

УДК:550.311

Б.Н. Лузгин

**Неоднородности структуры геосфер
как общая закономерность***

Из всех самых общих неоднородностей строения вещества Земли наиболее исследованы субгоризонтальные слои и разделы, следующие параллельно ее внешней поверхности. Это земные оболочки – геосферы – «элементы слоистой макроструктуры Земли, обладающие центральной симметрией [1, с. 257]. Они образуют «более или менее правильные концентрические слои, охватывающие всю Землю, меняющиеся с глубиной, в вертикальном разрезе планеты, и отличающиеся друг от друга характерными для каждой, только ей свойственными, особыми физическими, химическими и биологическими свойствами» [2].

Однако это отличие «в вертикальном разрезе планеты», которому уделяется основное внимание, не следует абсолютизировать. И в соответствии с последними исследованиями внутренняя неоднородность структуры геосфер, вероятно, может быть сформулирована как их общая закономерность строения. Вместе с тем, на наш взгляд, именно эта неоднородность является основой всех динамических процессов, протекающих внутри этих сфер; она же служит важнейшим фактором обмена веществом, массой и энергией между этими сферами.

В связи с этим нам представляется важным провести совокупный, совместный анализ структурных неоднородностей геосфер нашей планеты – внутренних и внешних сфер Земли.

Неоднородности внутренних сфер Земли становятся все более отчетливыми и резкими по мере методологических и технологических совершенствований изучения земных «недр».

В этом отношении особенно показательно зарождение и тенденции развития так называемой «тектоники литосферных плит» – современного направления обобщения сведений о структуре и динамике поверхностных слоев Земли (до глубины порядка 200 км) [3]. В основе этого научного направления лежат данные о пространственной неоднородности строения земной коры и верхней части твердой оболочки верхней мантии, которые подстилаются неоднородной по состоянию и центристскому положению в разрезе не сплошной «ослабленной» оболочкой – астеносферой, наделенной чудодейственными свойствами, определяющими возможность скольже-

ния по ней значительно более консолидированных масс литосферы, вместе с кочующими на ней континентами и океанами. Привлекает к себе повышенное внимание и то, что астеносферные слои имеют различное площадное распространение, различную мощность и залегают на разных глубинных уровнях.

При этом акватории кардинально отличаются от континентальных масс петрологическим составом и петрофизическими свойствами, а также мощностями континентальных и океанических земных кор, как самой верхней оболочки Земли. Для «легких» существенно кислых материковых кор мощности могут достигать 60–80 и более километров, для «тяжелых» океанических базальтовых они уплотнены до 4 км.

Комбинационным сочетанием этих разнородных литосферных плит определены все возможные динамические взаимоотношения между ними: раздвижения (спрединга), подныривания, при конвергентном сближении, более тяжелой плиты под легкую (субдукция), или наоборот (обдукция), и торошением кромок надвигающихся навстречу друг другу плит, при их близких динамодеформационных качествах (коллизия). Этими механизмами и обуславливается структурная перестройка литосферы Земли и ее потенциал в обмене веществом и энергией с залегающей ниже мантией, которая распространяется вплоть до ядра Земли.

Всего лишь четверть века назад мантия представлялась нам латерально однородной и разделенной на модельные слои К.Е. Буллена, по его интерпретациям 1959–1969 гг. или по более поздней уточненной модели PREM (Preliminary Reference Earth Model), с усредненным распределением на глубину различных физических параметров. Впрочем, еще В.И. Вернадский предполагал, что в строении планеты нередко бывает проявлена «дисимметрия» (деформированная симметрия), как результат воздействия на оболочку Земли «какого-то геологического фактора, вызвавшего нарушение их сплошности».

Появление многоволновой томографии в 80-х гг. XX столетия, основанной на результатах анализов данных новых сейсмических станций и быстродействующих ЭВМ, позволило

* Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Университеты России» Минобразования и науки РФ (грант ур.08.01.001)

«просветить» мантию Земли, со сканированием срезов («томо») и построением объемных трехмерных изображений (рис. 1). В основе этих методов лежат различия в скоростях (до $\pm 5\%$) прохождения сейсмических волн (продольных и поперечных: отраженных, преломленных и обменных) в глубинах Земли, что обуславливается отличиями в плотности слагающего материала недр, которые в свою очередь, вероятно, обусловлены прежде всего пространственным размещением холодных («быстрых») и горячих («медленных») масс [4].

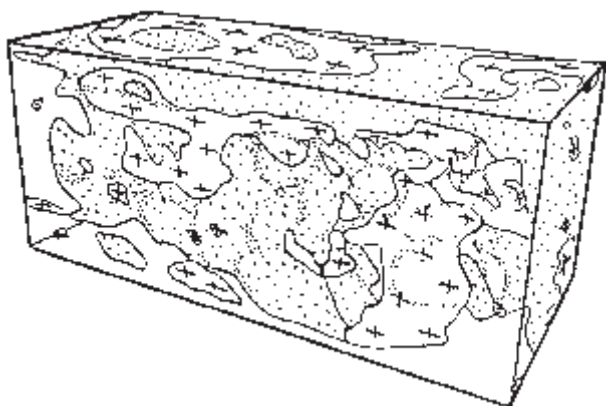


Рис. 1. Томографическое изображение верхней мантии (знаком + обозначена «медленная» (горячая) мантия, точками – «быстрая» (холодная). Рисунок заимствован из [5] (по: В. Сю, Р. Вуудварду, А. Дзевонскому, 1994; с упрощениями)

Предположительно эти отличия прослеживаются до глубин 2000–2900 км, к которым относятся уже наиболее неопределенные результаты сейсмозондирования.

Сейсмическая томография свидетельствует о конвективных потоках вещества в мантии. Благодаря ей удалось «высветить» разнонаправленные движения холодного и нагретого вещества, которые ориентированы в вертикальной, наклонной и горизонтальной плоскостях, образуя сложное переплетение («плюмаж») холодных и горячих струй вещества мантии. До интервала глубин в 670 км в мантию погружаются литосферные плиты, продавливая подстеносферные слои. И вместе с тем огромные плюмы разуплотненной «быстрой» мантии поднимаются с глубин более 2900 км, от границы мантия–ядро.

Глубинная динамика явно нелинейна. Согласно Ю.М. Пушаровскому, «нелинейность – это обширная область общей естественно-научной теории, и геология не может и не должна быть в стороне от нее» [6]. Глобальная геодинамика Земли определяется сочетанием плитной (плейт-) и плюм-тектоники.

Особо высокой энергетикой глубинных геосфер отличается Тихоокеанский сегмент. Идет активная перестройка структурного плана, отражающая сущность геологической палеодинамики Земли.

О перманентности подобных преобразований свидетельствуют процессы, произошедшие в литосфере. Известны два этапа существования на Земле суперконтинентов – Родинии, образовавшейся около 1 млрд лет назад и распавшейся около 750 млн лет, и Пангеи, сформировавшейся 400–200 млн лет назад, распад которой начался примерно 170 млн лет назад, когда стал раскрываться Атлантический океан. Процесс раскрытия океанов протекал также неравномерно (геодинамически нелинейно) и в пространстве, и во времени, в соответствии с меняющейся структуризацией вещества земных глубин.

Гидросфера представляет чуть ли не единственный пример непрерывно-прерывистой сферы по ее главным компонентам: океаносфере, лимнологическим, речным, почвенным и подземным семисферам. Она едина по общности круговорота природных вод и дифференцирована по составляющим его более однородным водным циклам. Чрезвычайная сложность структуры гидросферы отражается в исследованиях по распространению высокочастотных акустических волн, с помощью которых возможно получение трехмерных изображений неоднородностей океанической толщи, включая разнообразные течения и значительно слабее изученные их вихревые системы.

Показательно, что даже распределение поверхностных, глубинных и донных океанических вод образует множество латерально разнородных подсистем (рис. 2).

Внутренняя динамика морских водных масс определяется наличием поверхностных теплых и холодных течений, сопутствующих им противотечений, геострофических и глубинных течений, апвеллинговыми и даунвеллинговыми потоками, циклоническим и антициклоническим перемешиванием вод и многочисленными конвекционными циклами. Представление о существенной гомогенности вод океанов характеризуется все большей относительностью.

Обнаруживается временное смещение океанических поверхностных потоков неправильно циклической периодичности, как это исследовано на Перуанском (Гумбольдтовском) течении, вызывая периоды Эль-Ниньо и Ла-Ниньо (явление ЭНЮК), но и неожиданные (?) отклонения от традиционного состояния, как это предполагается для Гольфстрима.

Еще более динамична внутренняя структура атмосферы. Это – циркуляционные системы, воздушные течения, оседания, конвекции и т.п.

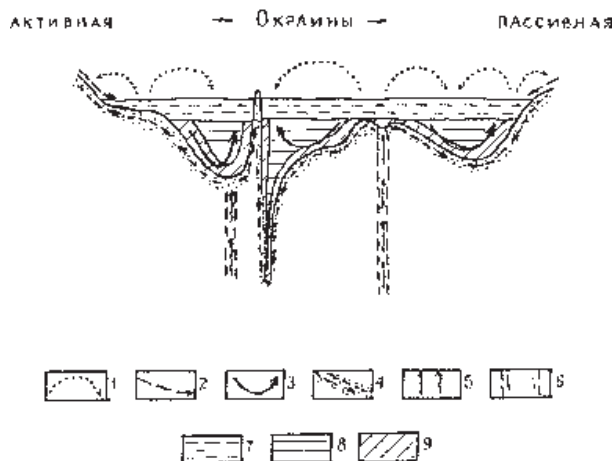


Рис. 2. Структура океанических водных масс и водонасыщенных потоков (конфигурация дна океана дана в основном по: [7]).

Потоки: 1 - воздушно-водяные пары; 2 - поверхностные стоки; 3 - внутриморские течения; 4 - пластово-подземные; 5 - глубинные источники гидротермальных вод; 6 - тектонические зоны. Океанические семисферы: 7 - верхней толщи; 8 - промежуточной; 9 - донной

Весьма показательна в этом отношении исследованная в последнее время пространственно-временная структура атмосферных осадков. Это сложная многокомпонентная система, находящаяся в состоянии прерываемого равновесия, обусловленного фазовыми переходами. Глобальные осадки образуют трехмерный подобно преобразованный самоаффинный фрактал и характеризуются скейлинговым (чешуйчатым) поведением их выпадения, с соответствующими отличиями в размерностях в горизонтальных и вертикальных сечениях. Изображение подобного трехмерного массива осадков в виде последовательных дискретных образов представлено на заимствованном из [8] рисунке 3, переданном в системе координат пространство-время.

Поскольку осадки возникают и продолжают-ся непрерывно, глобальная система не может находиться в состоянии покоя. Образование осадков отражается в виде кластера бесконечной протяженности дырчатой структуры с внутренними полостями.

Вероятно, что и наиболее обсуждаемая в настоящее время тема глобального потепления, с учетом реанализированного распределения областей потепления на поверхности Земли (рис. 4), отражает близкий к описанному характер объемной структуры этого явления.

Проведенный обзор особенностей инфраструктурных неоднородностей геосфер позволяет высказать соображение, что это самая общая

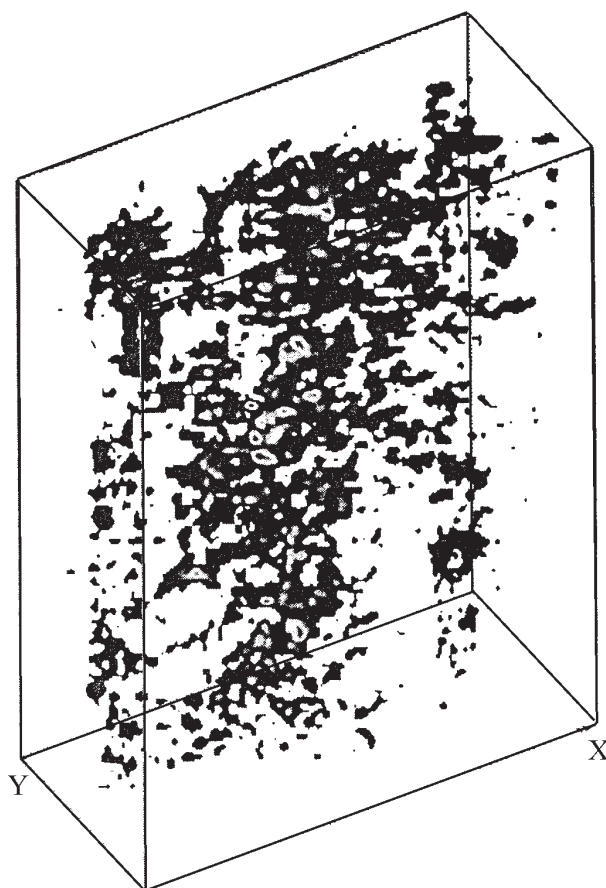


Рис. 3. Пространственно-временное изображение трехмерного массива глобальных атмосферных осадков (по: [8])

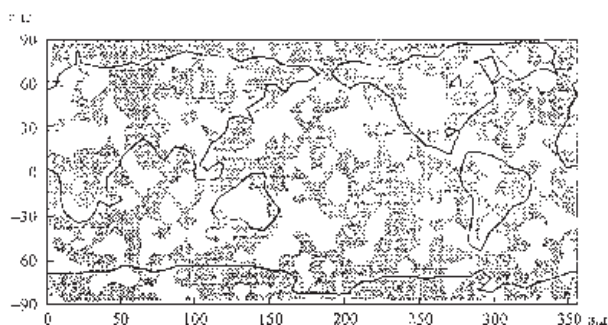


Рис. 4. Пространственное распределение областей потеплений (серый тон) за 1958-1998 гг. (по: [9])

их характеристика, заслуживающая исключительного внимания. И чем более тщательным и детальным является их изучение, тем более выпукло вырисовываются именно эти неоднородности, которые имеют важнейшее значение для функционирования всех этих сред.

Так, атмосфера в целом является «дырчатой» системой, подразумевая не только инфраструктурные особенности таких критических явлений, как осадки, термо-динамоклиматические кате-

гории, но и распределение самого состава атмосферы, характерным и давним примером которого являются озоновые «дыры», «дожди» и т.п. (рис. 5).

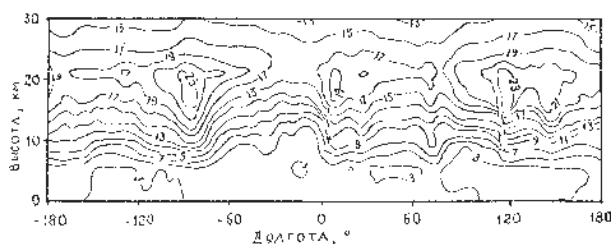


Рис. 5. Разрез подножия вертикальной структуры атмосферы вдоль северной широты 55,5° (по: [10])

Давним оселком в этом отношении является и гидросфера, с поутихшими уже давно дискуссиями об ее сплошности и прерывистости. По существу она также является «дырчатой» системой как по своей структуре, так и составу.

Потеряла свою характеристику исключительной гомогенности и мантия Земли, и только гипотетическое ядро все еще сегодня видится одновременно и однородным и двухфазовым, разделенным только сферической внутренней границей.

Очевидно, что группирование указанных разнородных сред в сферы имеет и возрастную внутреннюю динамику, если принять во внимание историю их формирования, как определенные этапы жизни небесных космических тел. Существуют миры, лишённые атмосферы, гидросферы и даже литосферы. Известная нам геологическая история Земли свидетельствует о крайней изменчивости состава и мощностей всех геосфер и субгеосфер, что говорит о достаточно высокой их внутренней подвижности.

Все указанные неоднородности геосфер определены различным состоянием соответствующих сред и, как следствие, их отличной энергетической

характеристикой. Именно они являются источником динамической активности внутрисферных потоков перемещения вещества. В абсолютно однородных обстановках динамических процессов не происходит. Таким образом, сама неоднородность состояния сфер является главной причиной их существования и сохранности.

Степень гетероморфности сред зависит от усредненных параметров фазового состояния сфер, которые резко отличаются друг от друга, в том числе и по степени внутренней дифференцированности и динамичности. Каждая из сфер является самоорганизующейся системой, развивающейся по принципам нелинейной геодинимики, проявляющейся в том числе в неоднородной направленности одновременно происходящих противоположно направленных процессов.

Все сферы можно рассматривать как диссипативные самоорганизующиеся системы [11]. Они термодинамически открыты. Характерна согласованность происходящих в геосферах процессов – конвергентность составляющих их подсистем; термодинамическая неравновесность и нелинейность. Свойственна коадаптация мод и состояний под изменяющиеся внешние параметры. Им присуща коэволюция всех входящих в систему структур.

Большую роль в самоорганизации геосфер играют внутрисферные конвекционные процессы, стремящиеся к установлению определенной их однородности, выравниванию динамотермального состояния каждой из субсфер внешне обособленных геосферных систем.

И в этом отношении для выявления закономерностей формирования всей Земной системы, как общности сосуществования нынешнего комплекса геосфер, имеют особенности и ее межгеосферной организации, которые должны стать предметом предстоящих научных исследований.

Литература

1. Геологический словарь. М., 1973. Т. 1.
2. Вернадский В.И. Избр. соч. М., 1960. Т. 5.
3. Новая глобальная тектоника (тектоника плит). М., 1974.
4. Проблемы геотомографии. М., 1997.
5. Короновский Н.В. Сейсмическая томография // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. №11.
6. Пушаровский Ю.М. Глобальная тектоника в перспективе // Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. геол. 2004. Т. 79. Вып. 2.
7. Леонтьев О.К. Дно океана. М., 1968.
8. Васильев Л.Н., Качалин А.Б., Тюфлин А.С. Динамический скейлинг в глобальных атмосферных осадках, полученных из космических измерений // Исследование Земли из космоса. 2002. №5.
9. Пичугин Ю.А. Оценка статистической закономерности и пространственной неоднородности линейных трендов приземной температуры воздуха // Известия РГО. 2003. Вып. 6.
10. Spänkuch K., Schulz E., Plessing P. Statistical Estimate of the Lower Vertical Stratospheric kzone Structure // Исследование Земли из космоса. 2004. №2.
11. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М., 1986.