

УДК 551.24

ДИЛАТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМЛИ И ГЕОТЕКТОНИКА

В.А.Огаджанов

*Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики,
г. Саратов*

Предложена дилатационная модель Земли, согласно которой в интервале 720-2900 км выделяется зона дилатации, вызванная расширением мантии под воздействием нагнетания в нее флюидов, отжимающихся из внешнего ядра. В результате изменяется напряженное состояние мантии, которое влияет на изменение ее физических свойств. Показано, что при определенных условиях в разуплотненном под воздействием дилатации объеме может наблюдаться эффект увеличения скоростей сейсмических волн. Это позволило с новых позиций подойти к интерпретации глубинного скоростного разреза Земли, а также ее сейсмотомографических моделей при выделении глобальных зон дилатации в мантии. На основе комплексного анализа разрезов литосферы, полученных по геофизическим данным, в интервале 0-100 км выделены глобальные зоны дилатации и исследовано их влияние на формирование основных геоструктур. Показано, что основные геоструктуры Земли унаследованы от глубинных неоднородностей, вблизи границы ядро-мантия. Объясняется механизм формирования геоструктур на основе дилатационной концепции и определено значение этой концепции при решении фундаментальных и прикладных задач

Введение

Модель строения Земли, разработанная К.Е.Булленом [1], легла в основу классических представлений о ее физических свойствах и вещественном составе. Позже появились альтернативные модели, в большинстве своем уточняющие количество геосферных оболочек, природа которых также определялась изменением вещественного состава. Рассматривая все эти модели, следует констатировать факт, что выводы о вещественном составе глубоких геосфер делаются на основании косвенных данных, в то время, как сверхглубоким бурением, в частности, Кольской скважиной, по сути не подтверждаются исходные посыпки о вещественной гетерогенности глубоких слоев. Это приводит исследователей к необходимости поисков иных механизмов формирования неоднородностей и структуры Земли. Фундаментальные и углубленные исследования, отраженные в сводных работах отечественных и зарубежных авторов [2-6], с большей степенью обоснованности аргументируют факты наличия неоднородностей физической, механической природы, которые способны формировать зонально-концентрические геосферы. С этим хорошо согласуются выводы о закономерности разуплотнения и уплотнения пород при их дилатации, которая проявляется на всех уровнях, начиная от приповерхностных слоев осадков молодых депрессий, и кончая кристаллическим фундаментом древних платформ [3,5]. Настоящая точка зрения является, по сути, развитием идей П.Н.Кропоткина, но в трансформа-

ции на более общие закономерности в свете новых теоретических, экспериментальных и фактических данных. В статье сделана попытка объяснения особенностей внутреннего строения и геотектонических проявлений Земли с позиций дилатационной концепции.

Основные положения концепции дилатационной модели Земли

В последние годы в геологических науках наметилась тенденция к переосмыслению основополагающих концепций развития и внутреннего строения Земли. Во многом это предопределили выявившиеся противоречия между фактическими разрезами глубоких и сверхглубоких скважин и построенными для обоснования их бурения геолого-геофизическими моделями недр. Подобные противоречия, как показала практика, иногда объясняются недоучетом роли некоторых процессов, формирующих строение и физико-химическую характеристику недр. Один из таких процессов - дилатация горных пород.

Под дилатацией понимается увеличение объема вещества при соответствующем понижении плотности. Согласно классическим представлениям, плотность горных пород в Земле в основном зависит от давления, температуры, фазового состояния, химического состава [1,7,8]. Изменение плотности при этом представлялось в виде функции глубины с тенденцией ее увеличения с глубиной (модель А, согласно К.Буллена). Давление флюидов как фактор, определяющий основные закономерности изменения плотности, во внимание не принималось. В то

же время некоторыми исследователями [2,4,9] отмечалось широкое распространение инверсий плотности в земной коре, их связь с давлениями флюидов и существенная роль в складкообразовании.

Дилатационные изменения толщ горных пород, при прочих равных условиях, могут быть вызваны и увеличением объема флюида в порах породы, что сопровождается соответствующим увеличением порового давления и пористости, в связи с чем и возникают инверсии плотности. При увеличении массы флюида в зоне разуплотнения возрастает давление, оказываемое ими на вмещающие породы, и происходит дальнейшее увеличение объема породы при соответствующем понижении плотности. Одновременно по контуру разуплотненной зоны начинают возрастать напряжения, приводящие к сжатию и, как следствие, увеличению плотности по периферии дилатирующего объема. То есть имеют место парагенетически связанные разуплотненно-уплотненные системы, обусловленные деформациями растяжения и сжатия соответственно. Региональное проявление этих процессов приводит к формированию региональных зон дилатации. При этом дилатирующие массы отличаются спецификой напряженного состояния.

Фактические данные показывают, что насыщение флюидами и разуплотнение приводят к последующим адвективным движениям и возникновению диапиризма: в мантии, консолидированной коре, осадочной толще [5,9,10]. В своих кульминационных проявлениях при интенсивном насыщении флюидами имеет место процесс, идентичный извержению вулкана. На основании изучения зон разуплотнения в земной коре и результатов физического моделирования были определены специфические структурно-тектонические критерии измененных под воздействием дилатации толщ горных пород: характер дизъюнктивов, наличие характерных для вулканических областей форм, обратные соотношения структурных планов [9].

При этом все эти структурно-тектонические критерии выражены на фоне характерного разуплотненно-уплотненного разреза. Такой разуплотненно-уплотненный разрез кристаллической коры вскрыт Кольской сверхглубокой скважиной [11,12], инверсия плотности в которой объясняется насыщением пород флюидами.

Согласно аргументации ряда исследователей [13], при насыщении породы флюидами в ней возникает напряжение σ , равное сумме внешнего давления P и давления флюидов F

$$\sigma = P + F$$

Изменение модуля вестороннего сжатия K при возрастании напряжения, вызванного давлением флюидов, можно выразить как

$$K = K_0 \exp C(P + F).$$

На модуль сдвига G давление флюидов влияния не оказывает.

Принимая во внимание возможность понижения плотности породы ρ в процессе её насыщения флюидами, для изменения скоростей продольных V_p и поперечных V_s волн получим:

$$(V + \Delta V) = \sqrt{(K + \Delta K + 4/3G)/(\rho - \Delta\rho)}; \quad (1)$$

$$(V + \Delta V) = \sqrt{G/(\rho - \Delta\rho)}, \quad (2)$$

где ΔK , ΔV , $\Delta\rho$ - приращения указанных параметров, вызванные напряжениями за счет насыщения пород флюидами.

На основании соотношений (1) и (2) делается вывод о возможности повышения скоростей сейсмических волн в дилатирующем объеме. Кольская сверхглубокая скважина, пройдя поверхность высокоскоростного слоя, установленного по результатам наземных сейсмических исследований, вошла в зону инверсии плотности, где плотность, относительно перекрывающих образований, понижается до $0,3 - 0,4 \times 10 \text{ кг/м}^3$. Последующее измерение скоростей в скважине не подтвердило их повышения в зоне разуплотнения; данное обстоятельство, очевидно, связано со снятием напряжений в процессе бурения. Это свидетельствует о том, что обратные соотношения между скоростями сейсмических волн и плотностью характерны для закрытых систем и отражают их аномально высокое напряженное состояние.

Соотношениями (1) и (2) определяется напряженное состояние породы на начальном этапе дилатации. Последующее насыщение флюидами приведет к увеличению объема дилатирующей массы, в связи с чем давление флюидов снизится, произойдет спад напряжений, согласно соотношению [14]:

$$\sigma = P - F. \quad (3)$$

Из внутренней части дилатирующего объема напряжения перераспределяются к его периферийным частям, где начнут возникать деформации сжатия, приводящие к уплотнению породы. На определенном этапе деформации сжатия перейдут в деформации сдвига, и вокруг дилатирующего объема начнут возникать разрывы. В природе данный этап дилатации проявляется, очевидно, возникновением сейсмичности.

Таким образом, критериями дилатационного изменения толщ горных пород являются: специфические свойства, геоструктура, особенности проявлений динамики и напряженного состояния земной коры. С учетом генетической связи процессов дилатации с нефтегазоносностью, рудогенезом и сейсмичностью [5,15-17] выделение и изучение очагов дилатации в литосфере открывает возможность прогнозирования месторождений полезных ископаемых и катастрофических изменений природной среды на основе построения дилатационных моделей геологических объектов.

Фундаментальная задача геофизики - создание моделей внутреннего строения Земли. При этом следует принимать во внимание возможность глобальной выраженности зон дилатации в глубоких слоях Земли. При построении классических моделей распределения плотности Земли, как правило, предполагались прямые связи между плотностью и скоростями сейсмических волн [1,8]. Однако соотношения между этими параметрами намного сложнее, чем традиционно используемые связи. Причем отклонения от прямых зависимостей наблюдаются не

только на очень больших глубинах, например, как это принято в действующей ныне физической модели Земли, на глубине, определяющей положение границы раздела “ядро – мантия”, но и в её верхних оболочках. Следовательно, необходимо решать задачи, одна из которых возможность существования мантии с плотностью, меньшей плотности земной коры. В этой связи становится вполне очевидным, что понятие низкоплотной мантии наиболее приемлемо при доказательстве ряда положений современной геологии. В первую очередь, это деформация и конвективный перенос глубинного вещества, современные движения, сейсмичность и др. В частности, роль слоев пониженных скоростей в земной коре и мантии как генераторов внутренней энергии оказывается мало состоятельным для обоснования процессов мантийного и корового диапиризма, поскольку предполагаемые по прямым связям между скоростями сейсмических волн и плотностью дефициты плотности в слоях пониженных скоростей способны объяснить проникновение астеносферного вещества в перекрывающие слои верхней мантии. Возможность проникновения его в земную кору допускается лишь в том случае, если плотность мантии меньше плотности коровых образований. Последнее может быть аргументировано только при условии обратных связей между скоростями сейсмических волн и плотностью. С этих позиций представляется состоятельной разуплотненно-уплотненная модель мантии, определяющая в качестве зоны глобального уплотнения область относительного понижения скоростей Р- и S- волн в интервале глубин 0-720 км, а в качестве зоны, испытывающей тенденцию к разуплотнению, зону резкого увеличения скоростей в интервале от 720 до 2900 км. Следует отметить, что на качественном уровне подобная трактовка распределения плотности хорошо согласуется с данными об изменении электропроводности с глубиной, когда ее относительные уменьшения и увеличения могут свидетельствовать о наличии зон уплотнения и разуплотнения соответственно (рис.1). При этом достаточно высокая электропроводность в зоне разуплотнения свидетельствует о ее насыщении флюидами с высокой минерализацией.

На рис.1 показана гипотетическая модель распределения плотности в Земле с дилатирующей мантией - модель D.

Согласно дилатационной модели в мантии Земли выделяется три слоя, различающихся особенностями распределения плотности.

Слой в интервале глубин 0-80 км - гравитивный, резко дифференцированный по плотности: оценка среднего значения плотности слоя проведена в результате интерпретации аномалий по региональным профилям и геотраверсам. Пример такой интерпретации представлен на рис. 4.

Слой в интервале 80-720 км - переуплотненный под воздействием геостатического давления и давления дилатирующей мантии, характеризуется явно выраженной тенденцией монотонного увеличения плотности с глубиной; оценка плотности это-

го слоя проведена по прямым зависимостям между скоростями сейсмических волн и плотностью.

Слой в интервале глубин 720-2900 км – слой дилатирующей мантии; среднее значение плотности в этом интервале определено исходя из среднего значения плотности и массы мантии с учетом оценок плотности в вышележающих слоях.

В целом предлагаемая модель соответствует граничным условиям, за которые приняты среднее значение плотности и массы Земли.

Дилатационная модель мантии определяет инверсию плотности при переходе от переуплотненного слоя к разуплотненному. При дилатации мантии в переуплотненном слое возникают деформации сдвига и связанная с ним микро- и макротрещиноватость дилатационного¹ типа и формируются очаги землетрясений. Показательно, что все очаги землетрясений, зафиксированные на настоящее время, приурочены к интервалу глубин 0-720 км, что находится в соответствии с концепцией возникновения очагов землетрясений в процессе дилатации (см. выше). Можно полагать, что деформации, происходящие в интервале глубин Земли 0 – 720 км, в основном, определяют геотектоническую характеристику Земли, ее геодинамические проявления и сейсмичность.

Тектоносфера Земли находится под воздействием следующих основных сил: собственного веса, центробежной силы связанной с вращением Земли вокруг своей оси, внутреннего давления дилатирующей мантии. На начальном этапе дилатации насыщение пустотного пространства в объеме горных пород флюидами усиливает эффективное напряжение в скелете, которое определяется как сумма давления, обусловленного силой тяжести и давления флюидов. При дальнейшем насыщении флюидами происходит расширение породы, разрыв скелета по причине чего напряжения в скелете падают и часть геостатической нагрузки берут на себя флюиды.

Если в разуплотненном слое напряжения определяется формулой (3), то слой над зоной разуплотнения находится как бы на плаву. В данном случае верхний слой способен деформироваться как под воздействием сил, обусловленных расширением зоны разуплотнения, так и под собственным весом. В этом слое неизбежно появятся трещины и разрывы, по которым произойдет отжатие флюидов из зоны разуплотнения. При этом породы в зоне разуплотнения испытают обратимое уплотнение под весом вышележащих образований. В некоторых случаях при флюидизации горных пород происходит изменение их вещественного состава из-за образования гидратированных групп пород с меньшим значением объемной плотности, например, серпентинитов и эффект дилатации достигается не только механическим расширением, но и изменением вещественного состава при сохранении общей массы дилатирующего вещества. Принимая во внимание

¹ Следует различать понятия дилатансия и дилатация. Под дилатансией понимается увеличение пустотного пространства при сдвиговых деформациях, возникающих при сжатии.

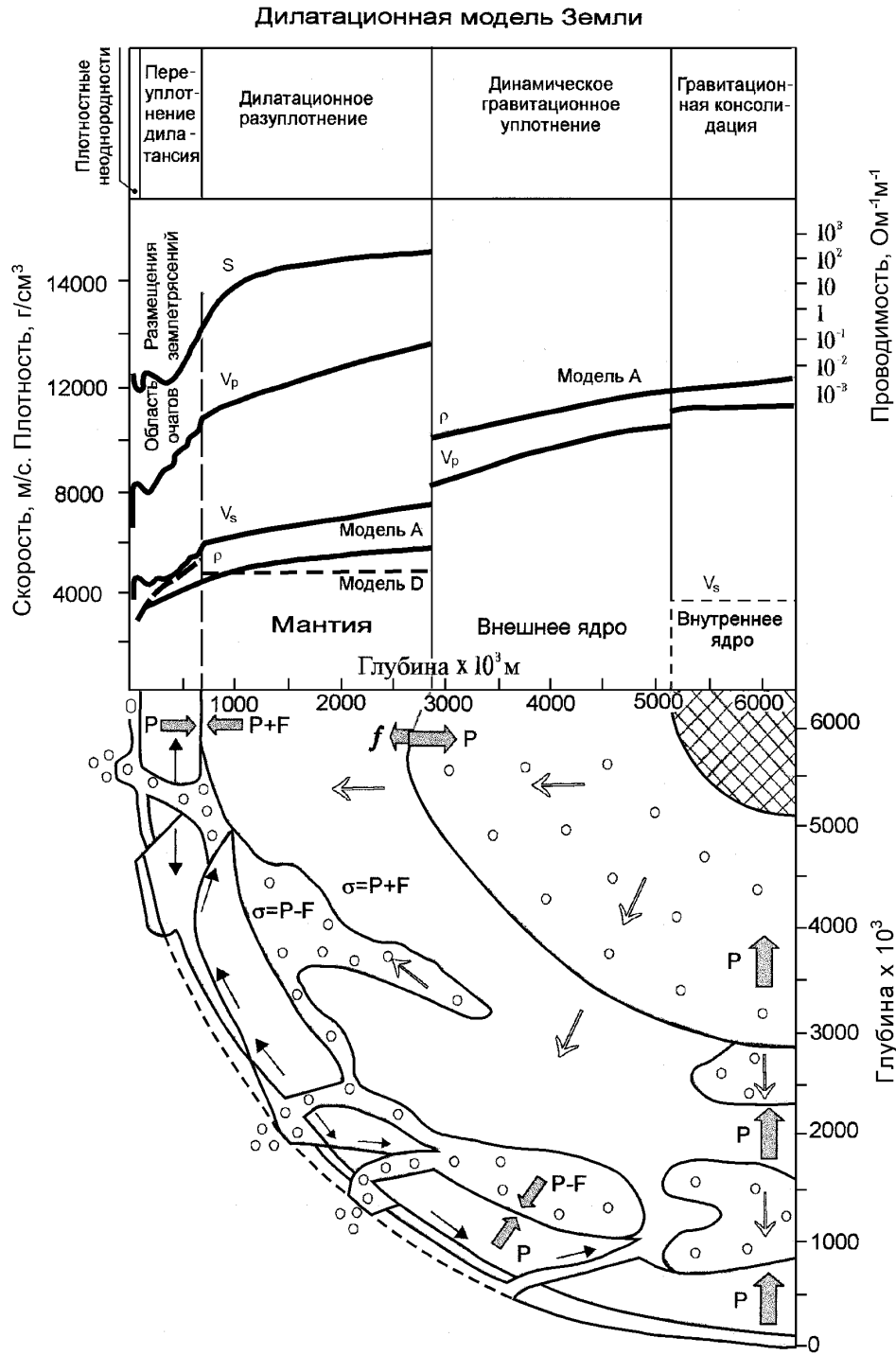


Рис. 1. Принципиальная схема тектогенеза при дилатации мантии. Вверху физическая модель Земли с дилатирующей мантией - модель распределения плотности D (штрих-пунктирная линия) в сопоставлении с моделью распределения плотности A, согласно К.Е.Буллену; ρ - плотность; V_p , V_s - скорости продольных и поперечных волн, соответственно, S - электропроводность; построена с учетом данным [1,7,8]. Внизу схема деформации тектоносферы при дилатации мантии. Темные широкие стрелки - направления действия главных напряжений: P - силы тяжести, (P+F) - напряжений дилатирующей мантии, f - центробежной силы; темные тонкие стрелки - направления перемещения блоков внешней тектоносферы, тонкие светлые стрелки - направления движения отжимающихся флюидов, крупный светлый крап, области, из которых происходит отжатие флюидов.

изложенное выше, нами (Б.В.Григорьянц, И.С.Гулиев, В.А.Огаджанов, 1988) было проведено экспериментальное моделирование дилатационных структур, посредством которого были исследованы основные этапы эволюции тектоносферы под влиянием этого процесса. В основу эксперимента был положен принцип насыщения флюидами толщ горных

пород. При этом исходной предпосылкой служило то, что наиболее интенсивно процессы дилатации происходят в глубоко погруженных впадинах, где они могут быть обусловлены генерацией углеводородов переносом флюидов конвективными потоками из глубинных зон, а также прогревом флюидизированных толщ. Отличительной особенностью пред-

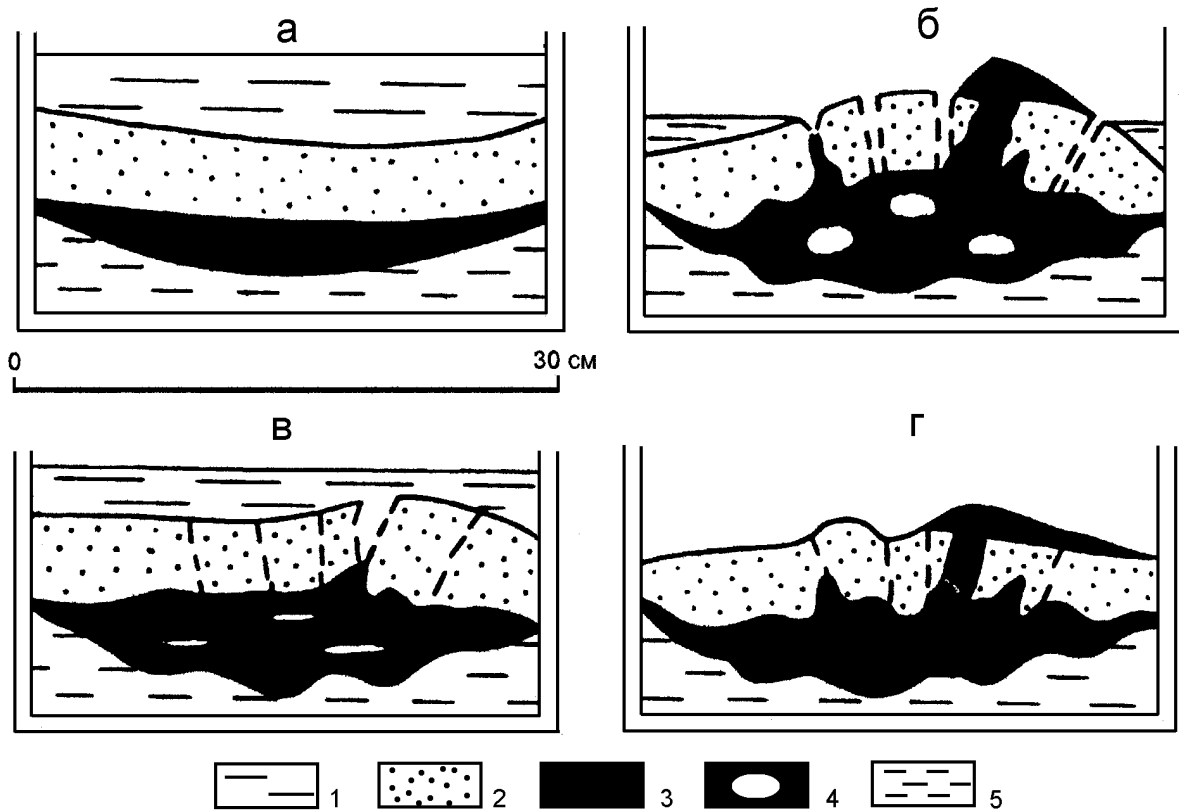
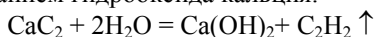


Рис. 2. Физическое моделирование процесса дилатации структурообразования: 1 – вода; 2 – песок; 3 – карбид; 4 – углеводородные тела; 5 – глина.

ложенного способа моделирования от ранее известных [18] является то, что в эксперименте использованы в качестве материалов реальные горные породы: глина, песок, а также смесь, генерирующая углеводородные газы. В целом положение вещей типично для молодых депрессий осадконакопления подобных Южно-Каспийской впадине.

В эксперименте в качестве газогенерирующей смеси был выбран карбид кальция. При взаимодействии карбида кальция с водой выделяется ацетилен с образованием гидроксида кальция.



При этом объем, полученного в результате реакции гидроксида кальция значительно превышает начальный объем карбида. Тем самым в результате реакции карбида кальция с водой достигается увеличение удельного объема (дилатации) газогенерирующей системы.

Аналогичная цель может быть достигнута путем взаимодействия воды с карбидом алюминия в результате чего выделяется метан. Карбиды по некоторым свойствам, например способности к наибольшей дифференциации на твердые и газообразные компоненты, обеспечиванию необходимой скорости истечения газа, импульсным выделениям достаточно больших его объемов, создают условия, наиболее полно соответствующие теоретическим аспектам формирования и наблюдаемым в природе проявлениям диапировых форм и вулканизма.

Модель из эквивалентных материалов изготавливается следующим образом (рис.2,а). На дне ящика со стеклянной стенкой из глины формируется синклиальный прогиб, в который засыпается раз-

мельченный карбид. Карбид перекрывается слоем песка и с верха заливается водой, как это показано на рисунке. Сформированная таким образом модель отражает первую стадию характеризующую накопление толщ осадков в молодых бассейнах. Вода, просачиваясь сквозь песок, вступает в реакцию с карбидом, и начинается выделение углеводородного газа. На определенном этапе углеводородообразования газ отделяется в свободную фазу; параллельно с этим начинается образования трещин в слое карбида, что в совокупности приводит к дилатации и понижению объемной плотности газогенерируемой системы.

На ряду с увеличением массы газовых тел наблюдается увеличение объема газогенерирующего слоя. В совокупности эти факторы обуславливают механическое воздействие на перекрывающий слой, в котором развивается сеть разрывов, формирующая систему дислокаций (рис.2,б).

С увеличением количества реагирующей с карбидом воды увеличивается и объем выделяемого при взаимодействии газа. На определенном этапе насыщение газом возрастает до такой степени, когда материал в зоне его генерации переходит в псевдожидкое состояние и прерывается по разрывам в толще вышележащих пород. При этом в модели наблюдается характерное для областей вулканической деятельности формирование конусов выбросов, лавовых потоков, воронок и т. д. (рис.2,в).

По мере того, как все количество карбида отреагирует с водой и выделение газа прекратится, под воздействием нагрузки вышележащих пород начинается усадка полученного в результате реак-

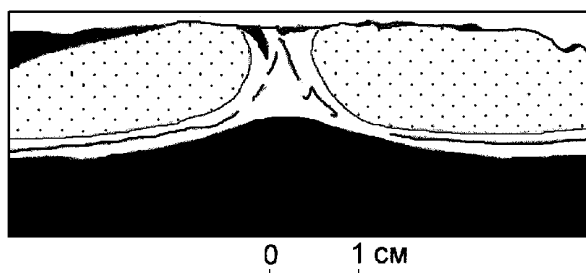


Рис. 3. В поднятие из силикона затягивается тяжелый нижний комплекс. Черное - силиконовая замазка с магнетитовым порошком; точки - грунтовка; белое - силикон.

ции гидроксида, которая происходит в следствии оттеснения остатков газа и закрытия трещин системы в целом (рис.2,г). Однако при всем этом не происходит обратимого изменения структуры модели к своему начальному положению из-за значительного большего суммарного объема гидроксида относительно начального объема карбида. Поэтому то и наблюдается трансформация синклинального прогиба поднятия, реализующаяся в обратных соотношениях между выше- и ниже залегающими слоями модели.

Описанный эксперимент отражает формирование тектонических структур под воздействием сил, обусловленных дилатацией, и силы тяжести. Х.Рамберг показал, что характерное строение структур, образованных только воздействием силы тяжести заключается в затягивании более плотного основания под разуплотненное ядро диапира (рис.3). Эта модель принципиально отличается от модели структур образованных под воздействием дилатации для которой характерны обратные соотношения между кровлей и подошвой разуплотненных комплексов. Основные выводы о строении геотектонических структур дилатационного генезиса полученные в результате экспериментального моделирования находят свое подтверждение фактическими данными, полученными интерпретацией и комплексным анализом геолого-геофизических данных по трансрегиональным профилям. При этом строились разрезы литосферы с учетом данных глубинных сейсмических исследований [19], дополненные результатами интерпретации гравитационного поля. В этом смысле по своему уникальным можно считать результаты построения моделей литосферы с расчетом плотности ее комплексов вдоль линий: Симферополь - Воркута - Тикси, Нахичевань - Элиста - Екатеринбург - Тюмень, о. Шокальского - Уренгой (рис.4). Профили общей протяженностью 10 000 км пересекающие основные геоструктуры Северной Евразии в области 40° - 70° с.ш. Полученные данные легли в основу выводов о закономерностях глобального тектогенеза дилатационного генезиса.

Первый вывод заключается в том, что пределах Евразийского континента присутствует глобально выраженный разуплотненный слой, расположенный в диапазоне глубин 10 - 80 км. Это указывает на необходимость учета дилатационных процессов глобального масштаба при исследовании закономерностей эволюции тектоносферы. Второй

основной вывод следует из анализа структурных закономерностей разуплотненного слоя, заключающихся в том, что глубины залегания этого слоя минимальны на уровнях 40° - 45° с.ш., где они равны 10 - 20 км и увеличиваются при переходе в область высоких широт до значений 70 - 80 км. При этом в приполярной части примерно в районе 70° с.ш. разуплотненный слой резко поднимается до отметки глубины в среднем 35 - 40 км.

Отмечены локальные увеличения мощности разуплотненного слоя в приполярной части, связанные с образованием глубинных диапиров; они характеризуются обратными соотношениями границ его кровли и подошвы (пикет 4600 профиля рис.4,а и пикет 400 - 4в).

В области средних широт, напротив, отмечается подъем высокоплотного основания под низкоплотными диапировыми ядрами. На профиле (рис.4,а) - это район пикета 600, где имеют место внедрения штоков с плотностью $2,70 - 2,85 \times 10^3$ кг/м³ в толщу пород с плотностью $2,65 \times 10^3$ кг/м³, а в районе пикета 200 профиля 4в наблюдается вспучивание слоя мантии с плотностью $2,87 \times 10^3$ кг/м³. Подобные соотношения между разуплотненными мантийными диапирами и подстилающими их жесткими основаниями могут быть объяснены с позиций результатов описанного выше эксперимента Х. Рамберга.

Обратные соотношения основных границ литосферы типичны для участков Прикаспийской и Западно-Сибирской впадин, где подъему разуплотненного слоя соответствуют опускания поверхности кристаллического фундамента. Те же закономерности отмечены для участков Куринской и Днепрово-Донецкой впадин. Определенно можно считать то, что совокупность основных сил: силы тяжести и давления дилатирующих комплексов, действующих на перекрывающие толщи земной коры привели в определенный момент времени к подъему кристаллического массива земной коры, объединяющего ранее Украинский и Воронежские щиты. Затем произошла деформация кристаллического массива - сначала в форме изгиба, а затем разрыва и последующего раздвига с образованием впадины в данном случае Днепрово-Донецкой. Очевидно, что продолжающееся внедрение в толщу земной коры низкоплотных и дилатирующих глубинных масс в соответствие с закономерностью парагенезиса зон растяжения и сжатия должно привести к дальнейшему расширению впадин и одновременно формированию сопряженных с ней складчатых сооружений по типу Куринской впадины и гор Большого и Малого Кавказа (см. юго-западную часть профиля Нахичевань - Тюмень). Воздымание низкоплотного слоя в северной части Евразийского континента отмеченное на профилях Симферополь - Тикси и Нахичевань - Тюмень могло явиться причиной формирования протяженных зон раздвига субмеридианального простирания в пределах Западно-Сибирской плиты. Таким образом, на основе экспериментов по моделированию дилатационного структурообразования и анализа данных по региональным профилям можно сделать выводы о наиболее

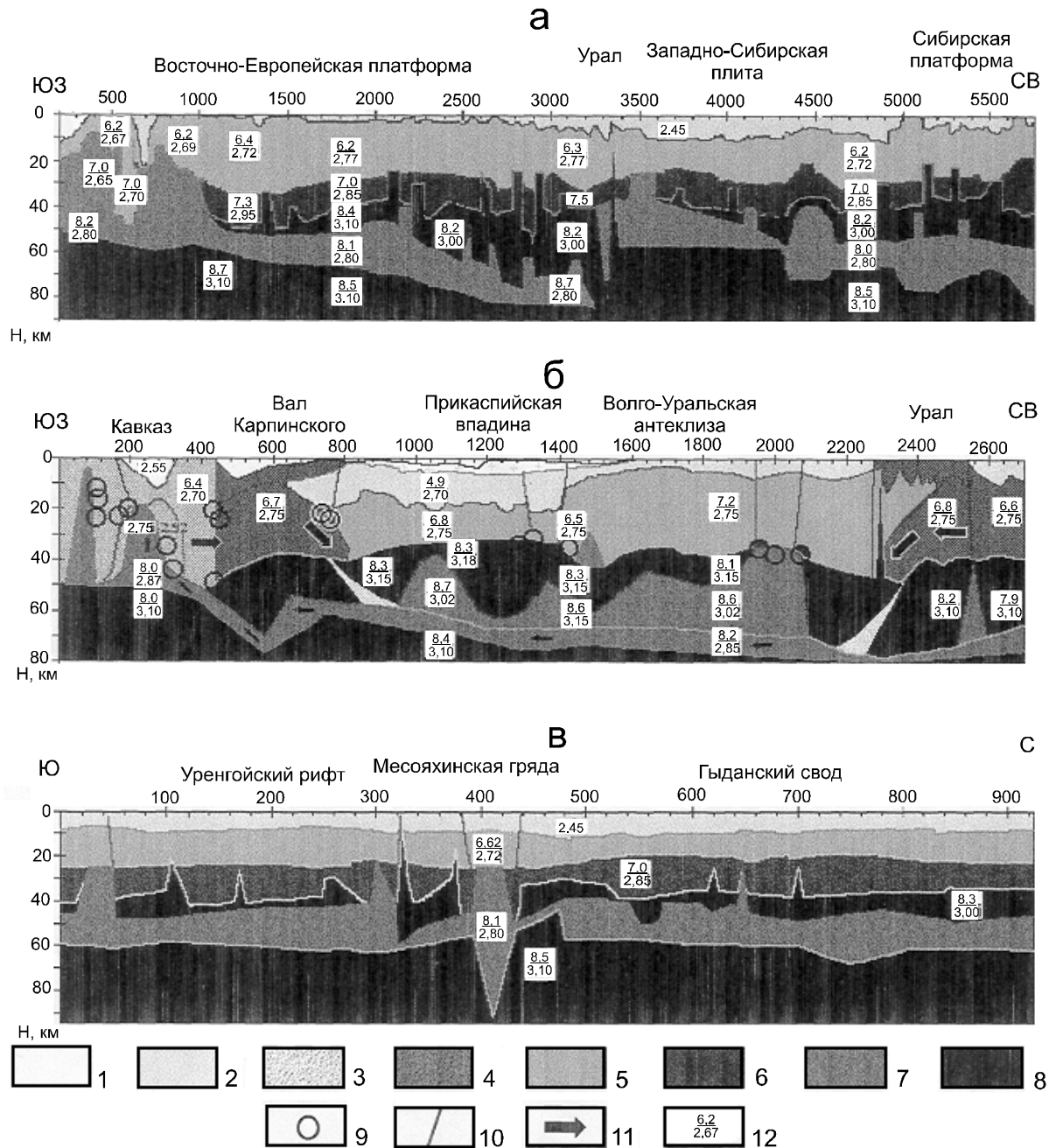


Рис. 4 Разрезы литосферы по профилям: а – Симферополь – Воркута – Тикси; б – Нахичевань – Элиста – Екатеринбург – Тюмень; в – Уренгой – о. Шокальского по сейсмическим и гравиметрическим данным. Осадочные комплексы: 1 – кайнозойский; 2 – палеозой – мезозойский; комплексы земной коры 3 – альпийских складчатых сооружений, 4 – герцинских складчатых сооружений, 5 – нормально уплотненные породы фундамента платформ, 6 – аномально уплотненные породы фундамента платформ, 7 – разуплотненные породы, 8 – мантия, 9 – гипоцентры землетрясений, 10 – разломы, 11 – направление движение разуплотненного вещества, 12 – значения физических параметров (в числителе – скорости продольных волн, в знаменателе – плотности).

общих закономерностях возникновения крупных внутриплитных геотектонических элементов. Очевидно, что механизм формирования тектоносферы Земли в целом может найти объяснение после выяснения закономерностей процессов дилатации планетарного масштаба, происходящих на уровне мантии и ядра.

Глобальные тектонические процессы и дилатация Земли

Согласно дилатационной модели, Земля находится в напряженно деформированном состоянии,

обусловленном расширением мантии. При этом, как следует из изложенного выше, возникающие при дилатации в определенных интервалах парагенетические связанные системы разуплотненно-уплотненные зон способствуют появлению на верхних границах зон разуплотнения неустойчивости Релея-Тейлора, трансформирующихся в последствии в адвективные движения. Такая точка зрения в наибольшей степени удовлетворяет мнению Ю.М.Пущаровского с соавторами [10,20] о многоярусной конвекции в мантии, которая зарождается на границе ядро-мантия. Проявления такой конвекции оче-



Рис.5. Размещение глобальных деформаций дилатационного генезиса во внешней тектоносфере восточного полушария Земли: 1 – положение проекции глобальной плоскости деформации одноосного сжатия на земную поверхность; 2 – области растяжения; 3 – передние фронты зон сжатия; 4 – сдвиги.

видны в литосфере Прикаспийской впадины, где в мантии и земной коре явно выражены структуры адвективного генезиса. При этом обратные соотношения структурных поверхностей в основаниях этих структур и перекрывающих комплексов свидетельствуют об автономии структурообразовательного процесса, обусловленного дилатацией. Механизм многоярусной конвекции приводит к формированию адвективных структур на различных уровнях осадочной толщи: в приповерхностных частях донных осадков и на глубинах 7 – 12 км, о чем более подробно было сказано ранее [9]. Конвективные потоки, согласно дилатационной модели Земли (см. рис.1), являются следствием отжатия флюидов из внешнего ядра, испытывающего динамическое уплотнение. При равномерном проникновении высоконапорных флюидов в мантию на начальном этапе разуплотнения в ней возникают аномально высокие напряжения определяемые формулой (2). В частях мантии, где уже произошло интенсивное дилатационное расширение, выполняется условие (6) и происходит разуплотнение. Указанные разуплотненные массы более интенсивно продвигаются от центра

Земли к периферии. Очевидно, что их продвижение наиболее интенсивно должно происходить вдоль ослабленных зон. Формирование ослабленных зон глобального масштаба можно понять, если рассмотреть характер деформации действующий под воздействием силы тяжести.

Земля представляет собой фигуру одноосного вращения, в которой деформация сжатия под воздействием силы тяжести направлена вдоль оси вращения, а деформация растяжения – вдоль оси экватора. Равнодействующая сила приводит к деформации сдвига. Угол наклона плоскости сдвига при этом, согласно [13], определяется как:

$$\cos 2\alpha = 1/2(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3),$$

где σ_1 и σ_3 напряжения вдоль полярной и экваториальной осей. При одноосном сжатии эта формула преобразуется к виду $\cos 2\alpha = 1/2$, откуда $\alpha = 45^\circ$.

Отсюда следует, что глобальная плоскость деформации Земли должна быть наклонена к оси вращения под углом 45° . Примерное положение проекции глобальной плоскости деформации на земную поверхность показано на рис.5. Если допустить, что в пределах указанной зоны глобальной

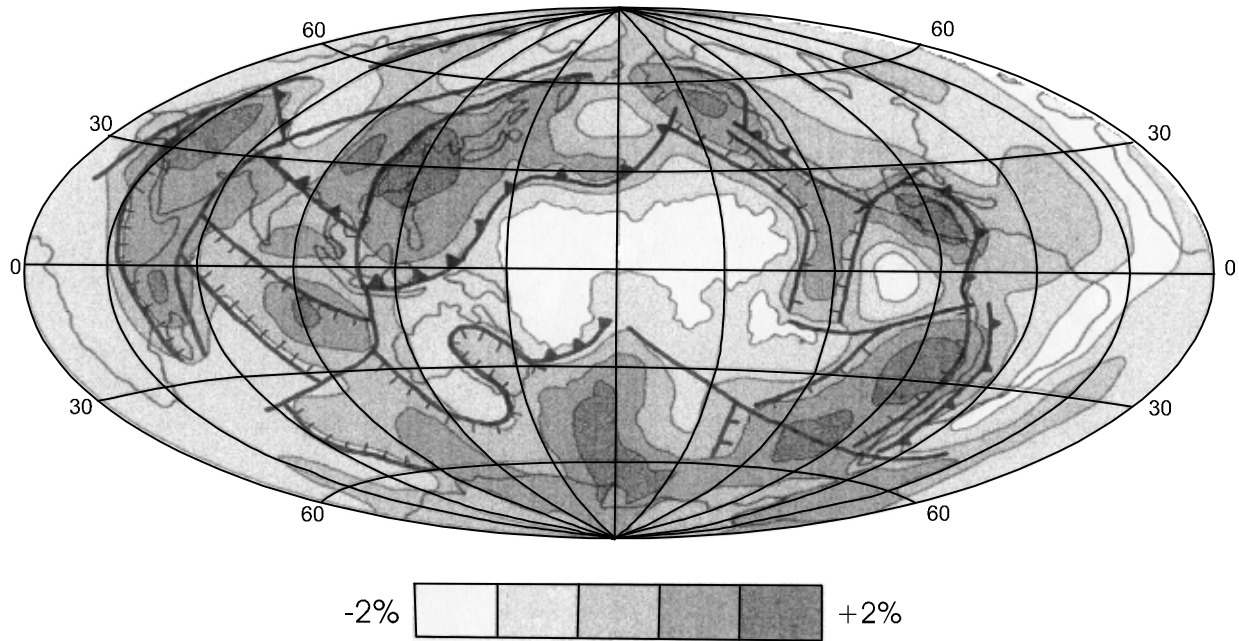


Рис.6. Отображение глобальных геотектонических структур в аномалиях сейсмотомаграфической модели. Приведена сейсмотомаграфическая модель для глубины 2850 км по [21]. Остальные условные обозначения на рис.5.

деформации создались благоприятные условия для переноса разуплотненных масс, то на более поздних стадиях в пределах этой ослабленной зоны образуется глобальный раздвиг литосферы. Очевидно, что дилатирующие массы, способствующие этому раздвигу, находятся в напряженном состоянии, которое проявляется по аномально высоким скоростям сейсмических волн (см. выше). Такие линейно вытянутые вдоль зоны раздвига аномалии высоких сейсмических скоростей отражает сейсмо-томаграфическая модель для глубины 2850 км (рис.6) [21]. Отсюда следует, что глобальные структуры Земли имеют унаследованность от глубин, соизмеримых с границей раздела ядро – мантия.

Расширение литосферы в этой зоне передает в северо-восточном направлении деформации сжатия, где параллельно северо-восточной границе раздвиговой зоны формируются фронты сжатия. Следует отметить, что парагенетически связанные зоны растяжения и сжатия являются основополагающим принципом процесса дилатации как в локальном, так и в глобальном масштабах. В этой связи следует выделять и парагенетически связанные геотектонические и геодинамические системы. Согласно выше изложенному, выделяется Австралийско-Средиземноморская зона глобального расширения по направлению срединного хребта Индийского океана, рифта Красного моря, Средиземноморской впадины. В процесс глобального раздвига вовлечены также континентальные области восточной Африки и южной Австралии. Параллельно указанной зоне раздвига возникали основные фронты сжатия Альпийско-Гималайского пояса и Океании. Ортогонально фронтам глобального растяжения и сжатия формировались планетарные сдвиговые дислокации. В восточном полушарии наиболее протяженны и выражены по величине смещения три трансформных

разлома: левосторонние сдвиги Таймыро-Камерунский и Анадырь-Мозамбикский и правосторонний сдвиг Амурско-Антарктический.

Следует отметить, что упомянутая выше аномалия высоких скоростей, согласно сейсмотомаграфической модели, в районе Красного моря меняет свое направление с северо-западного на северо-восточное (рис. 6). С запада на территории Африканской платформы эта аномалия ограничена Нильским разломом, в пределах Аравийской платформы – Иорданским левосторонним сдвигом и в своем северо-восточном простирании на территории Восточно-Европейской платформы – Волго-Камским левосторонним сдвигом. С Нильским и Иорданским разломами на территориях Африканской и Аравийской платформ связаны процессы рифтогенеза и вулканизма, что свидетельствует о кульминационных проявлениях глубинного диапиризма. Это же подтверждается тем, что этому району соответствует самая интенсивная на Земле аномалия теплового потока [7].

Рассматривая соответствие Волго-Камских дислокаций глубинному строению, следует отметить, что там, где получены сведения о поведении поверхности мантии, она представляется в виде линейно вытянутых структур, северо-восточного простирания. В эту же систему укладываются линейно вытянутые аномалии гравитационного поля, последующая интерпретация которых определила связь локальных минимумов с зонами разуплотнения в земной коре и мантии. Дилатация горных пород, как следствие насыщения флюидами, очевидно, является причиной приводящей к формированию ослабленных участков литосферы, вдоль которых, в первую очередь, возникают и развиваются сдвиговые дислокации. Локальные гравитационные минимумы,

отражающие зоны разуплотнения, вдоль систем левосторонних сдвигов продолжают на северо-восток в область герцинской складчатости полярного Урала и Таймыра. На севере Западно-Сибирской плиты это Месоахинская система дислокаций, строение которой изучено по региональному профилю ГСЗ Уренгой - о. Шокальского (см. рис.4,в). Профиль пересекает с юга на север Месоахинскую систему дислокаций и со всей очевидностью показывает ее унаследованность от разуплотненных масс глубинных частей литосферы, уходящих на глубину до 90 км (район пикета 400 рис.4,в); можно предположить унаследованность этих масс от конвективных потоков из более глубоких геосфер.

Анализ соответствия геотектонических элементов планетарного масштаба [21] глубинным неоднородностям Земли (рис.6) показал тесную связь кайнозойских структурных форм с аномалиями сейсмотомаграфической модели [22], отражающими неоднородности мантии вблизи границы ядра. Относительное смещение границ поверхностных геоструктурных элементов и границ сейсмотомаграфических аномалий с учетом разницы глубин вполне объяснимо. Зонам глобального раздвига, образованным под влиянием глубинного диапиризма, отвечают, как правило, аномалии высоких скоростей сейсмических волн, что находится в соответствии с формулами (1) и (2), определяющими повышение скоростей сейсмических волн на начальных этапах дилатации вещества. Низкоскоростная тихоокеанская неоднородность в этой связи рассматривается как типичная дилатационная структура в системе «расширение – сжатие». При этом в пределах самой неоднородности насыщение флюидами привело к сбросу напряжений в процессе расширения, по причине чего скорости сейсмических волн оказались аномально низкими. При этом увеличились напряжения по периферии неоднородности, где наблюдаются зонально расположенные и линейно вытянутые аномалии высоких сейсмических скоростей. Деформации в периферийных частях, где напряжения аномально высоки – сложные: часть вещества на периферии дилатирующего объема сжата, здесь формируются структуры сжатия и, наряду с этим, имеет место выдавливание части сжатого вещества кверху и его внедрение в перекрывающие слои. Над этими участками возникают зоны раздвига. Таким образом, в периферийных частях дилатирующего объема наблюдаются геодинамические системы раздвигов, сопряженных с фронтами сжатия. Типичным примером является западная прибрежная часть Американского континента. При этом положительные аномалии скоростей сейсмических волн в зонах раздвигов свидетельствуют о высоком энергетическом потенциале отмеченных динамических систем. Отсюда следует, что процессы дилатации, возникающие вблизи границы ядро-мантия, должны формировать основные черты тектоносферы Земли, как следствия глубинного диапиризма, приводящего к раздвигам, сопряженным с ними зонам сжатия, горообразованию, вулканизму, континентальному рифтогенезу. Интенсивные проявления последнего

некоторыми исследователями рассматриваются в качестве эмбриональных морей, трансформирующихся в последствии в океанические впадины. На отдельных участках, в пределах которых происходит истечение флюида из зоны разуплотнения под глобальным флюидоупором, вес уплотненного слоя обуславливает его проседание. Дальнейшее погружение ведет к опусканию отдельных участков верхней тектоносферы до формирования крупных впадин. В этой связи, представляется закономерным, что самой крупной по размерам Тихоокеанской впадине соответствует и самая большая зона разуплотнения в мантии. Если оттока флюидов из зоны разуплотнения не происходит, то аномально высокие давления сохраняются. В этом случае сохраняется энергия восходящих разуплотненных масс. Разуплотненные массы, обладая большой динамической силой, приподнимают перекрывающие их блоки тектоносферы, и последние испытывают интенсивные восходящие движения, образуя приподнятые участки континентов. Основные закономерности эволюции тектоносферы при дилатации мантии показаны на рис.1.

Заключение

Основной вывод из изложенного выше заключается в том, что процессы дилатации, протекающие в различных оболочках Земли, способны формировать парагенетически связанные системы разуплотненно-уплотненных пород, которые определяют условия структурообразования и динамики недр. Следовательно, геосферы Земли с определенной степенью допущения могут быть представлены как концентрические зоны расширения и сжатия. Это достаточно согласуется с мнением Ю.М.Пушаровского о многоярусной конвекции, зарождающейся на границе ядро-мантия.

Вместе с тем, следует отметить некоторые неопределенности, связанные с объяснением особенностей распределения деформаций планетарного масштаба; в частности, сосредоточение зон разуплотнения в субэкваториальной области Земли (согласно сейсмотомаграфической модели), кульминационные проявления глубинного диапиризма и вулканизма в пределах древних платформ (восточная Африка), затягивание высокоплотного слоя под диапировые структуры, отмеченные при переходе в область низких широт (по региональным геотраверсам Симферополь-Тикси и Нахичевань-Гюмень) – все это указывает на наличие механизма, обусловленного существенным влиянием центробежных сил на глобальные деформации. Вместе с тем, известно, что отношение центробежной силы к силе тяжести не превышает $3,5 \times 10^{-3}$. Иначе, принимая во внимание время формирования обусловленных этим механизмом геоструктур, следовало бы полагать, что на рубеже мезозоя и кайнозоя под влиянием каких-то сил Земля должна была бы увеличить свою угловую скорость почти в 20 раз, что можно принять только на правах самых смелых гипотез. Объяснение отмеченных противоречий, на наш взгляд, должно стать предметом дальнейших исследований.

Практическим следствием дилатационной модели Земли видится то, что данная концепция дает возможность раскрыть некоторые неопределенности, связанные, например, с проявлением внутриплитной сейсмичности, наличием зон разуплотнения в кристаллической коре и сопутствующих им месторождений полезных ископаемых, в том числе и углеводородных, которые, очевидно, имеют глубинное происхождение. При поисках месторождений полезных ископаемых глубинного генезиса внимание должно быть уделено участкам земной коры, в пределах которых наиболее интенсивно должны протекать дилатационные преобразования горных пород. Это, прежде всего, региональные зоны раздвига и погружения: юго-востока Австралии, восточной Африки, западной Сибири и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буллен К.Е. Плотность Земли. -М., 1978. -442 с.
2. Гончаров М.А. Механизм геосинклинального складкообразования. -М., 1988. -263 с.
3. Григорьянц Б.В., Гулиев И.С., Огаджанов В.А. Условия формирования плотностных неоднородностей и автономной складчатости // Изв. АН СССР. Сер. геол. -1989. -№10. -С.121-125.
4. Магара К. Уплотнение пород и миграция флюидов. -М., 1982. -296 с.
5. Огаджанов В.А. Концепция геофизических исследований, основанная на явлении дилатации горных пород // Геофизика. -1998. -№4. -С.10-13.
6. Проблемы эволюции тектоносферы / Ред. В.Н.Шолпо. -М., 1997. -412 с.
7. Ботт М. Внутреннее строение Земли. -М., 1974. -373с.
8. Гутенберг Б. Физика земных недр. -М., 1963. -263 с.
9. Григорьянц Б.В. Структурные соотношения мезозойских и кайнозойских отложений и возможные условия проявления инверсии на Юго-Восточном Кавказе // Геотектоника. -1982. -№4. -С. 42-53.
10. Пушаровский Ю.М., Пушаровский Д.Ю. Геосферы мантии Земли // Геотектоника. -1999. -№1. -С.3-14.
11. Козловский Е.А. Новый этап в исследовании недр СССР // Природа. -1987. -№11. -С.12-21.
12. Кольская сверхглубокая / Ред. Е.А.Козловский. -М., 1984. -490с.
13. Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. -М., 1981. -435 с.
14. Фергль У.Х. Аномальные пластовые давления. -М., 1980. -398 с.
15. Огаджанов В.А. Инверсии плотности в земной коре и сейсмичность // Белорусский сейсмологический бюллетень. -1991. -№2. -С.92-95.
16. Огаджанов В.А. Геолого-геофизические критерии нефтегазоперспективного объекта дилатационного типа / Недр Поволжья и Прикаспия. -1994. -№7. -С.32-40.
17. Огаджанов В.А. Геофизические исследования на основе явления дилатации горных пород: Автореф. дис. ... д. геол.-мин. н. -Саратов, 1997. -35с.
18. Методы моделирования в структурной геологии / Ред. В.В.Белоусов, А.В.Вихерт. -М., 1988. -220 с.
19. Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР / Ред. С.М.Зверев, И.П.Косминская. -М., 1980. -183 с.
20. Пушаровский Ю.М., Новиков В.Л., Савельев А.А., Фадеев В.Е. Гетерогенность мантии и конвекция // Геотектоника. -1989. -№5. -С.3-13.
21. Su W., Woodward R.L., Dziewonski A.M. Degree 12 model of shear velocity heterogeneity in the mantle: Journ. of Geophys. Res. -1994. -Vol.99, № B4. -P.6945-6980.
22. Simkin T., Tilling R.I., Taggart J.N., Jones W.J., Spall H. World map of volcanoes, earthquakes, and plate tectonics: Smithsonian Institution, U.S. Geological Survey. -1989.