

ЧАСТЬ 4. РОТАЦИОННЫЕ И ВИХРЕВЫЕ ДВИЖЕНИЯ КАК «ДВИГАТЕЛИ» ЭНДОГЕННЫХ И ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Все – от галактик и звездных скоплений
И до мельчайших – в основе – частиц –
Все бесконечного мира явления –
Это спирали, ротации... Вихрь!
Это пакет волновой электронов
(или частиц изначально других),
Что по спирали от центра любого
Вихрем в реальный врывается мир.
Так уж случилось, что в средах пластичных –
Газ или жидкость, что быстро течет,
Вихрь развивается здесь динамично –
Видно воочию этот полет.
Видим циклоны и антициклоны,
Кольца и ринги и видов других,
Были теченьем захвачены волны:
И Россби, и, Стокса (как вид краевых),
И Кельвина волны... Их разнообразье
Любого, узревшего их, удивит...
И так поражают двухлетние связи,
Которыми воздух (*атмосфера*) с водою (*океан*) прошит.
И кажется, ясно уже без сомненья,
Что волны и вихри есть в твердых телах...
Из них литосфера – не исключенье –
Ротация действует в полный размах.
Известны следы вихревого движенья
На Марсе, Венере, планетах других...
Все признаки эти, все эти явления –
Единство природы увидим мы в них.
Будь твердое, жидкое, газообразное –
Система – одна, и законы – одни.
Процессы же могут быть самыми разными,
Но вихри, по сути, скорее, они.
Вращенье планеты и сейсмодектоника,
Процесс в атмосфере, нутации полюса,
И Солнца активность, и уровень моря,
Все связано в узел, и спорить не стоит!
Система едина – планета Земля –
И суша, и небо, а также моря...
Колеблется все, а эффекты – в Эль Ниньо,
Движениях полюса, также в Ла Ниньо.
Но среды – реальны, задача ясна –
Ну да, Дирихле – так зовется она.
Движенье – вращенье и важен момент...
И как замечателен этот момент!

ГЕОДИНАМИКА И ПРОБЛЕМА ДИРИХЛЕА.В. Викулин^{1,2}, Г.М. Водинчар^{2,3}, Тверитинова Т.Ю⁴¹⁾ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, vik@kcs.iks.ru*²⁾ *Камчатский государственный университет, Петропавловск-Камчатский*³⁾ *Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН*⁴⁾ *Московский государственный университет, Москва*

Аннотация. Приводится обзор проблемы фигур равновесия вращающихся гравитирующих жидкостей. Ставится и аналитически решается задача об упругом поле, связанном с вращением блокового твердого тела; проводится построение волновой ротационной геодинамической модели Земли. Показывается, что наблюдаемые движения сейсмофокальных блоков, тектонических плит, систем сдвиговых деформаций и структур растяжения – сжатия могут быть описаны в рамках такой модели. Высказывается предположение, что модельные ротационные тектонические движения соответствуют вихревым решениями задачи Дирихле для Земли. Обсуждаются проблема ротационной вихревой геодинамики (Физики Земли) и проблема трения.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с задачами, стоящими перед метеорологией и океанологией, в последнее время резко повысился интерес к проблеме вихревых гидродинамических движений. Получены новые фундаментальные результаты для Земли и новые данные для атмосфер других планет солнечной системы [1, 3, 38, 39]. Накопленный материал показывает, что основными движениями газовых и жидких оболочек планет являются определяемые их угловыми скоростями вращения циклоны, антициклоны, кольцевые течения, ринги и широкий спектр захваченных волн: Стокса (краевые волны), Кельвина, Россби и др. На основании большого количества фактов сделано обобщение о том, что океан и атмосфера являются, по сути, единой системой, что наиболее отчетливо проявляется эффектом квазидвухлетней цикличности атмосферы. Показано, что многие из наиболее заметных межгодовых колебаний метеорологических элементов в атмосфере и гидрологических величин в океане связаны с этим явлением [38].

Влияние ротации на процессы, протекающие в недрах планеты, в том числе, на состояние и форму ее поверхности – несомненно. Геофизические [21, 48] и геологические [26, 28, 40, 41, 47] данные тоже приведены в многочисленных публикациях [14, 45, 46]. Более того, в науках о Земле на фоне «не успехов» Новой глобальной тектоники [31, 35, 42] резко повысился интерес именно к проблеме вихревых структур в

литосфере [14, 31, 32, 40, 47]. Вихревые структуры обнаружены и на поверхностях других быстровращающихся планет солнечной системы и их спутников [14]. Все эти данные позволяют «твердотельные» геолого-геофизические движения и движения океана–атмосферы объединить в один ряд явлений. Действительно, на это указывают следующие материалы.

«Твердая» Земля в течение геологических отрезков времени с достаточно хорошим приближением может рассматриваться как жидкое тело.

Далее, известно много данных [7], указывающих на существование взаимосвязи между сейсмотектоническими процессами, вариациями вращения планеты, нутацией ее полюса, с одной стороны, и процессами в атмосфере, количеством осадков и уровнем моря – с другой. Оказалось, что все эти планетарного масштаба процессы взаимосвязаны, в свою очередь, с «внешними» факторами: солнечной активностью, гелиофизическими и космическими параметрами, эклиптической долготой Луны.

Было установлено [39], что не только газово-жидкая оболочка планеты представляет собой единую систему. Такой, по своей сути, является система Земля–океан–атмосфера, компоненты которой совершают согласованные колебания, влияя друг на друга. Такие колебания проявляются в виде движения полюсов Земли, эффектов Эль Ниньо и Ла Ниньо в океане, Южного (в субтропической зоне южного полушария между Тихим и Индийским океанами) колебания масс воздуха и отмечавшейся выше квазидвухлетней цикличности атмосферы.

В последние десятилетия получены фундаментальные результаты и в теории гравитационного потенциала – одном из важнейших разделов математической физики и геофизики [20, 49]. Успех связан, в основном, с преодолением кризиса в теории фигур равновесия, выразившегося в недооценке и в забвении проблемы Дирихле – задачи о движении вращающейся гравитирующей жидкости, фигура которой в любой момент остается эллипсоидальной [53]. Для различных сред (звезды, их скопления, галактики, ядра планет) в рамках задачи Дирихле были установлены новые решения Римана-Дедекинда [36], которые подтвердили вихревую природу наблюдающихся в этих средах движений. Были получены принципиально новые данные о физических свойствах исследованных сред, таких как вязкость, сжимаемость, напряженность магнитного поля и др. Таким образом, становится все более ясным и определенным понимание того, что «вихревыми» решениями задачи Дирихле – фундаментальной проблемы механики о фигурах равновесия [20, 23], по сути, являются *все* движения вращающейся гравитирующей *реальной* жидкости – вязкой, сжимаемой и движущейся во взаимодействии с различными полями.

Приведенные данные позволяют все геолого-геофизические данные о вихревых движениях атмосферы, мирового океана и структурах «твердой» Земли рассмотреть с позиции механической задачи Дирихле, вихревые решения которой отождествлены с движениями, происходящими в реальных средах, в том числе и в геофизической среде.

Представленная статья является обзорной и постановочной. Основная цель статьи, во-первых, обратить внимание на наличие *общих «вихревых»* свойств у движений, наблюдающихся в совершенно разных по своим физическим свойствам средах: в атмосфере, мировом океане и «твердых» слоях Земли, *вращение* которой и позволяет объединить их в один класс явлений. И, во-вторых, указать на возможность исследования таких движений в рамках задачи Дирихле. В этом смысле статья продолжает «вихревую» ротационно-волновую направленность работ [5–14, 45, 46, 57].

1. ФИГУРА РАВНОВЕСИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ТЕЛ (Краткий обзор проблемы)

Обстоятельные обзоры проблемы содержатся в классических работах [4, 23]. Согласно [20, с. 15–37], условно можно выделить следующие этапы, характеризующие состояние теории фигур равновесия вращающейся гравитирующей жидкости.

Начальный Ньютонский этап можно связать с появлением первых фактов. В 1672 г. Рише обнаружил, что часы, верно отсчитывающие секунды в Париже (49° с.ш.), отстают приблизительно на 2,5 мин. в сутки в Кайенне (5° с.ш.), где он вынужден был укоротить маятник более чем на линию (1/12 французского дюйма). Аналогичное отставание часов позднее было замечено Вареном и Де Хэем в Горэ (15° с.ш.) и в других местах. Один из членов Парижской академии предположил, что на экваторе тело весит меньше, чем на полюсах. В 1690 г. Гюйгенс заметил, что линия отвеса направлена нормально к поверхности вращающейся самогравитирующей жидкости. Кроме того, он оценил эллиптичность ε Земли [4, с. 18].

Все это стимулировало деятельность Ньютона, который, как сообщают, случайно слышал об открытии Рише на заседании Королевского общества в 1682 г. Ньютон понял, что с помощью закона всемирного тяготения можно исследовать не только движение небесных тел, но и саму их форму. Он поставил знаменитую *задачу о равновесной форме гравитирующей жидкой массы, имеющей вращение вокруг оси. Эта задача и положила начало теории фигур равновесия.* Ньютон первый и определил сжатие однородной Земли: $\varepsilon = \frac{5}{4}m = 229^{-1}$, где m – отношение

центробежной силы к притяжению на экваторе. Это был несомненный успех в познании Земли и других планет.

Ученые думали и о фигуре равновесия неоднородной Земли. Не все моменты этой проблемы во времена Ньютона были ясными и понятными. Например, из популярной в то время вихревой теории Декарта (вспомним великое (!) противостояние ньютонианцев и картезианцев [14, 45]) вытекало, что Земля, в противоположность полученному Ньютоном результату, должна напоминать огурец, стоящий на остром конце.

И только Клеро (1743) верно понял, что все дело в существовании тесной взаимосвязи между сжатием планеты и распределением вещества внутри нее. Ему первому стало ясно, что в рамках альтернативы «сплюснутость однородной фигуры (Ньютон) – сплюснутость полностью переконденсированной фигуры (Гюйгенс)» имеет место неравенство:

$$\frac{5}{4}m \geq \varepsilon \geq \frac{1}{2}m.$$

Ньютоновские «Начала» побудили многих математиков к занятию задачами по фигурам равновесия. Маклорен (1742 г.), последователь Ньютона, решил трудную задачу о притяжении внутри однородного сфероида. Компоненты силы притяжения оказались линейными функциями координат. Это позволило Маклорену красиво обобщить результат Ньютона доказательством, что однородно сжатый сфероид при любой сплюснутости может быть фигурой относительного равновесия вращающейся жидкой гравитирующей массы. В итоге Маклорен не только открывает равновесные жидкие сфероиды, носящие теперь его имя, но и доказывает, что внутри них полная сила тяжести всегда направлена по нормали к поверхности, проходящей через испытываемую точку и подобной границе данной фигуры. Это и есть уровенные поверхности, которые после вышедших в 1743 г. работ Симпсона и Клеро, выражаясь современным языком, являются поверхностями постоянного значения давления и полного потенциала.

Этап Якоби. Период становления теории фигур равновесия был наполнен решением важных математических задач. Лежандр ввел понятие гравитационного потенциала и разработал общую теорию притяжения однородного трехосного эллипсоида, содержащую как частный случай и результаты Маклорена. Лаплас получил знаменитое дифференциальное уравнение второго порядка для потенциала вне гравитирующей массы, а Пуассон – внутри нее. Эйлер сформулировал принципы гидродинамики невязкой жидкости. Лагранж преобразовал всю механику. В результате этого подход к проблеме фигур равновесия, сформулированной Ньютоном, стал более абстрактным, что давало какой-то выигрыш в общности.

Дело касалось самого принципиального момента теории: *обязаны ли фигуры равновесия иметь осевую симметрию? Или могут существовать*

и фигуры с нарушением ее? У самого Ньютона предположение об осевой симметрии было только априорным, однако почти все его последователи считали, что гипотезе об осесимметричности нет альтернативы. Все рассуждали здраво, но, увы, стандартно: раз поле центробежных сил, ответственных за появление сплюснутости вращающейся конфигурации, имеет осевую симметрию, то неизбежно такую же симметрию должна иметь и сама фигура.

Новый толчок к развитию теории дал математик Якоби (1834), указавший на возможность существования однородной фигуры равновесия в форме трехосного эллипсоида – эллипсоида Якоби. В 1884 г. Ляпунов и годом позднее Пуанкаре совершенно независимо друг от друга открывают целый класс новых фигур равновесия, отдаленно напоминающие по форме то груши, то рубчатые дыни, волнистые патиссоны и другие фрукты и овощи. Оказалось, что в окрестности определенных сфероидов Маклорена и эллипсоидов Якоби (их множество бесконечно, хотя и счетное) существуют неэллипсоидальные фигуры относительного равновесия. Строгое доказательство существования неэллипсоидальных форм дано в начале XX века [27].

Это блестящее достижение Ляпунова–Пуанкаре открыло новую страницу в математической физике и геофизике, сформулировало круг любопытных идей и дало толчок к развитию новых аналитических методов. Отсюда берут начало понятия о линейных сериях фигур равновесия, бифуркациях, нелинейных интегральных уравнениях. Был сделан важный шаг от идеальных поверхностей второго порядка к сложной реальности: действительно, у многих галактик, звезд и планет в их форме замечено присутствие третьих и более высоких гармоник [34].

Этап Дирихле [53]. Математик Дирихле внес настолько революционный вклад в основы теории фигур равновесия, что раздвинул сами границы этой дисциплины. Поставленная Дирихле проблема такова. *Дана однородная несжимаемая масса гравитирующей жидкости. Допускают ли законы гидродинамики такое движение этой массы, чтобы ее форма в любой момент оставалась эллипсоидальной, а поле скоростей жидкости – линейным по координатам?* Дирихле поставил задачу и получил уравнения движения такого эллипсоида.

Если до Дирихле говорили исключительно о фигурах относительного равновесия, то теперь вопрос поставлен значительно шире: существуют ли однородные эллипсоиды с внутренними течениями? Фигуры же относительного равновесия – всего лишь частный случай стационарных фигур в проблеме Дирихле. Ключевым в этой проблеме является *условие линейности внутреннего поля скоростей в эллипсоидах*; только оно делает решаемой трудную динамическую задачу учета сил Кориолиса. В итоге поля сил гравитации и Кориолиса и центробежной силы в эллипсоиде оказываются линейными. Суперпозиция этих силовых полей, без которой

проблема Дирихле вообще не имела бы смысла, и порождает обширное семейство возможных конфигураций, в том числе, и вихревые течения.

Дедекиннд отметил *особую симметрию, присущую уравнениям движения эллипсоида Дирихле*. Такое свойство уравнений говорило о том, что возможно и такое движение эллипсоида, конгруэнтного исходному, которое имеет и другое поле скоростей и вращается уже с другой угловой скоростью. Другими словами, такое свойство симметрии уравнений движения *указывает на возможность существования во вращающихся средах вихревых течений*.

Самый значительный вклад в разработку идеи Дирихле внес великий математик Риман. Он впервые рассмотрел стационарные фигуры равновесия и открыл класс двухпараметрических равновесных эллипсоидов, у которых вектор угловой скорости Ω и вектор вихря внутренних течений ζ совпадают с одной из главных осей симметрии фигуры (S-эллипсоиды Римана). Класс S-эллипсоидов состоит из однопараметрических последовательностей фигур с определенным отношением $f = \zeta/\Omega$ (являющимся, как впоследствии будет показано Чандрасекхаром, своеобразным условием «квантования» получаемых решений).

Еще более удивительными являются эллипсоиды Римана [36] с наклонным вращением (например, Земля); у таких фигур ось вращения и вектор вихря в общем случае не совпадают с главными осями эллипсоида, что значительно расширяет спектр возможных решений. (В этой связи следует обратить внимание на несовпадение положений географических и геомагнитных полюсов планеты. Подробнее см. в [46].)

По сути, задача Дирихле явилась дальнейшим на более высоком уровне развитием идеи Декарта (1644) «о вихревых движениях, как основных движениях Материи, как системы Мира» [45].

Первый этап развития проблемы Дирихле прошел под знаком «бури и натиска»: ни Дедекиннд, ни Риман, так много сделавший в различных областях математики и механики, к этой теме после получения ими первых результатов так и не возвращались, и наступило долгое затишье.

Современный этап. Интерес к проблеме Дирихле был возрожден через сто лет работами по динамике звезд, выполненными С. Чандрасекхаром с сотрудниками в 60-х гг. прошлого века. За эти работы С. Чандрасекхар (совместно с У.А. Фаулером) в 1983 г. был удостоен Нобелевской премии. Важные результаты в областях астрономии, космогонии и геофизики, связанные с изучением строения и свойств звезд, звездных систем, галактик, газопылевых облаков и твердого внутреннего ядра Земли, движущегося в вязкой мантийной оболочке, в рамках проблемы Дирихле, были также получены Б.П. Кондратьевым с сотрудниками и другими коллективами исследователей [20]. Эти работы убедительно доказывают существование во вращающихся *реальных* (не идеальных!) системах

внутренних движений, имеющих *вихревую* природу. И важным результатом такого рассмотрения, имеющим принципиальное значение, является возможность получения новых данных о физических свойствах сред, таких как вязкость, сжимаемость, напряженность магнитного поля и др.

Полученные данные позволили модифицировать *классическую* задачу Дирихле для идеальной жидкости и, тем самым, применить ее к движению *реальных* сред [20]. Представляется, что вихревые решения модифицированной проблемы Дирихле будут в большей степени соответствовать движениям, наблюдаемым в реальных средах, включая и геофизическую среду, которая, как известно [14, 25, 33], содержит большое количество разномасштабных вихревых геологических структур и вихревых геофизических движений.

2. ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ В ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКЕ

Первым описал вихревые геологические структуры в 20-х годах прошлого века Ли Сы-гуан [25]. Наиболее ярким и наглядным подтверждением именно такого движения блоков земной коры являются расположенные между тектоническими плитами Пасифик на западе и Наска на востоке микроплиты Пасха и Хуан-Фернандос (протяженностью 300–400 км), изолинии на геофизических картах которых представляют собой вихревые линии. Сами же составители этих карт отмечают, что микроплита Пасха вращается против часовой стрелки со «скоростью около 15° /млн. лет и уже повернулась почти на 90° со времени своего образования» около 5 млн лет назад [15, с. 58–59].

Обширная библиография работ по вихревым и геологическим структурам и геофизическим движениям на настоящий момент приведена в [14, 31, 32, 45, 46, 56]. Важно: кроме физиков [56, 57] и математиков [36, 53] многие *геологи* и *геофизики* – *непосредственные исследователи* этих структур [14, 17, 18, 25, 26, 28, 31, 32, 40, 41, 45–47, 50, 56] отмечали и существование кольцевых, вихревых, спиральных и других структур на поверхности Земли и их ротационную динамику. Такая «живая» и в то же время «разноцветная» картина, по сути, может быть следствием вихревого решения задачи Дирихле.

На ряд несоответствий между существующими геомагнитными представлениями и имеющимися вихревыми, по сути, экспериментальными данными обращено внимание в [29]. Возможность объяснения этих «новых» геомагнитных данных в рамках вихревой геодинамической модели обсуждается в [46].

Для доказательства применимости решений задачи Дирихле к геодинамике, очевидно, достаточно показать возможность существования в реальном (т.е., по М.А. Садовскому [37] и А.В. Пейве [30], блоковом) твердом теле упругих полей, связанных с его вращением.

3. ЭНЕРГИЯ И МОМЕНТ СИЛЫ УПРУГОГО РОТАЦИОННОГО ПОЛЯ

Для блоковых геофизических сред [30, 37] в рамках классической теории упругости была сформулирована и аналитически решена задача о поле напряжений во вращающемся с угловой скоростью Ω твердом теле вокруг упруго связанного с ним небольшого поворачивающегося под действием внутренних источников макрообъема V [5, 7, 12, 57]. Основная идея решения такой задачи заключается в том, что когда V упруго сцеплен с окружающей его средой (матрицей), изменение направления момента импульса макрообъема приводит к появлению вокруг него упругих напряжений, которые, в силу законов сохранения, должны характеризоваться соответствующим компенсирующим моментом силы. Эта идея находится в полном соответствии с известным положением из теории вихрей [44]: «завихренность пропорциональна моменту количества движения частиц». Следует отметить, что наш подход к сеймотектоническим задачам, при котором упругое поле «наследует» механический момент (или завихренность, циркуляцию), в принципе, отличается от подходов других авторов, например [25, 55, 59, 60].

Решение задачи проведем в три этапа [7, 57].

1. Рассмотрим две системы координат, которые повернуты друг относительно друга вокруг общей оси Y на угол β . Ось Z первой (исходной) системы координат параллельна оси вращения тела (Ω) и направлена от южного полюса к северному, ось \tilde{Z} второй системы координат параллельна моменту импульса блока V после его поворота на угол β . Начала обеих систем координат находятся в центре масс области V (рис. 1).

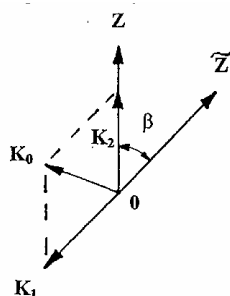


Рис. 1. Две системы координат, повернутые относительно общей оси на угол β . Ось Z параллельна оси вращения тела и направлена от его южного полюса к северному.

Для определения величины упругих напряжений, возникающих вокруг поворачивающегося блока V , применим следующий мысленный эксперимент.

Сначала останавливаем вращение объема V , прикладывая упругие напряжения σ_1 с моментом силы K_1 , направленным в отрицательном направлении оси \tilde{Z} . При этом считаем, что кинетическая энергия вращения области V полностью переходит в потенциальную энергию упругих напряжений σ_1 . Затем, прикладывая упругие напряжения σ_2 с моментом силы K_2 , направленным вдоль оси Z , блок V опять раскручиваем до скорости вращения тела (рис. 1).

Другими словами, когда тормозим область V , ее кинетическая энергия вращения

$$W = 1/2 I \Omega^2 \quad (1)$$

переходит в упругую энергию, определяемую тензором напряжений σ_1 , а когда раскручиваем – мы создаем точно такую же кинетическую энергию, но за счет упругих напряжений σ_2 .

Рассмотрим случай, когда объем V представляет собой однородный шар, момент инерции I которого, как известно, не зависит от выбора оси вращения. Тогда равенство кинетической и потенциальной энергий приводит к соотношению $|K_1| = |K_2|$. При этом разность этих векторов и является искомым моментом силы K_0 , возникающим в результате поворота блока V в неинерциальной системе: $K_0 = K_2 - K_1$. Его модуль получаем из теоремы косинусов:

$$|K_0| = 2 |K_1| \sin \beta / 2. \quad (2)$$

2. Искомое поле упругих деформаций U , как известно [24], должно удовлетворять уравнению упругого равновесия:

$$\text{grad div } U - a \cdot \text{rot rot } U = 0 \quad (3)$$

с нулевыми граничными условиями на бесконечности:

$$U \rightarrow 0 \text{ при } r = (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)^{1/2} \rightarrow \infty \quad (4)$$

с действующей на объем V силой, равной нулю:

$$F = \oint \sigma_{ij} dS_i = 0 \quad (5)$$

и моментом силы, не зависящим от размера блока V :

$$K_i = \oint x_k e_{ikl} \sigma_{lj} dS_j \neq f(R_0), \quad (6)$$

где $a = (1 - 2\nu) / 2(1 - \nu)$, ν – коэффициент Пуассона, R_0 – радиус области V , e_{ikl} – индекс Леви–Чивита.

Решением задачи (3)–(6) в сферической системе координат (r, φ, θ) с началом $r=0$ в центре шарового объема V в области $r \geq R_0$, являются поля

смещений U и напряжений σ

$$U_r = U_\theta = 0, U_\varphi = -3Ar^{-2} \sin \nu, \quad (7)$$

$$\sigma_{r\varphi} = \sigma_{\varphi r} = 3/2AGr^{-3} \sin \nu, \quad (8)$$

где G – модуль сдвига, A – константа, которая будет определена ниже. Остальные компоненты тензора напряжений равны нулю.

Подставляя (8) в (6) для момента силы упругого поля, получаем:

$$K_{Iz} = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \sigma_{r\varphi} r^3 \sin \vartheta d\vartheta d\varphi = 3\pi^2 AG. \quad (9)$$

Остальные компоненты момента силы равны нулю $K_{Ix} = K_{Iy} = 0$ (рис. 1).

3. Интегрируя плотность энергии упругих деформаций $W = \sum \{ \lambda / 2 (\varepsilon_{ij} \delta_{ij})^2 + G \varepsilon_{ij}^2 \}$, где λ – модуль всестороннего сжатия, ε_{ij} – деформация и δ_{ij} – символ Кронекера, по всему объему тела и считая его несжимаемым, получим величину упругой энергии, созданной моментом силы K_I :

$$W = 9/2A^2G \int_{R_0}^\infty \int_0^\pi \int_0^{2\pi} r^{-4} \sin \vartheta dr d\vartheta d\varphi = 4\pi A^2 GR_0^{-3}. \quad (10)$$

Приравнивая ее кинетической энергии (1) и учитывая, что момент инерции шара равен $I = 8/15\pi\rho R_0^5$, где ρ – плотность вещества, получаем следующее выражение для A :

$$A = R_0^4 \Omega \sqrt{\frac{\rho}{15G}}. \quad (11)$$

С учетом (2) получаем для момента силы упругого поля вокруг блока, направленного перпендикулярно плоскости его поворота:

$$K = -6\pi^2 \Omega R_0^4 \sqrt{\frac{\rho G}{15}} \sin \beta / 2, \quad (12)$$

величины упругой энергии:

$$W = 16/15\pi\rho\Omega^2 R_0^5 \sin^2 \beta / 2, \quad (13)$$

поля смещений:

$$U_r = U_\theta = 0, U_\varphi = -3\Omega R_0^4 r^{-2} \sqrt{\frac{\rho}{15G}} \sin \vartheta \sin \beta / 2, r \geq R_0 \quad (14)$$

и напряжений:

$$\sigma_{r\varphi} = \sigma_{\varphi r} = 3/2\Omega R_0^4 r^{-3} \sqrt{\frac{\rho G}{15}} \sin \vartheta \sin \beta / 2, r \geq R_0. \quad (15)$$

Остальные компоненты напряжений равны нулю.

Оценки. При параметрах модели: $\rho=3 \text{ г/см}^3$, $G=10^{11} \text{ н/м}^2$, $\Omega=7,3 \cdot 10^{-5} \text{ рад/с}$, $R_0 \approx 100 \text{ км}$, соответствующих сейсмофокальным блокам земной коры, для сильнейших (с магнитудами $M \approx 8$) землетрясений из соотношений (12)–(15) получаем: $U_0 \approx 10 \text{ м}$; $\sigma_0 \approx 100 \text{ бар}$; $W_0 \approx 10^{16 \pm 18} \text{ дж}$; $K_0 \approx 10^{28 \pm 30} \text{ дин-см}$, которые по порядку величины близки реально регистрируемым при таких землетрясениях смещениям, сброшенным напряжениям, упругой энергии и сейсмическому моменту соответственно. Эти значения достигаются при угле поворота блока (очага землетрясения) $\beta_0 \approx U_0/R_0 = 10^{-4} \text{ рад}$. При продолжительности сейсмического цикла (при повторяемости сильнейших землетрясений в одном месте) около 100–1000 лет для скорости поворота блока получим «механическую» оценку $10^{-(4 \pm 6)} \text{ град/год}$, которая близка скорости вращения микроплит Наска [15] и Исландия [28] и вообще «геологическим» скоростям вращения блоков и плит земной коры [19].

4. РОТАЦИОННЫЕ СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Рассмотрение совокупности блоков привело к следующей модели сеймотектонического процесса [7, 45, 46, 57].

Для модели двух поворачивающихся блоков аналитически определена энергия их взаимодействия и показан дальнедействующий характер такого взаимодействия, что позволило перейти к рассмотрению цепочки блоков – протяженного сейсмического пояса. Уравнение движения цепочки блоков было получено в виде синус-Гордона (СГ) уравнения с характерной скоростью ротационного процесса [12]:

$$c_0^2 = \frac{3\sqrt{15}}{8\pi^2} \Omega R_0 \sqrt{\frac{G}{\rho}} \approx V_R V_S. \quad (16)$$

Здесь V_S и V_R – скорость поперечных сейсмических волн и центробежная скорость, соответственно, откуда следует, что упругие поля, возникающие вокруг поворачивающихся сейсмофокальных блоков (очагов землетрясений), определяются величиной угловой скорости вращения планеты. Отсюда и название модели, данное ей авторами – ротационная модель. При принятых выше модельных параметрах характерное для ротационной модели значение скорости, по сути, является тектоническим:

$$c_0 \approx 1 \text{ см/сек}, \quad (17)$$

что позволяет принять: в рамках ротационной волновой модели можно проводить описание единого по сути сеймотектонического планетарного процесса.

Анализ имеющихся данных о скоростях миграции землетрясений показал, что существуют две зависимости, которые в рамках СГ уравнения можно интерпретировать как солитоны (soliton, s) –

уединенные тектонические волны и экситоны (exiton, e) – волны миграции форшоков и афтершоков в очагах землетрясений [6, 7, 45]:

$$E_s \approx V_s^5, V_s < c_0; E_e \approx V_e^2, V_e > c_0. \quad (18)$$

«Предельным» экситоном при магнитудах мигрирующих фор-афтершоков ($M_{aф}$) стремящихся к магнитуде сильнейшего землетрясения ($M_{сз}$): $M_{aф} \rightarrow M_{сз} \approx 8$, т.е. $V_e \rightarrow V_{max} \approx V_s \approx 4$ км/сек, является само сильнейшее землетрясение. Другими словами, ротационная волновая модель, фактически, «содержит» внутри себя и ротационную модель очага землетрясения [7]. Согласно представлениям ротационной волновой модели сильнейшее землетрясение по самой своей сути является результатом коллективного (самосогласованного) взаимодействия всех сейсмофокальных блоков, слагающих сейсмические пояса планеты.

5. ЭНЕРГИЯ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

«Закрученные» структуры на геологических и тектонических картах разного масштаба часто проявляются в виде разновозрастных систем сдвиговых деформаций, которые наблюдаются и вдоль границ структур, и в пределах их внутренних областей в виде спиралевидных (кольцевых или дуговых) и вихревых (в том числе радиальных) структурно-кинематических и тектодинамических рисунков. Повсеместно наблюдающиеся на геологических и тектонических картах чередования разномасштабных структур растяжения или сжатия можно рассматривать как региональные, мегарегиональные и планетарные зоны сдвиговых деформаций. Объяснить наблюдаемую картину деформаций можно, например, с помощью гипотезы об общепланетарном правозакрученном полярном вихре [45].

Многочисленные данные о вращательном движении плит, платформ и блоков за последние 150–165 млн. лет приведены в работах [14, 45]. В этих же работах приведены известные на настоящий момент данные о скоростях V движения плит, протяженности границ которых известны ($N=61$). Анализ этих данных показал существование двух механизмов, определяющих величины энергий движения тектонических плит:

$$E_1 \approx V_1^{(2-3)}, \tau_1 = 150 \text{ млн. лет}; E_2 \approx V_2^{(4-5)}, \Delta\tau_2 = 5 - 33 \text{ млн лет.} \quad (19)$$

Первая зависимость характеризует такие движения плит, которые ответственны за перемещения в течение всего интервала наблюдений продолжительностью 150–165 млн. лет, вторая – «дифференциальные» движения, которые оказалось возможным выявить по номерам магнитных аномалий в пределах небольших интервалов времени продолжительностью 5–33 млн лет.

Сравнение зависимостей (18) и (19) позволяет сформулировать три вывода.

Во-первых, движение каждого из ансамблей, состоящих только из сейсмофокальных блоков (18) или только из тектонических плит (19), качественно описывается одинаковыми механизмами. При этом движение плит в течение длительных интервалов времени (первая зависимость в (19)) соответствует экситонному движению (второй зависимости в (18)); энергия плиты в этом случае определяется выражением, характерным для кинетической энергии движущегося тела, пропорциональной квадрату скорости движения. Движение плит в течение коротких интервалов времени (вторая зависимость в (19)), в том числе в периоды их «рождения», соответствует вихревому солитонному движению (первой зависимости в (18)), что и подтверждается приведенными выше данными для микроплит Наска и Хуан-Фернандос. Энергия «вихревого» решения, пропорциональная пятой степени скорости движения плиты и значительно превышающая энергию первого, «кинетического» решения, соответствует механизму ротационного самосогласованного взаимодействия всех тектонических плит планеты.

Во-вторых, в рамках ротационной волновой модели можно описать движение всего ансамбля, состоящего из блоков, тектонических плит, платформ и других геолого-геофизических образований и движений (течений).

И, в-третьих, сеймотектонические движения и геологические течения (структуры), рассматриваемые в совокупности, относятся к такому же классу явлений, как и движения мирового океана (течения, ринги, волны Стокса, Кельвина, Россби и др.) и атмосферы (циклоны, антициклоны, смерчи, тайфуны).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. В работе, на основании строго аналитически решенной механической задачи об упругом поле напряжений, связанном с вращением твердого тела и его блоковым строением, построена волновая ротационная модель. В рамках такой модели оказалось возможным количественно описать самосогласованные движения всего ансамбля, состоящего из блоков, тектонических плит, «закрученных» разновозрастных систем сдвиговых деформаций, региональных, мегарегиональных и планетарных структур растяжения и сжатия. Другими словами, упругое поле в ротационной волновой модели, фактически, представляет собою самосогласованное тектоническое поле планетарного масштаба, которое, с одной стороны, отражает состояние поверхности всей Земли, с другой – определяется величиной угловой скорости ее вращения. В рамках ротационной волновой модели нашло свое объяснение и явление нутации полюса Земли – колебания Чандлера [58].

Ротационные сеймотектонические (*ст*) волны (18), длина которых

близка протяженностям сейсмофокальных блоков (очагов сильнейших землетрясений, $\lambda_{cm} \approx R \approx 100$ км), «по определению», имеют поворотную поляризацию, а остающиеся на поверхности следы их воздействия на породы часто представляют собой спиралеобразные, вихревые, кольцевые и другие далеко не прямые линии. Как видим, имеет место более чем «прозрачная» аналогия между сеймотектоническими волнами и океаническими захватными волнами (зв). Такие волны существуют в краевых областях океана (часто располагающихся над сейсмическими поясами), имеют длину порядка $\lambda_{ze} \approx 100$ км ($\approx \lambda_{cm}$), и их вихревая поляризация четко прослеживается фиксируемыми течениями и, в том числе, рисунками поверхности ледяного покрова [1]. В этой связи ротационные тектонические (рп) волны (19), характерные длины которых соизмеримы с размерами тектонических плит $\lambda_{рп} \approx 10^2 - 10^4$ км, также могут быть ассоциированы с атмосферными вихрями, размеры которых, согласно [1], составляют для циклонов (ц) – антициклонов $\lambda_{ц} \approx 10^2 - 10^3$ км и тропических (т) ураганов $\lambda_{т} \approx 10^3 - 10^4$ км.

Таким образом, геофизические и геологические данные подтверждают и дополняют выводы метеорологов и океанологов о существовании взаимосвязанной системы Земля–океан–атмосфера.

Полученные результаты позволяют предположить, что все поля, включающие движение полюсов, геологические структуры, сеймотектонические движения, океанические и метеорологические течения и волны, а также связанные колебания в системах океан–атмосфера и Земля–океан–атмосфера объединены тем единым по своей ротационной природе геофизическим полем, которое и определяет состояние поверхности Земли. Такое поле, по определению, и должно быть решением соответствующей модифицированной задачи Дирихле о фигуре гравитирующей массы с реальными физическими свойствами, такими как вязкость, сжимаемость и напряженность геофизических полей.

В рамках такой задачи о ротационном поле Земли, очевидно, находит свое ясное понимание как установленная взаимосвязь между планетарными атмосферными явлениями и землетрясениями [43], так и зафиксированные колебания систем океан–атмосфера и Земля–океан–атмосфера [38, 39]. И, наоборот: как и для сильнейших землетрясений, являющихся результатом коллективного взаимодействия всех сейсмофокальных блоков литосферы, для наиболее интенсивных уединенных атмосферных вихрей можно сформулировать следующую гипотезу. Тайфуны и тропические циклоны, как наиболее интенсивные движения в системе Земля–океан–атмосфера, также следует считать явлениями, в подготовке и реализации которых участвуют вся атмосфера Земли и значительная часть как ее мирового океана, так и, по-видимому, литосферы.

2. Для вихревых решений задачи Дирихле было доказано

существование трех интегралов, выражающих сохранение энергии, момента вращения и циркуляции [20, с. 37; 36]. Такое свойство вихревых решений позволяет сформулировать следующую принципиально важности задачу, решение которой, по-видимому, следует искать в рамках модифицированной проблемы Дирихле: *какую же природу имеет вязкость (внутреннее трение)?*

Согласно [51, с. 99], вязкость – как сопротивление к перемещению одной части тела относительно другой, была определена Ньютоном для плоскопараллельного течения в рамках классической физики, для которой, как известно, выполняются законы сохранения энергии, импульса и *момента импульса*. В случае же геофизических процессов, в которых «прямолинейные» процессы отсутствуют в принципе и в которых, как показано выше, преобладают вихревые движения (течения), должны выполняться законы сохранения энергии, момента вращения и *циркуляции*. Механические различия между выделенными курсивом законами сохранения, по-видимому, и должны будут определить различия между понятиями «плоскопараллельной», по Ньютону, и «вихревой», «по Дирихле», вязкостями.

Следует отметить, имеется много указаний на то, что некоторые геологические и геофизические процессы часто протекают в средах, которые должны были иметь «нулевую» [2] или отрицательную [1] вязкости. Проблема наследования «социальной вязкости» обсуждается в работе [13].

3. Полученные в работе новые результаты и проведенный обзор позволяют предложить другой подход к решению задач, стоящих перед Физикой Земли (Геодинамикой) как единого раздела науки о Земле, все составляющие дисциплины которой между собой тесно взаимосвязаны. Возможность такого подхода к Физике Земли обсуждалась и ранее. В работе [48] с этой целью предложены «новая ротационная гипотеза структурообразования» и «новая модель геостазии», в работе [21] – «модель горячей Земли» и «принцип минимизации – основной закон эволюции планет». Некоторые новые подходы к проблемам Физики Земли обсуждались в работе [22]. «Вихревые» проблемы геомагнетизма обсуждались в [21, 22, 29]. Принципиальная возможность их состыковки с вихревыми геодинамическими движениями показана в [46].

Таким образом, полученные в настоящей работе результаты позволяют в качестве основополагающей концепции Физики Земли (Геодинамики) предложить теорию потенциала, развиваемую в рамках вихревой задачи Дирихле.

За основу при построении новой Физики Земли можно было бы взять *вихревую геодинамику литосферы*. Это направление, фактически, уже разрабатывается многими исследователями. Смори обзоры в [7–9, 14, 56], работы [6, 10, 17, 26, 31–33, 35, 40, 45, 47, 50, 58] и статьи настоящего сборника. Из данных этих работ следует высокая значимость

происходящих во всех слоях Земли вращательных движений, включая и геомагнитные явления [16, 22, 29], для всех дисциплин Науки о Земле как, впрочем, и о других планетах и их спутниках в Солнечной системе, что и позволяет такие движения положить в основу *новой ротационной физики Земли – геодинамики* [7–9]. В рамках такого раздела науки естественной становится волновая природа геофизических, тектонических и геологических процессов, включая пульсации Земли, волновые явления в системах океан–атмосфера и Земля–океан–атмосфера и «геологические» и «геофизические» процессы, протекающие на других планетах солнечной системы в течение всей ее жизни.

Представляется, что построение ротационной физики Земли, охватывающей все ее основные ныне существующие разделы, а также и, возможно, новые, дело не такого уж и далекого будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В.В., Киселева С.В., Лаппо С.С.* Лабораторные модели физических процессов в атмосфере и океане. М.: Наука, 2005. 312 с.
2. *Аносов Г.И., Колосков А.В., Флеров Г.Б.* Особенности проявления ультрамафитов камчатского региона с позиций вихревой геодинамики // Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2004. С. 129–200.
3. *Борисов А.В., Мамаев И.С., Соколовский М.А.* Фундаментальные и прикладные проблемы теории вихрей. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 704 с.
4. *Буллен К.Е.* Плотность Земли. М.: Мир, 1978. 442 с.
5. *Викулин А.В.* Феноменологическая волновая модель сейсмического процесса // Доклады АН СССР. 1990. Т. 310. №4. С. 621–824.
6. *Викулин А.В.* Уединенные тектонические волны поворотной деформации как результата вращения планеты // Геофизический журнал. 2002. №4. Т. 24. С. 90–101.
7. *Викулин А.В.* Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2003. 150 с. www.kscnet.ru/ivs/monograph/vikulin/index.html
8. *Викулин А.В.* Введение в физику Земли. Учебное пособие для геологических, геофизических и географических специальностей вузов. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2004. 240 с. www.kscnet.ru/ivs/publication/tutorials/vikulin/index.html
9. *Викулин А.В.* Ротационные упругие поля в твердых телах и вихревые решения проблемы Дирихле: тождественные системы? // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2005. № 6. С. 89–99. www.kscnet.ru/kraesc/2005/2005_6/2005_6/html
10. *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.
11. *Викулин А.В., Водинчар Г.М.* Волны миграции сейсмической энергии // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии. V Косыгинские чтения. Материалы конференции, 24–27 января 2006 г. Хабаровск. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2006. С. 206–209.
 12. *Викулин А.В., Иванчин А.Г.* Ротационная модель сейсмического процесса // Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17. №6. С. 94–102.
 13. *Викулин А.В., Мелекесцев И.В.* (см. настоящий сборник).
 14. Вихри в геологических процессах. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2004. 297 с.
 15. Геолого-геофизический атлас Тихого океана. М-СПб: Межправительственная океанографическая комиссия, 2003. 120 с.
 16. *Глацмайер Г., Олсон Р.* Изучение геодинамо // В мире науки. 2005. №7. С. 29–35.
 17. *Дмитриевский А.Н., Володин И.А., Шипов Г.И.* Энергоструктура Земли и геодинамика. М.: Наука, 1993. 154 с.
 18. *Жарков В.Н.* Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 416 с.
 19. *Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А.* Введение в геодинамику. М.: Наука, 1979.
 20. *Кондратьев Б.П.* Теория потенциала и фигуры равновесия. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 624 с. <http://shop.rcd.ru>
 21. *Кузнецов В.В.* Физика горячей Земли. Новосибирск, 2000. 365 с.
 22. *Кузнецов В.В., Семаков Н.И., Доровский В.Н., Котляр П.Е.* Физика Земли. Новый взгляд на некоторые проблемы. Новосибирск: Наука, 1989. 128 с.
 23. *Ламб Г.* Гидродинамика. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика, 2003. Т. 2. 482 с.
 24. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория упругости. М.: Наука, 2003. 246 с.
 25. *Ли Сы-гуан.* Вихревые структуры Северо-Западного Китая М.-Л.: Госгеолтехиздат, 1958. 130 с.
 26. *Лукьянов А.В.* Нелинейные эффекты в моделях тектогенеза // Проблемы геодинамики литосферы. М.: Наука, 1999. С. 253–287.
 27. *Ляпунов А.М.* Общая задача об устойчивости движения. Череповец: Меркурий-ПРЕСС, 2000. 386 с.
 28. *Мелекесцев И.В.* Вихревая вулканическая гипотеза и некоторые перспективы ее применения // Проблемы глубинного магматизма. М.: Наука, 1979. С. 125–155.
 29. *Низовцев В.В., Бычков В.Л.* (см. настоящий сборник)
 30. *Пейве А.В.* Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР. Сер. геолог. 1961. № 3. С. 36–54.
 31. *Поletaев А.И.* Ротационная тектоника земной коры // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения

- полезных ископаемых. Материалы XXXVIII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2005. Т. 2. С. 97–100.
32. *Полетаев А.И.* Ротационная тектоника или тектоническое вращение? // Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. Восьмые Горшковские чтения. М.: МГУ, 2006. С. 32–38.
 33. *Поплавский А.А., Соловьев В.Н.* Проблемы сейсмичности Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН, 2000. С.235–242.
 34. *Пуанкаре А.* Фигуры равновесия жидкой массы. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. 208 с.
 35. *Пушаровский Ю.М.* Глобальная тектоника в перспективе // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых. Материалы XXXVIII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2005. Т. 2. С. 121–123.
 36. *Риман Б.* О движении жидкого однородного эллипсоида. М.-Л.: Гостехиздат, 1948. 339 с.
 37. *Садовский М.А., Писаренко В.Ф.* Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 96 с.
 38. *Сидоренков Н.С.* Атмосферные процессы и вращение Земли. СПб.: Гидрометеоздат, 2002 а. 200 с.
 39. *Сидоренков Н.С.* Физика нестабильностей вращения Земли. М.: Физматлит, 2002. 384 с.
 40. Система планета Земля. (Нетрадиционные вопросы геологии). XI научный семинар. 3–5 февраля 2003 г. Материалы. М.: МГУ, 2003. 336 с.
 41. *Слензак О.И.* Вихревые системы литосферы и структуры докембрия. Киев: Наукова Думка, 1972. 182 с.
 42. Спорные вопросы тектоники плит и возможные альтернативы / Ред. В.Н. Шолпо. М.: ИФЗ РАН, 2002. 236 с.
 43. *Сытинский А.Д.* О планетарных атмосферных возмущениях во время сильных землетрясений // Геомагнетизм и астрономия. 1997. Т. 37. №2. С. 132–137.
 44. *Сэффмэн Ф.Дж.* Динамика вихрей. М.: Научный мир, 2000. 376 с.
 45. *Тверитинова Т.Ю., Викулин А.В.* Геологические и геофизические признаки вихревых структур в геологической среде // Вестник КРАУНЦ. Серия наук о Земле. 2005. №5. С. 59–77. www.kscnet.ru/kraesc/2005/2005_5/2005_5.html
 46. *Тверитинова Т.Ю., Викулин А.В.* (см. настоящий сборник).
 47. Тектоника и геофизика литосферы. Материалы XXXV Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2002. Т. 1. 368 с. Т. 2. 378 с.
 48. *Тяпкин К.Ф.* Физика Земли. Киев: Вища школа, 1998. 310 с.
 49. *Чандрасекхар С.* Эллипсоидальные фигуры равновесия. М.: Мир, 1973. 328 с.
 50. *Устинова В.Н., Вылцан И.А., Устинов В.Г.* О пространственном и

- временном развитии циклически протекающих событий на Земле по геофизическим данным // Геофизика. 3. 2005. С. 65–71.
51. Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. Энциклопедия, 1983. 928 с.
 52. Фридман А.М. Из жизни спиральных галактик // В мире науки. 2005. №1. С. 71–79.
 53. Dirichlet G.L. Untersuchungen uber ein Problem der Hydrodynamik // J. Reine Angew. Math. 1860. V. 58. P. 801.
 54. Forsyth D., Uyeda S. On the relative importance of the driving forces of plate motion // Geophys. J. R. Astr. Soc. 1975. V. 43. P. 163–200.
 55. Mandeville M.W. An outline of the principles of vortex tectonics. 2000. <http://www.aa.net/~mwm>
 56. Teisseyre R., Takeo M., Majewski E. (Eds.) Earthquake Source Asymmetry Structural Media and Rotation Effects. Heidelberg, Deutschland: Springer, 2006. 582 p.
 57. Vikulin A.V. Earth Rotation, Elasticity and Geodynamics: Earthquake Wave Rotary Model // Earthquake Source Asymmetry Structural Media and Rotation Effects. Heidelberg, Deutschland: Springer, 2006. P. 273–289.
 58. Vikulin A.V., Krolevets A.N. Seismotectonic processes and the Chandler oscillation // Acta Geophysica Polonica. 2002. V. 50. N. 3. P. 395–411.
 59. Wezel F.S. The Pacific island arcs: produced by post-orogenic vertical tectonics? // The origin of arcs. Elsevier, Amsterdam, 1986. P. 529–566.
 60. Xie Xin-sheng. Discussion on rotational tectonics stress field and genesis of circum-Ordos landmass fault system // Acta Seismol. Sinica. 2004. V. 17. №4. P. 464–472.

Викулин Александр Васильевич, главный научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, доктор физ.-мат. наук, профессор КамГУ, автор и соавтор пяти монографий, одного учебного пособия, редактор трех тематических сборников научных работ. В последнее время разрабатывает концепцию ротационной волновой геодинамики.

Водичар Глеб Михайлович, кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры прикладной математики Камчатского государственного университета, ведущий научный сотрудник института Космофизических исследования и распространения радиоволн ДВО РАН, автор ряда статей в области математического моделирования в геофизике. В последнее время активно занимается проблемой вихревой геодинамики.

Аннотация. Для небесных и космических тел магнитный момент, определяемый дипольной компонентой, пропорционален моменту углового. На Земле источники дипольной компоненты расположены не глубоко и создают осесимметричное поле, несколько отклонённое от оси вращения, однако картина вековой эволюции поля имеет ярко выраженный зональный характер. С другой стороны, согласно классической теории электромагнетизма, магнитное поле есть проявление завихренности эфирных течений, не связанных обязательно с электрическим током. Сказанное позволяет связать геомагнетизм с вихревыми течениями, поддерживающими вращение планеты.

Геомагнитное поле формируется породами земной коры, намагниченными эфирным течением, завихренность которого в системе отсчёта, связанной с Землёй, пропорциональна угловой скорости вращения последней. Главная оставляющая магнитного поля планеты есть мера завихренности данного течения.

Введение

Дискуссионный характер модели геодинамо оправдывает дальнейшие поиски в области природы геомагнетизма. Состояние данной проблемы определяется положением, царящим в космогонии и теории электромагнетизма. К сожалению, эти разделы знания не получили в XX в. необходимого развития. Как и во времена П. Лапласа и А. Ампера, вращению небесных тел приписывают инерциальный характер, а эффекты магнетизма связывают исключительно с наличием электрического тока. Между тем, регулярные движения небесных тел следует считать вынужденными. Согласно эфиродинамической модели, обращения планет поддерживаются осесимметричными течениями гигантской вихревой нити, входящей в структуру Галактики [20], а ротация планет и обращение их спутников вызываются локальными вихревыми приводами, генезис которых связан с космохимическим процессом. Приуроченная к небесному телу вихревая структура является результатом коалесценции компенсационных вихревых течений, возникающих при элементогенезе [19].

Что касается теории электромагнетизма, то перед лицом неразрешимости проблем магнетизма Солнца и планет представляется целесообразным обратиться к идее В. Томсона (Кельвина), согласно которой магнитное поле не связано роковым образом с электрическим током, и первое может иметь место без второго. Томсон подчёркивал, что

вектор-потенциал магнитного поля суть «движение, вращение которого есть магнитная сила» [40]. Иными словами, напряжённость магнитного поля определяется завихренностью некоторого течения, в общем случае не связанного с током (о гидродинамическом смысле завихренности см. в Приложении).

Опираясь на изложенные соображения, мы предполагаем, что за феноменом геомагнетизма скрываются течения эфирного привода ротации, которые намагничивают остывающее вещество мантии при рифтовом процессе и разрастании земной коры. В системе отсчёта, связанной с Землёй, на уровнях выше границы Мохо вектор завихренности течений направлен на юг, что соответствует намагниченности пород в прямом (южном) направлении. Получает объяснение пропорциональность между угловым и магнитным моментами космических тел. Вихревые течения на большей глубине имеют завихренность северного направления и способны намагнитить породы земной коры в обратном направлении. Инверсии палеомагнитной полярности в корнях орогенических и рифтовых зон имеют локальный характер и обусловлены неустойчивостью положения изотермы точки Кюри относительно границы смены знака завихренности. В самом общем виде данная гипотеза о природе геомагнетизма впервые была высказана М.И. Клевцовым [13].

1. Параметры магнитного поля Земли

В первом приближении геомагнитное поле подобно полю диполя или однородно намагниченного шара с магнитным моментом $8,3 \cdot 10^{25}$ СГСМ, направленным под углом $11,5$ градусов к оси вращения Земли. До 99% магнитного поля Земли составляют две структурных части. Первая из них T_0 , составляющая 80%, – это поле диполя (осевого, наклонного или эксцентрического, в зависимости от модели). Вторая компонента T_m – поле крупномасштабных особенностей магнитного поля размером в несколько тысяч километров. Ось расчётной дипольной составляющей, полученной путём разложения поля по сферическим гармоникам, не совпадает с осью Земли, а соответствующие *геомагнитные* полюса не совпадают с географическими полюсами Земли. Как станет ясно из дальнейшего, при изучении механизма генерации намагниченности интерес представляет положение *магнитных* полюсов, определяемых экспериментально как точки, в которых полная напряжённость магнитного поля T направлена вертикально вниз на Северном полюсе и вверх на Южном. Координаты магнитных полюсов для эпохи 1962 г. следующие: северный полюс $f=75^\circ$ с.ш., $l=101^\circ$ з.д.; южный полюс $f=67,5^\circ$ ю.ш., $l=140^\circ$ в.д.

Международная служба широты установила смещение полюса в $0,0035''$ в год в направлении 280° долготы. Это смещение соответствует 1°

за 1 Мг. Палеомагнитные исследования дают 5° за 100 Мг. [17]. Основной вклад в вековые вариации поля дают изменения T_m . Заметная часть этих изменений вызвана преимущественно западным дрейфом поля T_m относительно T_0 со скоростью порядка $0,2^\circ$ в год, обнаруженным ещё в конце XVII в. Широтные зависимости западного дрейфа различны у X (северной), Y (восточной) и Z (вертикальной вниз) составляющих напряжённости главного поля. Из картины дрейфа следует, что в широтном отношении структура, ответственная за главное поле, состоит из трёх кольцевых зон с разной временной динамикой. При этом для северной составляющей характерна повышенная скорость дрейфа на 40-х широтах [35].

Дипольный член разложения вековой вариации меньше недипольных [21]. За столетие дипольное поле уменьшилось примерно на 8%, а недипольное усилилось. Для Земли, как и для других классов космических объектов, магнитный момент, определяемый преимущественно дипольной компонентой, пропорционален моменту угловому [33]. Очевидно, ослабление дипольной компоненты каким-то образом связано с замедлением вращения Земли на 2 мс за столетие. При этом имеет место 10-летнее отставание производной геомагнитного момента от вариаций длительности суток [12].

2. Геомагнитное поле и проблема магнетизма

Как уже отмечено, значение магнитного момента космических тел пропорционально их угловому моменту. Однако экспериментальные исследования гиромагнитного эффекта П.Н. Лебедевым (1911) и С. Барнеттом (1922) не позволяют связывать магнетизм именно с вращением [21]. Коэффициент пропорциональности $2,88 \cdot 10^{-15} (\text{см/г})^{1/2}$ традиционно выражают через константу гравитации, безуспешно пытаясь связать таким образом магнетизм с гравитацией [38] или электрическим зарядом вращающегося тела [7]. Все три гипотезы не совместимы со следующими фактами: магнитный и угловой моменты Земли и других планет не коллинеарны, магнитные полюса мигрируют иначе, чем географические. Сказанное однозначно указывает на отсутствие прямой связи магнетизма именно с вращением планеты, но не исключает наличия неизвестного физического агента, который поддерживает вращение тела и одновременно вызывает магнетизм.

Гипотеза о гидромагнитном динамо – новый шаг в развитии представлений о природе земного магнетизма. Модель основана на предположении о том, что земное ядро обладает электропроводностью, между тем, ни состав, ни электрические свойства последнего не известны. Согласно модели динамо, магнитное поле на Солнце, Земле и других планетах генерируется конвективными течениями, которые поддерживаются подъёмными силами во вращающихся сферических

оболочках в поле сил тяжести. Данной модели более шестидесяти лет, однако не потеряли остроты дискуссии о теоремах существования, не доказано, что в ядре имеются силы, способные поддерживать необходимые скорости движений. Как заметил Э. Буллард [5], «ныне она в моде – скорее из-за того, что у нас нет ничего лучшего, чем из-за её больших достоинств». Результаты численного моделирования предполагаемых токов в случае Земли приводят к необходимости, по крайней мере, трёх токовых контуров сложной конфигурации [26] или четырёх кольцевых контуров [36]. При сложном механизме генерации поля трудно ожидать общей зависимости магнитного поля от момента вращения у тел совершенно разной природы: от планет и планетных спутников до гигантских звёзд – в диапазоне 20 порядков величины [33, 38]. Перед лицом подобных фактов следует искать более универсальный в космологическом отношении механизм, чем в модели динамо.

Основные проблемы геомагнетизма – это расположение источника магнитного поля и его природа. Г. Ангенхейстер и Ю. Бартельс [3] отмечали, что магнитное поле Земли мог бы вызвать симметричный относительно магнитной оси ток, проходящий непосредственно под поверхностью Земли в направлении с востока на запад с дифференциальным распределением по широте. Различия временных и пространственных динамик дипольной и недипольной компонент поля свидетельствуют о том, что они имеют независимые физические источники [21]. В конце XIX в. М. Вильде построил физическую модель для объяснения недипольной составляющей магнитного поля при условии, что дипольная уже существует [42]. Модель состояла из двух глобусов, вложенных один в другой так, что ось внутреннего была наклонена на $23,5^\circ$ относительно оси внешнего. На внутреннем глобусе имела осесимметричная обмотка, имитирующая дипольное поле. Области внешнего глобуса, соответствующие океанам, были обложены тонкой железной фольгой для моделирования разницы между магнетизмом материковых и морских регионов. Модель позволила объяснить вековые вариации склонения и наклонения геомагнитного поля, зарегистрированные в четырёх точках земного шара в XVII–XIX вв., в предположении, что взаимное смещение сфер в один оборот происходит за 960 г. с некоторым ежегодным замедлением. Качественные результаты М. Вильде позволяют связывать отсутствие осевой симметрии в картине магнитного поля Земли с неравномерным распределением магнитных материалов с разными свойствами. Согласно его результатам, источник дипольной составляющей магнитного поля расположен не глубоко и создаёт осесимметричное поле, отклонённое от оси вращения Земли.

В настоящее время геомагнетизм относят на счёт магнитоактивных пород, намагниченных полем ядра в ходе их формирования и охлаждения до характеристических температур около 550°C . Ранее мощность магнитоактивного слоя принималась равной 0,5 км. Количественная

обработка данных геомагнитных измерений со спутника MAGSAT приводит к выводу о близости глубины подошвы магнитоактивного слоя и поверхности Мохо (30–40 км) [9]. Региональные магнитные аномалии также указывают на расположение источника магнитного поля не ниже верхней мантии [23].

Всё изложенное заставляет искать физический процесс на границе мантии и коры, связанный с вращением тела и одновременно приводящий к намагничиванию геологических пород при выходе их из мантии. В свете результатов предыдущей работы [19], на такую роль могли бы претендовать вихревые течения ротационно-тектонического привода. К сожалению, современная физика не может ответить на вопросы о связи магнетизма ни с эфирными течениями, ни с протеканием тока. Со времён Дж.К. Максвелла не удаётся решить задачу о том, каким образом трансляционное движение некоторого объекта (заряда) приводит к вращательному эффекту (магнитному полю). Весьма характерно, что в уравнения Герца-Хевисайда, незаслуженно носящие имя Максвелла, заряды введены «руками», а не как случай, например, нулевого тока. По этой причине система уравнений переопределена: при заданных токах и зарядах для шести неизвестных записано восемь уравнений. Однако и в таком виде она не охватывает всех феноменов электромагнетизма. Крупный авторитет в этой области Р.Ф. Авраменко приводит следующий пример неполноты уравнений: «Уравнения Максвелла не могут описать работу даже такого важнейшего и схемно чрезвычайно простого элемента современной техники, как трансформатор». Прямые эксперименты Авраменко с сотрудниками по обнаружению индукционного электрического поля в пространстве вторичной обмотки дали нулевой результат [1]. При таком состоянии теории электромагнетизма вопрос о генетической связи между электрическим током и магнетизмом следует считать открытым, а мнение А. Шустера, писавшего, что «трудности, стоящие на пути обоснования земного магнетизма с помощью электрических токов, текущих внутри Земли, являются непреодолимыми», приобретает важное эвристическое значение [37].

Приведённые соображения вновь возвращают нас к идее Кельвина о том, что магнитное поле является мерой вихревой составляющей эфирного течения, интенсивность которого задаёт силу тока, а не наоборот, как принято считать. Действительно, при некоторых режимах «проводимости» течения, несущие завихренность (магнитное поле), могут возникать и в отсутствие тока, как, например, в случае «сверхпроводимости». Иными словами, в эффектах электромагнетизма первичная роль принадлежит эфирным течениям, а не движениям зарядов. Данное предположение открывает возможность построить рациональную теорию геомагнетизма, согласующуюся с выводами магнитологов о неглубоком залегании источника дипольной компоненты и нетоковой природе магнитного поля. Однако, чтобы сделать предлагаемую модель

более убедительной, остановимся на некоторых положениях теории магнетизма, свидетельствующих в пользу развиваемого подхода.

3. Вихревая природа магнитного поля

Магнетизм является более универсальным феноменом, чем электричество, тем не менее в современной физике магнитное поле трактуется как вторичный (релятивистский) эффект электричества. Согласно Берклиевскому курсу физики, «явления, которые принято называть «магнитными», являются результатом электрического взаимодействия между движущимся зарядом и другими движущимися зарядами». К примеру, при анализе взаимодействия двух проводников с током разгадка магнетизма видится в различном лоренцевом сокращении линейной плотности положительных (неподвижных) и отрицательных (движущихся) зарядов одного проводника в системе координат движущегося заряда в другом проводнике [22]. Однако получение правильного выражения для силы взаимодействия с использованием преобразования Лоренца следует расценивать как формальность, не вскрывающую нового физического содержания. Как отмечает В.Д. Савчук, таково свойство всякой группы Ли, к числу которых относится группа Лоренца [25].

В целом, состояние данной проблемы заставляет вернуться к классическому описанию магнетизма в терминах механики сплошной среды. Ещё М. Фарадей истолковывал криволинейность магнитных силовых линий как признак того, что сила есть результат процесса. Согласно Кельвину (1856), «объяснение всех явлений электромагнитного притяжения или отталкивания и электромагнитной индукции следует искать просто в инерции и давлении материи, движения которой образуют тепло» [16], то есть, эфирной материи. Для Максвелла «в каждой точке среды существует нечто такое, что имеет природу угловой скорости относительно оси, направленной вдоль магнитной силы» [16]. Представления Кельвина и Максвелла были основаны на способности магнитного поля вращать плоскость поляризации света. В 1879 г. эти взгляды получили дополнительное подтверждение: эффект Холла однозначно свидетельствует о том, что магнетизм есть явление вращательной природы [29]. Рассмотрим, какие течения способны вызвать пондеромоторные эффекты, трактуемые как магнитные.

При решении задач электродинамики, наряду с квазистатическими уравнениями Максвелла первого порядка для напряжённостей электрического и магнитного полей, используются также уравнения второго порядка для скалярного φ и векторного A потенциалов, определяемых следующим образом:

$$E = -\text{grad } \varphi. \quad B = \text{rot } A.$$

Инструментально в электромагнетизме определяют E и B . Это, однако, не означает, что φ и A являются вспомогательными расчётными величинами. Имеются основания полагать, что в физической (эфиромеханической) реальности φ является мерой плотности или удельной объёмной энергии, а потенциал A – мерой скорости течений эфирной среды. Приведём первое свидетельство в пользу высказанного предположения. Хорошо известно, что если потенциалы φ и A связаны соотношением

$$\operatorname{div} A = -\frac{1}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \quad (1)$$

то из уравнений Максвелла вытекают волновые уравнения для потенциалов φ и A , идентичные волновым уравнениям для акустических полей в пространстве, заполненном средой. Как подметил в 1861 г. Б. Риман, условие (1), известное под названием калибровки Л. Лоренца, напоминает уравнение неразрывности для сжимаемой среды, где φ представляет плотность эфира, а произведение cA – скорость его течений. Таким образом, трактовка векторного потенциала как скорости некоторого течения не противоречит формализму электромагнетизма. Тогда с учётом определения $B = \operatorname{rot} A$ величину магнитной индукции можно интерпретировать как завихренность этого течения. Следует заметить, что векторный потенциал соответствует лишь тангенциальной составляющей закрученного течения (см. Приложение), которое всегда имеет и осевую составляющую (по этой причине течение обладает спиральностью [39]). В правоспиральном течении магнитная индукция совпадает по направлению с осевым течением.

Ещё одно доказательство физической реальности течения, описываемого векторным потенциалом A , можно найти в сфере электродинамики. Как известно, э.д.с. индукции, развиваемая в некотором проводящем контуре, пропорциональна скорости изменения потока через поверхность, опирающуюся на данный контур:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} \cdot \vec{n} ds, \quad (2)$$

где интеграл справа представляет собой поток магнитной индукции B . Между тем, проводник контура или заряды в нём не располагают средствами интегрирования потока. Эффект электромагнитной индукции есть реакция носителей заряда на изменения режима невидимых течений именно в проводнике, а не в отверстии, охваченном контуром. Равенству (2) не следует придавать буквального смысла. Оно является следствием общих положений вихревой динамики, в частности, теоремы Стокса. Например,

$$\int_S \vec{B} \cdot \vec{n} ds = \int_S \text{rot} \vec{A} \cdot \vec{n} ds = \oint_L \vec{A} d\vec{l}. \quad (3)$$

Сопоставление уравнений (2) и (3) позволяет приблизиться к пониманию феномена электромагнитной индукции. Именно э.д.с. индукции в контуре есть реакция носителей заряда на изменения циркуляции скорости \vec{A} в контуре: правого интеграла в уравнении (3). К аналогичному выводу пришёл З.И. Докторович в ходе формального анализа уравнений Максвелла с помощью аппарата теории поля [10]. Он отметил, что электрическое поле имеет строго градиентный характер, поэтому «введённое Максвеллом в обращение вихревое электрическое поле породило неустранимые противоречия физических моделей... с экспериментальными результатами, математическим аппаратом теории поля, третьим законом Ньютона и принципом причинности». Иными словами, не имеется никаких оснований трактовать явление электромагнитной индукции как проявление электрических сил особой природы. Докторович подчёркивает, что уравнения Максвелла не содержат собственно электродинамической компоненты – в них имеется лишь «магнитодинамика», так что упомянутые выше результаты Авраменко глубоко закономерны. Таким образом, в «электродинамике» именно магнетизм является основным феноменом, поэтому векторный потенциал \vec{A} должен получить статус первичной, независимой «электромагнитной» характеристики. Как известно, при выполнении калибровки Л. Лоренца, волновому уравнению подчиняются не только напряжённости электрического и магнитного полей, но прежде всего – векторный потенциал.

Дополнительное доказательство реальности течений, соответствующих вектору \vec{A} , доставляет волновая механика. В 1945 г. был обнаружен, в 1949 г. теоретически исследован, а в 1959 г. переоткрыт своеобразный квантовомеханический эффект [31, 34, 41]. Сущность его заключается в том, что заряженная частица, движущаяся в области, где отсутствует магнитное поле, но векторный потенциал отличен от нуля, испытывает воздействие неясной природы, приводящее к изменению фазы частицы (эффект Ааронова–Бома).

Видимо, в поле течений векторного потенциала даже при нулевом магнитном поле (в отсутствие завихренности) на электрон, как на всякий конечный в размерах объект, обладающий некоторой «парусностью», действует сила «сноса» эфирного течения не магнитной (и, разумеется, не электрической) природы. Будучи эфемерными, течения эфира оказывают, тем не менее, осязаемое динамическое давление на структуры элементарных частиц и, следовательно, атомов вещества. При наличии свободных носителей заряда данное давление (напряжение) вызывает электрический ток, определяемый общеизвестным уравнением Пуассона, в котором закономерно фигурирует векторный потенциал:

$$\Delta A = \frac{4\pi}{c} j.$$

В случае частиц вещества, слагающих планету, это давление обнаруживается в сдвиговых напряжениях, приводящих к ротации Земли и тектоническим эффектам [19]. Однако для нашей темы важно первое: в соответствии с гипотезой Кельвина, магнетизм и электрический ток следует трактовать как два независимых аспекта эфирного течения – первый из них не требует обязательного наличия второго.

4. Намагничивание пород и природа магнитных аномалий

Изложенный материал позволяет приблизиться к пониманию природы магнетизма небесных тел. Вернёмся к нашему заключению о том, что векторный потенциал A является мерой (тангенциальной) скорости эфирных течений, а магнитная индукция B – мерой их завихренности. Как мы отмечали [19], сферическое тело Земли погружено в осесимметричное поле сдвиговых течений (вначале мы пренебрежём тем обстоятельством, что его ось не совпадает с осью вращения планеты). Распределение эфирных течений в земных оболочках, видимо, следующее (рис. 1). Компенсационная завихренность, формирующая вихревой привод путём коалесценции вихрей, возникает в настоящее время в мантии. Профиль течений вихревого привода (кривая 1) представляет собой конечный результат коалесценции и диффузии элементарных компенсационных вихрей, генетически связанных с синтезом химических элементов, образованием пород и метаморфическими процессами [19]. Таким образом, источником ротации, причиной тектонических процессов и, в конечном счёте, – магнетизма является структура, представленная на рис. 1 верхним фрагментом кривой 2. Именно компенсационная завихренность, порождённая в этом интервале глубин, превратилась путём коалесценции в течения вихревого привода, поддерживающие вращение тела. При этом процессы, изменяющие профиль этого фрагмента, влекут за собой изменения течений привода и, как следствие, изменение углового момента планеты.

Согласно законам вихревой гидродинамики (см. Приложение), и вихревое ядро, и зона распределённой завихренности несут положительную завихренность, вектор которой направлен вдоль оси z и которая могла бы намагничивать породы в обратном направлении (кривая 2 на рис. 1). Учитывая, что (нормальный) магнитный момент небесных тел пропорционален механическому, следует думать, что обратная (намагничивающая породы в нормальном направлении) завихренность возникает только в системе отсчёта, связанной с вращающейся Землёй, и что уровень этой завихренности пропорционален угловой скорости вращения планеты. В предыдущей работе [19] было высказано

предположение, что непосредственно у границы ядра тангенциальная скорость изменяется как r^{-1} , и только за пределами Земли профиль приобретает кеплеров вид: $v_{\varphi} \sim r^{-1/2}$. В неподвижной системе отсчёта течение r^{-1} является потенциальным: его завихренность равна нулю (рис. 1, кривая 3). Однако в системе, связанной с Землёй, течение приобретает отрицательную завихренность с абсолютным значением, равным удвоенной угловой скорости вращения (см. Приложение) Земли $7,2 \times 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ (кривая 4).

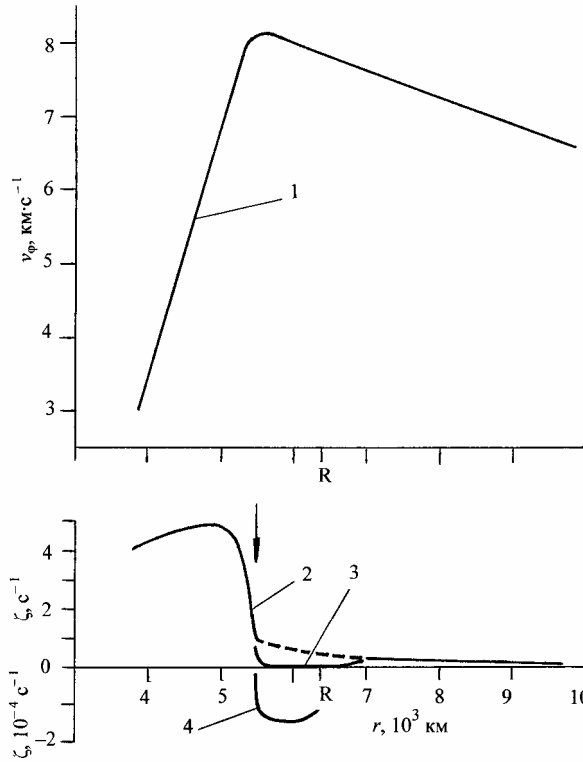


Рис. 1. Реконструкция профиля вихревых течений (v_{φ}) в экваториальной зоне: 1 – тангенциальные течения вихревого привода в пределах мантии, коры и тропосферы; 2 – профиль завихренности (ζ), соответствующий кривой 1; 3 – профиль нулевой завихренности, соответствующий участку кривой 1, где $v_{\varphi} \sim r^{-1}$; 4 – завихренность в системе отсчёта, связанной с Землёй, создающая намагниченность.

Итак, за намагничивание пород в прямом направлении ответственно генетически связанное с вращением распределение завихренности, представленное кривой 4 рис. 1. Важно подчеркнуть, что строгая

пропорциональность между магнитным и угловым моментами обеспечивается универсализмом профиля течений локального вихря у границы ядра (видимо, r^{-1}). В этом случае уровень завихренности, от которого зависит магнитный момент, определяется только угловой скоростью вращения тела.

Магнитные аномалии на океанском дне могут служить доказательством реальности предлагаемой схемы. Напомним историю вопроса. Магнитная съёмка на океанах в 60–70-х гг. XX в. обнаружила удивительную картину намагниченности подстилающих пород. Хребты в зонах спрединга, а также разломы морского дна оказались с обеих сторон обрамлены полосами коры разной полярности шириной в несколько десятков километров. Согласно общепринятой трактовке, новообразованная в таких зонах кора (базальты литосферы) по мере остывания приобретает намагниченность в направлении внешнего магнитного поля, которое эпизодически изменяет свою полярность [6]. Судя по аномалиям, последний раз магнитное поле Земли изменило ориентацию 740 тыс. лет назад. Остаётся, однако, не вскрыта причина смены полярности [28], которой должны соответствовать пока не установленные геологические процессы катастрофических масштабов. Для последних 100 Мг. отмечается корреляция между частотой инверсий и самыми обычными признаками геологической эволюции земных оболочек: наращивание океанической коры, изменения палеотемпературы и уровня моря [32].

Полосы аномалий датируют по палеомагнитным данным, а их относительное расположение используют при оценке скорости спрединга в модели тектоники плит. К сожалению, процессы формирования базальтов очень неравномерны во времени и пространстве, а в измеряемом магнитном поле всегда присутствуют «шумы», обусловленные неинверсионными вариациями. Согласно В.М. Гордину, по этим и другим причинам апелляции к совпадениям независимых определений возраста литосферы по данным магнитной съёмки и глубоководного бурения не представляются обоснованными [8]. В зависимости от способа датировки, шкалы геомагнитной полярности подразделяются на магнитохронологические, магнитостратиграфические и аномалийные. Первые два типа шкал соотносят данные о полярности палеополя с абсолютными или относительными датировками образцов. В аномалийных шкалах определение магнитного возраста литосферы осуществляют по номерам идентифицированных аномалий. При этом совпадения разных аномалийных шкал достигают ценой перенумеровки аномалий и коррекции датировок. Ниже станет ясным, что каждая аномалия имеет локальное хронологическое значение, поэтому без подгонки построение глобальной геомагнитной шкалы невозможно.

У. Кэри уже отмечал, что намагничивание «ломтей роста» литосферы, выходящих из мантии и формирующих земную кору в океане, происходит

вблизи границы Мохо [14], а не после выхода их на поверхность. Это соображение представляет значительный познавательный интерес, ибо по нашей модели, *в условиях неизменной полярности магнитного поля Земли* знак аномалии определяется положением слоя с температурой Кюри по отношению к границе инверсии завихренности эфирных течений (отмечена стрелкой на рис. 1). По оценочным данным термометристов, на континентах остывание породы до температуры ниже 600°C достигается на глубине порядка 60 км [15], в коре океанов эта глубина ожидается равной 30 км [21]. Обе оценки согласуются с новыми данными по мощности магнитоактивного слоя [9].

Дискретное повышение возраста базальтов по мере удаления от срединно-океанических рифтовых структур указывает на порционный характер процесса обновления океанической литосферы. Когда базальт, проникший в осевую рифтовую зону раздвигающегося океанического хребта, остывая, приобретает температуру ниже точки Кюри, он намагничивается в прямом или обратном направлении в зависимости от того, на какой глубине находится граница инверсии знака завихренности. Её положение непрерывно эволюционирует вследствие изменения взаимного положения осей вихря и Земли, поэтому породы, формирующие кору и охладившиеся до температуры Кюри, могут оказаться в зоне либо положительной, либо отрицательной завихренности и приобрести намагниченность либо обращённого, либо прямого направления. На рис. 2 условно показано, что знак намагниченности не зависит от полярности интегрального поля Земли, но определяется температурной динамикой в порции породы, покидающей мантию. В монографии Паркинсона можно найти симптоматичную оговорку: «...следствие гипотезы Вайна-Метьюза заключается в том, что центральная аномалия над любым океаническим хребтом должна иметь прямую полярность, так как она соответствует остыванию после последней инверсии в начале эпохи Брюнес. Хотя, как ни странно, породы обратной намагниченности были обнаружены даже в центральной долине Срединно-Атлантического хребта» [21]. Можно дополнить Паркинсона: весьма часто порода характеризуется смешанным состоянием намагниченности, а глубоководное бурение обнаруживает переслаивание прямо и обратно намагниченных толщ и вертикальную изменчивость намагниченности. Всё это естественно связать с неустойчивостью режима охлаждения, в частности, из-за возвратно-поступательных движений ломтей разрастания.

5. Об эволюции магнитного поля

Упомянутое в первом разделе усиление недипольной компоненты связано, очевидно, с разрастанием земной коры. Десятилетняя задержка отклика геомагнитного момента на изменения вихревых течений,

обнаруживаемые по вариациям скорости вращения Земли [12], обусловлена инерцией процесса формирования новой коры с изменённым уровнем намагниченности.

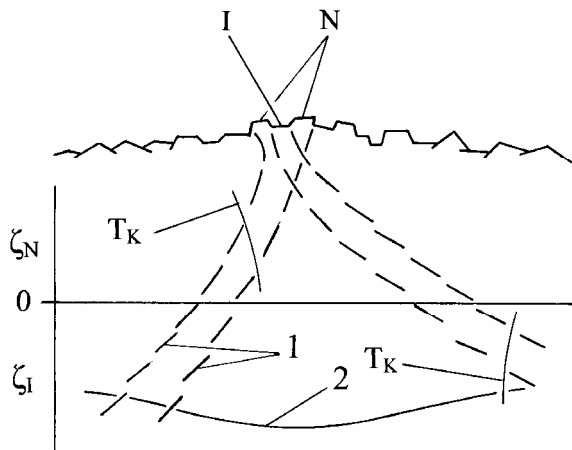


Рис. 2. Ломты разрастания океанического хребта нормальной (N) и аномальной (I) полярности [14, с изменениями]: 1 – кинематические линии; 2 – граница Мохо; ζ_N и ζ_I – завихренность эфирного течения, создающая намагниченность пород новой коры нормального и обратного направлений. Полярность определяется положением изотермы Кюри (T_K) относительно глубины $\zeta=0$. Масштаб по горизонтали примерно в 10 раз меньше, чем по вертикали.

Очень важно, что оба направления намагниченности аномалийных полос ортогональны трансформным разломам, поскольку, согласно определению (см. Приложение), вектор завихренности всегда ортогонален тангенциальной составляющей течений вихря. Последняя же, как отмечено в работе [19], определяет направление простирания трансформных разломов.

Преимущественно западный дрейф крупномасштабных структур магнитного поля $T(m)$ вызывается относительным смещением нижних горизонтов намагниченного материала под действием тормозящего давления эфирной среды (ядро вихря на кривой 1 рис. 1). Так как магнитные тела обратной полярности, ответственные за северную (X) составляющую магнитного поля, располагаются у подошвы магнитоактивного слоя, то их относительно быстрый западный дрейф закономерен.

Сложная картина пространственно-временной динамики дрейфа объясняется широтными вариациями сдвиговых напряжений в магнитосфере, обусловленными несовпадением симметрий

цилиндрического вихревого привода и сферической планеты. В тектоно-, гидро- и атмосфере Земли это несовпадение обнаруживается по повышенной активности процессов на средних широтах [19]. Картина эволюции составляющих магнитного поля (равно, как и тектогенеза) дополнительно усложняется эксцентрическим несовпадением осей привода и Земли.

Положение оси магнитного диполя может служить ориентиром положения вихревой оси, усреднённого за современный мегацикл в эволюции системы кора–мантия по Ю.Д. Пушкарёву [24]. Если привод служит кинематической первопричиной магнитного поля, то ось привода не сильно отклонена от оси дипольной аппроксимации последнего. Данное предположение подтверждается тем фактом, что антициклонический дрейф арктических льдов, кинематически связанный с вынужденным вращением Земли, имеет своим виртуальным центром северный магнитный полюс [4]. В.И. Уломов также отмечал «близость расположения большинства полюсов вращения литосферных плит... к геомагнитным, а не к географическим полюсам» [30].

Остановимся на вопросе о том, какой полюс – *магнитный* или *геомагнитный* – мог бы служить ориентиром при поиске положения полюса вихревого привода. Из-за непостоянства положения Земли внутри вихревого привода ось последнего, как правило, оказывается *эксцентрической*. По этой причине в качестве полюсов вихря мы выбираем *магнитные* полюса. Наилучшей эмпирической аппроксимацией морфологии главного геомагнитного поля служит поле наклонённого *эксцентрического* диполя. В соответствии с Международным эталонным геомагнитным полем (1980) этот диполь наклонён на 11° и смещён на расстояние 490 км от центра Земли в направлении точки с координатами 21° с.ш. и 147° в.д. в западной части Тихого океана [21].

Правда, положение магнитных полюсов чувствительно к наличию высокоширотных магнитных аномалий, поэтому ось условного магнитного диполя может служить лишь ориентиром при определении положения оси вихря, и необходимо дополнительное уточнение, основанное на учёте всего комплекса тектонических процессов, к которому мы обратимся в будущем.

Результаты, полученные А.В. Долицким [11] при исследовании миграции палеомагнитных полюсов, свидетельствуют об изменении положения оси привода в теле Земли в масштабах геологического времени. Если ось вихревого привода определяет пространственное положение дипольной компоненты магнитного поля, то смещение первой из них относительно оси вращения Земли с некоторым запаздыванием вызывает смещение и второй. Запаздывание объясняется тем, что наращивание магнитных тел лимитируется небольшой скоростью разрастания земной коры.

Учитывая тектоно-химический генезис вихревого привода ротации, легко понять, что необходимым условием магнетизма является тектоническая активность тела. На общую природу геомагнетизма и тектогенеза указывал ещё Н.Н. Трубяччинский [27]. Доказательством этого положения может служить отсутствие магнитного поля у Луны и его наличие у спутника Юпитера Ио. Однако, не во всех случаях «тектонизм» предполагает и магнетизм. При существенных перестройках вихревого привода, когда ротации на некоторый период геологической истории могут прекратиться, новая намагниченность не генерируется, и ранее созданное магнитное поле может рассеяться. Видимо, в таком состоянии сейчас находится Венера.

Заключение

Реконструкция сдвиговых течений в земной коре и мантии, основанная на анализе данных по процессам массопереноса в земных оболочках, позволяет указать не только движущую силу геотектоники, но и причину геомагнетизма. В обоих случаях ими оказались осесимметричные течения эфирного локального вихря космохимической природы, вызывающие сдвиговые напряжения и поддерживающие вращение планеты, которое порождает эфирные течения с «магнитной активностью».

Предложенная в двух работах данного сборника ротационная концепция геодинамики и геомагнетизма останется неполной без рассмотрения геотермального аспекта тектогенеза, поскольку именно внутреннее тепло Земли служит первопричиной рассмотренных нами процессов. Проблема геотермальной энергии имеет также огромное значение для физики планет в целом. В будущем, в развитие изложенной концепции ротации, тектогенеза и магнетизма Земли мы предложим новую модель происхождения внутреннего тепла космических тел.

Остались пока без рассмотрения и выявленные Ю.А. Морозовым [18] циклические закономерности тектонических и геомагнитных процессов в подвижных поясах. Предварительно можно отметить, что они обусловлены эволюцией пространственных отношений тела планеты и вихревого привода. Аналогичные процессы обнаруживаются на Солнце в виде циклов активности.

Приложение. Завихренность плоского течения

Важнейшим понятием в динамике жидкости является завихренность, которая представляет собой векторную величину, определяемую как $\zeta = \text{rot} \mathbf{v}$. В случае плоского осесимметричного течения имеется лишь z -проекция завихренности

$$\zeta_z = 2\omega_z = \frac{1}{r} \frac{\partial(rv_\varphi)}{\partial r}.$$

При твёрдом вращении тела завихренность равна удвоенной угловой скорости, а в сдвиговых течениях жидкости – удвоенной локальной угловой скорости среды ω . Общие сведения о вихревых течениях, встречающихся в природе, можно найти в монографии [2]. Подавляющее большинство сдвиговых течений обладает завихренностью. Исключение составляет лишь (потенциальное) течение с профилем скорости $v_\varphi \sim 1/r$. В вихревых структурах солнечной системы такие течения не представлены.

На рис. 3 в качестве графической иллюстрации к понятию завихренности показаны распределения скорости и завихренности в глобальном вихре солнечной системы (см. [2], рис. 3). Идеализированный профиль тангенциальной скорости в вихре можно представить в виде двух фрагментов: в ядре $v_{\varphi c} \sim r$, в планетной зоне $v_{\varphi p} \sim r^{-1/2}$. Соответственно, завихренность распределена на этих участках следующим образом: $\zeta_{zc} = \text{const}$ и $\zeta_{zp} \sim r^{-3/2}$. В планетной зоне течения глобального вихря характеризуются незначительной завихренностью. Если бы вращения планет были обусловлены завихренностью течений глобального вихря, то период их вращения составлял бы не менее четырёх периодов обращения, а экваториальные плоскости совпадали бы с плоскостью эклиптики. Данный режим вращения тел в солнечной системе не наблюдается. Подавляющее число тел вращается активнее, причём вектор момента их вращения, как правило, отклонён от вектора ζ , ортогонального эклиптике. Это даёт основания искать локальные причины вращения небесных тел, как это предпринято в работе [19].

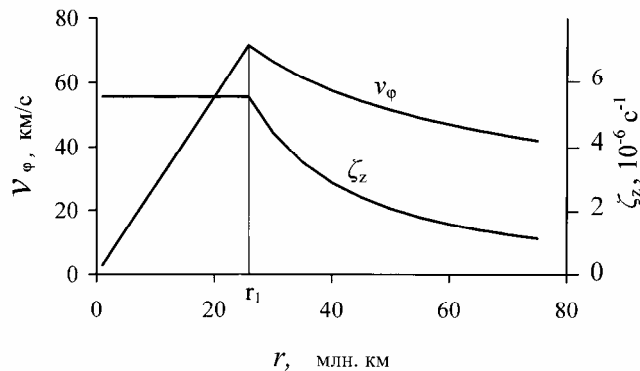


Рис. 3. Распределение завихренности ζ_z в тангенциальных течениях v_φ глобального вихря солнечной системы. В зоне ядра профиль скорости аппроксимирован линейной функцией; r_1 – граница вихревого ядра.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авраменко Р.Ф., Грачёв Л.П., Николаева В.И.* Экспериментальная проверка дифференциальных законов электромагнитного поля // Будущее открывается квантовым ключом. Ред. В.И.Николаева, А.С.Пашина. М.: Химия, 2000. С. 139–159.
2. *Алексеев С.В., Куйбин П.А., Окулов В.Л.* Введение в теорию концентрированных вихрей. М.–Ижевск: Институт компьютерных иссл-й, 2005. 504 с.
3. *Ангенгейстер Г., Бартельс Ю.* Магнитное поле Земли. М.-Л.: ОНТИ-НКТП СССР, 1936. 120 с.
4. *Атлас океанов.* Северный ледовитый океан. ГУНО–МО СССР, 1980. 185 с.
5. *Буллард Э.* Геомагнитное динамо // Природа твёрдой Земли. М.: Мир, 1975. Ред. Ю. Робертсон. С. 167–179.
6. *Вакье В.* Геомагнетизм в морской геологии. Л.: Недра, 1976. 192 с.
7. *Васильев Б.В.* Откуда у Земли магнитное поле // Природа. 1996. № 6. С. 13–23.
8. *Гордин В.М.* Об интерпретации аномального магнитного поля океанов по Вайну-Мэттьюзу // Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы. Ред. В.Н. Шолпо. М.: ОИФЗ РАН, 2002. С. 27–29.
9. *Городницкий А.М., Назарова Е.А., Шишкина Н.А.* О предельной глубине магнитоактивного слоя океанской литосферы // Электромагнитная индукция в Мировом океане. Ч. I. (Ред. М.С. Жданов). М.: Наука, 1990. С. 3–8.
10. *Докторович З.И.* Проблемы применимости теории электромагнетизма и методы их разрешения // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2002. № 4. С. 87–96.
11. *Долицкий А.В.* Глобальные закономерности смещений палеомагнитных полюсов на протяжении 3000 млн. лет. М.: ОИФЗ РАН, 1998. 52 с.
12. *Киселёв В.М.* Неравномерность суточного вращения Земли. Новосибирск: Наука, 1980. 160 с.
13. *Клевцов М.И.* Раскрытие тайн мироустройства. М.: ТОО «Петрол-М», 1995. 168 с.
14. *Кэри У.* В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. М.: Мир, 1991. 440 с.
15. *Любимова Е.А., Фирсов Ф.В., Люсова Л.Н.* Некоторые результаты определений теплового потока из земных недр и температура коры // Геотермические исследования и использование тепла Земли. Труды 2-го совещания по геотермич. иссл. в СССР / Ред. Ф.А. Макаренко. М.: Наука, 1966. С. 51–58.

16. *Максвелл Дж.К.* Трактат об электричестве и магнетизме. Т.П. М.: Наука, 1989. 435 с.
17. *Мориц Г., Мюллер А.* Вращение Земли: теория и наблюдения. Киев: Наукова думка, 1992. 512 с.
18. *Морозов Ю.А.* Цикличность кинематических инверсий в подвижных поясах в свете лунно-земных связей // Геотектоника. 2004. № 1. С. 21–50.
19. *Низовцев В.В., Кривицкий В.А.* Вихревые аспекты геодинамики // Настоящий сборник.
20. *Низовцев В.В., Панченко О.В.* Гидромеханическая модель солнечной системы // Геоинформатика. 2003. № 4. С. 54–58.
21. *Паркинсон У.* Введение в геомагнетизм. М.: Мир, 1986. 528 с.
22. *Парселл Э.* Электричество и магнетизм. М.: Наука, 1975. 439 с.
23. *Почтарёв В.И.* О роли мантии в земном магнетизме // Геомагнитное поле и внутреннее строение Земли / Ред. В.И.Почтарёв. М.: ИЗМИРАН, 1980. С. 21–26.
24. *Пушкарёв Ю.Д.* Мегациклы в эволюции системы кора–мантия. Л.: Наука, 1990. 216 с.
25. *Савчук В.Д.* От теории относительности до классической механики. Дубна: «Феникс+», 2001. 176 с.
26. *Сипко В.Н.* Токовая модель источников главного геомагнитного поля // Строение Земли и внутреннее строение Земли / Ред. В.И.Почтарёв. М.: ИЗМИРАН, 1980. С. 27–32.
27. *Трубятчинский Н.Н.* «Вековой ход» и карты изопор Fisk // Междунар. Балт. геодез. комиссия. Доклады VII конф. Вып. IV. М.–Л.: Горгеонефтеиздат, 1934. С. 10–27.
28. *Трухин В.И., Жиляева В.А., Багина О.Л.* и др. Глобальные закономерности естественного намагничивания горных пород // Взаимодействие в системе литосфера–гидросфера–атмосфера / Ред. Л.Н. Рыкунов, Е.П. Анисимова. М.: Недра, 1996. С. 49–59.
29. *Уиттекер Э.* История теории эфира и электричества. М.-Ижевск: НИЦ «Рег. и хаотич. Динамика», 2001. 510 с.
30. *Уломов В.И.* Вихревая сейсмогеодинамическая модель Земли // Узбекский геол. ж-л. 1983. № 4. С. 16–20.
31. *Чирков А.Г., Агеев А.Н.* О природе эффекта Ааронова-Бома // ЖТФ. 2001. Т. 71. В. 2. С. 16–22.
32. *Шрейдер А.А.* Инверсии магнитного поля Земли и изменения в природной среде // Изв. РАН. Физика Земли. 1994. № 9. С. 97–101.
33. *Blacket P.M.S.* The magnetic field of massive rotating bodies // Nature. 1947. Vol. 159. No. 4046. P. 658–666.
34. *Ehrenberg W., Siday R.E.* The refractive index in electron optics and the principle of dynamics // Proc. Phys. Soc. L. 1949. Vol. B62. P. 8–21.

35. *Jault D., Gire C., Le Mouel J.L.* Westward drift, core motion and exchanges of angular momentum between core and mantle // *Lett. Nature*. 1988. V. 333. No. 6171. P. 353–356.
36. *Peddie N.V.* Current loop models of the Earth's magnetic field // *J. Geophys. Res.* 1979. Vol. 84. No. B9. P. 4517–4523.
37. *Schuster A.* A critical examination of the possible causes of terrestrial magnetism // *Proc. Phil. Soc. Lond.* 1912. V. 24. P. 121–137.
38. *Sirag S.-P.* Gravitational magnetism // *Nature*. 1979. Vol. 278. P. 535–537.
39. *Steenbeck M., Krause F., Raedler K.-H.* Berechnung der mittleren Lorentz-Feldstaerke $V \times B$ fuer ein electrisch leitendes Medium in turbulenter, durch Coriolis-Kraefte beeinfluster Bewegung // *Z. Naturforschg*, 1966. B. 21 a. S. 369–376.
40. *Thomson W.* Ether, electricity, and ponderable matter // *Mathematical and physical papers*. Vol. VIII. L.: Cambridge University Press, 1890. P. 484–515.
41. *Tomomura A., Osakabe N., Matsuda Ts. et al.* Evidence for Aharonov-Bohm effect with magnetic field completely shielded from electron wave // *Phys. Rev. Lett.* 1986. Vol. 56. No. 8. P. 792–795.
42. *Wilde M.* Magnetarium destine a reproduire les phenomenes du magnetisme terrestre et les changements seculaires des composantes horisontales et verticales // *C. R. Akad. Sci. Paris*. 1897. T. 125. N1. P. 86–87.

Низовцев Владимир Васильевич. С.н.с. факультета почвоведения МГУ им. М.В.Ломоносова, к.ф.-м.н., доцент. Область научных интересов: физика планет, астрофизика солнечной системы.

Бычков Владимир Львович. В.н.с. физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, д.ф.-м.н., с.н.с. Область научных интересов: физика плазмы.

**ПРИНЦИПЫ МЕХАНИКИ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРАЩЕНИЯ
ЗЕМЛИ И ИЗУЧЕНИЕ ЕЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ**

(исторический обзор проблемы)

М.И. Юркина

ЦНИИГАиК

Аннотация. Описаны два исторически сложившихся подхода к определению изменений ориентации Земли в пространстве. В первом случае силы притяжения Земли со стороны Луны и Солнца приложены к центру масс Земли. Во втором – эти силы, как векторные суммы притяжения всех элементов массы Земли, могут быть приложены к точке, расположенной на некотором расстоянии от ее центра масс. Неуклонно возрастающая точность геодезических (наземных и космических) и астрономических измерений обязывает исследователей на практике использовать второй подход.

Для изучения внутреннего строения Земли используют как изменения широт, так и данные о движении ее полюса. Обработка астрономических наблюдений осложняется необходимостью принимать во внимание изменения ориентировки Земли в пространстве, для чего вводят соответствующие поправки за прецессию и нутацию. Эйлер показал в 1765 г. [19], что в измерениях, проводимых с земной поверхности, нельзя разделить влияния смещений оси вращения в теле Земли и изменений ее ориентировки, так как в общем случае число неизвестных превышает число уравнений. Решение можно найти, если изменения ориентировки Земли определять из решения соответствующей механической задачи. Возможность такого подхода в упрощенном варианте Эйлер показал в 1766 г. [21].

В наше время существует большое несоответствие между точностью выполняемых измерений и упрощенным подходом к решению возникающей механической задачи. Принимают во внимание приливные деформации Земли, но в основе решения механической задачи лежит допущение, что результирующие силы притяжения Земли Луной и Солнцем всегда приложены к центру масс Земли, и возмущающий вращательный момент рассчитывают относительно этой точки. В основе такого расчета лежат сформулированные в труде Аристотеля «О небе» (384–322 до н.э.) представления о центре Земли как центре Мира, к которому стремятся тяжелые тела.

В древности же возникло представление и об атомном строении вещества, которое приводит к другому принципу определения вращения твердых тел. Французский философ, математик и астроном Пьер Гассенди (1592–1655) связал понятие об атомах с Эпикуром (341–270 до н.э.),

который рассматривал притяжение – гравитацию как свойство атомов. С этой точки зрения Гассенди в своих «Философских сочинениях» [23] описал движение маятников и морские приливы, отметив, что направление силы притяжения может быть смещено с центра Земли (t. 1, p. 399). Труды Эпикура дошли до нас через Лукреция (I в. до н.э.) [5].

С течением времени попеременно появляются связанные с вращением Земли работы, основанные или на принципе Аристотеля (центр Мира в центре Земли, к которому притягиваются все тела Вселенной), или на принципе, базирующемся на представлениях атомизма. Открывший прецессию Гиппарх (около 180 (190)–125 до н.э.), конечно, имел в виду центр Земли как центр Мира по Аристотелю.

В 1674 г. опубликована лекция Роберта Гука (Robert Hooke) «Попытка доказать движение Земли наблюдениями» [25]. Сообщение на эту тему им было сделано в цикле лекций по механике, спонсированном сэром Джоном Катлером (Sir John Cutler). В этой работе Гук, по сути, «высказал идею закона всемирного тяготения, предвосхитив этим во многих чертах небесную механику И. Ньютона» [1, с.151]. Система Гука была основана на следующих трех допущениях [25, 2].

1. Все небесные тела притягивают к своим собственным Центрам (...have an attraction or gravitating power towards their own Centers...) не только свои части, не давая им улечь (...keep them from flying...), что мы и наблюдаем, но и другие небесные тела внутри сферы их активности...

2. Все тела, если на них перестают действовать силы, продолжают двигаться по прямой (принцип относительности Галилея), пока не попадут под действие какой-либо силы...

3. Притягивающие силы тем больше, чем ближе тела к их Центрам (...these attractive powers are so much the more powerful in operating, by how much the nearer the body wrought upon is to their own Centers).

В годы, предшествовавшие публикации книги Ньютона «Математические начала натуральной философии» (1687), действия притягивающих сил активно обсуждали Ньютон, Врен, Гук и Галлей, что нашло отражение в упомянутой книге, а именно в «Поучении» у «Предложения IV и Теоремы IV» [11, с. 80]. Из приведенных выдержек из текста Гука следует, что действия сил притяжения он связывал с центром масс.

Обсуждая разные аспекты действия сил притяжения, в частности притяжения объемных тел, Ньютон во всех прижизненных изданиях «Начал», начиная с первого издания в 1687 г., рассматривает притяжения частиц. В разделах XII «О притягательных силах сферических тел» и XIII «О притяжении тел не сферических» Книги I Ньютон говорит о центрах масс после определения векторных сумм притяжения частиц.

Предложение 88, Теорема 45 Раздела XIII Книги I «Начал» [11, с. 268–269] посвящены рассмотрению силы притяжения, возрастающей пропорционально расстоянию до притягивающей частицы. Такие силы

рассматривал еще ал-Хазини в XII в. (подробнее см. [4]). Ньютон доказал, что в этом случае равнодействующая сил притяжения тела и частиц приложена к центру масс притягивающего тела и равна силе притяжения шара, масса которого равна массе тела и центр тяжести которого совпадает с центром тяжести тела. Вариант этого утверждения содержат также Предложение 89 и Теорема 46.

Подобного рассмотрения сил, действующих в соответствии с законом всемирного тяготения, в «Началах» нет, как нет и соответствующего утверждения. Ньютон представлял, что в случае сил, обратно пропорциональных квадратам расстояния, могут быть смещения сил с центров масс небесных тел, сферически не симметричных, таких как Земля.

Обсуждая фигуру Земли в Книге III, Предложении XIX, Задаче III [11, с. 531–537], Ньютон для внешней эквипотенциальной поверхности модели однородной Земли приравнивает экваториальный и полярный «веса» и в результате для сжатия Земли получает: $(a-b):a=1:230$, где a и b – экваториальный и полярный радиусы соответственно.

Христиан Гюйгенс (Huygens) в работе «О причине тяжести», вышедшей в свет в 1690 г. [26], описал свой расчет земного сжатия $\alpha=1:578$. При этом он полагал силу притяжения на земной поверхности везде постоянной и всегда направленной к центру Земли (подробнее [13, 30]).

Открывший нутацию земной оси (1737–1748) королевский астроном Джеймс Брайдлей (1693–1762) по описанию Ригго, приведенному в предисловии к трудам Брайдлея [29], получил в 1726 г. в подарок от Ньютона одну из двенадцати изданных на особой бумаге и красиво переплетенных книг «Начал». Но едва ли Брайдлей задумывался о трудностях количественного определения вращения Земли как механической задаче, по всей вероятности, он считал, что Земля неизменно вращается строго относительно центра масс.

Правоту Ньютона о силе притяжения небесного тела как результирующей сил притяжения слагающих его частиц – элементов массы и правильность механики Ньютона подтвердили результаты организованной академией наук Франции геодезической экспедиции в Лапландию [27] совместно с измерениями на территории Франции. Экспедиция в Анды, также организованная упомянутой академией, в область, в то время принадлежавшую Испании, а теперь Эквадору, подтвердила этот вывод.

М.В. Ломоносов был последователем Гюйгенса, что нашло свое отражение в его заметках 1743–1744 гг., впервые опубликованных в Полном собрании его сочинений, начавших выходить в свет в 1950 г. В заметке 1748 г., впервые опубликованной в 1951 г., говорится: «Земля притягивает тела одной и той же тяжести с одной и той же силой, если они находятся на одном и том же расстоянии от центра Земли». К 50–60

гг. XVIII в. взгляды Ломоносова несколько изменились. Согласно Росписи, опубликованной в 1955 г., Ломоносов хотел использовать маятники для определения подвижности или неизменности расположения центра, притягивающего тяжелые тела [7, с. 237–251; 8, с. 195–203; 9, с. 812].

Леонард Эйлер был последователем Ньютона. Возможное влияние фигуры небесного тела на его орбитальное движение отмечено Эйлером в статье 1749 г. [17], посвященной взаимным возмущениям в движении планет Юпитера и Сатурна. В 8-м разделе этой работы Эйлер, как об известном факте, заметил, что сфероидальные тела притягиваются с силами, которые, во-первых, могут быть приложены не к их центрам масс и, во-вторых, неточно обратно пропорциональны квадратам расстояний. Сжатие Юпитера наибольшее, и поэтому, прежде всего, отмеченное замечание касается этой планеты. Смещения результирующей внешних сил с центра масс Юпитера должно влиять как на его вращение, так и на нутацию оси.

Другая статья Эйлера 1749 г. [18] посвящена этой же теме. В ней Эйлер пишет о невозможности выразить действующие силы точно в соответствии с законом Ньютона из-за «реального» строения небесных тел, форма которых не имеет сферической симметрии. Результирующие силы в этом случае могут быть не приложены к центрам масс небесных тел. Орбиты не могут быть точными эллипсами, законы Кеплера не могут быть удовлетворены вполне точно, и, следовательно, вращения планет могут быть подвержены возмущениям. В этой связи возникает трудность определения нутации оси вращения Земли из-за полной неопределенности принципов механики, которые должны быть положены в основу. Нужны новые открытия и методы анализа.

Возможность несовпадения центра притяжения (*attrahentis centrum*) небесного тела, т.е. точки приложения внешней силы, с его центром масс (центром инерции) из-за «несферического» строения тела отмечена Эйлером в работе 1862 г. [22].

В книге 1765 г. [20], в главе 16, посвященной вращению небесных тел, Эйлер снова обратил внимание на возможность несовпадения точки приложения действующих сил с центром масс сферически несимметричного тела, на необходимость совершенствования теории вращения, выразил сомнения в достаточной точности методов, в которых эти обстоятельства не приняты во внимание.

Обсуждая механические идеи Генриха Герца, А. Пуанкаре в 1897 г. поставил вопросы [12, с. 310–333]: «Имеем ли мы право принять гипотезу центральных сил? Строго ли точна эта гипотеза?». И при этом заметил, что закон движения центра тяжести справедлив только в применении ко всей Вселенной, нам известны лишь относительные движения. Пуанкаре не одобрил теорию Герца, поскольку она оставляет слишком большое место чисто гипотетическим представлениям.

Приведенные опасения Эйлера и вопросы Пуанкаре не нашли отклика как у их современников, так и в последующем развитии астрономии и теории вращения небесных тел. Астрономы следуют Аристотелю и Гуку, т.е. считают, что действующие силы всегда направлены к центру масс Земли. И именно при таком предположении рассчитывают поправки за изменение ориентировки Земли в пространстве из-за притяжения Луны и Солнца в современной Международной службе вращения Земли (IERS).

В трудах механиков принцип Ньютона нашел продолжение. Первую, насколько нам известно, численную оценку смещения результирующей силы, связанной с взаимным притяжением Земли и Луны, относительно центра Земли, получил Г. Ламб в 1929 г.: 145 м [6]. Этот результат очень кратко представлен Г. Ламбом в виде ответа на задачу. М.Д. Бондарева подробно описала этот случай и получила оценку для двух моделей Земли в случае влияния Солнца: 32 см [3].

Точку приложения результирующей силы притяжения Миндинг (Minding) в 1838 [28, с. 78] и Гамильтон (Hamilton) в 1866 г. (см. Т.2 книга 3 гл.3 раздел 8 в [24]) предложили определять минимумом возмущающего вращательного момента в направлении результирующей силы притяжения. По оценке М.Д. Бондаревой (1990), эта точка от центра масс Земли из-за влияния Луны и Солнца может быть смещена на величину до 350 м и 90 см, соответственно. Обзор суждений, противоречащих традиционным приемам обработки, выполнен автором в 2004 г. [15].

Принято считать, что все отличия, возникающие при традиционных методах обработки, вызваны случайными ошибками. В получаемых из расчетов как астрономических широт и долгот, так и движений полюса возникают искажения и появляются эффекты, которых на самом деле нет в природе. Так, в исследованиях геофизиков можно встретить выводы о движениях ядра Земли. Представление о таких движениях может вызвать колебание точек приложения равнодействующих сил притяжения в системах Луна–Земля и Солнце–Земля около центра земной массы. Из-за описываемого эффекта также нельзя считать движение Меркурия доказательством теории относительности Эйнштейна. Отклонение точки приложения результирующей силы притяжения в системе Солнце–Меркурий от центра масс Солнца на 1,2 км могло бы объяснить наблюдаемое движение перигелия этой планеты [14].

При учете отклонения точки приложения действующих сил с центра масс Земли должны измениться и оценки приливных явлений на нашей планете. Отклонения точек приложения результирующих сил относительно центра масс вызывают колебания геометрического места минимальных ускорений. Вопрос Эйлера в статье 1765 г. [19] «...qu'est ce que l'axe de la Terre?» – что такое ось Земли? – пока не имеет ответа. В разложении потенциала притяжения Земли и Луны, Земли и Солнца по сферическим функциям возникают гармоники первой степени. Учет смещений точек приложения действующих сил ведет к уточнению углов

Эйлера, ориентирующих систему координат Земли относительно небесной системы и, следовательно, к уточнению движения ее полюса.

Необходима разработка новых теорий вращения Земли и приливов, что было отмечено М.С. Молоденским [10, с. 3]: «Существенное повышение точности измерений, обеспечиваемое современной техникой, может давать эффект только при использовании столь же точной теории вращения и колебаний Земли. Развитие такой теории является одной из актуальных задач современной науки».

К современным данным о движении полюса, пока не будет уточнен расчет за изменение ориентировки Земли, нужно относиться с осторожностью, как и к выводам о движении ядра Земли. Некоторые дополнительные подробности содержит статья автора 2005 г. [16].

Таким образом, проведенный обзор позволяет сформировать два следующих логических ряда из ученых, занимавшихся изучением проблемы вращения Земли:

1. Аристотель – Гиппарх – Гук – Гюйгенс – Бродли – Ломоносов – астрономы (Международная служба вращения Земли).

2. Эпикур – Лукреций – Гассенди – Ньютон – Эйлер – Миндинг – Гамильтон – Пуанкаре – Ламб – механики.

Возрастающая точность геодезических методов, на взгляд автора, вынуждает всех исследователей, занимающихся вращением Земли, «примкнуть» ко второму ряду.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Боголюбов А.Н.* Биографический справочник. Математики. Механики. Киев: Наукова думка, 1983 640с.
2. *Боголюбов А.Н.* Роберт Гук. 1635–1703. М.: Наука, 1984. 240 с.
3. *Бондарева М.Д.* Оценка смещения равнодействующих притяжения Солнце–Земля, Луна–Земля с центра масс Земли // Геодезия и картография 1990. № 6. С. 4–8.
4. *Буриа М., Юркина М.И.* Небесномеханические задачи о несферических телах // Геодезия и картография. 1998. № 11. С. 3–7.
5. *Быховский Б.Э.* Гассенди. М.: Мысль, 1974. 203 с.
6. *Ламб Г.* Теоретическая механика. Т. 3. Более сложные вопросы // М.-Л.: Объединенное научно-техническое изд-во НКТП СССР, 1936. 292 с.
7. *Ломоносов М.В.* Заметки о тяжести тел // Полное собрание сочинений. Т. 1. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. С. 237–251.
8. *Ломоносов М.В.* О тяжести тел и об извечности первичного движения // Полное собрание сочинений. Т. 2. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 195–203.
9. *Ломоносов М.В.* Роспись сочинениям и другим трудам советника Ломоносова, составлена в 1764 г. // Полное собрание сочинений. Т. 4. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1955. С. 812.

10. Молоденский М.С. Общая теория упругих колебаний Земли. М.: Недра, 1989. 80 с. Избранные труды. М.: Наука, 2001. С. 506–566.
11. Ньютон И. Математические начала натуральной философии / Пер. с лат. А.Н. Крылова. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 696 с.
12. Пуанкаре А. Идеи Герца в механике // «Принципы механики, изложенные в новой связи». М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 310–333.
13. Юркина М.И. К истории теории потенциала в связи с теорией фигуры Земли. Вклад Леонарда Эйлера // Историко-астрономические исследования. М.: Наука, 1987. С.103–122.
14. Юркина М.И. Эффект Эйлера и небесномеханические выводы // Проблемы пространства, времени, движения. Труды 4-ой Международной конференции. 23–29.09.1996 СПб. ОАО «СПб-Технология». СПб: РАН, 1997. С. 146–153.
15. Юркина М.И. Обзор суждений, противоречащих принятому допущению о независимости орбитального и вращательного движений сферически несимметричных небесных тел // Физическая геодезия. Научно-технический сборник по геодезии, аэрокосмическим съемкам и картографии. М.: ЦНИИГАиК, 2004. С. 52–80.
16. Юркина М.И. Пуанкаре и геодезия // Пуанкаре и проблемы нелинейной механики. Материалы докладов Международной конференции «Четвертые Окуневские чтения». Т. 3. 22–25.06.2004. СПб, Россия. СПб: Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф.Устинова, 2005. С. 145–150.
17. Euler L. Recherches sur le mouvement des corps célestes en general // Opera omnia. Ser. 2. V. 25. Turici, 1960. P. 1–44.
18. Euler L. Recherches sur la question des inégalités du mouvement de Saturne et de Jupiter // Opera omnia. Ser. 2. V. 25. Turici, 1960. P. 45–157.
19. Euler L. Remarques générales sur le mouvement diurne des planets // Opera omnia. Ser. 2. V. 29. Turici, 1961. P. 199–219.
20. Euler L. Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum // Opera omnia. Ser. 2. V. 3. 1948, XXII+327 pp., V.4, 1950, 359 p. Orell Füssli Turici.
21. Euler L. Recherches sur le mouvement de rotation des corps célestes // Opera omnia. Ser. 2. V. 29. Turici. 1961. P. 220–256.
22. Euler E. Astronomia mechanica // Opera postuma, mathematica et physica anno 1844 detecta. Tomus alter. Petropoli: 1862. P. 175–316.
23. Gassendi P. Syntagmatis philosophic. Opera omnia. Lugduni: L. Anisson et J.B. Devenet, 1658. T.1, 752 p.; T.2, 860 p.
24. Hamilton W.R. Elements of quaternions / Third edition. V. 2. Chelsea: Publishing Company. 1969. 502+LIV p.
25. Hooke R. An attempt to prove the motion of the Earth from observation. London: 1674. Early science in Oxford. V. 8. The Cutler lectures of Robert Hooke. Oxford: 1931. P. 1–28.
26. Huygens Chr. Discours de la cause de la pesanteur. Œuvres complete t.21 La Haye. V. Nijhoff. 1944. P. 443–488.

27. *Maupertuis P.L.M.* La figure de la Terre déterminée par les observations au cercle polaire. Amsterdam: J. Catuffée. 1738. 216 p.
28. *Minding F.* Handbuch der theoretischen Mechanik. Berlin: F. Dümmler. 1838. 348 S.
29. *Rigaud S.P.* Preface. In: Bradley's Miscellaneous works and correspondence. Oxford: At the University press. 1832. CVIII 528 p.
30. *Yurkina M.I.* Sur l'histoire de la notion du potential // Bulletin géodésique. 1985. V. 59. №2. P. 150–166.

Юркина Мария Ивановна – д. т. н., с. н. с., консультант ЦНИИ геодезии аэросъемки и картографии. *Область научных интересов:* теории фигуры и вращения Земли.

THE CORKSCREW THEORY – A NEW MECHANISM OF THE SOLID EARTH GEODYNAMICS

R. Gurov, B. Rangelov
New Bulgarian University, Sofia, Bulgaria

The Earth is moving nonstop!

Summary: Over the last years several new concepts about the earth's geodynamics have been suggested. To make even a short review is a difficult task. The last recent summary of the rotational concepts is presented shortly in the monograph VORTEX-RELATED EVENTS OF THE GEOLOGICAL PROCESSES (Ed. A. Vikulin, 2004). In our recent presentation the aim is to suggest the general ideas about a new concept concerning the solid earth's geodynamics dominated by turbulence movements called «corkscrew theory». We believe that every theory can generate many different hypotheses targeted to many different aspects of the theory's applications. The creation of the corkscrew theory was provoked by many new, modern and recently published data on the global observations including NASA's GPS data, satellite gravimetry mapping, last models of the Earth's plates, etc.

ТЕОРИЯ ШТОПОРА – НОВЫЙ МЕХАНИЗМ ГЕОДИНАМИКИ ТВЕРДОЙ ЗЕМЛИ

Р. Гюров, Б. Рангелов
Новый болгарский Университет, София, Болгария

Земля движется без остановок!

Аннотация. В последние годы появилось несколько новых концепций геодинамики Земли. Представляется трудной задачей сделать даже их краткий обзор. Последнее недавнее обобщение связанных со вращением концепций коротко представлено в монографии «Вихри в геологических процессах» (Ред. А.В. Викулин, 2004). В настоящей работе предлагается новая концепция геодинамики твердой Земли, получившей название «теории тирбушона» («теории штопора»), в основе которой заложены представления о турбулентных движениях. Мы полагаем, что каждая теория может генерировать множество гипотез, отражающих ее различные аспекты. Появление теории штопора было стимулировано многими новыми современными данными глобальных наблюдений, включая данные GPS НАСА, спутникового гравиметрического картирования, последних моделей плит Земли и т.д.

The main fundamental concept

The main fundamental concept is based on the assumption that rotational turbulence movements are the main elements of the global geodynamic

structures developed on the solid Earth surface and in the Earth's interior during Earth's history. They are called «corkings» and have different sizes, forms and velocities of the movements, consist of different branches with different vertical and horizontal displacements. Some of them are more active, some are calmer, but both have their expressions in the different geodynamic structures observed on the Earth's surface. This is a fully mobilistic concept.

The direct analogy with the atmospheric turbulences and ocean flows is obvious and accepted by us – cyclones and anticyclones create spiraling forms observed on the meteorological satellite images. They look very similar to the forms, sizes, branches, space positions, etc., of the corkings. The atmospheric turbulences are developed in the atmosphere, the ocean flows in the hydrosphere, while according our concept the corkings are developed in the lithosphere and in the deep Earth's interior.

The main differences are the medium where the turbulences originate and developed, (appearing and disappearing) and the velocities of the movements. The corkings and/or of the different branches of the corkings themselves and the atmospheric turbulences, (respectively the ocean flows) are similar in their shape and forms.

The substances where these structures are created and developed are different. For the meteorological events this is the atmosphere, for the ocean flows – the hydrosphere, for the corkings – the solid Earth and the deep earth's interior. The corkings have the same properties as the atmospheric (ocean) turbulences – strongly expressed nonlinearity in their behavior.

They appear and disappear spontaneously in time. After being formed they have relatively stable development in the time domain to the moment they are destroyed or disappear. Corkings could penetrate deeper in the Earth's interior, or have shallower influence. Thus, in general the similarities between atmospheric (ocean) turbulences and the corkings are the shape, branching structure, different forms and sizes.

The main differences are the substances they exist in, the velocity of the movements of the masses and the possibilities of axial position (usually the atmospheric turbulences have vertical or sub-vertical space position, but the ocean flows are more complicated having as well as relatively great horizontal components.). Corkings due to the very high viscosity of the substance where they exist in may have not only the vertical, but even horizontal and/or sub-horizontal position.

The probable main energy source (driving mechanism) of the movements and the generation of the corkings is the Earth's core, its perturbations and/or movements, balancing the stability and the space position of the Earth and acting as source of the different turbulences in the «solid» Earth. Many of the structures observed now on the Earth's surface could be the recent corkings, their branches and/or relicts of the existing earlier corkings.

If this concept is accepted many existing and newly observed facts can get easy and reasonable explanations.

Some important evidences

There are a lot of observational facts, phenomena and data, which can easily be explained by the suggested hypothesis. We are referring only to few most impressive:

1. Seismic evidences

A) Intraplate earthquakes

A great number of high magnitude events are located in the mid plate areas. For example the earthquakes in New Madrid – Missouri of 1811–1812 created great macroseismic fields which covered almost the entire North American continent. It has been mentioned many times (IHEES, 2002) that there is no very clear explanation given by the plate tectonics about the occurrence of such strong events in the interior of the big continental plates. The acceptance of the main postulates of the corkscrew theory can easily explain such facts. If the entire North American corking rotates contra clockwise the generated stresses can produce such events, due to the differences of velocities of the different branches of the corking. Many similar events have been observed as well as in Mongolia, the NE of the North America, etc.

B) Local intermediate foci of intraplate earthquakes

There are some other non-specific earthquake sources like Vrancea (Carpathians), Hindukush, etc., which produce intermediate earthquakes located in the stable continental plates, but far from subduction zones, which usually generate such events. These specific areas frequently produce very strong seismic events at depths ranging between 100 to 300 kilometers. All attempts, up to now, to explain these events by the classical plate tectonic mechanisms have failed. Our interpretation is related with the influence of the local intensively acting corkings, which penetrate deep in the upper mantle. (Vikulin, 2003).

C) The earthquake rotating mechanisms.

Due to the classic plate tectonics, the transform faults have dominant strike-slip mechanisms of earthquakes, the subduction zones – normal and thrust faulting mechanisms, etc. (Guo, 1988). There is no single case of the typical transform faults where the only strike-slip earthquakes occur (Takeo and Ito, 1997). Different types of earthquakes mechanisms and stress axes rotations have been observed to the transform faults as well as attributed to the subduction zones (Stein and Klosko, 2002). They are very often of mixed character (Vannucci et al., 2004). The existence of the «dashed» (interrupted) extensional zones near the convergent «plate» boundaries, are another examples, which creates difficulties to explain such a behavior (Nur et al, 1986). The models explaining the relations between transform faults, ridges, subduction zones always need rotational component, even in the classic plate tectonics – Fig.1 .

This topic is investigated and discussed deeper separately later on as a special case of the Aegean arc system.

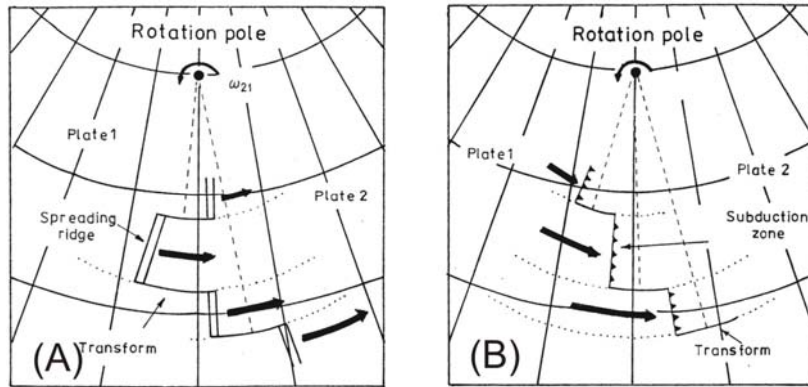


Fig. 1. Rotational components necessary to explain the main elements and their relations introduced in the plate tectonics – a) and b) (according IHEES, 2002)

D) Occurrence of the small earthquakes ($M < 5.0$) almost everywhere in clusters or by diffusive origin not only near the continental margins, but almost on the whole Earth. There are a great number of cases where the clusters or more diffusive located earthquakes occurred far from the plate boundaries and/or transform faults and rift zones. The acceptance of the corkscrew postulates can easily to explain the existence of such seismicity due to the activation of the different branches of the corkings.

2. Some general geology evidences

A) Thick sediments.

The existence of very thick alternating sediments (sometimes horizontal, sometimes vertical even overwhelmed) cannot be explained by the plate tectonics without special, sometimes rather artificial assumptions. These sediments are the main collectors of oil and gas, but sometimes contain these carbon masses, sometimes – not. The corkscrew theory can explain the existence of the thick alternating layers (with or without petrol), produced by the uplift and downward moving masses due to the horizontal (or sub-horizontal) corkings acting actively in the past geological ages.

B) Hot spots

The hot spots (their positions and development) have always been considered as the most difficult phenomena to explain by the plate tectonics theory (Uyeda, 1980). Many reconstructions need rotational movements to explain the time-space development of the hot spots. We assume that the hot spots are locally developed small corkings and resemble small corkings (called

solid Earth's tornadoes). There are several examples of the depth distribution of the magma chambers studied rather well. The most impressive one is presented on fig.3 (IHEES., 2002-Hawaii). It shows that the magma chamber is located not exactly under the caldera, but has a more or less spiral distribution in depth. Usually the spirally floating areas over the hot spots with the highest speed movements among other geodynamic processes show the specific behavior of the space-time development of the volcanoes related to the hot spots – Hawaii, Canaries, Capo Verde, Mauritius and Reunion islands, etc. Probably all other hot spots have the similar behavior and development. All successful reconstructions of the hot spot movements and the plate movements need spiral rotational models (fig. 2.)

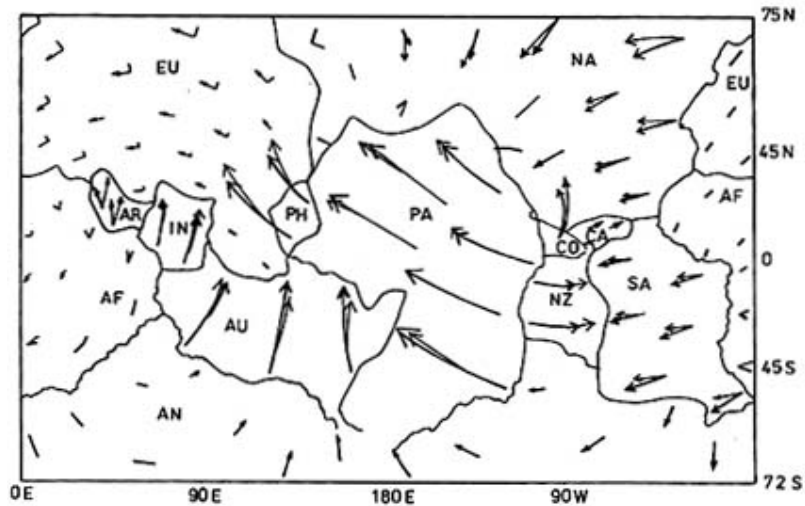


Fig. 2. Reconstruction of the plate movements according the hot spots space-time development according IHEES, 2002.

C) Locations of the ultra basic rocks

The existence of the most expressive geology evidences from the deepest part of the earth crust (and upper mantle) is due to the kimberlites and ultra basic rocks. Many examples of the diamonds findings not related directly to the kimberlites (India, Canada, South America) could be easily explained, if the vertical (even subhorizontal) movements of the corkings might be accepted. Some researchers suggested much earlier such explanation about the ultramafic rocks in Kamchatka for example. (Anosov et al, 2004.).

D) The polar relief changes

The North Pole relief is deep, probably due to the inward corking. The South Pole has mountainous relief, probably due to the uplift masses. These facts have been recognized by the Russian specialists (Алискеров А., 2004) some years ago.

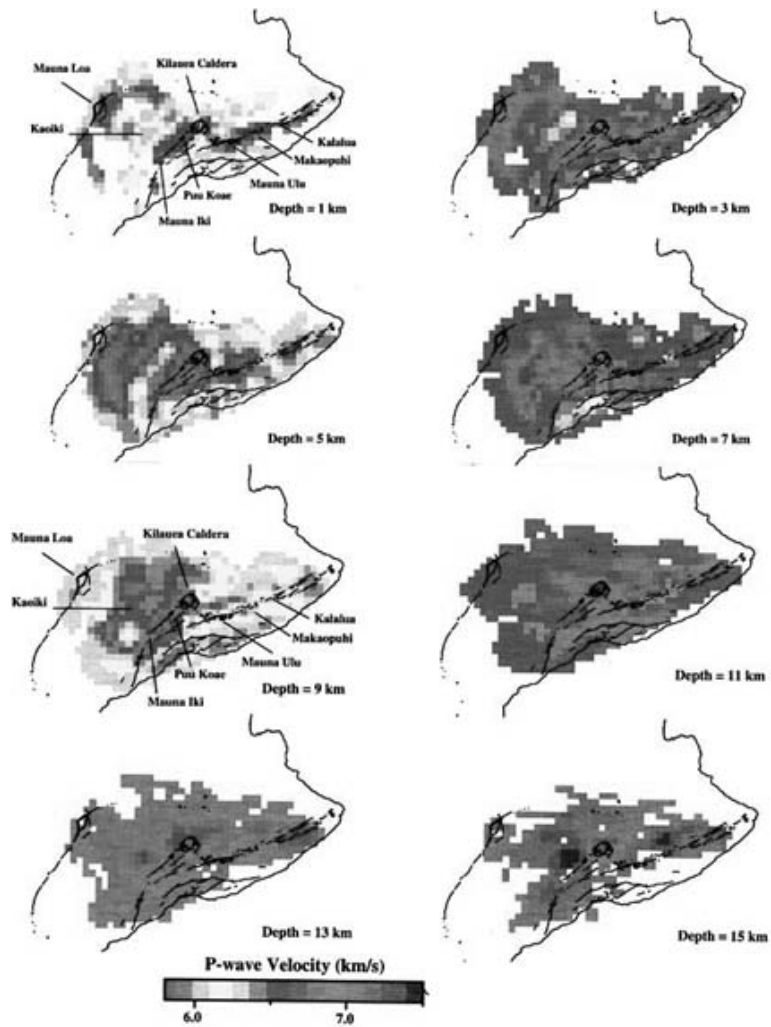


Fig. 3. The P waves velocity changes under the volcanoes in Hawaii. (according IHEES, 2002)

3. Deep interior evidences:

A) Plume tectonics

During the last years the concept of the so called «plume tectonics» has attempted to explain the driving mechanisms of the plate movements. The plume tectonics is based on the assumption that the cold material (considered in

general as colder continental crust located mainly in Eurasia) and going down (as colder substance) and hot material – rising up from the Earth’s interior – mainly in the area of Atlantic rift zone (which is considered penetrating down to the outer core.) (fig.5.).

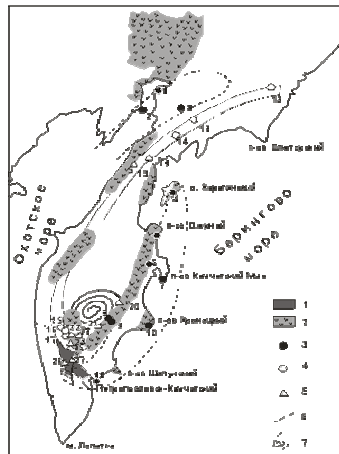


Fig. 4. The local turbulence responsible for the ultramafic rocks distribution according the interpretation of (Anosov et al, 2004.)

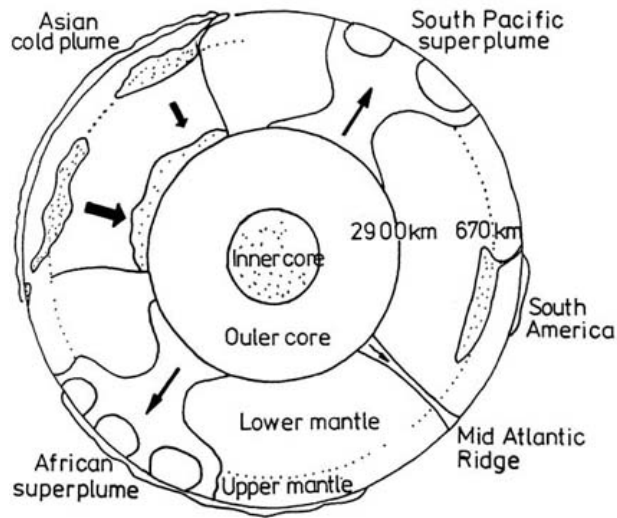


Fig. 5. Plume tectonics Earth cross-section explaining the deep convection according Uyeda, 2002

The modeling shows very slow convection, thus making it difficult to explain the faster radial movements and the separation of the cold and hot Earth substance. The corkscrew allows easier explanation about the radial movements, which are easier and much faster due to the spiral movements. It is much probable to accept the main influence of the core to the energy transfer processes than to limit it only into the asthenosphere.

B) Recent gravity data

The published gravity field of the globe based on the most recent satellite measurements shows very complicated and picturesque view. The distribution of the positive and negative gravity anomalies almost never coincide with the plates and plate boundaries. Our interpretation is that the gravity anomalies are responsible about the depth corkings development and penetration.

C) Deep Earth's anisotropy

The deep anisotropy established by the methods of the splitting of the different types of S waves shows the high and irregular anisotropy of the shallow and deeper Earth's interior. Sometimes this anisotropy strongly supports the plate tectonics evidences – subduction zones, earth crust development, etc. But frequently – many observed anisotropy anomalies are not easy explainable. Sometimes many artificial assumptions have been made to explain them. The corkscrew theory can easily explain these anomalies by retaining them to the corkings development.

D) The horizontal inhomogenities

The horizontal inhomogenities also show (in our interpretation) the behavior of the deep penetrating turbulences, as well as their spatial development in the Earth's interior. The data obtained by seismic tomography show large variations of the physical properties of the deep planetary interior. The acceptance of the existence of the corkings easy can explain their spatial position. (Fig.6.)

4. GPS measurements – horizontal, vertical displacements:

This is the most powerful evidence supporting the suggested corkscrew theory. The last high density satellite GPS 3D measurements support strongly the existence of the so called corkings. The rotational and other types of turbulences are clearly visible on the published NASA maps – Fig.7.

The world observational GPS points show different velocities and directions of the horizontal and vertical displacements. For example the clear corking is visible around the Mexico bay. More detailed measurements of the Crustal Movement Observation Network in China (Wanayo, 2005) show very clearly the continental masses movements and splitting near the Tibet plateau. The Australia different velocities and directions come also in support of this assumption. In more detailed observed areas the clearer views are visible. The Japanese land geodesy measurements in late 60-ies early 70-ies show perfect picture of local rotational movements. The Aegean Zone expressed also very

clear regional corking with big rotational branches and different velocities (Jakson, 2002). The San Andeas fault and its vicinities show different velocities and several branches can be outlined (IHEES, 2002). The most complicated structure in the world consisting of several acting and interacting corkings is located between Asia and Australia. Another impressive fact shows relatively high, but different GPS vertical velocities in the North American continent, which could be easy explained by the corkscrew theory. All these examples are pretty much supporting the theory as a new and more sophisticated approach to the plate tectonics.

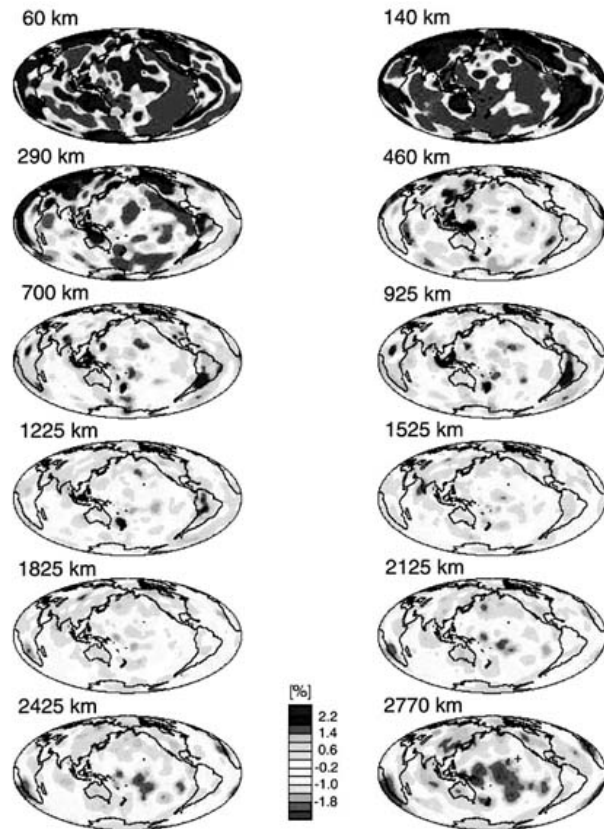


Fig. 6. Lateral inhomogeneities in the deep Earth' interior inferred from seismic data (according IHEES, 2003)

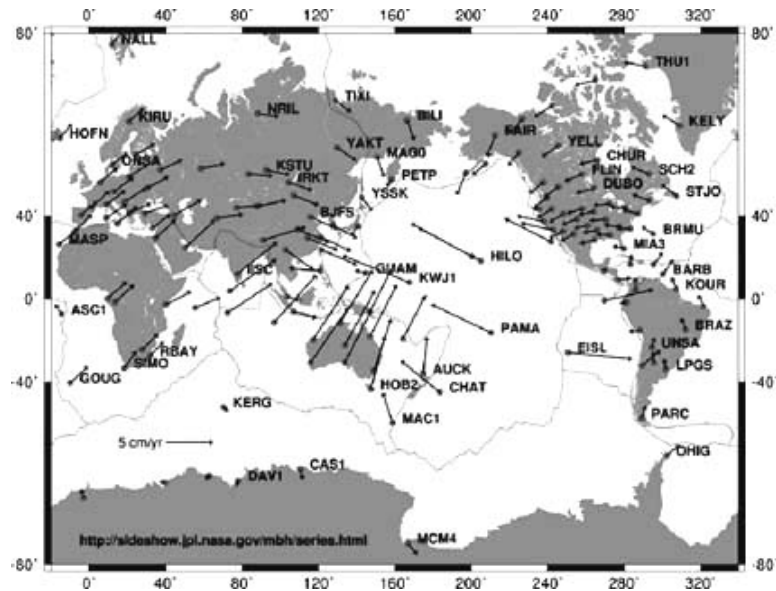


Fig. 7. The average velocities measured by GPS satellites (NASA's web-site: <http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.html>).

One deeper investigated example:

Agean corking

The specific behaviour of the Aegean area has been investigated. The specificity of this area is dominated by several factors:

- the sharp curve outline the «subduction» zone to the South;
- a practically aseismic zone exist to the inner (northern) part of the subduction zone;
- not very active volcanic activity on one side and very high seismic activity on the other, reaching depths to 200 km.;
- existence of zones of extensional geodynamic regime to the North of the «subducted» zone;
- existence of the clearly expressed transform fault (North Anatolian) with high velocity of displacements measured by GPS – up to 25 mm/y;
- clear normal faults generated by the earthquakes in the extensional regions and clear strike-slip faults connected with the North-Anatolian fault earthquakes;
- Clear expressed branching of the North Anatolian zone with clear expressed rotational movements on them.

All these peculiarities focused our attention and investigating the observed phenomena we suggested a common model trying to explain all observed facts on this very interesting geodynamic zone of the Aegean Sea.

North Aegean Sea Geodynamic Model (NASGM)

The North Aegean Sea geodynamic model considers the geodynamic peculiarities to the North of the East branches of the North Anatolian Fault system. It is characterized by the dominant influence of the North Anatolian recent rotational movements established in a very reliable way by GPS measurements. The direction of these movements is to the Southwest and the amplitude of about 20–25 mm/y. Due to these relatively fast movements the surface block elements of the earth crust are moving to the same direction. As a result, the openings (clearly expressed grabens fulfilled in by the rivers following southward – such as Srtimon, Mestos, Vardar and Maritza), show clear extension to the North-South direction. The grabens started their recent development during the Neogene, so their position and shape have a relatively long lasted formation during the geological times. The recent GPS measurements northward of the main branches of the North Anatolian fault zone show relatively small amplitudes – up to 2 mm/y. The «dragging» effect of the North Anatolian Fault turbulence movements is presented by the surface relief expressions of the asymmetrical opening of the grabens. The direction is to the west. The «three fingers» location of the smaller peninsulas of the Halkidiki peninsula is due to the same effect. All other riverbeds located between Vardar and Maritza riverbeds show similar behavior. The seismic regime (as a resent expression of the stress distribution and the redistribution) is very active there. Several large destructive earthquakes occurred during the last century (Papazachos, 1973):

1902 – an earthquake NE of Tessaloniki (M~6.6).

1904 – two very strong earthquakes (M=7.2 and 7.8) near Kresna village.

1931 – Valandovo earthquake – M= 6.7.

1963 – Skopje earthquake M=6.1.

1978 – Tessaloniki earthquake M=6.4.

Most of the strong earthquakes show normal faulting (Ritsema, 1974, Vannucci, 2004) expressed as well on the surface coseismic cracking with vertical movements from tens of centimeters (Tessaloniki earthquake, 1978) up to meters (Kresna-Kroupnik earthquakes, 1904). We interpreted this (Dimitrova and Ranguelov, 2002) as an important influence of the north branches of the faster turbulence of the main regional corking developed all over the Balkan Peninsula. The geodynamic regime presented is dominant for this area and thus being the main reason for the formation of the recent, so called Balkan-Aegean Graben System (BAGS).

South Aegean Arc Zone Model (SAAZM)

The «subduction» zone dominates this model to the south, and signals the collision of the Northeast part of the African plate to the Southeast part of the European plate. The total length of the zone is about 1 500 km. The zone has a big sharp curve trajectory expressed most clearly near the region of Crete Island. Many authors indicate the Benioff zone here (Caputo, 1970; McKenzie, 1972; Papazachos, 1966; etc.), dipping to the north in average with 35 degrees due to the presence of the intermediate earthquakes going down to the depths of 100–160–200 km. Some previous investigations (Ranguelov, 1987) accepted different segments of the subducted crust. They show the depth penetration of these segments of the zone as well as the most significant areas of the bigger seismic energy emission (Ranguelov and Gospodinov, 1982). By using simple geometric calculations the dip angles of the four different subducted plaques of the Earth crust are calculated and presented in the Table 1 below.

Table1:

Dimensions	No of plaques			
	I	II	III	IV
Length [km]	135	200	160	320
Depth [km]	160	130	100	160
Deep angle [°]	52	33	32	26

It's interesting to note that the recent volcanism is located to the north of the subducted part and outlines the area of the volcanic islands – Cyclades and Sporades (Artemjev, 1987). A zone of lower seismicity exists near to the north, which often is connected by different authors with a «mantle dome» of a low velocity asthenosphere. The bottom relief shows clear evidences of typical presented subduction zones. Using the previous knowledge (Ranguelov, 1987; Ranguelov and Gospodinov, 1982; Artemjev, 1987) and the recent image of the subducted zone, a model of the locations of the Earth's crust elements and the forces acting on them is constructed. The whole Aegean zone is a seismically active region due to the stress distribution and redistribution. The zones of extension follow the classical presence of a subduction zone with compression regime to the north. The volcanism is expressed to the frontal part of the zone, thus making this area a typical case. The location to the north of the North Anatolian transform fault makes the situation more complicated, which is indicated by some questionable zones of unclear geodynamic regime. They are indicated by «?». Our interpretation according to the corkscrew theory needs to suggest that the Earth's crust there is going down by a funnel form (shape) – which is typical of the suggested corkings with their turbulent deep rotational and relatively fast movements. This is the only (in our view) possible explanation for the sharp curve of the subducted crust. The low seismicity to

the north of the volcanic arc also supports the deep turbulence. In our view here the axis of the corking is located.

General integrated scheme of the Aegean

Combining both – North Aegean Sea model (NASGM) and South Aegean arc model (SAAZM), an integrated geodynamic scheme has been constructed – Fig. 8. This is the typical regional corking in our view. It explains the existence of the complicated extensional-compression zones located on mosaic and irregular way. The sharp curve of the subducted part and the low seismicity zone also supports this view. The main «actors» of this geodynamic «drama» are the rotating branches of the North Anatolian Transform fault and the Aegean «subducted» zone.

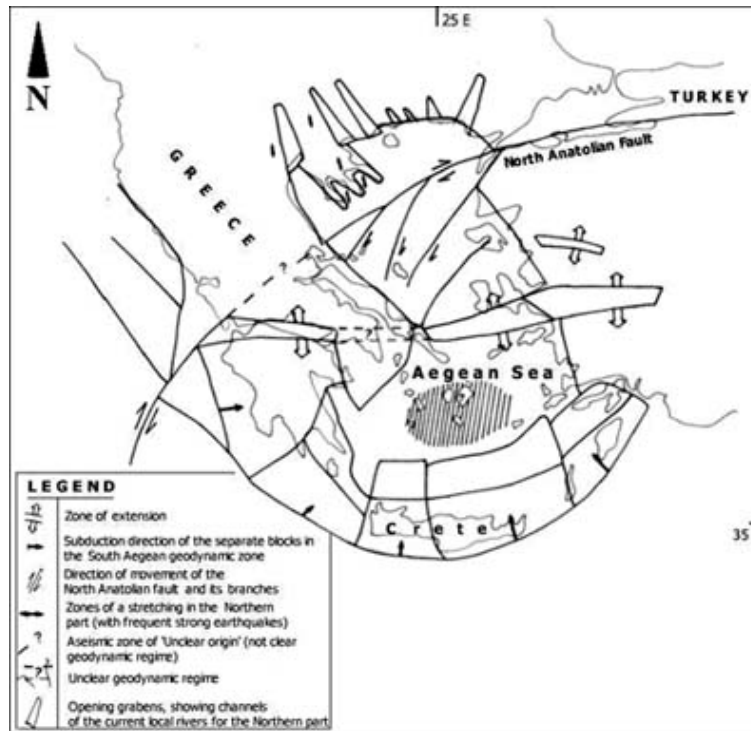


Fig. 8. General Integrated scheme of the Aegean corking.

The simultaneous action of the turbulent rotating branches of the big tectonic units leads to a clear geodynamic picture of the region. Areas of extension follow areas of clear compression. Transform (strake-slip), normal

and complicated faulting are often observed. The main expression of the recent activity of these structural units are: many strong and smaller earthquakes (with a lot of variety of the earthquake mechanisms), sometimes generating tsunamis, submarine and surface landslides and rockfalls, recent volcanism and the fast relief vertical and horizontal changes due to the rotational Earth forces.

The comparison between our suggested geodynamic model and this one created by the P.Bird (Bird, 2003) methodology, shows absolute similarity in the movements and the main units under investigations and their development in space-time domain – Fig.9.

The differences could be only attributed to the mechanism explaining the observed features. The plate tectonics introduced microplates and «so called orogens (dashed)». The corkscrew theory introduces only the turbulence branches with different velocities. These clearly visible different velocities of the different branches of the corking are very well expressed on the right side of the figure (i.e. Africa (AF), Arabia (AR), Eurasia (EU) and Anatolia (AT) «different» plates), as well as on the NASA's GPS published data (web: <http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.html>)

Results for the Aegean corking

The suggested geodynamic model of one regional well outlined «corking» with differential rotational branches, clear outlined axis and volcanic activity, reflects almost all observed phenomena in the Aegean region. The complicated structure of the inner parts of the Aegean «subduction» zone is reflected by different zones with different orientation and different (extensional, compression and transform) geodynamic regimes. The location of the fault structures, observed seismicity (with its spatial and temporal specific behaviour) and the surface and deep earth crust movements (all of them detected by the GPS measurements) gives an image about the complicated geodynamics of this very specific boundary zone between European and African plates. The observed volcanism is also an expression of the recent geodynamic activity and located in the «focus» of the corking.

The analogy between the theories

According to the late plate tectonic model, (Bird, 2003) «14 large plates whose motion was described by the NUVEL-1A poles (Africa, Antarctica, Arabia, Australia, Caribbean, Cocos, Eurasia, India, Juan de Fuca, Nazca, North America, Pacific, Philippine Sea, South America), model **PB2002** includes 38 small plates (Okhotsk, Amur, Yangtze, Okinawa, Sunda, Burma, Molucca Sea, Banda Sea, Timor, Birds Head, Maoke, Caroline, Mariana, North Bismarck, Manus, South Bismarck, Solomon Sea, Woodlark, New Hebrides, Conway Reef, Balmoral Reef, Futuna, Niuafo'ou, Tonga, Kermadec, Rivera,

Galapagos, Easter, Juan Fernandez, Panama, North Andes, Altiplano, Shetland, Scotia, Sandwich, Aegean Sea, Anatolia, Somalia), for a total of 52 plates. No

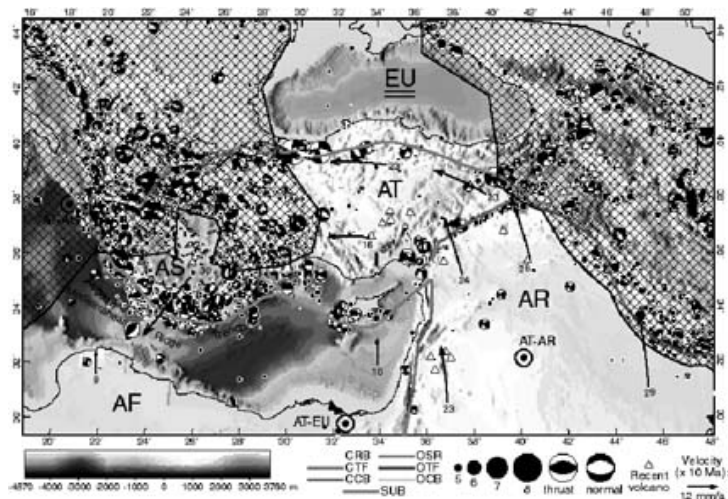


Fig. 9. Boundaries (heavy colored lines) of the Aegean Sea (AS) and Anatolia (AT) plates, which are surrounded by the Africa (AF), Arabia (AR), and Eurasia (EU) plates. The two cross-hatched regions are the Alps and Persia-Tibet-Burma orogens in the west and east, respectively. (according Bird, 2003).

attempt is made to divide the Alps-Persia-Tibet mountain belt, the Philippine Islands, the Peruvian Andes, the Sierras Pampeanas, or the California-Nevada zone of dextral transtension into plates; instead, they are designated as «orogens» in which this plate model is not expected to be accurate. The cumulative-number/area distribution for this model follows a power law for plates with areas between 0.002 and 1 steradian – Fig. 10. **Departure from this scaling at the small-plate end suggests that future work is very likely to define more very small plates within the orogens.** The model is presented in four digital files: a set of plate boundary segments; a set of plate outlines; a set of outlines of the orogens; and a table of characteristics of each digitization step along plate boundaries, including estimated relative velocity vector and classification into one of 7 types (continental convergence zone, continental transform fault, continental rift, oceanic spreading ridge, oceanic transform fault, oceanic convergent boundary, subduction zone). Total length, mean velocity, and total rate of area production/destruction are computed for each class; the global rate of area production and destruction is $0.108 \text{ m}^2/\text{s}$, which is higher than in previous models because of the incorporation of back-arc spreading.» On the other hand it is visible that the larger plates are located in the oceans. May be this is due to the insufficient

Regional: Aegean Area, Mexico gulf, Red Sea and Aden gulf, Iceland, , Caribbean, Weddell Sea

Local: Mesina straight, South Spain, Vrancea, Hindukush, Bolivia intermediate seismic zones

Hot spots: Hawaii, West Africa Coast Isl., Canary Isl., Capo Verde Isl, Mauritius and Reunion.

It is important to mention that these are just preliminary pattern recognitions of some most expressive examples. Our main goal is not to develop in details the all possible ways of views, ideas or definite examples. We just try to summarize the existing up to now observations, interpretations and newly developed concepts. We just try to underline bolter that up to now nobody is considering the turbulence theory to the global geodynamics using it as a more common confirmation of the recent geodynamics. A lot of data, information and observations confirmed the corkscrew theory. If we are right or not – the time will assess this. This is just an attempt to focus the attention of the world geodynamic community to look more careful to our concept.

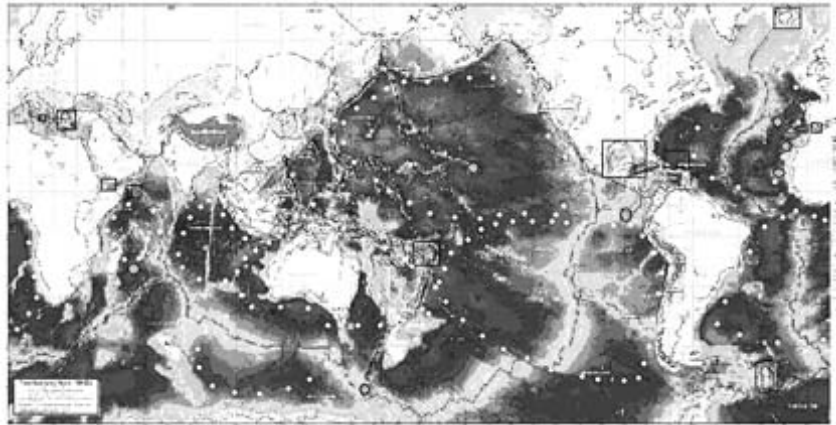


Fig. 11. World Map presenting recognized local, regional (rectangles) and global corks (yellow dots boundaries). Hot spots are located by ellipses and violet color.

The comparison of the recent paper of P.Bird (2003) and possible corkings show great similarity to the observations. The only difference is the mechanism trying to explain why these observations exist. In our view the corkscrew theory is a simpler and easier way to explain the observations – especially the GPS measurements, gravity field anomalies, etc.

A comparative table

A comparative table between both theories has been created: (Easy and not so easy explainable phenomena by both)

Phenomenon/Theory Type of the main movements	Plate tectonics Horizontal and radial (?)(2D)	Corkscrew theory Horizontal and radial (3D)
Dominant driving forces	Mantle turbulence cells	Rotational turbulences generated by the core
Main structures	Plates	Corkings
Forms (shapes of the main structures)	Not regular (polygonal rectangular?)	Not regular (rotational turbulences and parts of them)
Sizes	Plates (microplates)	Global, regional, local
Existence of orogenes	Not easy to explain	Easy to explain
Poles perturbations and magnetic anomalies	Not easy to explain	Easy to explain
Deep anisotropy	Not easy to explain	Easy to explain
Horizontal inhomogenities	Not easy to explain	Easy to explain
Subduction zones	Easy to explain	Easy to explain
Lack of subduction in the Atlantic	Not easy to explain	Easy to explain
Sharp curves of some subduction zones (and triple junctions)	Not easy to explain	Easy to explain
Rotational block movements	Not easy to explain	Easy to explain
Transform faults	Easy to explain	Easy to explain
Rifts	Easy to explain	Easy to explain
Extension zones near subduction and listric faulting	Not easy to explain	Easy to explain
Hot spots	Not easy to explain	Easy to explain
Horizontal movements	Easy to explain	Easy to explain
Vertical movements	Not easy to explain	Easy to explain
Thick sediments	Not easy to explain	Easy to explain

	explain	
Magmatic tubes (bodies) (incl. kimberlite tubes and volcanoes)	Not easy to explain	Easy to explain
GPS displacements with different velocities	Not easy to explain	Easy to explain
Earthquake mechanisms changes in the same zones	Not easy to explain	Easy to explain
Intraplate earthquakes	Not easy to explain	Easy to explain
Wide spread seismicity	Not easy to explain	Easy to explain
Gravity anomalies	Not easy to explain	Easy to explain
Polar relief anomalies	Not easy to explain	Easy to explain
Local intermediate earthquakes	Not easy to explain	Easy to explain
Circular structures	Not easy to explain	Easy to explain
Exhumations	Not easy to explain	Easy to explain
Sea level transgressions/ regressions	Not easy to explain	Easy to explain

Conclusions

There are a lot of different geological, geophysical and geotectonic evidences supporting the corkscrew theory and related hypothesis. The plate tectonics theory is a simple (it consists of 4–5 main elements and assumptions – plates, horizontal movements, subduction, rifts and transform faults, ridges, etc.) and explains many cases about the earth's geodynamics. The corkscrew theory is even simpler and needs only recognition of the corkings themselves and acceptance of the rotational movements. In this way much of the observed and recently collected data and information (GPS global data, gravity field, hot spots, triple junctions, etc.) became easier explainable. If this new view is accepted then the recognition of the corkings, the study of their dynamics and time development may help to solve many important practical issues related to all branches of the recent geodynamics.

REFERENCES:

1. *Artemjev M.*, et al. Identification of Mantle and Lithospheric components by isostatic anomalies. *Marine Geoph. Res.* 1987. 7.

2. *Алискеров А.А.* Следы вихревых явлений в глобальных структурах земной коры. // VORTEX-RELATED EVENTS OF THE GEOLOGICAL PROCESSES. (Ed. A.Vikulin). Petropavlovsk-Kamchatsky, 2004. 297 p. (in Russian).
3. *Аносов, Г.И., А.В. Колосков, Г.Б. Флеров.* Особенности проявления ультрамафитов Камчатского региона с позицией вихревой геодинамики // VORTEX-RELATED EVENTS OF THE GEOLOGICAL PROCESSES (Ed. A. Vikulin). Petropavlovsk-Kamchatsky, 2004. 297 p.
4. *Bird, P.* An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2003. 4 (3). P. 1027–1102.
5. http://element.ess.ucla.edu/publications/2003_PB2002/2003_PB2002.htm
6. *Caputo M., et al.* Deep structure of the Mediterranean Basin. *JGR*. 1970. 74.
7. *Dimitrova S., B.Rangelov.* A Geodynamic model and seismic danger for SW Bulgaria and surroundings., Proc. «VSU2002», 29–31 May, Sofia, 2002. P. 1–6. (in Bulgarian).
8. *Guo Z.* Significance of a ground and block rotation in earthquake prediction Northwest. *Seismol. J.* 1988. 10. N 1. P.82–85.
9. *Hashimoto M., Tada T.* Horizontal Crustal movements in Hokkaido and its tectonic implications. *Jour. Seismol. Soc. Jap.* 1988. 41. N 1. P. 29–38.
10. INTERNATIONAL HANDBOOK OF EARTHQUAKE AND ENGINEERING SEISMOLOGY (IHEES). Eds. W. Lee, H. Kanamori, P. Jennings and C. Kisslinger), Academic Press. 2002.
11. *Jakson J.* Using Earthquakes for Continental Tectonic Geology., pp. 491–503., in INTERNATIONAL HANDBOOK OF EARTHQUAKE AND ENGINEERING SEISMOLOGY. (Eds. W.Lee, H.Kanamori, P.Jennings and C.Kisslinger), Academic Press. 2002.
12. *McKenzie D.* Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geoph. J. R. Astr. Soc.* 1972. 30.
13. *Nichols I.* Petrology of Santorini volcano Cyclades. *J.Petr.*, 12. Nur A., Ron H., Scotti O., 1986. Fault mechanics and the kinematics of block rotation, *Geology*. 14. 1971. P. 746–749.
14. *Papazachos B., et al.* Preliminary results of an investigation of crustal structure in SE Europe. *BSSA*. 1966. 56.
15. *Papazachos B.* Distribution of seismic foci in the Mediterranean area and its tectonic implication. *Geoph. J. R. Astr. Soc.* 1973. 33.
16. *Rangelov B.* Depth structure characteristics of the Aegean Arc. *Bulg. Geoph. J.* 1987. V. XIII. No 3. P. 57–62,
17. *Rangelov B., D. Gospodinov.* On some peculiarities of the seismicity and its spatial distribution for the Balkan Peninsula region. *Bulg. Geoph. J.* 1982. V. VIII. No 2. P. 63–71.
18. *Ritsema A.* The earthquake mechanisms of the Balkan region. UNDP Proj. (REM(70)). 1974. 172. UNESCO.

19. *Savage J.C., Prescott W.H.* Asthenosphere readjustment and the earthquake cycle. *J. Geophys. Res.* 1978. B 83. N 7. P. 3369–3376.
20. *Stein S. and E.Klosko.* Earthquake Mechanisms and Plate Tectonics. // INTERNATIONAL HANDBOOK OF EARTHQUAKE AND ENGINEERING SEISMOLOGY. (Eds. W.Lee, H.Kanamori, P.Jennings and C.Kisslinger), Academic Press, 2002. P. 69–78
21. *Takeo M.T., Ito H.M.* What can be learned from rotational motion excited by earthquakes? *Geophys. J. Int.* 1997. 129. P. 319–329.
22. *Uyeda S.* THE NEW VIEW OF THE EARTH. Freeman and Co., SF, 1980. 312 p.
23. *Uyeda S.* Continental drift, Sea Floor Spreading and Plate / Plume Tectonics // INTERNATIONAL HANDBOOK OF EARTHQUAKE AND ENGINEERING SEISMOLOGY. (Eds. W.Lee, H.Kanamori, P.Jennings and C.Kisslinger). Academic Press, 2002. P. 51–67.
24. *Vikulin A.* PHYSICS OF WAVE SEISMIC PROCESS. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2003.
25. *Vannucci G. et al.* An Atlas of Mediterranean seismicity, *Annals of Geophysics.* 2004. V. 47. No 1. 333 p.
26. *Wenyao Z.* Research work related to present time crustal deformation measurements in China. <http://www.gfz.ku.dk/~iag/prchina03/htm>

Gurov Rangel Simeonov. Sofia, BULGARIA. Doctor of Sciences-Geology and Mineralogy. Professor at New Bulgarian University-Sofia. Head of the Earth and Environmental Studies Department. **Areas of scientific interest:** Geodynamics, Soil mechanics, Natural Disasters, Gemology

Гюров Рангел Симеонович София, България. Доктор геолого-минералогических наук. Профессор Нового Болгарского университета, София. Заведующий кафедрой изучения Земли и окружающей среды. **Область научных интересов:** геодинамика, механика почв, природные катастрофы, геммология

Ranguelov Boyko Kirilov. Geophysical Institute, Bulgarian Academy of Sciences. Sofia, BULGARIA. Senior Researcher in Geophysical Institute, Bulgarian Academy of Sciences. Doctor of Sciences – Seismology, Professor in New Bulgarian University and Mining and Geology University – Sofia. Areas of scientific interests: Geodynamics, Seismology, Tsunamis, Nonlinearities, Geophysics, Natural Disasters, Environment.

Рангелов Бойко Кирилович. Геофизический институт, Болгарская академия наук. София, Болгария. Старший научный сотрудник Геофизического института, Академия наук Болгарии. Доктор сейсмологических наук – профессор Нового Болгарского университета и Университета Горного дела и геологии – София. **Область научных интересов:** геодинамика, сейсмология, цунами, нелинейность, геофизика, природные катастрофы, окружающая среда.

**ВАРИАЦИИ РОТАЦИОННОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ЗЕМЛИ
ПО ДАННЫМ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ В ЯПОНИИ И
КАЛИФОРНИИ**А.В. Долицкий¹, Н.А. Сергеева²¹ ИФЗ РАН, Москва, Россия² ГЦ РАН, Москва, Россия

Аннотация. Установлены закономерности вариаций глобального ротационного поля напряжений Земли по данным о месте и времени землетрясений в Японии и Калифорнии. Авторы сочли, что большинство землетрясений связано с разрушениями типа сдвигов под действием максимальных касательных напряжений, вдоль которых нередко наблюдаются смещения эпицентров землетрясений. Найдя координаты эпицентров таких пар землетрясений, можно установить по их положению простирания отвечающих им сейсмоактивных сдвигов. Для этого достаточно иметь данные о координатах эпицентров таких пар землетрясений и о времени событий.

Эти данные, зафиксированные с высокой точностью сейсмологическими службами Японии (с 1950 г.) и Калифорнии (с 1967 г.), были использованы авторами [1] для нахождения азимутов сейсмоактивных сдвигов. Разработана компьютерная программа, определяющая эти азимуты, как отвечающие относительно расположению эпицентров двух землетрясений, интервал между которыми по времени и расстоянию можно приписать смещению по сдвигу. Экспериментально было установлено, что эти интервалы отвечают предполагаемому смещению, протекающему в интервале скоростей от 1 до 30 км/час. Использование этой компьютерной программы позволило установить азимуты сдвигов, отвечающих землетрясениям в Японии (1950–1995) и в Калифорнии (1967–1985). Оказалось, что в Японии они произошли на глубинах 0–100 и 100 и более км, а в Калифорнии – только на глубинах 0–100 км. Как в Японии, так и в Калифорнии эпицентры землетрясений располагаются вдоль четко выделяющихся и нередко повторяющихся азимутов (рис. 1–3), которые отвечают известным там разломам.

Компьютерная программа позволила устанавливать и фиксировать азимуты сжимающих напряжений во время землетрясений. По этим данным были построены графики изменения во времени (ось X [t]) азимута сжимающих напряжений (ось Y), изображенного точкой, зафиксированной на момент землетрясения. Такое представление эпицентров землетрясений точками, заданными азимутом сжимающих напряжений и текущим временем в месяцах, дало возможность построить

развёрнутый во времени график вариаций глобального поля напряжений во времени. Для этого, точки (эпицентры землетрясений) были объединены направлениями главных нормальных и максимальных касательных напряжений. Оказалось, что направления максимальных касательных напряжений образуют системы волнообразных кривых противоположной направленности – максимумам одних направлений отвечают минимумы других. Оказалось также, что возраст таких «минимаксов», найденных по землетрясениям в Японии и в Калифорнии, одинаков. Форма волн, образуемых направлениями максимальных касательных напряжений, изменяется вместе с изменением расстояний между минимаксами. И для одновозрастных минимаксов Японии и Калифорнии эти волны однотипны или трудно заметить их различия. Различия отмечаются в форме искажений направлений главных нормальных напряжений и они явно отражают динамику развития конкретных структур Японии и Калифорнии. (рис. 4, 5). Наиболее наглядно проявляют себя местные структуры U-образной формы в Японии (рис. 4). Более детальное исследование динамики их развития может дать информацию, представляющую интерес для прогноза землетрясений.

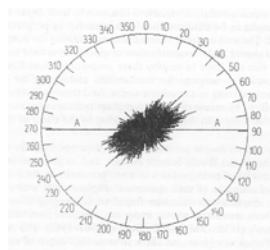


Рис. 1. «Сейсмический портрет» Японии на глубине 0–100 км – изображение современных сдвигов, установленных по 24461 азимуту, отвечающему землетрясениям глубиной 0–100 км за 1950–1996 г.г. Обозначения: А – азимуты преобладающих сдвигов почти широтного простирания.

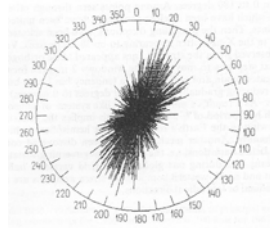


Рис. 2 «Сейсмический портрет» Японии на глубине 100 и более км – изображение современных сдвигов, установленных по 4637 азимутам, отвечающим землетрясениям глубиной 100 и более км за 1950–1996 г.г.

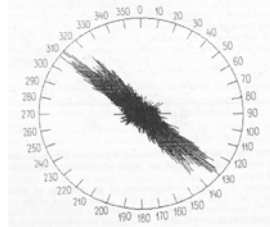


Рис. 3 «Сейсмический портрет» Калифорнии на глубине 0–100 км – изображение современных сдвигов, установленных по 43916 азимутам, отвечающим землетрясениям глубиной 0–100 км за 1967–1985 г.г.

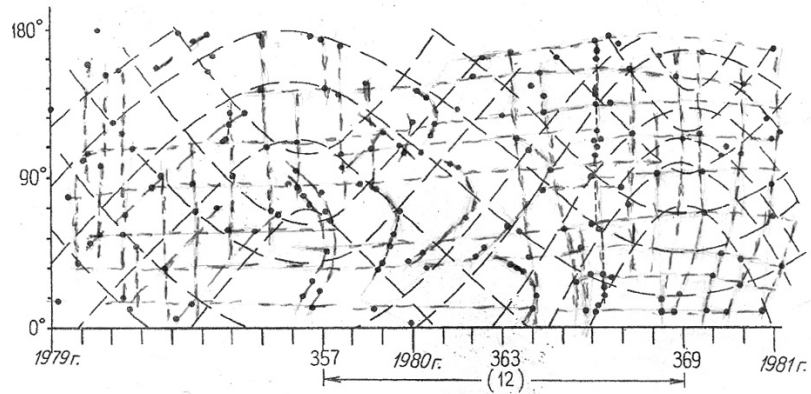


Рис. 4. Глобальное поле напряжений на территории Японии в 1979–1980 г. Точки – величины сжимающих напряжений глобального поля напряжений (ось Y) в момент землетрясения (ось X). По оси Y они показаны градусами, а по оси X (она же ось времени t) показаны порядковым номером месяца (начиная с 01.50) на момент землетрясения.

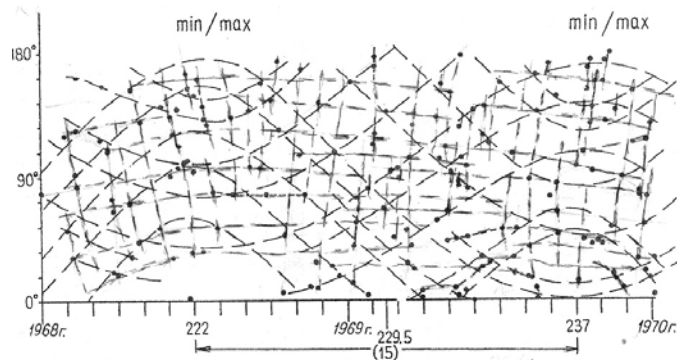


Рис. 5. Глобальное поле напряжений на территории Калифорнии в 1968–1969г. (Пояснения см. к рис. 4.).

Точки объединены: направлениями максимальных касательных и главных нормальных (растягивающих и сжимающих) напряжений. Будучи описаны направлениями максимальных касательных напряжений (наклонные линии), они определяют положение и форму минимаксов. Будучи описаны направлениями главных нормальных напряжений (линиями, близкими к горизонтальным и вертикальным), они позволяют выявить искажения этих направлений и динамику развития местных и региональных структур. Среди структур этого ранга обнаруживаются и видны на этом рисунке структуры пластического течения с характерной для них U-образной формой, позволяющей по их ориентации определить направление пластического течения этих структур.

Были установлены интервалы времени между соседними минимаксами за 44 года и построен график изменения величин этих интервалов во времени – график периодов вариаций глобального поля напряжений (рис. 6).



Рис. 6. Периоды вариаций глобального поля напряжений по данным о землетрясениях в Японии и в Калифорнии за 43 г. и 8 мес. = 524 мес. (с 06.50 по 02.94). Ось абсцисс (X) – текущее время и длительность периодов вариаций в месяцах, начиная с 01.50. Ось ординат (Y) – амплитуды вариаций в месяцах.

На нём хорошо видны периоды изменения этих интервалов, которые можно рассматривать как периоды вариаций глобального поля напряжений. Среди этих периодов отчётливо выделяются периоды длительностью 25 лет, 6 лет, 3 года, 2 года и 1 год. Заслуживает внимания тот факт, что в интервале между 04.93 и 02.94 на графике вариаций периодов глобального поля напряжений отмечается чёткий минимум. Оказалось, что ему по времени отвечает максимум длительности суток (рис.7) – минимум скорости вращения Земли, установленный путем высокоточных измерений [2]. Эти данные позволяют сделать вывод о связи вариаций глобального поля напряжений с вариациями скорости вращения Земли и возрастании величин таких вариаций вместе с ростом этой скорости. И это естественно – изменение скорости вращения Земли влечёт за собой изменение её диаметра – при росте скорости увеличение диаметра, наибольшее в экваториальном поясе, где тотчас изменяется напряженное состояние. Авторы измерений длительности суток пришли к выводу об изменениях скорости вращения Земли, вызванных смещениями масс, как в глубинах Земли, так и на её поверхности или в удалении от

неё. Они считают, что причиной могут служить смещения масс в ядре Земли, а на её поверхности – смещения водных масс океанов, воздушных масс, или вне Земли – воздействие Луны. С этими выводами нельзя не согласиться. В этом аспекте находит своё объяснение близость минимумов к дням солнцестояния и равноденствия – природным рубежам глобальных изменений в освещённости Солнцем северного и южного полушарий. В отечественной научной литературе известны серьёзные работы Ю.Н. Авсюка и Н.Б. Глико [3], а также другие работы Ю.Н. Авсюка, объясняющие подобные явления взаимодействием между Землёй и Луной.

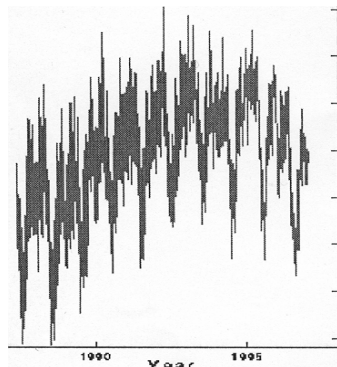


Рис. 7. Годовые циклы изменения длительности суток, вызванные сезонными изменениями в атмосфере, и их аномальная система в 1990–1995 г.г. (Earth Rotation Studies: Earth Sciences in Space 4; <http://geology.about.com/library/weekly/aa090797.htm>)

ЛИТЕРАТУРА

1. Долицкий А.В., Сергеева Н.А. Глобальное поле напряжений Земли, его вариации и прогноз землетрясений. М.: ОИФЗ РАН, 1998. 20с.
2. Earth Rotation Studies. Earth Science in Space 4: What a difference a day's length makes. <http://geology.about.com/library/weekly/aa090797/htm>
3. Авсюк Ю.Н., Глико Н.Б. Эволюция орбитального движения Земли (в системе Земля–Луна – Солнце) и геодинамические реконструкции // Геодинамика и эволюция Земли. Новосибирск: Издательство СО РАН, 1996. С. 7–10.

Долицкий Александр Владимирович. Д.г.-м. наук. С.н.с. ИФЗ РАН. Область научных интересов – глобальная геотектоника и геофизика.

Сергеева Наталья Александровна. К.ф.-м. наук. Зав. лаб. Геофизических данных Геофизический центр РАН. Область научных интересов: базы данных, геоинформатика, внутреннее строение Земли.

**ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ РОЛЬ ОСНОВНЫХ РОТАЦИОННЫХ
ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ В ЕСТЕСТВЕННОЙ
СЕЙСМИЧНОСТИ ЗЕМЛИ**

Мельников О.А.

Институт Морской Геологии и Геофизики ДВО РАН

Аннотация. Современная естественная сейсмичность Земли – глобальная, региональная или локальная – обусловлена ее геодинамикой и, прежде всего определяющей ролью вращения Земли вокруг своей оси и Солнца. Разработанная на основе этого новая геодинамическая модель Земли, состоящая из пяти основных, наложенных друг на друга ротационных механизмов: ротогенеза, дрефтогенеза, пассивного и активного рифтогенеза и сепаратогенеза (геосферогенеза), объясняет основные особенности естественной сейсмичности Земли, в частности, резко повышенную сейсмичность приэкваториальной области по сравнению с приполярными областями наложенным характером ротогенеза и дрефтогенеза, а сейсмичность в зонах срединно-океанических хребтов и трансформных разломов в основном следствием пассивного рифтогенеза.

Современная естественная сейсмичность Земли, выражающаяся в непрерывно отмечаемых людьми землетрясениях самой разной силы и интенсивности (магнитуды и бальности) – от очень слабых, фиксируемых лишь чувствительными приборами, до катастрофически разрушительных, вызывающих зачастую многочисленные человеческие жертвы – практически общепринято и совершенно справедливо считается прямым следствием столь активно проявляющей себя геодинамики (тектоники) нашей планеты, т.е. действующих в ней и на ней геодинамических процессов или механизмов, суммируемых, в конечном счете, в предлагаемых геодинамических (тектонических) моделях. Несмотря на некоторое разнообразие непосредственных причин, вызывающих отдельные землетрясения (вновь возникающий или просыпающийся после долгой «спячки» вулкан, крупный обвал или оползень и т.д.), подавляющее большинство землетрясений, в особенности все катастрофические землетрясения, вне всякого сомнения вызываются чисто тектоническими (геодинамическими) причинами и как считает подавляющее большинство геологов и сейсмологов – результатом быстрой подвижки или смещения по активному разлому в верхней хрупкой части земной коры или литосферы, а само смещение – разрядкой постоянно накапливаемых в земной коре напряжений. Однако что же порождает и вызывает накопление этих напряжений и их последующую периодическую разрядку в виде землетрясений во вполне определенных,

подверженных частым землетрясениям, районах на земной поверхности? К сожалению, ни одна из предлагавшихся в прошлом геодинамических (тектонических) моделей (нептунизм, плутонизм, контракция, теория геосинклиналей, плейттектоника), призывавшихся ответить на этот вопрос, не смогла удовлетворительно это сделать. Кстати, на неоднородный, резко дискретный характер проявления естественной сейсмичности на земной поверхности уже давно обратили внимание люди. Еще М.В.Ломоносов отмечал, что землетрясениям подвержены в основном лишь горные районы на Земле.

Не смогла достаточно успешно ответить на этот вопрос и наиболее популярная в настоящее время плейттектоника, согласно геодинамической модели которой землетрясения происходят на дивергентно-конвергентных границах континентально-океанических плит, на которые разделяется земная кора, за счет нескольких, крупных, активно действующих гипотетических конвективных ячеек в мантии с подъемом материала в восходящих ветвях ячеек под срединно-океаническими хребтами, течением этого материала в обе стороны от хребтов под океанической корой и погружением их под окружающие океаны континенты по нисходящим ветвям конвективных ячеек. Весьма привлекательное распространение гипоцентров землетрясений в Земле привело ко все более возрастающему числу выделяемых активно взаимодействующих плит в земной коре, а тем самым соответственно и числа гипотетических конвективных ячеек под этими плитами, что усложнило общую картину геодинамики земной коры до почти полной утраты ею даже гипотетической достоверности.

Однако, самым большим недостатком геодинамической модели плейттектоники и всех других, предлагавшихся в прошлом, геодинамических (тектонических) моделей является практически полное игнорирование какого бы то ни было влияния (эффекта или воздействия) на геодинамику (тектонику) вращения или ротации Земли вокруг своей оси и Солнца, – несомненно мощного (космически масштабного) и очевидного (по крайней мере со времен Коперника) фактора, постоянно действовавшего с момента зарождения Земли и продолжающего действовать до сих пор. Правда, о необходимости учета этого фактора в той или иной мере и форме в геотектонике высказывались многие исследователи, в частности, Б.Л. Личков, М.В. Стюас, А.В. Пейве, К.Ф. Тяпкин, Н.А. Шило, Ю.М. Пушаровский, П.С. Воронов, В.Е. Хаин, В.А. Красилов и др. Существуют высказывания, причем самые противоречивые, о влиянии вращения Земли и на сейсмичность (или наоборот). Самыми последними из них являются высказывания, Б.В. Левина и Е.Б. Чиркова [1998], А.В. Викулина и А.Г. Иванчина [1998], А.В. Викулина и др. [1998]. Ряд первоисточников по этому вопросу можно найти в работе С.Ю. Хомутова [1999]. Кстати, не получившая

подтверждения в этой работе корреляция ускорения осевого вращения Земли с ее глобальной сейсмичностью объясняется скорее всего недостатками примененной методике. Предпринятая нами еще в начале 70-х гг. попытка учесть этот фактор при разрешении региональных тектонических проблем привела, в конечном счете, к разработке новой глобальной ротационной геодинамической модели [Мельников, 1978; 1980; 1987; 1996а, б; Melnikov, 1997; 1998а, б], состоящей из пяти наложенных друг на друга относительно самостоятельных механизмов (рис.1):

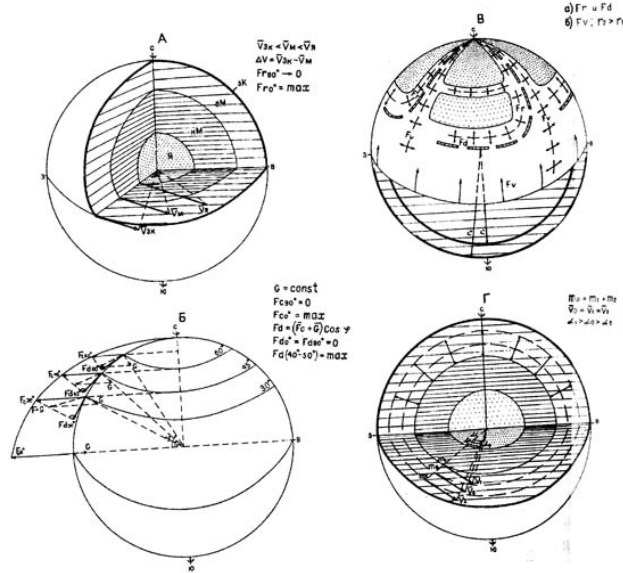


Рис. 1. Принципиальная схема основных механизмов новой ротационной геодинамической модели. А – ротогенез; В – дрефтогенез; С – рифтогенез: активный – Fg и Fd и пассивный – Fv; D – сепаратогенез или геосферогенез.

ротогенеза, дрефтогенеза, пассивного и активного рифтогенеза и геосферогенеза (сепаратогенеза), которые, тем не менее, имеют общую для себя ротационную природу и в совокупности гораздо успешнее, чем какая-либо другая геодинамическая модель, включая и плейттектонику, объясняет основные особенности состава и строения, эволюции и современной геодинамики земной коры и Земли в целом, в том числе особенности ее естественной сейсмичности, как региональной, так и глобальной.

Общеизвестна резкая дискретность естественной сейсмичности Земли как глобальной, так и региональной. Глобальная дискретность естественной сейсмичности выражается в отмеченной еще М.В.

Ломоносовым повышенной сейсмичности горных областей по сравнению с равнинными – с одной стороны и в более высокой сейсмичности приэкваториальной области по сравнению с приполярными – с другой. Региональная дискретность естественной сейсмичности выражается в существенно неоднородном (кластерном или группированном) распространении очагов (эпицентров и гипоцентров) землетрясений в пределах того или иного района. Проведенный нами анализ регионального дискретного характера распространения естественной сейсмичности на примере Сахалина, Хоккайдо-Сахалинской складчатой области и всей территории бывшего СССР [Мельников, 1976; 1987; 1995; 1997; Мельников и др., 1980] выявил практически без исключений прямую зависимость максимальной бальности происходивших в том или ином районе землетрясений от максимальной высоты окружающего рельефа [Мельников, 1995; 1997] (рис.2).

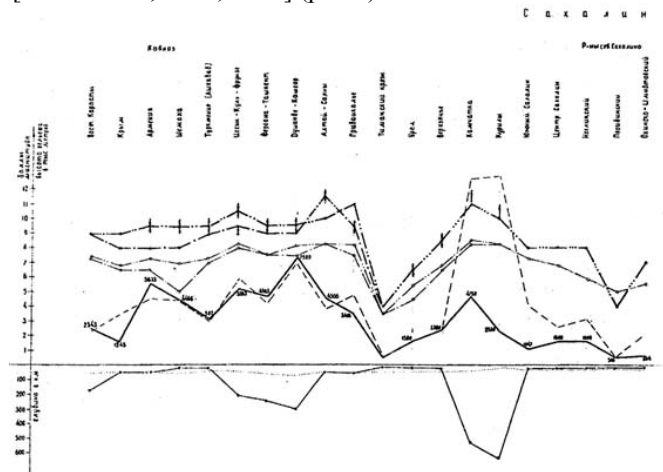


Рис. 2. Сопоставимость графиков максимальной бальности, максимальных магнитуд, максимальных высотных отметок, контрастности рельефа, максимальных значений глубины очагов землетрясений и мощностей земной коры основных сейсмоопасных районов бывшего СССР. 1-3 – графики максимальной бальности землетрясений: 1 – по «Атлас..., 1962», 2 – по «Новый каталог...» 1977, 3 – по разным источникам; 4-6 – графики максимальных магнитуд землетрясений: 4 – по «Атлас...,» 1962, 5 – по «Новый каталог...» 1977, 6 – по разным источникам, 7 – график максимальных высотных отметок рельефа (от уровня моря); 8 – график контрастности рельефа (разница между максимальными и минимальными значениями рельефа), 9 – значения максимальных высотных отметок рельефа, 10 – график максимальных значений глубины очагов землетрясений, 11– график мощности земной коры; 12 – направления и пределы наиболее частых колебаний в оценке значений максимальной бальности землетрясений.

Все это и особенно до самого последнего времени не находившая удовлетворительного объяснения глобальная дискретность повышенной сейсмичности приэкваториальной области по сравнению с приполярными областями хорошо объяснялось [Мельников, 1997], как нам кажется, предлагаемой нами новой ротационной геодинамической моделью, конкретно, взаимным наложением друг на друга двух (из пяти) основных геодинамических механизмов – ротогенеза и дрифтогенеза (рис.1 АБ). Сущность ротогенеза состоит в более быстром вращении с запада на восток внутренних оболочек (геосфер) относительно смежных с ними внешних оболочек (ядра относительно мантии, мантии относительно литосферы или земной коры), в динамическом воздействии первых на вторые на разделяющих их границах, отвечающих более пластичным (жидким?) геосферам: жидкому внешнему ядру между ядром и мантией, астеносфере между мантией и литосферой. Жидкие, или более пластичные геосферы, таким образом, являются местом проскальзывания нижних твердых геосфер относительно смежных с ними верхних твердых геосфер и концентрацией возникающих при этом напряжений. Не исключено, что жидкие или более пластичные геосферы, в частности астеносфера, не представляют единые однородные слои, а состоят из чередования нескольких более тонких пластичных и жестких твердых слоев – так называемая полиастеносферная модель смены верхней мантии литосферой [Тараканов, Левый, 1967]. Достаточно надежно установленная неровность нижних границ твердых оболочек обуславливает резко дифференцированный характер поля напряжений на неровностях: сжатие на восточных сторонах погруженных в пластичную или жидкую геосферу неровностей сменяющей ее твердой верхней геосферы, и растяжения на западных сторонах этих неровностей. Особенно отчетливо выражены такие неровности по данным сейсмических исследований на нижней границе земной коры – границе Мохоровичича (М). С бесспорной однозначностью установлено, что эта граница является зеркальным отражением поверхности рельефа: чем выше рельеф, тем глубже залегает граница М. Глубже всего эта граница залегает под горными сооружениями, образуя так называемые «корни гор». В качестве соответствующих неровностей эти корни гор являются средоточием напряжений, возникающих при проскальзывании быстрее вращающейся с запада на восток мантии относительно медленнее вращающейся в этом же направлении литосферы или земной коры. Восточная сторона корней гор испытывает сжатие, а западная сторона – растяжение. Вектора этих напряжений направлены с запада на восток. Абсолютная величина их меняется от 0 на полюсах до максимума на экваторе. Наличие этих напряжений в Земле генерируется и поддерживается практически с момента зарождения ее как вращающейся вокруг своей оси и Солнца планеты, что привело ее к расслоению на ряд

различных по составу оболочек или геосфер (за счет еще одного ротационного геодинамического механизма – сепаратогенеза или геосферогенеза (рис. 1Б), а начавшееся и продолжающееся расслоение или дифференциация материала в самих оболочках – к раскручиванию внутренних оболочек и замедлению вращения внешних оболочек.

Сущность второго ротационного геодинамического механизма – дрефтогенеза (рис. 1Б) состоит в том, что любая точка или объект на вращающейся сфере испытывает движения и соответствующие им напряжения, направленные от полюсов к экватору. Своего максимума эти напряжения, как это видно из рисунка, достигают на 40-х «ревущих широтах» вращающейся сферы, постепенно снижаясь до 0 на полюсах и экваторе. Наличие под земной корой и литосферой высоко пластичных слоев (астеносферы) обеспечивает скольжение (перемещение) по этим слоям от полюсов к экватору (за счет механизма дрефтогенеза) всей лежащей на них литосферы, земной коры или составляющих их отдельных фрагментов (континентов, блоков). За счет этого же механизма, очевидно, происходит перемещение в направлении от полюсов к экватору и материала в высокопластичных слоях, причем явно опережающего движение лежащей на них литосферы, земной коры или их фрагментов. Наличие неоднородностей на их нижних границах, в частности «корней гор» на границе М, вызовет на них резко неоднородное поле напряжений, аналогичное таковому при ротогенезе, но направленное не с запада на восток, а от полюсов к экватору. Таким образом, литосфера или земная кора с момента своего возникновения постоянно находится в условиях двух векторов напряжений: вектора ротогенеза, направленного с запада на восток, и вектора дрефтогенеза, направленного от полюсов к экватору. Сложение этих двух векторов дает результирующий вектор. Указанные выше значения слагающих векторов: максимум вектора ротогенеза – на экваторе, дрефтогенеза – на 40-х широтах, а нулевой минимум у обоих векторов на полюсах дают в сумме общий максимум в приэкваториальной области и общий минимум в приполярных областях. Итак, если считать естественную сейсмичность Земли результатом разрядки накапливаемых в ней напряжений, то наблюдаемая повышенная сейсмичность приэкваториальной области по сравнению с приполярными лучше всего объясняется накоплением и последующей разрядкой напряжений в результате двух наложенных друг на друга механизмов – ротогенеза и дрефтогенеза (с поправкой на распространение на поверхности Земли горных сооружений с их «корнями гор»), входящих в предлагаемую нами новую ротационную геодинамическую модель.

На реальность и активно продолжающуюся действенность этих двух механизмов указывает успешное применение их к объяснению природы островных дуг, этих весьма своеобразных по форме и строению геологических образований на земной поверхности, в частности, их

современное положение лишь вдоль восточных окраин континентов. Своеобразная гирляндоподобная форма островных дуг и их положение лишь вдоль восточной окраины Азиатского континента (рис. 3) объясняется нами на основе предлагаемой новой ротационной геодинамической модели отрывом горных (орогенных) поясов, возникших на восточной окраине Азиатского континента, в результате воздействия на «корни» этих горных поясов двух наложенных друг на друга ротационных геодинамических механизмов – ротогенеза и дрефтогенеза [Мельников, 1978; 1987; 1996 а, б; Melnikov, 1997,1998 а,б].

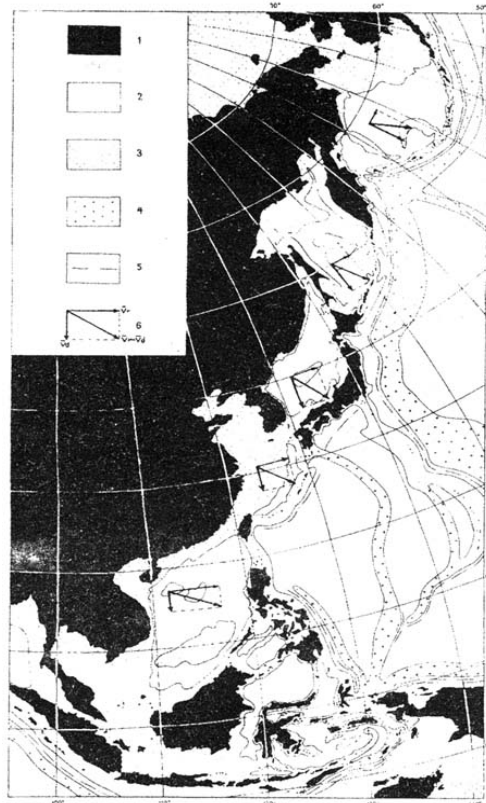


Рис. 3. Схема основных геоморфологических элементов зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану с векторными диаграммами напряжений. 1 – суша; 2 – глубоководные части Тихого океана и окраинных морей; 3 – шельф и погруженные подводные возвышенности в окраинных морях; 4 – краевые подводные валы; 5 – оси глубоководных желобов; 6 – векторные диаграммы напряжений: V_r – вектор ротогенеза; V_d – вектор дрефтогенеза; V_r+V_d – результирующий вектор ротогенеза и дрефтогенеза.

Другая примечательная особенность естественной сейсмичности Земли состоит в четко выраженной приуроченности очагов землетрясений – эпицентров и гипоцентров – к глобальной системе срединно-океанических хребтов и оперяющих их трансформных разломов. Для всех землетрясений этого типа характерны относительно небольшая глубина расположения гипоцентров – в основном не выходя за пределы мощности сравнительно тонкой океанической коры, сравнительно небольшая величина (магнитуда) землетрясений и более или менее равномерное распределение вдоль осей срединно-океанических хребтов. В отличие от плейттектоники,

объясняющей эти землетрясения активным воздействием поднимающихся к поверхности морского дна ветвей конвективных ячеек (основной движущий механизм плейттектонической модели) на раздвигаемую ими океаническую кору, предлагаемая нами новая ротационная геодинамическая модель объясняет это другим (третьим по счету) механизмом, называемым пассивным рифтогенезом. Суть этого механизма состоит (рис. 1Б) в сравнительно небольшом общем увеличении объема Земли (увеличении ее радиуса) в результате замедления скорости вращения ее вокруг своей оси и вызванного этим разуплотнения всех оболочек Земли, в особенности мантии и залегающей выше астеносферы. При этом ставшая тесной для увеличившейся в объеме Земли хрупкая литосфера или земная кора разрывается вдоль наиболее ослабленных зон – под океанами с тонкой океанической корой, образуя глобальную систему рифтовых трещин растяжения, заполняемых поднимающимися снизу магматическими декомпрессионными расплавами, которые, заполняя рифтовую трещину, наращивают океаническую кору.

Хотя процесс этот в целом, по-видимому, достаточно пассивен (пассивный рифтогенез) в отличие от активного рифтогенеза, вызываемого ротогенезом и дрейфтогенезом на восточных и обращенных к экватору окраинах континентов, где за счет этого и образуются островные дуги и окраинные моря, тем не менее, магматические расплавы в рифтовых трещинах на дне океанов как-то воздействуют на стенки трещин. По всей видимости, они прежде всего приподнимают расходящиеся края или крылья трещин за счет увеличившегося объема образовавшегося декомпрессионного магматического расплава, а при переполнении трещинного пространства изливаются на эти края и застывают, образуя срединно-океанические хребты.

При новом этапе периодически повторяющегося увеличения объема разуплотняющейся мантии и астеносферы вдоль срединно-океанических хребтов, представляющих плохо залеченные швы, вновь образуется рифтогенная трещина и процесс повторяется, что приводит и к наращиванию океанической коры, и к образованию характерных для нее полосовых магнитных аномалий. Разрядка напряжений, вызываемая этим процессом или механизмом – пассивным рифтогенезом – и приводит к землетрясениям вдоль срединно-океанических хребтов и оперяющих их трансформных разломов. В последнем случае землетрясения обусловлены в основном лишь рифтогенным трещинообразованием, не сопровождаемым подъемом по ним магматических расплавов, концентрируемых в осевых частях срединно-океанических хребтов.

Таким образом, предлагаемая ротационная геодинамическая модель лучше, чем какая-либо другая из предлагавшихся ранее геодинамических (тектонических) моделей, включая и самую популярную в настоящее

время плейттектонику, объясняет основные особенности естественной сейсмичности Земли, ее резко дискретный характер на глобальном, региональном и локальном уровнях. Из пяти основных геодинамических механизмов, составляющих новую ротационную геодинамическую модель: ротогенеза, дрефтогенеза, пассивного и активного рифтогенеза и сепаратогенеза или геосферогенеза, два первых – ротогенез и дрефтогенез – играют в совокупности (суммарным наложением друг на друга) определяющую роль в объяснении глобально резко дискретного характера естественной сейсмичности Земли – повышенной сейсмичности приэкваториальной области по сравнению с приполярными, а третий геодинамический механизм – пассивный рифтогенез – определяющую роль в объяснении характера естественной сейсмичности в срединно-океанических хребтах и оперяющих их трансформных разломах. Этими же пятью основными геодинамическими механизмами успешно объясняются основные особенности характера естественной сейсмичности на региональном и локальном уровнях, в частности, на примере образования и сейсмичности островных дуг, Хоккайдо-Сахалинской складчатой области и о. Сахалин [Мельников, 1976; 1982; 1987; 1995; 1997].

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас землетрясений в СССР. Изд-во АН СССР, 1962. 337с.
2. Викулин А.В., Иванчин А.Г.. Современная сейсмология: достижения и проблемы. Тезисы докладов. М., 1998. С. 10–11.
3. Викулин А.В., Быков В.Г., Лунева М.Н. Современная сейсмология: достижения и проблемы. Тезисы докладов. М., 1998. С. 14.
4. Левин Б.В., Чирков Е.Б. Современная сейсмология: достижения и проблемы. Тезисы докладов. М., 1998 С. 9–10.
5. Мельников О.А. 1976. Сейсмическое районирование Сахалина. Владивосток, С. 46–51.
6. Мельников О.А. Динамическая модель земной коры и ее вероятный механизм // Восточно-Азиатские островные системы (тектоника и вулканизм). Южно-Сахалинск, 1978. С. 27–32.
7. Мельников О.А. Вероятный механизм динамической модели земной коры // Современные тектонические концепции и региональная тектоника Востока СССР: тезисы докладов на XIII сессии Научного Совета по тектонике Сибири и Дальнего Востока, Якутск. 1980. С. 16.
8. Мельников О.А. О динамике островных дуг на примере особенностей строения Сахалино-Японской островной дуги // Тихоокеанская геология, 1982, №6. С.106–108.
9. Мельников О.А. Структура и геодинамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. М.: Наука, 1987. 95с.

10. Мельников О.А. Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информ.-аналитический бюлл. Спец. вып. Нефтегорское землетрясение 27(28).05.1995 г. М.: С. 208–214.
11. Мельников О.А. 1996а. Ротационная геодинамическая модель и ее механизмы как более полно объясняющие прошлое и настоящее земной коры // XXIX тектонич. совещание «Неотектоника и современная геодинамика континентов и океанов». М.: ГЕОС, 1996. С. 92–96.
12. Мельников О.А. 1996б. Геодинамика земных геосфер (основные механизмы возникновения и взаимодействия геосфер, определяющие прошлое и настоящее состава и строения земной коры) // Закономерности строения и эволюции геосфер. Материалы третьего международного междисциплинарного симпозиума. Ч. 1. Хабаровск-Владивосток, 1996. С. 129–131.
13. Мельников О.А. 1997. К вопросу об оценке максимальной бальности ожидаемых землетрясений и о региональном сейсмическом районировании // Геология и геодинамика Сихотэ-алинской и Хоккайдо-Сахалинской складчатых областей. Южно-Сахалинск, 1997. С. 150–159.
14. Мельников О.А., Оскорбин Л.С., Павлов Ю.А., Соловьев Л.С. 1978. Сахалин // Сейсмическое районирование территории СССР: Методические основы и региональное описание карты М.: Наука, 1980. гл. 29.1. С. 256–263
15. Melnikov O.A. Basic mechanisms of the Earth rotational geodynamic model // Annales Geophysical Society Symposia, Solid Earth. Geophysics&Natural Hazards Supplem. Kaltenburg-Lindau, 1997. Part 1. Vol. 15. P. 76.
16. Melnikov O.A. 1998a. New Global rotational Model of the Earth-the Most Perspective Alternative of the Modern Plate Tectonics Model // Proceedings of International Symposium on New Concepts in Global Tectonics «98 Tsukuba», November 20–23. Tsukuba, Japan, 1998. P. 69–75.
17. Melnikov O.A. 1998b. A rotational Geospheric Dynamic Model of the Earth. Parts 1, 2, 3 // Newsletter New Concepts in Global Tectonics. Part I, № 3. P.24–27; Part II, № 4. P. 19–23; Part III, № 5. P. 20–25.
18. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР. 1977. М.: Наука. 535 с.
19. Тараканов Р.З., Левый Н.В. 1967. Докл. АН СССР. Т. 176, № 3, с.571–574.
20. Хомутов С.Ю. 1999. Геология и геофизика. Т.40, № 4. С. 623–636.

Мельников Олег Александрович. Закончил Ленинградский Горный институт, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института Морской Геологии и Геофизики ДВО РАН. Сфера научных интересов: стратиграфия, литология, тектоника, геодинамика, формационный анализ, вулканология, сейсмология.

**ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
В СЕПАРАТОРАХ С ИМПУЛЬСНОЙ МАГНИТНОЙ
СИСТЕМОЙ И ВИХРЕВЫМ ГИДРОЦИКЛОНОМ**В. И. Дядин¹, А. С. Латкин²¹ *Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-
Камчатский*² *Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН*

Аннотация. Показана возможность получения в электродинамических сепараторах силового режима разделения, достаточного для выделения из россыпей мелких фракций металла. Экспериментально, на примере изготовленного электродинамического сепаратора с импульсной магнитной системой и вихревым гидроциклоном, доказана возможность извлечения из россыпи мелких фракций титаномагнетита.

Интенсивная разработка наиболее богатых и доступных месторождений, при почти полном отсутствии геологоразведочных работ, ведет к быстрому сокращению разведанных и прогнозных запасов золотосодержащего сырья. Самые богатые россыпные месторождения золота могут быть отработаны уже в ближайшие 8–10 лет, и нам останутся труднообогатимые россыпи с преобладающей крупностью золота от + 0,1 до –0,25 мм и менее. Использование традиционных промывочных приборов, при добыче из таких месторождений, приводит к неприемлемым потерям – до 50% металла [1]. Появление новых эффективных технологий и техники для извлечения мелкого золота из исходного сырья и продуктов его переработки, является буквально, условием выживания для многих золотодобывающих предприятий страны.

Одним из эффективных способов извлечения мелкого золота может стать электродинамическое обогащение, основанное на использовании свойств вихревых токов, индуцируемых в частицах металла переменными магнитными полями. Россыпные месторождения являются естественными смесями минералов, в которых частицы свободного металла отличаются от вмещающих пород высокой электропроводностью. При воздействии на такую смесь переменного магнитного поля, в частицах минералов индуцируются вихревые токи. Чем сильнее токи, тем сильнее они взаимодействуют с индуцирующим их полем. В металлических частицах, благодаря высокой проводимости, вихревые токи значительно сильнее токов во вмещающих породах, чаще всего, являющихся достаточно хорошими изоляторами. Подобрать форму, амплитуду, скорость изменения, частоту и топологию магнитного поля, можно получить пространственное разделение частиц металла и вмещающих пород [2].

Существующие аппараты электродинамического обогащения обычно используются для сортировки крупной стружки и лома цветных металлов [3]. Для надежного извлечения мелкого золота этим аппаратам необходим более мощный силовой режим разделения. Оценка сил, действующих на частицы металла в рабочем пространстве, в литературе, посвященной магнитным сепараторам, делается по формуле:

$$F \sim \rho \cdot r^3 \cdot H \cdot \text{grad } H, \quad (1)$$

где ρ – плотность, r – линейный размер частицы металла, H – напряженность магнитного поля. Формула (1) получена для постоянных полей [3,4]. При воздействии постоянного поля в зернах минералов вихревых токов не возникает. Оценивать взаимодействие поля с вихревым током в частице по этой формуле нельзя. Силу, действующую на минеральную частицу в рабочем пространстве электродинамического аппарата, лучше оценивать по формуле, предложенной в [2]

$$F = r^4 \cdot \sigma \cdot H(t) \cdot \frac{dH(t)}{dt}, \quad (2)$$

где r – радиус металлической частицы; σ – проводимость частицы; H – напряженность магнитного поля. Поле в рабочем пространстве аппарата изменяется не только во времени, но и в пространстве, т.е. напряженность магнитного поля является функцией как времени, так и пространственных координат. Полная производная от вектора напряженности магнитного

поля $\frac{dH(t)}{dt} = \frac{\partial H}{\partial t} + \left(\frac{dr}{dt} \cdot \nabla\right)H$. Следовательно, формула (1) в развернутом виде будет иметь вид:

$$F \sim r^4 \cdot \sigma \cdot H(t, x, y, z) \cdot \left[\frac{\partial H}{\partial t} + \left(\frac{dr}{dt} \cdot \nabla\right)H \right], \quad (3)$$

Из (3) следует, что сила, действующая на минеральную частицу в рабочем пространстве сепаратора, определяется как скоростью изменения во времени модуля вектора напряженности, так и пространственной структурой магнитного поля. Причем, пространственная структура поля тоже меняется во времени. Если вектор напряженности магнитного поля быстро меняется во времени, но слабо меняется от одной точки пространства к другой, то для малой частицы, с индуцированным в ней вихревым током, поле будет практически однородным. В таком поле частица будет лишь вращаться вокруг одной из своих осей. Чтобы частица стала перемещаться, необходимо, чтобы изменение модуля вектора напряженности магнитного поля в этом направлении было заметным уже на расстояниях порядка размеров частиц. Чем меньше частица, тем сильнее должно быть изменение модуля поля в пространстве. Иными словами, для хорошего разделения частиц в рабочем пространстве сепаратора необходимо иметь *быстроменяющееся во времени,*

высокоградиентное поле (просим простить за напоминание прописных истин!). Уверенное извлечение из россыпи мелкого металла в рабочем объеме электродинамических сепараторов поля будет в полях, в которых частицы металла будут ускоряться примерно до $\sim 100g$ и более (как в центробежных сепараторах). Из всех магнитных сепараторов мелкие металлические частицы удовлетворительно извлекаются только высокоградиентными (полиградиентными) сепараторами, в которых напряженность и градиент поля в рабочем объеме, заполненном шарами или стальной ватой, достигают соответственно величин: $H \sim 320$ кА/м, и $\frac{\partial H}{\partial x} \sim 800$ МА/м. А магнитная сила при индукции насыщения железа

(~ 2 Тл) достигает величины $F = H \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \sim 20\,000 \cdot 8\,000\,000 \sim 1,6 \cdot 10^{11}$ Э²/см

(т.е. $\sim 2 \cdot 10^{11}$ Э²/см) [3]. Такие большие значения напряженности, градиента магнитного поля и магнитной силы получаются в рабочем объеме, благодаря малости размеров ферромагнитных элементов матриц (шаров из магнитно-мягкого железа или волокон стальной ваты) [3].

Надежно извлекать магнитным сепаратором более мелкие частицы можно, либо уменьшая размеры элементов матрицы, либо применяя поле с еще более высокими силовыми характеристиками. Однако более высоких силовых характеристик в сепараторах с постоянными магнитами и ферромагнитными элементами матриц достичь в ближайшее время вряд ли удастся. Для этого нужны постоянные магниты с более высокими значениями остаточной индукции, чем у Co-Sm или у Fe-Ba-Nd сплавов, а также магнитно-мягкие материалы с более высокими значениями индукции насыщения [3]. Силовые характеристики магнитного поля, превосходящие характеристики полиградиентных сепараторов, можно получать в рабочем пространстве электродинамических сепараторов на импульсных магнитных полях. С помощью импульсных магнитных полей

вполне возможно получать $H \sim 1000$ кА/м и $\frac{\partial H}{\partial x} \sim 1000$ МА/м. Это значит,

что магнитная сила в рабочей зоне будет равна $F = H \cdot \frac{dH}{dx} \sim 10^5 \cdot 10^9 = 10^{14}$

(Э²/см), т.е. примерно на три порядка больше, чем в полиградиентных сепараторах.

В постоянных электромагнитах получить такие значения напряженности поля можно, но получить поле с высоким значением градиента не позволяют обмотки, которые приходится изготавливать из толстого проводника, и громоздкие системы охлаждения. В сверхпроводящих магнитных системах обмотки изготавливаются из тонкого сверхпроводящего кабеля, но система охлаждения оказывается еще более сложной и громоздкой. Кроме того, в криогенных системах

напряженность магнитного поля ограничивается величиной критического для сверхпроводника поля. Градиенты поля в них удается получить лишь в пять раз больше, чем в водоохлаждаемых индукторах [5,6].

Обойти многие трудности, непреодолимые для постоянных и сверхпроводящих электромагнитов, позволяет техника импульсных магнитных полей. Импульсные магнитные системы потребляют электроэнергию значительно меньше, поэтому их проще охлаждать. Обмотки индукторов можно изготавливать из тонкого проводника и получать поля с параметрами, недостижимыми для постоянных магнитов и электромагнитов.

Эти соображения привели авторов к разработке и изготовлению экспериментального электродинамического сепаратора с импульсной магнитной системой и гидроциклоном, схематичное устройство которого представлено на рис.1.

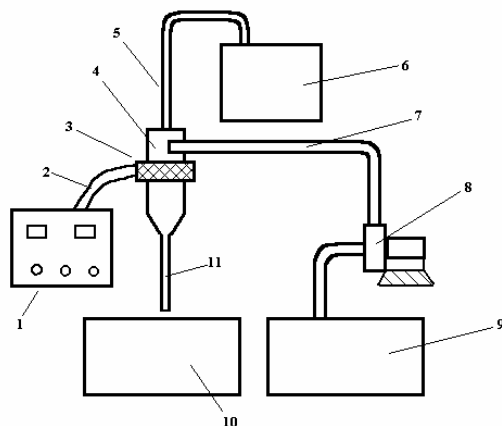


Рис. 1. Схема лабораторной технологической установки экспериментального электродинамического сепаратора с импульсной магнитной системой. 1 – источник питания, 2 – линия питания, 3 – индуктор, 4 – гидроциклон, 5 – патрубок сливного отверстия, 6 – бункер легкой фракции, 7 – рабочий трубопровод, бункер легкой Фракции, 8 – песковый насос, 9 – бункер исходного питания, 10 – песковой бункер, или бункер для отвалов и 11 – патрубок пескового отверстия.

Работа сепаратора осуществляется следующим образом. Песковой насос (8) из бункера исходного питания (9) подаёт дисперсную пульпу по трубопроводу (7) в гидроциклон (4), где под действием центробежной силы происходит разделение пульпы на тяжёлую и лёгкую фракции. Лёгкая фракция через патрубок сливного отверстия (5) подаётся в бункер (6), а тяжёлая фракция через патрубок пескового отверстия (11) поступает в бункер для отвалов (10). На центробежное разделение зерен минералов в

гидроциклоне оказывает влияние импульсное магнитное поле, формируемое индуктором (3). Индуктор установлен таким образом, что импульсное магнитное поле, воздействуя главным образом на проводящие металлические частицы, выталкивает их к входу сливного патрубка [7]. При этом гидродинамические характеристики гидроциклона не изменяются. Качеством разделения компонентов песчаной смеси можно управлять путем изменения параметров импульсного магнитного поля (меняются частота следования и амплитуда импульсов). Таким образом, конструкция сепаратора представляет собой довольно удачное сочетание технологических возможностей гидроциклона и мощного импульсного высокоградиентного электромагнита. Эксперименты проводились с искусственными смесями из кварцевого песка крупностью меньше 2 мм, в который вносилась латунная стружка разных размеров. Латунь в качестве свободного металла была выбрана потому, что она хорошо видна в песке, и сразу можно определить, как хорошо она извлекается. При оптимальном режиме работы гидроциклона и индуктора практически все частицы металла, включая и мелкие (менее 0,1 мм), попадают в сливное отверстие. Проведены также испытания аппарата по разделению песка, содержащего мелкий титаномагнетит Халактырского месторождения, который плохо извлекается обычными магнитными сепараторами. Так же как и при экспериментах с искусственной смесью, практически весь титаномагнетит, в том числе и фракции менее 0,1 мм, выбрасывался в сливной патрубок. В сливной патрубок, кроме титаномагнетита, уходили также мелкие амфиболы и пироксены. В песковый патрубок уходили немагнитные фракции пустой породы.

Обогащение титаномагнетитовых песков Халактырского месторождения (расположенного вблизи г. Петропавловска-Камчатского) электродинамическим сепаратором с гидроциклоном проводилось по следующей схеме:



ЛИТЕРАТУРА

1. *Мязин В.П.* Повышение эффективности переработки глинистых золотосодержащих песков. Учебное пособие. Часть 1. Чита 1995.
2. *Дядин В.И., Латкин А.С.* Обогащение немагнитных дисперсных смесей электромагнитными методами // ФТПРПИ. 2004. № 2.
3. *Кармазин В.В., Кармазин В.И.* Магнитные электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых М.: Издательство МГГУ, 2005.
4. *Берлинский А.И.* Разделение минералов М.: Недра, 1988.
5. *Заварицкий Н.В.* Сверхпроводимость М.: Издательство МФТИ, 1985.
6. *Карасик В.Р.* Физика и техника сильных магнитных полей. М.: Наука, 1964. 289с.
7. *Кривошеков В.И.* Тонкослойная перемешка шламов в прямоточном гидросепараторе // Збогачення корисних копалин: Наук. Техн. Зб. 1998. Вып. 1(42).
8. *Дядин В.И., Латкин А.С.* Разделение дисперсного минерального сырья с помощью вихревых токов // Вихри в геологических системах. Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2004. С. 260–263

Дядин Валерий Иванович – ведущий инженер, руководитель группы Камчатского филиала Геофизической службы РАН. Занимается проблемой обогащения полезных ископаемых электродинамическим методом.

Латкин Александр Сергеевич – заместитель директора Научно-исследовательского геотехнологического центра ДВО РАН по научной работе, доктор технических наук, профессор. Автор большого количества публикаций