

УДК. 550.34+551.24

ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ В ГЕОДИНАМИКЕ (ТЕКТОНИКА + ВУЛКАНИЗМ + СЕЙСМИЧНОСТЬ) И МЕХАНИКЕ**Викулин А.В.¹, Иванчин А.Г.², Викулина С.А.³**¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, Россия, e-mail: vik@kscnet.ru*² *Торговый дом «Музыка», г. Томск, Россия*³ *Камчатский филиал ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия***Введение**

Симметричность тензора напряжений. Согласно самым общим физическим представлениям тензор упругих напряжений в твердом теле должен быть симметричным [13 с. 13–18]. Этот основополагающий принцип классической теории упругости подтверждается уже более чем 300-летним периодом экспериментального определения констант твердого тела, в течение которого не только не были обнаружены моментные модули, но и было убедительно доказано, что твердое тело такими модулями и соответствующими им упругими скоростями не обладает (или они равны нулю). Другими словами, для твердого тела было показано существование только двух разновидностей скорости звука – волны растяжения и волны сдвига.

Следует отметить, что закон сохранения момента количества движения формально допускает в уравнениях движения классической механики «равноправное» существование членов, соответствующих поворотным модам колебаний. Моментная теория упругости, в которой повороты различных частей тела друг другу передаются в результате трения на их границах, сто лет тому назад была построена братьями Коссера. Впоследствии были разработаны близкие Коссера модели – континуум Леру, среды Миндлина и Эрингена и их модификации. Тензор напряжений в таких моделях, как правило, не является симметричным и потому моментная теория упругости, по определению, не может рассматриваться как физическая. По этой причине моментная теория упругости Коссера вполне обоснованно на протяжении всего 100-летнего периода своего существования считалась математической теорией.

В рамках математической моментной теории упругости нашли свое качественное объяснение значения скоростей тектонических волн и их уединенный (солитонный) характер [1]. Видимо, такой успех математической теории и послужил основанием для некоторых ее сторонников физически необоснованно считать, что «запретительные теоремы на асимметрию тензора напряжений устранены» [9]. Кем и в каких работах такие «теоремы устранены» авторы работы [9] не поясняют.

Однако, и это принципиальный момент, моментная теория упругости не перестала быть математической и не превратилась в физическую теорию, поскольку входящие в нее моментные модули так и остались не определенными [6]. Действительно, дальнейшее развитие моментной теории «требует проведения экспериментов, прежде всего определения всех материальных констант», в первую очередь моментных модулей. Согласно [11 с. 272] такая теория, по прежнему, как и сто лет тому назад, «открыта критике обеих сторон» – материаловедения и теории упругости.

Реальные твердые тела состоят из большого количества дефектов и мезоструктур. «Мезодефекты можно представить как крупные, устойчивые по отношению к внешним

воздействиям образования, состоящие из большого числа упорядоченно и закономерно расположенных микродефектов». При деформировании тела, слагающие его мезоструктуры, как целые, поворачиваются; углы поворота достигают 10 и более градусов. «Элементарным актом пластической деформации оказывается не сдвиг, а трансляционно-ротационный вихрь. По своему масштабу они могут быть микро-, мезо- и макровихрями» [18].

Геосреда является «кусковатой» и иерархичной; она состоит из блоков и плит. Разработаны модели геосреды [1], показана ее энергонасыщенность [19]. Повороты геофизических блоков и тектонических плит и вихревые геологические, вулканические и тектоно-вулканические структуры, продолжающие ряд «трансляционно-ротационных вихрей» В.Е. Панина [18] в область мегамасштабов, инструментально зарегистрированы в различных полях и описаны многими исследователями [4, 5, 8]. Бурный рост испытывает теоретическая и инструментальная ротационная сейсмология [2, 3, 23, 24, 27].

Математически строгое описание поворотных движений элементарных мезообъемов приводит к появлению моделей среды с несимметричным тензором напряжений [11]. В рамках таких моделей не находят своего экспериментального подтверждения вводимые теорией ротационные упругие модули [11 с. 272]. На наш взгляд [6] и по этой причине тоже «многочисленные попытки органически связать теорию дислокаций и мезомеханику ... были безуспешными» в течение многих десятилетий [11].

Вращательные движения и их специфика

Развитие представлений о вращательных движениях и их роли в объяснении устройства окружающего нас мира имело долгую историю и происходило с «переменным успехом». Обсуждая проблему бесконечного Демокрит (470–370 до н.э.) разрабатывал учение о движении как о вихрях, создающих наблюдаемое разнообразие природы. Надо полагать, что сама догадка об атомарно-вихревом строении вещества ведет свое начало от какого-то конкретного материально-производственного опыта, скорее всего, от опыта использования древними людьми крутильных ловушек для ловли зверей и освоения механического момента для получения огня.

Следующим был Р. Декарт (1644), который, развивая учение ректора Парижского университета Жана Буридана (1300–1358) об *impetus*'е, опять интуитивно приходит к важности мысли Левкиппа-Демокрита о роли вращательных движений при объяснении движения хрустальных сфер Евдокса и эпициклов Птолемея: «Материя неба должна вращать планеты не только вокруг Солнца, но и вокруг собственных осей». Такой взгляд на мир был, по сути, закрыт несомненными научными успехами теории И. Ньютона (1687): «Гипотез не измышляю».

В XVIII веке возрождение идеи важности вихревых движений было обусловлено успехами космогонической философа И. Канта (1755) и небулярной математика и астронома П. Лапласа (1796) гипотезами, находящимися до настоящего времени в центре дискуссий. Во второй половине XIX века труды Г.Л.Ф. Гельмгольца, В. Томсона (лорда Кельвина), Г.Р. Кирхгофа и др. привели к новым существенным результатам в теории вихревого движения и, как следствие, к созданию вихревой теории атомов. Дж. Максвелл и его современники считали вихревую модель атома крупным достижением науки. Дальнейшее бурное развитие «вихревого» направления было закрыто появлением квантовой механики, объявившей спин квантовым числом и, тем самым, «закрывшей» проблему источника вращательных (вихревых) движений.

В настоящее время в связи с появлением новых данных о вращательных движениях мезообъемов в твердых телах и протяженных геофизических блоков и тектонических плит и вихревых геологических структурах наблюдается очередное, уже по большому счету четвертое в истории, увеличение интереса к проблеме вращательных и вихревых движений.

Познание специфики поворотных движений в последнее время представляет особый интерес и для наук о Земле [27] и для материаловедения [11]. Это связано с решением таких актуальных задач классической механики и других разделов физики, как проблемы сил инерции [21] и принципа относительности [25]. Периодически возникают дискуссии, в которых затрагиваются вопросы: реальны ли силы инерции, что является их источником, являются ли они внешними или внутренними силами по отношению к изолированной механической системе? Анализ показывает отсутствие единого мнения. По мнению авторов работы [10 с. 40], отсутствие единого мнения связано именно с тем, что вопрос о силах и тем более о полях инерции выходит далеко за рамки не только механики Ньютона, но и классической механики вообще.

Вращение является ускоренным движением, в результате мы имеем пример ускоренного движения по инерции. Вращательная инерция принципиально отлична от поступательной по той причине, что вращение представляет собой движение в углах Эйлера. Такие координаты, как известно, не образуют вектора: результат двух поворотов на конечный угол вокруг не коллинеарных осей зависит от последовательности этих поворотов. Поэтому кроме поступательной относительности (принципы Галилея и Эйнштейна), необходимо сформулировать принцип вращательной относительности, согласно которому **существует прямая зависимость между кручением пространства и временем**, в нем протекающем. Именно кручение пространства порождает и поля инерции и спиновые свойства материи [21 с. 29–39].

Таким образом, правильный подход при объяснении эффектов, связанных с вращением, возможен только с позиций всеобщего принципа относительности, позволяющего расширить общерелятивистскую механику Эйнштейна и связать поля инерции с кручением пространства [10 с. 40]. Здесь может быть применен принцип предельной скорости распространения взаимодействий – один из двух постулатов общей теории относительности Эйнштейна, который связан непосредственно со свойствами пространства и времени, а не с физической природой взаимодействия. Универсальность этого принципа позволит, в том числе, и предельные скорости геодинамического процесса, если такие окажутся, связать со свойствами всей Земли, в целом, и, тем самым, объяснить физику взаимодействия слагающих ее блоков, плит и структур и, как следствие – природу источника вращательного движения элементов геосреды.

Формулировка проблемы: разработать такую модель реального твердого тела с **симметричным тензором напряжений**, в рамках которой оказалось бы возможным для **элементарных мезообъемов** (в смысле В.Е. Панина, А.В. Пейве и М.А. Садовского) описать **поворотные движения**, которые проявляются «коллективными свойствами дислокационной структуры» с «солитонными свойствами ансамбля, в целом» [16 с. 4, 107, 130], создают дальнедействующее упругое поле [15 с. 73, 97] и «консолидируют» [14] слагающее тело вещество.

Такая модель геодинамического процесса была построена [2, 3, 4, 5, 6, 28]. Следует отметить, что именно геофизические и геологические данные о вращениях блоков и плит, о

вихревых вулканических, вулкано-тектонических и геологических структурах позволяют по-новому сформулировать вынесенную в название проблему и решить ее.

От геодинамики к мезомеханике

Результаты, полученные в рамках ротационной модели геодинамического процесса, в тезисном виде можно сформулировать следующим образом.

1. Тензор напряжений в теории твердого тела согласно самым общим физическим представлениям должен быть симметричным [13], что для реальных твердых тел, состоящих из большого числа дефектов и мезоструктур [18], в рамках существующих моделей среды не может быть согласовано с рядом эффектов. Ситуация усугубляется тем, что при деформировании тела слагающие его мезоструктуры, как целые, поворачиваются. Математически строгое описание таких поворотных движений в рамках моделей среды, типа континуума Коссера, не находят своего физического обоснования [11].

2. Проблема вращательных движений актуальна и для геодинамики. Повороты геофизических блоков и тектонических плит и вихревые геологические структуры описаны и инструментально зарегистрированы в различных полях многими исследователями [3, 4, 8, 20]. Новые результаты получены ротационной сейсмологией [23, 24, 27]. Разработаны модели блоковой геосреды [1, 26], показана ее энергонасыщенность, что предъявляет дополнительные специфические требования к применяемым для ее описания моделям [19].

Используемые для описания геодинамических закономерностей модели среды, типа континуума Коссера, с несимметричным тензором напряжений содержат моментные упругие модули, которые не находят своего экспериментального подтверждения.

3. Как видим, решение задач и физики твердого тела (материаловедения) и геодинамики (физики Земли) «упираются» в одну проблему: необходима разработка принципиально нового класса моделей, позволяющих проводить описание поворотных движений мезообъемов твердого тела и блоков и плит геосреды в рамках теории упругости с симметричным тензором напряжений.

4. Для геосреды, состоящей из блоков с собственными моментами, в рамках теории с симметричным тензором напряжений построена ротационная волновая модель геодинамического процесса [2, 3, 5] и обосновано ее применение к задачам мезомеханики [6]. Дальнейшее действие геоблоков в такой модели осуществляется посредством нового типа возмущений – ротационных волн, являющихся такими же характерными для вращающейся блоковой среды, как продольные и поперечные волны [3].

Специфика геодинамических ротационных волн определяется движением (Ω) и состоянием (V_P, V_S) Земли, в целом. Именно такое универсальное свойство взаимодействия блоков геосреды может в рамках общей теории относительности объяснить образование планетарных геодинамических структур и связать их с вращением Земли вокруг своей оси. И, в конечном счете, такое универсальное взаимодействие позволяет в рамках одной ротационной волновой модели связать между собой разные геодинамические явления [2, 3, 4, 5, 6, 7, 28], что может являться доказательством единственного физического допущения, лежащего в ее основе – существования собственного момента у «элементарного» геодинамического блока (плиты, структуры).

5. Близкие доплеровской миграции очагов в земной коре и литосфере Земли эффекты обнаруживают и движущиеся атомы, молекулы и их скопления в «обычных» телах. Действительно, при высокой температуре и низкой плотности основной причиной расширения спектральных линий движущихся атомов газа является эффект Доплера. Тепловое движе-

ние приводит к тому, что у части атомов возникает составляющая скорости, направленная к наблюдателю, а у другой части атомов составляющая имеет противоположное направление. В результате спектральная линия, являющаяся суперпозицией линий, испускаемых многими атомами, вследствие эффекта Доплера расширяется. Именно такого рода данные позволили авторам настоящей работы предположить, что элементы ротационной волновой геодинамики применимы к задачам мезомеханики [6]. В таком случае становится понятным, почему «многочисленные попытки органически связать теорию дислокаций и мезомеханику ... были безуспешными» [18] – необходимо от дислокаций переходить к дисклинациям и, как следствие, от сдвига – к «чистому» повороту.

Более того, полученные в работе новые данные о взаимосвязи между геодинамикой, с одной стороны, и гравитацией и «квантовыми» явлениями – с другой, являются веским физическим основанием, обосновывающим саму возможность переноса элементов ротационной волновой геодинамики на задачи мезомеханики. «Носителями пластического течения на мезоуровне являются трехмерные мезообъемы» [18] – это факт. Но тогда такой «перенос», на наш взгляд, вынуждает от схемы В.Е. Панина [18] «сдвиг + поворот» переходить на качественно новый уровень исследований, который, в принципе, может обеспечить в рамках теории с симметричным тензором напряжений переход к моделям «чистого» поворота с возможным последующим сдвигом [6].

Обсуждение результатов: собственный момент геоблока и мезодефекта – спин?

Полученные авторами настоящей работы за последние два десятилетия результаты показывают, что в рамках ротационной модели геосреды, в которой движителем геологического или геофизического блока является его собственный момент, удается в рамках единой концепции объяснить, «увязав воедино», многие геодинамические явления. Таким образом, в геодинамике в настоящее время сложилась ситуация, аналогичная той, что соответствовала формальному введению в физику в 1925 г. для электрона собственного момента, который, фактически, спас закон сохранения энергии на микроуровне и, тем самым, превратился в спин элементарной частицы. Аналогия между спином **элементарной** частицы и введенным авторами настоящей работы вслед за В.А. Пейве и Л.И. Седовым собственным моментом **геологического** блока (и мезодефекта) не просто очевидна. Такая аналогия физически была обоснована А. Эйнштейном в рамках корпускулярно–волнового дуализма Луи де Бройля.

И, тем не менее, вопросы о том, где заканчивается микромир и начинается макромир, где заканчивается действие законов, объясняющих существование спина у элементарных частиц, и начинают действовать законы, объясняющие волновое движение мезообъемов твердого тела и/или блоков геосреды, пока остается открытым. Остается неясной и физика ответственного за такой дуализм на макроуровне природы волнового поля, в существовании которого не сомневался А. Эйнштейн. Можно наметить два возможных в рамках **геодинамики** пути решения проблемы.

Во-первых. Предпринимается попытка проследить существование волн Де Бройля у частиц с увеличивающимися от микро- до мезо- размерами с помощью аналогии между **микроволной** и вихревой цепочкой Кармана в **макросреде**. Теория волнового движения среды, как результат образования в ней вихревой цепочки Кармана, описана А. Зоммерфельдом и может являться механической основой объяснения в рамках механики корпус-

кулярно–волновой природы моментной геодинамики [7], включая волновые движения, отвечающие вихревым геологическим структурам и геофизическим движениям.

Во-вторых. А. Эйнштейн из-за чрезвычайной сложности проблемы неоднократно менял свою точку зрения относительно концепции эфира. Подводя итог его взглядам Г.И. Шипов [21 с. 22–23] приходит к выводу: «В теории Эйнштейна имеется две реальности: пространство-время и материя. Материя выступает на фоне пространства-времени, искривляя его. Таким образом, пространство-время наделяется упругими свойствами, которые проявляются через искривление его геометрии. ... Можно теперь утверждать, что согласно теории Эйнштейна физический вакуум – это пустое (без материи) пространство-время, обладающее упругими свойствами. Эти свойства проявляются тогда, когда в пустое пространство помещается некая масса. Вакуумные уравнения Эйнштейна являются чисто геометрическими и **не содержат никаких физических констант**».

Таким образом, приходим к выводу, что **упругие свойства вращающейся** блоковой среды в соответствии с общей теорией относительности А. Эйнштейна определяются, с одной стороны, самой средой, ее массой, с другой – геодинамическими полями, определяющими взаимодействие блоков между собой. В соответствии с астрофизическими теоретическими представлениями «все эти величины, вызывающие искривление пространства или, по Эйнштейну-Шипову, его **упругость**, описываются **одним** физико-математическим объектом – **тензором энергии-импульса**». Тогда вихревые геологические структуры и геофизические движения, происходящие внутри и на поверхности геосреды (Земли), в том числе и гравитационные аномалии в виде волн геоида [17 с. 215–221] моментных по своей природе [4 с. 160–161], должны быть ответственными за корпускулярно-волновой механизм геодинамики и по своей природе являться **квантово-гравитационно-геодинамическими**.

Другими словами, геодинамика самым естественным образом объединяет принципы общей теории относительности и твердого тела. Это несколько по-разному было сформулировано В.А. Фоком [22 с. 20]: «... свойства света и свойства твердых тел играют основную роль в установлении геометрии реального физического пространства» и Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшицем [12 с. 293]: «... в общей теории относительности, вообще говоря, невозможна взаимная неподвижность системы тел». В таком случае становится понятным, почему в течение такого продолжительного периода, несмотря на титанические усилия, так и не смогли обнаружить ни гравитационные, ни тектонические (геодинамические) волны – они являются взаимосвязанными явлениями и определяются **единым гравитационно-геодинамическим тензором энергии-импульса**.

Список литературы

1. *Быков В.Г.* Деформационные волны Земли: концепции, наблюдения и модели // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 11. С. 1176–1190.
2. *Викулин А.В.* Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: КГПИ, 2003. 150 с.
3. *Викулин А.В.* Энергия и момент силы упругого ротационного поля геофизической среды // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 6. С. 559–570.
4. *Викулин А.В.* Физика Земли и геодинамика. Учебное пособие. Петропавловск–Камчатский: КамГУ, 2009. 463 с.

5. *Викулин А.В., Иванчин А.Г.* Ротационная модель сейсмического процесса // Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17. № 6. С. 94–102.
6. *Викулин А.В., Иванчин А.Г.* Ротация и упругость // Вопросы материаловедения. Труды международного семинара «Мезоструктура», СПб, Россия, 4–7 декабря 2001 г. Научно-технический журнал. 2002. № 1 (29). С. 435–441.
7. *Викулин А.В., Тверитинова Т.Ю.* Энергия тектонического процесса и вихревые геологические структуры // Доклады РАН. 2007. Т. 413. № 3. С. 372–374.
8. Вихри в геологических процессах / Ред. А.В. Викулин. Петропавловск–Камчатский: КГПУ, 2004. 293 с.
9. *Гарагаш И.А., Николаевский В.Н.* Механика Коссера для наук о Земле // Вычислительная механика сплошных сред. 2009. Т. 2. № 4. С. 44–66.
10. *Дмитриевский А.Н., Володин И.А., Шипов Г.И.* Энергоструктура Земли и геодинамика. М.: Наука, 1993. 154 с.
11. *Ерофеев В.И.* Волновые процессы в твердых телах с микроструктурой. М.: МГУ, 1999. 328 с.
12. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. Теоретическая физика. Т. II. М.: Наука, 1973. 504 с.
13. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория упругости. Теоретическая физика. Т. VII. М.: Наука, 2003. 246 с.
14. *Леонов М.Г.* Тектоника консолидированной коры. Труды Геологического ин-та РАН. Выпуск 575. М.: Наука, 2008. 457 с.
15. *Лихачев В.А., Волков А.Е., Шудегов В.Е.* Континуальная теория дефектов. Ленинград: ЛГУ, 1986. 232 с.
16. *Лихачев В.А., Панин В.Е., Засимчук Е.Э. и др.* Кооперативные деформационные процессы и локализация деформации. Киев: Наукова думка, 1989. 320 с.
17. *Магницкий В.А.* Внутреннее строение и физика Земли. М.: Наука, 2006. 390 с.
18. *Панин В.Е.* Основы физической мезомеханики // Физическая мезомеханика. 1998. №1. С. 5–22.
19. *Пономарев В.С.* Энергонасыщенность геологической среды. Труды Геологического ин-та РАН. Вып. 582. М.: Наука, 2008. 379 с.
20. Ротационные процессы в геологии и физике / Ред. Е.Е. Милановский. М.: ДомКнига, 2007. 528 с.
21. *Шипов Г.И.* Теория физического вакуума. М.: Изд-во ООО «Кириллица–1», 2002. 128 с.
22. *Фок В.А.* Теория пространства, времени и тяготения. М.: Изд-во Физ. мат. литературы, 1961. 564 с.
23. Bulletin of Seismological Society of America. Special Issue: “Supplement. Rotational seismology and engineering applications”. 2009. V. 99. N 2B. P. 945–1486.
24. *Lee W.H.K., Igel H., Trifunac M.D.* Recent advances in rotational seismology // Seismological Research Letters. 2009. V. 80. N 3. P. 479–490.

25. *Teisseyre R.* Rotations and micro-motions in seismic wave field: from asymmetric continuum to relativity theory // Ротационные процессы в геологии и физике. М.: ДомКнига, 2007. С. 19–210.
26. *Teisseyre R., Nagahama H., Majewski E.* (Eds.). Physics of asymmetric continua: extreme and fracture processes: earthquake rotation and solution waves. Berlin&Heidelberg, Germany: Springer–Verlag, 2008
27. *Teisseyre R., Takeo M., Majewski E.* (Eds.). Earthquake source asymmetry, structural media and rotation effects. Berlin – Heidelberg – New York: Springer, 2006. 582 p.
28. *Vikulin A.V.* Earth rotation, elasticity and geodynamics: earthquake wave rotary model // Earthquake Source Asymmetry, Structural Media and Rotation Effects. Berlin – Heidelberg – New York: Springer, 2006. P. 273–289.