

# Тектоника плит: "за" и ... "за"

© Я. М. Хазан, 2014

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 1 июля 2014 г.

Представлено членом редколлегии В.И. Старостенко

"... Subsequently, he examined a transect across the Paleoproterozoic Coronation geosyncline and argued in several influential papers that plate tectonics was active at that time and remarkably similar to today's regime. These papers are even more remarkable when we consider that it was at a time when modern-day plate tectonics had still not been widely accepted."

*Bowring S.A., Paul F., 2011. Hoffman receives 2010 Walter H. Bucher Medal. Eos. 92 (8), 67—68.*

В недавнем номере "Геофизического журнала" была опубликована статья В. В. Гордиенко [2013], посвященная критике тектоники плит. В статье (цитирую аннотацию) "... показано противоречие гипотезы основным фактам геологической истории и геофизическим данным" и объяснено, почему. Тем не менее, эта концепция (я буду употреблять этот термин вместо термина "гипотеза", предпочитаемого В. В. Гордиенко) пользуется, мягко говоря, значительной популярностью. Сославшись на отрицательное мнение о тектонике плит В. В. Белоусова и В. Е. Хаина, В. В. Гордиенко добавляет: "Наши современники, иногда признавая, что "подтягивают" свои результаты под ГТП (гипотезу тектоники плит — Я. Х.), ссылаются, кроме мнения признанных лидеров, на невозможность иначе получать гранты, печататься в престижных изданиях, отклоняющих статьи при одном упоминании геосинклинали. Впрочем, этические проблемы возникают у людей с нормальным геологическим образованием. Геологи поколений, выросших в период господства ГТП, не получили от своих преподавателей сведений об простейших геологических фактах и методах их анализа". Это мнение завершается постановкой диагноза: "Свойства человеческой природы, способствовавшие заражению членов мирового геологического сообщества бациллой плитовой тектоники, не из лучших".

Я не согласен с мнением В. В. Гордиенко по сути (о чем ниже), но, в первую очередь, по форме. Я не считаю правильным отзываться о коллегах в таком, скажем прямо, уничижительном тоне. Но поскольку это мнение опубликовано, я считаю необходимым подчеркнуть, что оно поддерживается, как минимум, не всеми.

Обращает на себя внимание и то, что в "диагнозе" В. В. Гордиенко нет и намек на попытку сделать оговорку хотя бы в стиле песни из известного сериала "Если кто-то кое-где у нас порой честно жить не хочет ...", т. е. следует полагать, что инвектива В. В. Гордиенко относится ко всем членам геолого-геофизического сообщества. Поэтому с формально-логической точки зрения было бы достаточно привести один пример, противоречащий утверждению в статье [Гордиенко, 2013]. Я одним примером не ограничусь, но упомяну очень показательный случай.

В эпиграфе цитируется заметка в газете "Eos" Американского геофизического союза (AGU), в которой сообщается о награждении Пола Феликса Хоффмана, известного канадского геолога с более чем сорокалетним полевым стажем, медалью им. Уолтера Г. Бухера. Диагноз, поставленный В. В. Гордиенко, не может иметь к П. Ф. Хоффману никакого отношения, несмотря на то, что Хоффман является сторонником тектоники плит. Последнее следует из того, что, как сообщается в упомянутой публи-

кации, П. Ф. Хоффман, основываясь на изучении палеопротерозойской геосинклинали Коронэйшн, опубликовал несколько вызвавших значительный резонанс статей, в которых показал, что в палеопротерозое плитовая тектоника уже была вполне активна, причем функционировала в режиме, замечательно (так в оригинале) похожем на современный. При этом подчеркивается, что эти статьи были опубликованы до того, как плитовая тектоника стала общепринятой. Иначе говоря, П. Ф. Хоффман свои штудии проходил до эпохи тектоники плит, а следовательно, не мог ни подхватить вирус тектоники плит, ни опереться на мнение влиятельного плитотектонического авторитета ввиду отсутствия как первого, так и второго.

Я обнаружил эту публикацию, когда попытался выяснить, существует ли табу на понятие "геосинклиналь", как утверждается в статье В. В. Гордиенко. Оказалось, что в 2013—2014 гг. в журналах, издаваемых AGU и Elsevier, термины "geosyncline" и "geosynclinal" упоминались в более чем 200 статьях. Выборочная проверка показала, что в подавляющем большинстве термины встречались в названиях статей, включенных в список литературы. В некоторых случаях термины использовались просто как географические названия (например, Adelaide geosyncline) без апелляции к их конкретному геологическому наполнению. Наконец, в нескольких статьях термины характеризовались как устаревшие и не соответствующие их геологическому содержанию (вроде того, что "геосинклиналь вообще не является синклиналью" [Curry, 2014]). Таким образом, действительно существует тенденция отказа от использования термина "геосинклиналь" в том смысле, который в него вкладывался, когда он вводился в 60-х—70-х годах XIX в. Я не являюсь специалистом в этом вопросе, поэтому просто ограничусь ссылкой на недавний обзор [Curry, 2014], в котором, в частности, обсуждается терминология.

В той же фразе в статье В. В. Гордиенко, в которой идет речь о "запрете на геосинклиналь", говорится о подтасовке данных и результатов, деспотизме авторитетов, заангажированности редколлегий и комитетов, распределяющих финансирование. Все это, конечно, существует. Я сам неоднократно встречал статьи авторитетных авторов с грубейшими ошибками, которые не прошли бы и мало-мальски жесткое рецензирование, если бы автор был аспирантом или постдоком. В "Nature" регулярно появляются публикации, в которых идет

речь о таких инцидентах. Я, однако, согласен с героем другого популярного сериала в том, что "Правопорядок в стране определяется не наличием воров, а умением властей их обезвреживать!" В науке, прежде всего западной, "правопорядок" определяется тем, что предпринимаются сознательные и значительные усилия, чтобы исключить такие явления. Дело в том, что все понимают место науки в обществе. На науку, в особенности фундаментальную, деньги выделяют те, кто чаще всего понятия не имеет о важности задач, которые ставятся, и не может судить о получаемых результатах. Все опирается на доверие к науке. Каким должно быть это доверие, чтобы, например, европейские структуры одобрили выделение 10 млрд долл. на строительство Большого адронного коллайдера под смутные обещания то ли открыть, то ли закрыть никому не известный и никому не понятный бозон Хиггса?

Основой этого доверия является непрерывный и жесткий внутренний самоконтроль науки. Существует установка на тщательное рецензирование рукописей и заявок на гранты более чем одним рецензентом, которое по желанию рецензента может быть анонимным. Все проверяется много раз. Все эксперименты, включая численные, и наблюдения повторяются (если это возможно) разными группами, на разной аппаратуре. Все базы данных должны быть открыты. Все методы должны быть скрупулезно объяснены в деталях, достаточных для воспроизведения результатов. В журналах AGU открытость данных и методов является обязательным условием публикации, и обязанность проверять это возлагается на рецензентов и редакторов. Никакие ошибки или, тем более, фальсификации не остаются незамеченными. В современной науке ничего скрыть невозможно. Рано или поздно все становится известным. При нарушении этических норм оргвыводы бывают весьма жесткими. Например, в "Nature" недавно сообщалось о том, что в одном из американских университетов стало известно, что в статьях семилетней давности одного из сотрудников (биолога) результаты были фальсифицированы. Помимо репутационных и прочих неизбежных потерь, его заставили вернуть все деньги по грантам, которые он получил за последние десять лет.

Оценка деятельности современных ученых, определяющая, в частности, доступ к финансированию, грантам, редактированию трудов конференций, изданий энциклопедического типа, планированию исследований, консультиро-

ванию правительственных и производственных организаций, наконец, высокооплачиваемым должностям, во многом зависит от их репутации и количества ссылок на их публикации. Как мне кажется, никакой ученый не станет рисковать своей репутацией, подтасовывая результаты, чтобы уложиться в рамки некоторой даже самой популярной концепции. Наоборот, если у него есть серьезные возражения против концепции, он с удовольствием ее "утопит", заработав тем самым всплеск количества ссылок на свои работы, интерес к себе, а может быть, и место в учебнике. В конечном итоге, разработка, изучение, подтверждение или опровержение некоторой концепции — это нормальный путь эволюции науки.

Это я к тому, что мне трудно поверить в существование "заговора", направленного на сокрытие методических "проколов" в палеомагнитных датировках образцов с океанского дна. Отбором образцов и обработкой материалов занималось большое количество исследователей. Если бы кто-то из них заметил серьезные методические погрешности или нестыковки в своих, а тем более чужих данных, это немедленно стало бы известно, тем более, что оценка работы тех, кто выполнял эти исследования, никак не зависит от того, подтверждают ли их данные тектонику плит или опровергают ее. Вероятность массового заблуждения я оцениваю как очень низкую. Но даже если оно и есть, то, чтобы доказать это, необходимо публиковать конкретную критику в изданиях, где обнарудутся палеомагнитные данные, и докладывать на тех конференциях, где они обсуждаются. Публикация этой критики на русском языке в "Геофизическом журнале", который палеомагнитчики, занимавшиеся датировками океанских образцов, скорее всего, не читают, ничего не меняет.

Переходя, наконец, к обсуждению возражений В. В. Гордиенко против плитовой тектоники "по сути", хочу сказать, что обсуждать имеет смысл только особенности концепции, являющиеся критическими для ее жизнеспособности. Практику применения концепции и различные вариации и дополнения обсуждать нет смысла — из правильности самой концепции не обязательно следует правильность умозаключений, которые на ней основываются, а неправильность этих умозаключений не обязательно компрометирует саму концепцию. В конце концов, любая "живая" концепция постоянно мутирует и пускает новые веточки. Это относится и к адвективно-полиморфной

гипотезе (АПГ), развиваемой В. В. Гордиенко. На моей памяти она выглядела совсем иначе. В первых вариантах постулировался мгновенный переворот значительной толщи со всем веществом и температурой. По мнению автора АПГ, именно так возникали инвертированные распределения температуры. Современный вариант АПГ с "квантами тектонического действия" появился значительно позже.

Критические точки тектоники плит — это спрединг океанского дна и субдукция или, более точно, система спрединг—субдукция, ибо одно без другого невозможно. Как ни странно, но в статье В. В. Гордиенко не упоминаются два факта, которые, на мой взгляд, являются наиболее сильными аргументами в пользу тектоники плит.

Первый факт — это существование на противоположных берегах Атлантического океана (Бразилия, Уругвай, Парагвай в Южной Америке и Намибия, Ангола в Африке) базальтовых излияний Парана и Этендека, которые по изотопным данным синхронны (возраст около 130 млн лет), а по геохимическим являются частями когда-то единой провинции. Я ограничусь ссылкой на одну обзорную статью [Peate, 1997], воспользовавшись списком литературы, в которой желающие разобраться в проблеме могут отыскать всю необходимую информацию (более поздние публикации на эту тему можно найти в "Journal of Petrology"). Прекрасное совпадение радиоизотопных датировок Парана-Этендека и независимо определенного возраста Атлантики по палеомагнитным изохронам [Müller et al., 2008] заставляет предположить, что если В. В. Гордиенко прав, то существует совместный всемирный "заговор" палеомагнитчиков и геохимиков.

Второй факт — это косейсмические движения во время сильных землетрясений в зонах субдукции, таких как Чилийское (1960 г.), Аляскинское (1964 г.), Суматринское (2004 г.), Японское (2011 г.). Горизонтальные косейсмические движения при этих землетрясениях всегда направлены от океана к континенту (что подтверждается и палеосейсмологией), имеют огромную амплитуду (десятки метров — в Японии, например, 30 м). Вертикальные смещения достигают 10 м и зонированы — четко наблюдаются две полосы, параллельные берегу, т. е. перпендикулярные направлению горизонтальных перемещений. В полосе, расположенной дальше от материка, перемещения направлены вверх, а во второй — вниз. Это зонирование согласуется с представлением об

упругой отдаче, при которой освободившийся край континентальной плиты подскакивает вверх, порождая цунами. Разлом вспарывается в направлении, перпендикулярном горизонтальному смещению (в линейной упругой механике разрушения это называется трещиной поперечного сдвига или трещиной типа II), и пробегает расстояния в сотни или тысячи километров. Вся эта картина идеально совпадает с тем, что можно ожидать, если океаническая плита поддвигается под континент, затягивая край континентальной плиты, который освобождается, когда достигается порог разрушения. Следует также сказать, что вопреки мнению Л. М. Балакиной, на которое ссылается В. В. Гордиенко, есть консенсус в отношении того, что при этих землетрясениях активируется субгоризонтальная нодальная плоскость, а не субвертикальная. Можно, конечно, предположить, что и в этом случае существует "заговор" сейсмологов с целью внедрить вирус плитовой тектоники в геолого-геофизические мозги, но мне кажется, что поскольку разлом выходит на поверхность, то более разумным было бы опереться на наблюдаемый явно субгоризонтальный характер смещений по нему.

Как и выше, при обсуждении вопроса о существовании спрединга, я приведу только одну ссылку [Haeussler et al., 2014]. Это публикация в газете "Eos" Американского геофизического союза посвящена 50-летию Аляскинского землетрясения 27 марта 1964 г., после которого многое выяснилось относительно того, как происходят такие землетрясения и как они генерируют цунами. Как следствие, Аляскинское землетрясение стало поворотным пунктом в тектонике плит, которая до этого была скорее красивой гипотезой, чем общепризнанной концепцией, и физике цунами, и за ним последовало интенсивное развитие исследований и программ, направленных на снижение сейсмической опасности и опасности цунами. По моей просьбе редакция в этом выпуске журнала помещает перевод этой публикации. Она интересна тем, что в ней речь идет о самом начале интенсивного развития тектоники плит и есть ряд ссылок, которые позволят заинтересованному читателю проследить, как это происходило.

В тектонике плит есть, конечно, нерешенные проблемы. В настоящее время наиболее трудным и наиболее важным является, по-видимому, вопрос о том, как запускается тектоника плит. В статье В. В. Гордиенко он формулируется как вопрос о том, почему на одних

границах между океаническими и континентальными плитами (циркум-тихоокеанский пояс) зоны субдукции формируются, а на других (Атлантический регион) они отсутствуют. Существование этой проблемы подчеркивается тем, что из двух очень похожих планет — Земли и Венеры — на первой функционирует тектоника плит, а на второй она не наблюдается. Предложено несколько вариантов решения этой проблемы, но, насколько мне известно, достаточно убедительный ответ пока не найден.

В заключение хочу подчеркнуть, что наиболее принципиальным вопросом глобальной тектоники является вопрос о возможности крупномасштабных течений в мантии. В настоящее время есть согласие в том, что горные породы при температурах, типичных для мантии Земли, и низких скоростях деформации ведут себя квазивязким образом (физический механизм деформации — ползучесть) (например, [Karato, 2008]). Как следствие, в мантии не только возможны, но и неизбежны крупномасштабные течения. Насколько я могу судить, квазивязкое поведение де-факто предполагается и в адвективно-полиморфной гипотезе, которая постулирует перемещение значительных масс твердого вещества, что возможно только за счет ползучести.

"Цель" глобальных течений — обеспечить теплоотвод из планеты. Существует всего два основных режима теплоотдачи. При первом из них, который по-английски называется "stagnant lid convection", вся планета покрыта жесткой литосферой, не принимающей участия в конвективном перемешивании (Венера). Теплоотдача происходит через литосферу кондуктивным образом. При втором варианте — тектонике плит — горячий материал выносится на поверхность и охлаждается, а затем возвращается в мантию (Земля). С точки зрения теплового баланса эти два варианта различаются тем, что теплоотвод в режиме тектоники плит значительно более эффективен, чем в режиме глобальной жесткой литосферы. С этим может быть связано еще одно отличие Венеры от Земли — на Венере отсутствует магнитное поле. Поскольку последнее генерируется конвекцией во внешнем ядре планеты, то при низком общем теплоотводе вывод тепла из ядра, вероятно, недостаточен для поддержания конвекции в нем на уровне, необходимом для генерации поля.

Наконец, следует сказать, что развитие глобальной тектоники сделало геофизику значи-

тельно более физической наукой, чем это было в доплитотектоническую эпоху, распространило область решаемых задач с поверхностных слоев планеты на весь ее объем. К сожалению, в настоящее время наших знаний и технологии моделирования недостаточно для

создания моделей, вполне удовлетворяющих требованиям геологов. Однако я не вижу оснований сомневаться в реальности глобальных течений в мантии и процессов, являющихся характерными особенностями тектоники плит, т. е. системы спрединг—субдукция.

### Список литературы

- Гордиенко В. В. О гипотезе тектоники плит. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 6. С. 72—101. [Gordienko V. V., 2013. On plate tectonics hypothesis. *Geofizicheskiy zhurnal* 35(6), 72—101 (in Russian)].
- Curray J. R., 2014. The Bengal depositional system: From rift to orogeny. *Marine Geology*. doi:10.1016/j.margeo.2014.02.001.
- Haeussler P., Leith W., Wald D., Filson J., Wolfe C., Applegate D., 2014. Geophysical advances triggered by 1964 Great Alaska earthquake. *Eos* 95(17), 141—142.
- Karato S., 2008. Deformation of Earth materials: An Introduction in the Rheology of Solid Earth. Cambridge: Cambridge University Press, 463 p.
- Müller R. D., Sdrolias M., Gaina C., Roest W. R., 2008. Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the world's ocean crust. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 9, Q04006. doi:10.1029/2007GC001743.
- Peate D. W., 1997. The Paraná-Etendeka Province. In: *Large igneous provinces: continental, oceanic, and planetary flood volcanism*. Eds J. J. Mahoney, M. F. Coffin. Am. Geophys. Union Geophys. Monogr. 100, 217—246.