

ГЛОБАЛЬНАЯ ДИНАМИКА ЗЕМЛИ

А. Н. Дмитриевский
(ИПНГ РАН)

Возможности, которые открывают методы сейсмической томографии, позволили японским геофизикам [5, 6] заявить о коренном пересмотре господствующих взглядов и необходимости построения новой концепции динамики Земли.

В указанной работе достаточно детально освещены вопросы происхождения и эволюции Земли, ее внутреннего строения и особенности геодинамических процессов, происходящих как в недрах Земли, так и в ее верхней литосферной оболочке. Отдавая должное этой прекрасной работе, хотелось бы более детально и в несколько ином ракурсе рассмотреть механизмы, обеспечивающие динамику Земли.

Как отмечают Маруяма и др. [5], сферические оболочки Земли возникли уже на самых ранних этапах ее развития. Выполненные нами исследования [1] показывают, что основные динамические процессы Земли определяются взаимодействием автоволновых полей геосферных оболочек.

Первые локальные плюмы, возникшие в результате автоволнового взаимодействия, появились практически одновременно с образованием геосферных оболочек. Локальные плюмы осуществляли транспорт энергии и вещества как из нижних геосфер к верхним, так и в обратном направлении. У многих из этих плюмов была короткая история, особенно на первых этапах развития Земли, когда в результате действия нестационарных энергетических потоков, сильной неустойчивости, хаотизации происходило разрушение сформировавшихся диссипативных структур.

Однако есть все основания полагать, что в результате объединения энергии восходящих плюмов уже на ранней стадии развития Земли образовался горячий суперплюм, который и сегодня выделяется по данным сейсмотомографических исследований. Этот суперплюм существует более 4 млрд лет. Он всегда занимал и занимает определенное место в структуре Земли и всегда размещался в том географическом блоке, где сейчас находится южная часть Тихого океана. Этот суперплюм с ранней истории Земли всегда определял

В статье излагается автоволновая концепция динамики Земли. Показано, что энергетика автоволновых взаимодействий приводит к формированию диссипативных структур. Глобальные диссипативные структуры обеспечивают основной транспорт горячего мантийного материала из недр Земли к ее поверхности, определяют интенсивность субдукции и транспорт холодного литосферного материала в глубь Земли.

The article presents an autowave concept of the Earth's dynamics. It is shown that the energetics of autowave interactions brings about the development of dissipative structures. Global dissipative structures provide for the principal transport of hot mantle material of the Earth to its surface, determine the intensity of subduction and transport of cold lithosphere material deep into the Earth.

динамику и строение этого блока Земли, а позднее, после образования Тихого океана, специфику его строения и развития.

В истории Земли, по-видимому, были периоды разной энергетической активности суперплюма, но, очевидно, никогда не создавалась ситуация, которая могла привести к его разрушению. В самом деле, однажды возникнув, диссипативные структуры при наличии необходимых усло-

вий (постоянный приток энергии, отсутствие внешних деструктивных воздействий и т. п.) могут существовать сколь угодно долго. В недрах Земли такие условия имеются.

После образования континентальной коры около 4,0 млрд лет назад, а особенно в позднем архее, когда толщина континентальной коры значительно увеличилась, меняется механизм транспорта вещества и энергии и возникают принципиальные различия между восходящими и нисходящими плюмами. В первую очередь появляются различия в их температуре, плотности и механизме транспорта.

Нисходящие плюмы — это, прежде всего, холодные потоки, которые обеспечивают реализацию механизма субдукции. Холодный литосферный материал, затягиваясь в зонах субдукции, погружается до границы верхней мантии. Увеличение энергетической эффективности нисходящих потоков приводило на разных этапах развития Земли к формированию нисходящего суперплюма, что обеспечивало "стягивание" континентов в единый суперконтинент.

Следует подчеркнуть, что интенсивность нисходящих движений резко снижалась при достижении определенной критической массы холодного литосферного материала. Нисходящий плюм при захвате холодной океанической коры изменяет свою структуру, энергетику и вещественный состав. В связи с этим в нисходящей диссипативной структуре на больший или меньший временной интервал (в зависимости от объема захваченного материала) нарушается ревербераторная структура, что, безусловно, отражается на интенсивности субдукции и темпах транспорта хо-

лодного материала океанической литосферы. Этот материал накапливался около границы нижней и верхней мантии и нарушал стабильность неравновесной диссипативной структуры нисходящего плюма. В результате резко уменьшались "затягивающие" свойства воронки суперплюма, что приводило к преобладанию расталкивающих континенты сил. Кроме того, переход автоструктуры холодного плюма в бифуркационный этап развития открывает возможность для образования локальных горячих плюмов в результате взаимодействия автоволновых полей верхней мантии и астеносферы или верхней мантии и неоднородностей тектоносферы, следствием чего является активизация сил по разъединению континентов.

В истории Земли никогда ни один континент или суперконтинент не размещался в пределах горячего суперплюма и всегда какой-нибудь континент или Пангея в целом занимали основную позицию над глобальным нисходящим потоком холодного суперплюма.

Таким образом, динамику Земли на протяжении практически всей ее истории определяли две глобальные структуры — восходящий горячий суперплюм и периодически формирующийся нисходящий холодный суперплюм. И если первый всегда размещался в пределах современной южной части Тихого океана, то положение второго постоянно менялось. Нисходящий суперплюм "запускал" в действие механизм "стягивания" континентов и определял формирование очередной Пангеи. Когда холодный суперплюм прекращал свою деятельность, то вместо него возникали несколько нисходящих холодных плюмов, которые обеспечивали субдукцию под разошедшимися континентами и стремились к объединению. Подобные процессы приводили к формированию нового холодного суперплюма, что обеспечивало образование очередной Пангеи.

Как указывают Л. И. Лобковский [2], В. П. Трубицын и В. В. Рыков [4], в структуре Земли отчетливо выделяется граница между нижней и верхней мантиями на глубине 670 км. На этой глубине отмечается фазовый переход гаммашпинели в постшпинель. Этот эндотермический переход тормозит тепловую конвекцию в мантии и создает полупроницаемый барьер для восходящих и нисходящих мантийных течений. В самом деле, данные сейсмографических исследований показывают концентрацию мантийного вещества на глубине 670 км. В своей основе это — холодный материал океанической литосферы, затянутый на глубину в зонах субдукции. Для того чтобы преодолеть эту границу, субдукционный материал должен приобрести параметры мантийного вещества на этой глубине. На это ему требуются десятки миллионов лет.

Другое дело — горячие восходящие плюмы. Высокие энергетические параметры позволяют этим плюмам достаточно легко преодолевать границу между

нижней и верхней мантиями. Глобальные мантийные горячие плюмы, или суперплюмы, возникшие на границе ядро—нижняя мантия и объединяющие энергию всех геосферных оболочек, беспрепятственно проходят границы геосфер, в том числе границу на глубине 670 км. Они имеют общую структуру, формирующуюся в результате взаимодействия автоволновых процессов геосферных оболочек.

Автоволновая (вихревая) структура суперплюма обеспечивает ему иную реологию, чем реология окружающего его мантийного вещества. Компоненты кручения и энергетические параметры определяют меньшую вязкость и плотность, более высокую температуру вещества суперплюма. Эта граница может быть препятствием для локальных горячих плюмов, периодически возникающих в нижней мантии и не сформировавших еще устойчивую диссипативную структуру, а также для временных, короткоживущих, плюмов, возникающих в результате взаимодействия автоволновых полей латеральных неоднородностей, которые выделяются по данным сейсмотомографических исследований в интервале глубин 1000...1500 и 2100...2700 км [3].

Методы сейсмической томографии позволяют установить под Африканским континентом наличие достаточно масштабного горячего восходящего мантийного плюма. Японские геофизики, отдавая должное масштабам плюма, называют его суперплюмом. Однако данные тех же исследований фиксируют этот плюм в интервалах 2565,4...2900,0 и 2253,1...2566,4 км. В более высоких горизонтах нижней и верхней мантий отмечается лишь аномальный прогрев мантийного вещества.

По-видимому, под Африканским континентом идет формирование мощного плюма, возникшего на границе ядро—нижняя мантия. В структуре Земли это — второй по масштабам плюм, который, хотя и имеет длительную историю (первые сотни миллионов лет), находится еще в стадии формирования. Возможно, со временем это будет столь же масштабный плюм, как и древний суперплюм, размещающийся в южной части Тихого океана.

В настоящее время под Африкой осуществляется прогрев субконтинентальной мантии, идет формирование локальных, или дочерних, горячих плюмов, которые размещаются в пределах верхней мантии. Деятельность этих плюмов, очевидно, приведет к расколу Африканского континента.

Африканский суперплюм в будущей динамике Земли станет определять специфику нового океана, и уже никогда ни один континент не будет размещаться в зоне его действия.

Отмечаемые по данным сейсмотомографических исследований многочисленные и разномасштабные локальные (или, по другой терминологии, "дочерние" или вторичные) горячие плюмы возникают также в результате автоволнового взаимодействия. Эти авто-

структуры могут размещаться в пределах как отдельных сферических оболочек, так и объединять энергетический потенциал нескольких оболочек. Как правило, они имеют меньшую энергетику, являются относительно короткоживущими (десятки миллионов лет). Изменения внешних условий или внутренней структуры и энергетики могут привести эти диссипативные структуры в состояние крайней неустойчивости и разрушить их.

Локальные плюмы определяют все многообразие энергетического и теплового воздействия на литосферу (формирование континентальных рифтовых систем, неотектонические вертикальные движения, внутриматериковые горизонтальные перемещения, активные магматические процессы и т. д.).

Воздействие локальных горячих плюмов на континентальную литосферу отличается крайним разнообразием. Этот процесс зависит от масштаба поднимающегося плюма, его энергетических возможностей, времени и интенсивности его воздействия на атакуемые участки литосферы: температуры, состава и плотности мантийного вещества, толщины и реологических свойств астеносферы и мантийной литосферы, состава и плотности пород, слагающих континентальную кору.

Формирование горных сооружений (орогенов) связывается с различными процессами на границах плит. Например, с латеральным замещением холодной мантийной литосферы горячим астеносферным веществом со стороны оси спрединга [Steckler, 1985], с изгибанием вверх литосферы на краях образовавшихся рифтовых впадин [Weissel, Karner, 1989; Chery et al., 1992] и с поверхностной эрозией в приподнятых областях вблизи бывшего раскола литосферы [Kooi, Beaumont, 1996].

Как подчеркивает Л. И. Лобковский [3], энергетических возможностей спрединга явно недостаточно для формирования мощных горных сооружений. Именно энергетика автоволнового взаимодействия определяла и определяет "лик Земли". Вихревые движения в восходящих и нисходящих потоках контролируют образование соответственно горных сооружений и депрессий. К энергии спрединга и субдукции

добавляется энергетика мантийных плюмов, концентрирующих энергию автоволновых полей геосферных оболочек.

Таким образом, динамика Земли определяется взаимодействием автоволновых полей геосферных оболочек. Энергетика автоволновых взаимодействий приводит к формированию диссипативных структур, которые в геологии получили название плюмов.

Глобальные диссипативные структуры обеспечивают основной транспорт горячего мантийного материала из недр Земли к ее поверхности, определяют интенсивность субдукции и транспорт холодного литосферного материала в глубь Земли.

При этом восходящие горячие плюмы разбивают единый континент на блоки, а нисходящие плюмы или холодный суперплюм снова стягивают их воедино. Процесс этот имеет циклический характер, а успешность объединяющих и разъединяющих процессов определяется внутренней динамикой Земли. На поверхности Земли эти процессы отражаются в особенностях перемещения континентов. Причем свой вклад вносят не только суперплюмы, но и менее масштабные плюмы, способные изменить направления движения континентов, и именно они определяют локальные динамические процессы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриевский А.Н. *Фундаментальные проблемы геологии нефти и газа. Академические чтения.* — М.: Государственная академия нефти и газа им. И. М. Губкина, 1995. — 15 с.
2. Лобковский Л.И. *Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит.* — М.: Наука, 1988. — 251 с.
3. Лобковский Л.И., Котелкин В.Д. *Двухъярусная термомеханическая модель конвекции в мантии и ее геодинамические следствия.* — М.: ГЕОС, 2000. — С. 29—53.
4. Трубицын В.П., Рыков В.В. *Мантийная конвекция с плавающими континентами.* — М.: ГЕОС, 2000. — С. 7—28.
5. Maruyama S., Kumazawa V., Kawakami S. *Towards a new paradigm on the Earth's dynamics // J. Geol. Soc. Japan.* — 1994. — Vol. 100. — P. 81—102.
6. Maruyama S. *Plume tectonics // J. Geol. Soc. Japan.* — 1994. — Vol. 100. — P. 24—49.