2009а, б]. Моментный геодинамический процесс на разных структурных уровнях протекает с разными частотами (периодами) и длинами. Изменяющееся напряженное состояние недр Земли вызывает в них деформации и различные физико-химические и тепловые превращения, в результате

чего формируются различного типа разномасштабные структуры с разным временем существования.

Закономерное распределение структур сжатия и растяжения как результат волновой геодинамики

Закономерное знакопеременное распределение разноранговых структур на поверхности Земли и в литосфере, т.е. «волноподобное» чередование в ней положительных и отрицательных структурных форм, с позиций волновой геодинамики может рассматриваться как результат волновых деформационных процессов. По мнению автора, это может относиться практически ко всему разнообразию положительных и отрицательных тектонических структур, возможно вплоть до одиночных складок. При таком подходе практически все структуры Земли (древние платформы, подвижные пояса и формирующиеся на их месте горноскладчатые области, щиты и плиты, антеклизы и синеклизы, антиклинории и синклинории, антиклинали и синклинали и т.д.), как особые, аномальные с разных точек зрения геологические объемы, являются примерами деформационных литосферных волн разного порядка (таблица).

По сути, все перечисленные структуры отражают изменение напряженно-деформированного состояния литосферы во времени и пространстве на разных структурных уровнях. Волновую динамику здесь нужно видеть не только и не столько в морфологии структур (положительные структуры, например, чаще являются структурами сжатия, но это не обязательно), а именно в параметрах напряженно-деформированного состояния тектоносферы, выраженных в сменяющих друг друга во времени и пространстве эллипсоидах напряжений разного типа (сбросовые, взбросовые, сдвиговые поля напряжений). От структуры к структуре можно увидеть эти изменения. И если относительно крупных структур типа континенты–океаны можно говорить, что континент – это структура сжатия, а океан – растяжения, то для отнесения к структурам сжатия или растяжения малых структурных форм важно выявить распределение в них условий напряженно-деформированного состояния. Например, в зависимости от геодинамических условий складкообразования, в разных частях складчатой структуры можно выявить изменение полей напряжений от взбросовых до сбросовых. Условия сжатия могут проявляться на крыльях складок, а условия растяжения – в замках, или наоборот. Это зависит от того, на каком структурном уровне мы работаем и с какого типа складками имеем дело.

Определенные закономерности в расположении минимумов и максимумов высот геоида (см. рис. 1) и поверхности ядра Земли [Тверитина, 2004] впрямую отражают их волновую [Магницкий, 2006], моментную [Викунин, 2009а, с. 160–161] природу. Сравнение поверхности ядра и формы геоида показывает, что они определенным образом взаимосвязаны и отражают различную мощность надъядерной части Земли (мантии и земной коры). Выяв-

Типы положительных и отрицательных волнообразных структур в литосфере

Types of positive and negative wave structures of the lithosphere

Уровень проявления	Положительные структуры	Отрицательные структуры	Переходные структуры
Общепланетарный	Континенты → континентальный рифтинг (разрыв волны)	Океаны	1. Слабоасимметричные – пассивные континентальные окраины 2. Резко асимметричные – активные континентальные окраины Склоны подводных хребтов Склоны континентов
Глобальный	Крупные подводные поднятия в океанах → рифтинг (разрыв волны)	Океанические котловины	Зоны сочленения древних платформ и подвижных поясов (перикратонные прогибы) Зоны сочленения древних платформ и складчатых поясов (передовые прогибы)
	Древние платформы (щиты) → авлакогены (разрыв волны)	Подвижные пояса	
Региональный	Складчатые пояса	Древние платформы (плиты)	Зоны сочленения частных прогибов и срединных массивов Зоны сочленения складчатых сооружений и впадин
	Срединные и краевые массивы	Частные прогибы	
Локальный	Поднятия	Межгорные и предгорные впадины	Зоны сочленения поднятий и впадин Моноклизмы
	Антеклизы	Впадины	
Детальный	Антиклинории	Синеклизы	Моноклинории Крылья складок
	Антиклинали	Синклинали	

ляющиеся при этом волнообразные структуры (рис. 8) можно объяснять механизмом деформирования Земли в условиях меридионального сжатия

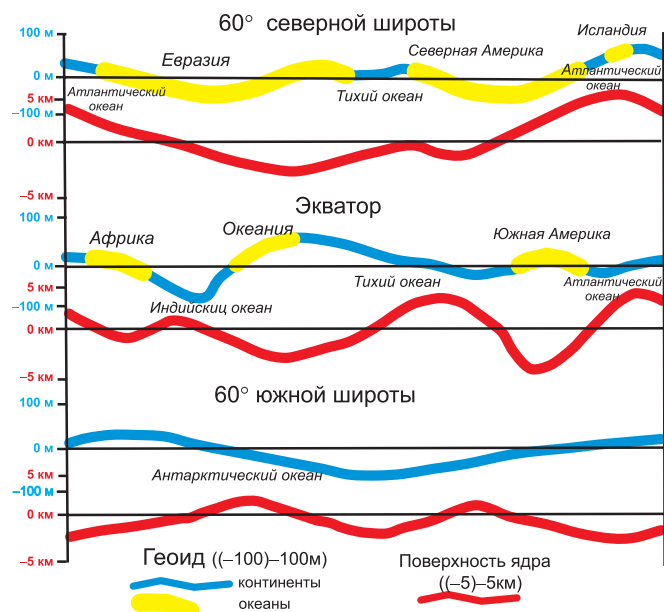


Рис. 8. Схематические широтные разрезы Земли по экватору (средний) и параллелям 60° с.ш. (верхний) и 60° ю.ш. (нижний), показывающие соотношение поверхности ядра, формы геоида и расположения континентов и океанов.

Fig. 8. Schematic latitudinal sections of the Earth at the equator (middle) and parallels at 60° N (top) and 60° S (bottom), showing the ratio of the core's surface and the geoid's shape and positions of continents and oceans.

как двухслойного тела с более жестким основанием (ядром) и относительно пластичным верхним слоем (мантией) и свободной верхней поверхностью [Тверитинова, Гуцин, 2004].

В рамках такого рода волновой концепции естественно предположить, что Индо-Атлантический и Тихоокеанский сегменты соответствуют волновым структурам Земли первого порядка. На основании разности в скоростях спрединга, Тихоокеанский сегмент можно рассматривать как структуру относительного растяжения, а Индо-Атлантический – структуру относительного сжатия, на фоне которой, наряду с «положительными» структурами – континентами, формируются и «отрицательные» структуры – океаны. Континенты и «малые» океаны (Индийский, Атлантический, Северный Ледовитый) Индо-Атлантического сегмента можно, соответственно, рассматривать как волновые структуры Земли второго порядка. Между Индо-Атлантическим сегментом сжатия и Тихоокеанским сегментом растяжения расположена переходная зона Тихоокеанского подвижного пояса с максимальными градиентными параметрами.

Переходные вергентные зоны

Формирование вергентных структур в свете описанной выше волновой концепции может быть объяснено тем, что верхняя часть литосферы, оказавшаяся в результате действия геодинамических волн в областях выше уровня геоида, испытывает дополнительную деформацию в виде формирования определенно направленных (вергентных) тектонических потоков. Вследствие нелинейных свойств геологической среды действие таких различных по длине и частоте волн на литосферу должно приводить к изменению характеристик деформационных

структур и, как результат, к изменению соответствующих им форм земной поверхности. Распространение таких волн приводит к изменению уровней поверхностей Земли и возникновению гравитационной неустойчивости.

Результатом простого сочетания геодинамических волн различных порядков может быть осложнение крупных структур мелкими (рис. 9, 10). Зонами максимальной асимметрии таких «волновых» структур, возникающих в результате их взаимодействия, могут являться переходные зоны между положительными (восходящими) и отрицательными (нисходящими) волнами.

Цикличность в развитии Земли

Согласно концепции волновой геодинамики цикличность различных геологических процессов в пределах тех или иных геологических структур соответствует продолжительности нахождения этих структур в определенном геодинамическом состоянии. Волновая геодинамика литосферы проявляется в периодическом изменении ее напряженного состояния от сжатия к растяжению и/или от растяжения к сжатию. В периоды (продолжительные эпохи или относительно короткие фазы) растяжения формируются структуры растяжения (закладываются подвижные пояса, континентальные и океанические рифтовые зоны, формируются эпиконтинентальные бассейны). В периоды сжатия (продолжительные эпохи или относительно короткие фазы) формируются структуры сжатия (закрываются океанические бассейны, формируются складчатые сооружения, древние платформы испытывают воздымания).

Продолжительность части деформационного цикла, соответствующего определенному геодинамическому состоянию, определяется возрастом геологических структур. Возраст земной коры континентов от древнейшего архейско-раннепротерозойского в фундаменте древних платформ до позднепротерозойско-фанерозойского свидетельствует о древности континентов и их структур. Наиболее крупные структуры континентов (подвижные пояса, древние платформы) обычно длительно развиваются на одном и том же месте, но с периодическим изменением режимов сжатия и растяжения. Более мелкие структуры континентов характеризуются вариациями сжатия и растяжения, отражая направленную миграцию в пространстве геологических процессов.

Возраст коры современных океанических бассейнов (отражающих распространение в литосфере волн растяжения), становление которых началось только в юре и продолжается до настоящего времени, свидетельствует о «молодости» океанов. Совместное существование на поверхности Земли океанов и континентов говорит об их «одновозрастности», т.е. современные континенты как структуры сжатия, которым противостоят современные океаны как структуры растяжения, существуют также с юры.

Е.Е. Милановский [1995] показал, что тектонические циклы разных порядков содержат экспансион-

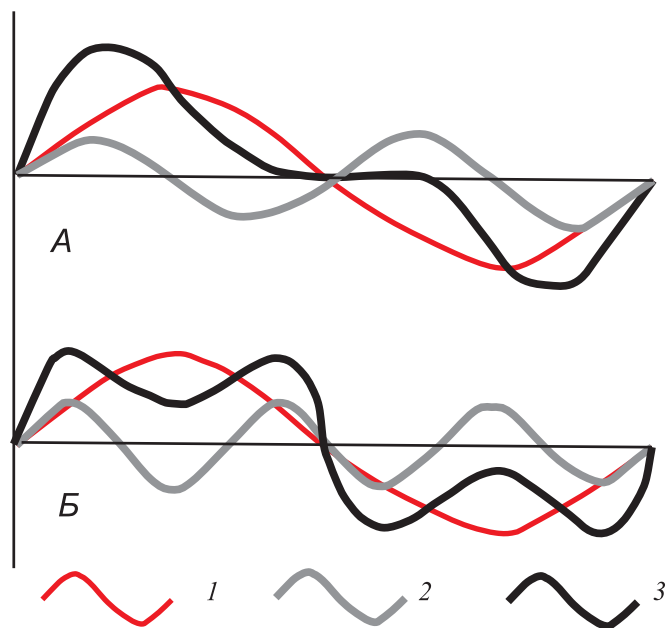


Рис. 9. Условия проявления или отсутствия вергентности при интерференции волноподобных структур разного порядка. А – интерференция волн с отношением периодов волны 1:2; Б – интерференция волн с отношением периода волны 1:3. 1 – волна первого порядка; 2 – волна второго порядка; 3 – интерференционная волна.

Fig. 9. Conditions for manifestation or lack of vergence with interferences of wavy structures varying in ranks. А – interference of waves with the ratio of wave periods of 1:2; Б – interference of waves with the ratio of wave periods of 1:3. 1 – wave of the first order, 2 – wave of the second order, 3 – interference wave.

ную и контракционные фазы, что мы связываем с закономерным изменением напряженного состояния литосферы [Тверитинова, 2004] (рис. 11).

Миграция геологических и тектонических процессов как волновой процесс

Скорости растяжения в океанах отражены в скоростях спрединга. На континентах процессы растяжения выражены в центральных частях обычно в виде рифтинга, на окраинах – в трансгрессии эпиконтинентальных бассейнов. Скорости процессов сжатия на континентах выражены, с одной стороны, в миграции складчатых зон (миграция складчатости), в скорости коллизии или субдукции, с другой – в скоростях регрессии эпиконтинентальных бассейнов.

Скорости распространения по латерали различных геологических процессов в океанах на порядок больше скоростей распространения геологических процессов на континентах и составляют порядка первых сантиметров и первых миллиметров в год соответственно [Викулин, Тверитинова, 2005, 2007, 2008; Кукал, 1987; Тверитинова, 2004; Трифонов и др., 2007]. Очевидно, отмеченные различия в скоростях связаны в первую очередь с различиями в строении океанской и континентальной литосферы.

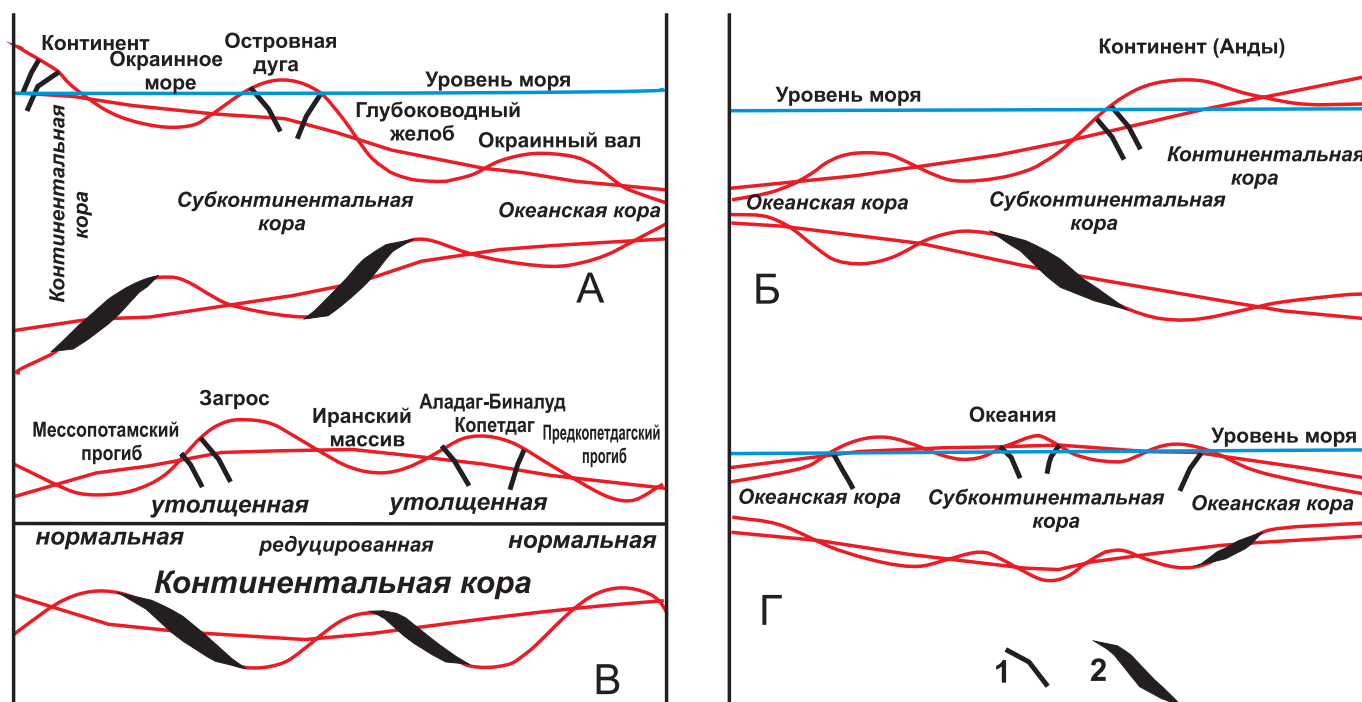


Рис. 10. Принципиальная схема положения градиентных (вергентных) тектонических зон в общей структуре литосферы. А – Западно-Тихоокеанская окраина; Б – Восточно-Тихоокеанская окраина; В – Средиземноморский подвижный пояс; Г – Океания. 1 – вергентные зоны в верхней части континентальной коры; 2 – зоны сочленения возбужденной и невозбужденной коры (зоны субдукции).

Fig. 10. General layout of gradient (vergence) tectonic zones in the general structure of the lithosphere. А – West Pacific margin; Б – East Pacific margin; В – Mediterranean mobile belt; Г – Oceania. 1 – vergence zone in the upper part of the continental crust; 2 – junction zones of activated and non-activated crust (subduction zone).

Если мощность континентальной литосферы в среднем составляет 150–200 и даже достигает 350 км, то мощность океанской литосферы – от первых километров в срединно-океанических хребтах до 150 км вблизи окраин континентов [Хаин, Ломизе, 1995]. Вероятно, немаловажным является факт присутствия в континентальной литосфере гранитно-метаморфического слоя. По-видимому, континентальная литосфера представляет собой более вязкую, по сравнению с океанской, среду для распространения литосферных волн. Если считать, что размер латеральных неоднородностей океанской литосферы примерно на один порядок больше ее мощности и составляет соответственно от 30 до 1500 км, то проявление в океанах скоростей в несколько см/год характерно для интервалов времени 30–150 млн лет. Это как раз возраст океанской литосферы.

Для континентальной литосферы сопоставление размеров латеральных неоднородностей литосферы с ее мощностью из-за ее значительной гетерогенности неправомерно. Исходя из эмпирических данных размеры латеральных неоднородностей на континентах можно оценить в 100–1000 км. При скоростях латеральной миграции геологических процессов на континентах в несколько мм/год мы выходим на интервалы времени порядка 100 млн лет. Интервал 100 млн лет соответствует частоте чередования эпох складчатости в течение

позднерифейско-фанерозойской истории (байкальская → салаирская → каледонская → герцинская → раннекиммерийская → позднекиммерийская → альпийская).

Скорость геодинамических процессов 0.45 ± 0.10 см/год [Хаин, Гончаров, 2006] с позиций волновой геодинамики отражает не скорость конвекции, а скорость распространения в геосферах деформационной волны сжатия–растяжения.

Закономерности смены полей напряжений в пространстве и времени как проявление волнового процесса

В рамках волновой геодинамической модели изменение кинематических характеристик геологических и тектонических структур, отражающих разные напряженно-деформированные состояния определенных объемов геологической среды, соответствует изменениям в пространстве и во времени полей тектонических напряжений. Смена во времени и пространстве типов структур отражает смену во времени и пространстве геодинамических обстановок. Природа крупных пульсаций Земли – чередование объемных геодинамических (деформационных) волн сжатия и растяжения, распространяющихся в Земле (вдоль радиуса и по латерали) с периодами от миллиардов до миллионов лет и формирующих океанические бассейны и складчатые

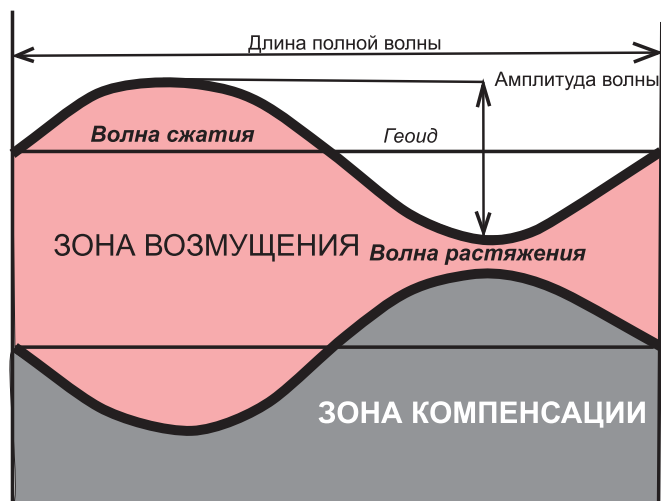


Рис. 11. Объемная деформационная волна литосферы.

Fig. 11. Volume strain wave of the lithosphere.

сооружения. На уровне региональных структур мы видим чередование зон сжатия и растяжения и выявляем различные напряженно-деформированные состояния, характерные для более узких интервалов времени. Распространение геодинамических (деформационных) волн выражается в закономерном изменении типов полей напряжений и деформаций от взбросовых до сбросовых через сдвиговые в едином деформационном цикле (см. рис. 5). [Гущенко, 1999; Тверитинова, 2003].

Параметры деформационной волны позволяют примерно оценить продолжительность общепланетарного деформационного цикла, которая составляет в нашем случае около 900 млн лет, что коррелирует с продолжительностью общепланетарных циклов, установленной по геологическим данным [Хаин, 2001; Милановский, 1995].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В строении литосферы Земли волнообразно чередуются положительные и отрицательные разновозрастные разнорядковые структуры, между которыми расположены асимметричные переходные зоны, выраженные сочетаниями вергентных разрывно-складчатых деформаций. В вертикальном разрезе литосферы чередуются слои с разными реологическими свойствами и разным напряженным состоянием. В истории Земли циклически чередуются эпохи сжатия и растяжения, в том числе общепланетарные, выражающиеся в пульсационном изменении ее объема. На поверхности Земли и в ее недрах имеет место «миграция» геологических процессов. Указанные закономерности могут быть объяснены в рамках волновой концепции строения и развития литосферы Земли. Волнообразный характер тектонических структур литосферы, циклический характер и миграция геологических процессов во времени и пространстве являются отраже-

нием многопорядковой волновой геодинамики литосферы Земли и изменения ее напряженного состояния. Действие структурообразующих тектонических сил определяется радиальными и тангенциальными напряжениями Земли. Тектонические напряжения, в первую очередь тангенциальные, обусловлены ротационным режимом планеты и вызывают перестройку фигуры Земли, перераспределение вещества в ее глубинных сферах, западный дрейф горных масс в ее верхних горизонтах, смену планов деформаций. Радиальные напряжения в значительной степени обусловлены силой тяжести и гравитационной дифференциацией вещества. Ряд явлений (волны миграции сейсмической и вулканической активности, движение тектонических плит и вихревые геологические структуры), протекающих со скоростями 10^{-2} см/год – 10^7 км/год (1 км/с), можно объединить в единый планетарный волновой геодинамический процесс.

Наиболее вероятным источником геодинамических волн является суммарное действие двух «разнонаправленных» факторов – стремления фигуры вращающейся Земли к равновесию под действием гравитации и выводящих из этого равновесия сейсмических, вулканических и других тектонических процессов. Такой механизм в условиях блоковой вращающейся Земли приводит к появлению планетарного упругого поля [Викулин, 2010; Викулин, Тверитинова, 2007, 2008], которое и определяет движение блоков, тектонических плит и других крупных геологических образований.

ЛИТЕРАТУРА

- Авсюк Ю.Н. Внеземные факторы, воздействующие на тектогенез // Фундаментальные проблемы общей тектоники / Ред. Ю.М. Пуцаровский. – М.: Научный мир, 2001. – С. 425–443.
- Баренбаум А.А., Ясаманов Н.А. Геохронологическая шкала как объект приложения астрономической модели // Вестник Московского университета. Геология. – 1999. – № 1. – С. 12–18.
- Богацкий В.В. Волновой механизм формирования рудолокализирующих структур магнетитовых месторождений Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. – 1977. – № 3. – С. 3–18.
- Богацкий В.В. Механизм формирования структур рудных полей. – М.: Недра, 1986. – 89 с.
- Божко Н.А. Суперконтинентальная цикличность в тектоническом развитии литосферы // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы: Материалы XXXVI Тектонического совещания. – М.: ГЕОС, 2003. Т. 1. – С. 56–60.
- Бубнов С.Н. Основные проблемы геологии. – М.: МГУ, 1960. – 233 с.
- Быков В.Г. Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46, № 11. – С. 1176–1190.
- Быков В.Г. Концепция деформационных волн Земли: сорок лет спустя // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия: Материалы Всероссийского совещания. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. Т. 2. – С. 10–12.
- Васильев Н.Ю., Мострюков А.О. Мезо-кайнозойский цикл деформации земной коры Байкальского рифта (по тектонофизическим реконструкциям) // Строение и развитие платформ Евразии: Научные чтения памяти проф. М.В. Муратова: Материалы совещания. – М.: МГГРУ, 2002. – С. 17–19.
- Викулин А.В. Уединенные тектонические волны поворотной деформации как результат вращения планеты // Геофизический журнал. – 2002. – Т. 24, № 4. – С. 113–117.
- Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГПУ, 2003. – 151 с.

- Викулин А.В. Вращение, упругость, геодинамика // Вихри в геологических процессах. — Петропавловск-Камчатский, 2004. — С. 98–111.
- Викулин А.В. Энергия и момент силы упругого ротационного поля геофизической среды // Геология и геофизика. — 2008. — Т. 49, № 6. — С. 559–570.
- Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика: Учебное пособие. — Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009а. — 463 с.
- Викулин А.В. Волновая ротационная геодинамика: сейсмический, вулканический и тектонический процессы // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия: Материалы Всероссийского совещания. — Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009б. Т. 2. — С. 12–14.
- Викулин А.В. Новый тип упругих ротационных волн в геосреде и вихревая геодинамика // Геодинамика и тектонофизика. — 2010. — Т. 1, № 2. — С. 119–141.
- Викулин А.В., Быков В.Г., Лунева М.Н. Нелинейные волны деформации в ротационной модели сейсмического процесса // Вычислительные технологии. — 2000. — Т. 5, № 1. — С. 31–39.
- Викулин А.В., Тверитинова Т.Ю. О скоростях движения литосферных плит // Вихри в геологических процессах. — Петропавловск-Камчатский, 2004. — С. 83–92.
- Викулин А.В., Тверитинова Т.Ю. Геологические и геофизические признаки вихревых структур в геологической среде // Вестник КРАУНЦ. Серия «Науки о Земле». — 2005. — № 5. — С. 59–77.
- Викулин А.В., Тверитинова Т.Ю. Энергия тектонического процесса и вихревые геологические структуры // Доклады АН. — 2007. — Т. 413, № 3. — С. 372–374.
- Викулин А.В., Тверитинова Т.Ю. Моментная волновая природа геологической среды // Вестник Московского университета. Геология. — 2008. — № 6. — С. 16–19.
- Вихри в геологических процессах / Ред. А.В. Викулин. — Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. — 297 с.
- Воронов П.С. Очерки о закономерностях морфометрии глобального рельефа Земли. — Л.: Наука, 1968. — 123 с.
- Воронов П.С. Роль ротационных сил Земли в истории становления структуры ее литосферы // Эволюция геологических процессов в истории Земли. — М.: Наука, 1993. — С. 104–114.
- Гзовский М.В. Основы тектонофизики. — М., 1975. — 535 с.
- Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений и деформаций в литосфере. — М.: Наука, 1979. — С. 7–25.
- Гущенко О.И. Кинематический принцип относительной хронологии палеонапряжений (основной алгоритм тектонического стресс-мониторинга литосферы) // Теоретические и региональные проблемы геодинамики (Тр. ГИН РАН; вып. 515). — М.: Наука, 1999. — С. 108–125.
- Гущенко О.И., Колп М.Л., Корчамагин В.А., Леонов Ю.Г. и др. Продольные волны дивергентных деформаций юго-восточной части Русской плиты и ее горного обрамления // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы: Материалы XXXVI Тектонического совещания. — М.: ГЕОС, 2003. Т. 1. — С. 173–176.
- Долицкий А.В. Глобальные структурные планы, их перестройка и движение географических полюсов // Доклады АН СССР. — 1969. — Т. 184, № 1. — С. 171–174.
- Долицкий А.В. Образование и перестройка тектонических структур. — М.: Недра, 1985. — 219 с.
- Долицкий А.В. Вращение мантии по ядру: движение географических и геомагнитных полюсов, периодичность геологических и тектонических процессов // Вестник ОГГГН РАН. — 2000. — № 4 (14). — http://www.scgis.ru/russian/cp1251/_h_dgggms/4-2000/dolitsky.htm
- Ежов Б.В. Морфоструктуры центрального типа Азии. — М.: Наука, 1986. — 133 с.
- Каттерфельд Г.Н. Лик Земли и его происхождение. — М.: Географиз, 1962. — 152 с.
- Каттерфельд Г.Н., Чарушин Г.В. Глобальная трещиноватость Земли и других планет // Геотектоника. — 1970. — № 6. — С. 3–11.
- Коковкин А.А. Волновая модель структурирования континентальной коры в кайнозой для области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского подвижного поясов // Вестник ДВО РАН. — 2006. — № 3. — С. 47–60.
- Кочемасов Г.Г. Обращение и вращение — два фундаментальных волновых свойства небесных тел // Ротационные процессы в геологии и физике. — М.: КомКнига, 2007. — С. 263–267.
- Краевичинский А.Я. Палеомагнитные и палеогеографические перестройки на докембрийских платформах. — М.: Недра, 1977. — 95 с.
- Краевичинский А.Я. Палеомагнетизм и палеогеографическая эволюция континентов. — Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1979. — 264 с.
- Кропоткин П.Н., Ефремов В.Н. Геоид и деформации в тектоносфере // Геодинамика и развития тектоносферы. — М.: Наука, 1991. — С. 85–92.
- Кукал З. Скорости геологических процессов. — М.: Мир, 1987. — 246 с.
- Лукьянов А.В. Структурные проявления горизонтальных движений земной коры (Тр. ГИН АН СССР, вып. 136). — М.: Наука, 1965. — 210 с.
- Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли (Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН). — М.: Наука, 2006. — 390 с.
- Милановский Е.Е. Пульсации Земли // Геотектоника. — 1995. — № 5. — С. 3–24.
- Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии). — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. — 446 с.
- Михайлов А.А. Земля и ее вращение. — М.: Наука, 1984. — 80 с.
- Моссаковский А.А., Пушаровский Ю.М., Руженцев С.В. Крупнейшая структурная асимметрия Земли // Геотектоника. — 1998. — № 5. — С. 3–18.
- Моссаковский А.А., Руженцев С.В., Меланхолина Е.Н. Главнейшая структурная асимметрия Земли // Фундаментальные проблемы общей тектоники / Ред. Ю.М. Пушаровский. — М.: Научный мир, 2001. — С. 285–314.
- Мушкетов Д.И. Региональная геотектоника. — Л.-М.: ОНТИ, 1935. — 528 с.
- Одесский И.А. Волновые движения земной коры. — Л.: Недра, 1972. — 208 с.
- Пейве А.В. Разломы и тектонические движения // Геотектоника. — 1967. — № 5. — С. 8–25.
- Попов В.И., Рыжков О.А. О вращении простираций разновозрастных структур против часовой стрелки // Записки Узбекского отделения минералогического общества. — 1955. — № 7.
- Пушаровский Ю.М. Главная тектоническая асимметрия Земли: Тихоокеанский и Индо-Атлантический сегменты и взаимоотношения между ними // Тектонические и геодинамические феномены. — М.: Наука, 1997. — С. 8–24.
- Пушаровский Ю.М. Главная структурная асимметрия Земли // Соросовский образовательный журнал. — 2000. — № 10. — С. 59–65.
- Пушаровский Ю.М., Меланхолина Е.Н. Тектоническое развитие Земли. Тихий океан и его обрамление. — М.: Наука, 1992. — 263 с.
- Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига / С.И. Шерман, К.Ж. Семинский, С.А. Борняков и др. — Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. — 262 с.
- Разломообразование в литосфере. Зоны растяжения / С.И. Шерман, К.Ж. Семинский, С.А. Борняков и др. — Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1992. — 228 с.
- Разломообразование в литосфере. Зоны сжатия / С.И. Шерман, К.Ж. Семинский, С.А. Борняков и др. — Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1994. — 263 с.
- Разломы и горизонтальные движения земной коры (Тр. ГИН АН СССР, вып. 80). — М.: Наука, 1963. — 312 с.
- Расцветаев Л.М. Закономерный структурный рисунок земной поверхности и его динамическая интерпретация // Проблемы глобальной корреляции геологических явлений. — М., 1980. — С. 145–216.
- Расцветаев Л.М. Тектодинамические условия формирования альпийской структуры Большого Кавказа // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. — М.: Наука, 1987а. — С. 69–96.
- Расцветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дивергентных нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. Ч. II. — М.: ГИН РАН, 1987б. — С. 173–235.
- Ротационные процессы в геологии и физике / Ред. Е.Е. Милановский. — М.: КомКнига, 2007. — 528 с.
- Соловьев В.В. Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-морфологического анализа. — Л.: ВСЕГЕИ, 1978. — 112 с.
- Стовас М.В. О напряженном состоянии корового слоя в зоне между 30–40° // Проблемы планетарной геологии. — М.: Госгеолтехиздат, 1968. — С. 275–284.
- Структурные перестройки и размещение металлогенических

- зон в складчатых областях / Ред. П.М. Хренов. – М.: Недра, 1981. – 222 с.
- Тверитинов Ю.И. Закономерности смены структурных планов в складчатых областях Горного Алтая, Памира и Тянь-Шаня // Бюллетень МОИП. Отд. геол. – 1980. – Т. 55, вып. 1. – С. 3–17.
- Тверитинов Ю.И. Методические рекомендации по пространственно-статистическому анализу элементов залегания складчатости при составлении обзорных и среднемасштабных тектонических схем. – Иркутск: ВСНИИГГиМС, 1981. – 32 с.
- Тверитинов Ю.И. Полигенная модель тектонического развития Восточной Сибири // Тезисы докладов конф. «100 лет геол. службы Вост. Сибири». – Иркутск, 1988. – С. 55–57.
- Тверитинов Ю.И., Тверитинова Т.Ю. Геодинамика тектонических перестроек // Вихри в геологических процессах. – Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2004. – 297 с. <http://www.kscnet.ru/ivs/publication/whirlwinds/tvertinov.htm>.
- Тверитинова Т.Ю. Эволюция общепланетарных полей напряжений как доказательство пульсационной динамики Земли // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы: Труды Всероссийского совещания «Напряженное состояние литосферы, ее деформация и сейсмичность», Иркутск, ИЗК СО РАН, 2003 г. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. – С. 189–193.
- Тверитинова Т.Ю. Волновая тектоника и вергентность структур сжатия Земли // Вихри в геологических процессах. – Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2004. – 297 с. <http://www.kscnet.ru/ivs/publication/whirlwinds/tvertinova.htm>.
- Тверитинова Т.Ю., Гуцин А.И. Форма геоида, поверхности ядра и планетарные структуры Земли // Ломоносовские чтения: Тезисы научной конференции. Секция Геология. 2004 г. <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1171029>.
- Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизийного пояса. – М.: ГЕОС, 2002. – 225 с.
- Тяпкин К.Ф. Новая ротационная гипотеза формирования тектонических структур в земной коре // Геологический журнал. – 1974. – Т. 34, вып. 4. – С. 3–16.
- Тяпкин К.Ф. Новая ротационная модель магнитного поля Земли // Геофизический журнал. – 1996. – № 1. – С. 30–37.
- Хаин В.Е. О книге «Очерки о закономерностях морфометрии глобального рельефа Земли» // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1969. – № 11. – С. 122–125.
- Хаин В.Е. Общая геотектоника. – М.: Недра, 1978. – 512 с.
- Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии: Геология на пороге XXI века. – М.: Наука, 1994. – 190 с.
- Хаин В.Е. Крупномасштабная цикличность, ее возможные причины // Фундаментальные проблемы общей тектоники / Ред. Ю.М. Пушаровский. – М.: Научный мир, 2001. – С. 403–424.
- Хаин В.Е., Гончаров М.А. Геодинамические циклы и геодинамические системы разного ранга: их соотношение и эволюция в истории Земли // Геотектоника. – 2006. – № 5. – С. 3–24.
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 480 с.
- Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа. – М.: Научный мир, 2009. – 520 с.
- Шолло В.Н. Симметрии и антисимметрии в структуре Земли // Фундаментальные проблемы общей тектоники / Ред. Ю.М. Пушаровский. – М.: Научный мир, 2001. – С. 461–475.
- Штилле Г. Основные вопросы сравнительной тектоники. – М.: Мир, 1964. – С. 90–98.
- Шульц С.С. О разных масштабах планетарной трещиноватости // Геотектоника. – 1966. – № 2. – С. 36–42.
- Шульц С.С. Планетарные трещины и тектонические дислокации // Геотектоника. – 1971. – № 4. – С. 6–13.
- Эрлих Э.Н., Мелекесцев И.В. Проблема ритмичности и синхронности вулканизма в кайнозое // Геодинамика, магмообразование и вулканизм. – Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВНЦ АН СССР, 1974. – С. 104–123.
- Юдахин Ф.Н., Шукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 300 с.
- Tveritinov Yu.I., Tveritinova T.Yu. Experience of seismicity forecasting based on the image recognition software «SKID-FORECAST» // Активный геофизический мониторинг литосферы Земли: Материалы II международного симпозиума. – Новосибирск, 2005. – С. 438–441.
- Tveritinova T.Yu. Regularities of structural pictures of the Earth from the point of view of the wave tectonics concept // Regularities of the structure and evolution of geospheres: Materials of VII Interdisciplinary symposium. – Vladivostok: FEB RAS, 2005. – P. 53–57.



Тверитинова Татьяна Юрьевна, канд. геол.-мин. наук, доцент
Московский госуниверситет имени М.В. Ломоносова,
Геологический факультет, кафедра геологии России
119992, Москва, Воробьевы горы, Россия
Тел. 8(495)9394928; e-mail: tvertat@geol.msu.ru, tvertet@yandex.ru

Tveritinova Tatiana Yu., Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor
Lomonosov Moscow State University,
Geological Faculty, Geological Chair
119992, Moscow, Vorob'evy Gory, Russia
Tel. 8(495)9394928; e-mail: tvertat@geol.msu.ru, tvertet@yandex.ru

