

Сотворение мира III. Художник М.К.Чюрлёнис. 1906. Фрагмент.

УДК 531.51+551.24

Викулин А.В.



## О геодинамическом детекторе гравитационных волн

Викулин Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук  
E-mail: vik@kscnet.ru

Проводится обзор гравитационных явлений. Обращается внимание на то, что все эти движения и их вариации находят свое проявление в геологических процессах и коррелируют с геофизическими полями. Формулируется вывод о существовании взаимосвязи между геодинамическими процессами и гравитационными (космической природы в том числе) явлениями.

**Ключевые слова:** геодинамика, момент силы, ротационные волны, реидное течение, гравитационные волны.

---

Масштаб геологического времени близок к масштабу Вселенной. Геологи владеют летописью, в которой записаны события истории Земли, а также и Вселенной.

Д.В. Наливкин<sup>1</sup>

Относительности вращения не существует. Вращательная система - не инерциальная система, и законы физики в ней другие.

Р. Фейнман<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Л.: Наука, 1969. 487 с.

<sup>2</sup> Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 5: Электричество и магнетизм. М.: Мир, 1966. 296 с.

## Введение

Большое количество геологических и физических данных указывает на существование тесной взаимосвязи между процессами, происходящими на Земле и в Космосе. Действительно, Земля представляет собой тело, вращающееся вокруг своей оси, вокруг Солнца и вместе с последним и остальными планетами Солнечной системы вокруг центра нашей Галактики. Параметры всех этих вращательных движений испытывают изменения во времени с вполне определенными периодами. Следует учитывать гравитационное и иное влияние на нашу Землю других тел, как самой Солнечной системы, так и более далекого Космоса. В последние годы оба эти фактора – ротационный и космический – привлекают все большее внимание исследователей, поскольку технические возможности их изучения неизмеримо возросли<sup>1</sup>.

Общепринятыми считаются представления о циклическом характере тектонической активности Земли, происходящие на фоне ее направленного развития. Цикличность проявляется практически во всех процессах, протекающих на Земле: оледенения, образования горных сооружений, эрозии, изменения уровня мирового океана, исчезновения флоры и фауны и т.д.<sup>2</sup> И в тоже время эти процессы уверенно коррелируют с периодами определенных астрономических явлений<sup>3</sup>.

Проблемами геологии и гравиметрии живо интересовался Д.Д. Иваненко<sup>4</sup> – один из виднейших физиков–теоретиков, занимавшийся проблемами гравитации. По его инициативе в МГУ при кафедре гравиметрии ГАИШа в январе 1961 г. была образована гравитационная группа<sup>5</sup>. В состав комиссии по гравитации НТС Минвуза СССР наряду с физиками вошли виднейшие ученые–геодезисты нашей страны – член-корреспондент АН СССР Ю.Д. Буланже (ИФЗ АН СССР) и доцент МГУ Н.П. Грушинский<sup>6</sup>. В Москве было проведено несколько симпозиумов по смежным проблемам теории гравитации, геологии и гравиметрии<sup>7</sup>. На этих симпозиумах, как и на еженедельных семинарах Д.Д. Иваненко на физфаке МГУ, неоднократно заслушивались доклады, посвященные геологической и геофизической тематикой. Например, закон Тициуса–Боде (описывающий расстояния планет от Солнца) как проявление закономерностей квантовой механики в масштабах Солнечной системы, грушевидная асимметричная фигура Земли и др.<sup>8</sup>.

Вывод о существовании взаимосвязи между геодинамическими процессами и явлениями в Космосе находится в полном соответствии с принципом Маха о всеобщей взаимосвязанности всех процессов, протекающих во Вселенной. Связующим «космическим» звеном такой взаимосвязи может быть только гравитация, которая объединяет в единое целое все части Вселенной. Связующим «земным» звеном взаимосвязи между геодинамическими процессами и явлениями, происходящими в Космосе, могут выступить ротационные геодинамические волны, которые являются для блоковой вращающейся геологической среды (геосреды) такими же характерными, как и объемные сейсмические (упругие) волны для «обычного» твердого тела<sup>9</sup>.

Существование взаимосвязи между космическими (гравитационными) явлениями и геодинамическими процессами почти очевидно. Возможность такого подхода к проблеме обсуждалась в различных работах<sup>10</sup>.

### Гравитационные волны и космические факторы

**Концепция времени в геологии.** Казалось бы, какое отношение имеют тяготение, изменяющееся темп течения времени, и кванты – объекты микромира, к явлениям геологии и геофизики, включая появление жизни и ее эволюцию? Оказывается, что имеют самое непосредственное<sup>11</sup>.

Действительно, неоднородность течения времени находит свое подтверждение в геологии, геохронологические шкалы которой являются «неравномерными»<sup>12</sup>. В таком случае палеобиологическое, биохронологическое, радиометрическое, магнитометрическое, палеоклиматическое и другие времена<sup>13</sup>, с помощью которых датируются хронологические периоды геологического времени, разделяемые стратиграфическими разделительными плоскостями<sup>14</sup>, также являются неоднородными. Неоднородное течение геологического времени

<sup>1</sup> Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа. М.: Научный мир, 2009. 520 с.

<sup>2</sup> Хаин В.Е. Циклы Бертраана и циклы Вильсона // Доклады РАН. 1992. Т. 325. С. 557–559.

<sup>3</sup> См., напр.: Балуховский Н.Ф. Геологические циклы. Киев: Наукова Думка, 1966. 168 с.; Наливкин В.Д. О цикличности геологической истории // Географический сборник. Астрогеология. 1962. № 5. С. 188–197.; Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. Новая ротационная гипотеза структурообразования и ее геолого-математическое обоснование. Днепропетровск – Донецк: Ноулидж, 2009. 342 с.

<sup>4</sup> См., напр.: Владимиров Ю.С. Между физикой и метафизикой. Кн. 2. По пути Клиффорда–Эйнштейна. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. С. 270; Он же. Между физикой и метафизикой. Кн. 3. Геометрическая парадигма: испытание временем. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. С. 118.

<sup>5</sup> Владимиров Ю.С. Между физикой и метафизикой. Кн. 3....

<sup>6</sup> Там же. С. 59.

<sup>7</sup> Там же. С. 61, 118.

<sup>8</sup> Там же. С. 124–126.

<sup>9</sup> Викулин А.В. Энергия и момент силы упругого ротационного поля геофизической среды // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 6. С. 559–570.; Он же. Новый тип упругих ротационных волн в геосреде и вихревая геодинамика // Геодинамика и тектонофизика, 2010, Т. 1, № 2, С. 119–141.; Он же. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика. Сборник трудов. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2011. 407 с.; Vikulin A.V., Tveritina T.Yu., Ivanchin A.G. "Wave Moment Geodynamics." *Acta Geophysica* 61.2 (2013): 245–263.

<sup>10</sup> См., напр.: Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика...; Он же. Геодинамика и гравитация // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. Материалы Всероссийского совещания и молодежной школы. Т. 1. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. С. 23–26.; Он же. Геодинамика и гравитация (космические факторы) // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Материалы Третьей тектонофизической конференции. Т. 1. М.: ИФЗ РАН, 2012. С. 57–61.

<sup>11</sup> Викулин А.В. Мир вихревых движений. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008. С. 90; Lomnitz C., Castanos H. "Earthquake Hazard in the Valley of Mexico: Entropy, Structure, Complexity." *Earthquake Source Asymmetry, Structural Media and Rotation Effects*. Eds. R. Teisseyre, M. Takeo, E. Majewski. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2006, pp. 347–364.

<sup>12</sup> Симаков К.В. Введение в теорию геологического времени. Становление. Эволюция. Перспективы. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1999. 556 с.

<sup>13</sup> Крутов И.В. Введение в общую теорию Земли. М.: Мысль, 1978. С. 86–93.

<sup>14</sup> Флинт Р. История Земли. М.: Прогресс, 1978. С. 34–47.

может быть связано, например, с прохождением Земли в составе Солнечной системы в разные геологические эпохи областей Галактики, имеющих разную напряженность гравитационного поля и в соответствии с принципом Маха находящихся под влиянием разных по величине центробежных сил.

В этой связи следует отметить, что история геологии располагает убедительными фактами, необходимыми для познания обратимости и необратимости, цикличности и направленности геодинамического процесса. Решение этих проблем имеет значение не только для геологии, но и для естествознания в целом. Абсолютная шкала геологического времени оказалась очень важной для астрономов, так как существенно прояснила вопрос, связанный с галактической орбитой Солнца. О важности союза между геологами и астрономами писали академики А.В. Пейве<sup>1</sup> и Д.В. Наливкин<sup>2</sup> (см. эпиграф). Проблемы времени в геологии и звездной астрономии во многом идентичны, но если первую можно решать, ограничиваясь Галактикой, то проблему времени звездных систем следует изучать, поднявшись на более высокую иерархическую ступень<sup>3</sup>.

**Вариации гравитационной постоянной.** Закон всемирного тяготения не сразу завоевал всеобщее признание. Только в 1798 г., когда Г. Кавендишем было экспериментально определено численное значение гравитационной постоянной  $G$ , стало, наконец, возможным практическое применение закона всемирного тяготения, открытого И. Ньютоном в 1687 г. Постоянная  $G$  (называемая также «постоянной Ньютона») является фундаментальной физической величиной, ее значение в соответствии с современными измерениями<sup>4</sup> равно  $G = (6,67 \pm 0,01) \cdot 10^{-8}$  дин·см<sup>2</sup>·г<sup>-2</sup> и известно с малой для фундаментальных величин точностью<sup>5</sup>  $\Delta G / G = 10^{-3}$ .

В результате за более чем двухсотлетний период измерений, выполненных многочисленными исследователями в различных лабораториях мира, расположенных в разных местах планеты, был получен достаточно частый ряд количественных значений величины  $G$ . При этом точность отдельно взятого определения величины  $G$  постоянно увеличивалась и к концу XX – началу XXI вв. составляла  $10^{-4}$ . Однако по мере повышения точности измерений величины  $G$  одновременно имело место и увеличение расхождений между ними. Так, до настоящего времени два наиболее точных измерения  $G$  были получены разными группами ученых в Университете Вашингтона в Сиэтле и в Международном бюро мер и весов под Парижем. В обоих этих случаях ошибки эксперимента составили  $10^{-4}$  при разнице полученных значений, превышающей возможные погрешности в 10 раз<sup>6</sup>.

Достаточно большие различия наблюдаются не только между отдельно взятыми определениями величины  $G$ , но и между большими сериями наблюдений, состоящими из десятков тысяч (!) измерений<sup>7</sup>. В течение 1985–1997 гг. целенаправленно было выполнено около 40 тыс. измерений величины  $G$ . Ее среднее значение, определенное по всей серии измерений, составило  $G = (6,6729 \pm 0,0002) \cdot 10^{-8}$  дин·см<sup>2</sup>·г<sup>-2</sup>; при этом в более короткие интервалы времени наблюдались статистически значимые отличия и от среднего в обе стороны: в интервале 19.10.95–25.01.96 гг. –  $G = (6,6726 \pm 0,0001) \cdot 10^{-8}$  дин·см<sup>2</sup>·г<sup>-2</sup>, а в интервале 21.03.93–13.07.93 гг. –  $G = (6,6737 \pm 0,0002) \cdot 10^{-8}$  дин·см<sup>2</sup>·г<sup>-2</sup><sup>7</sup>.

Многолетними наблюдениями показано, что факторы, влияющие на величину  $G$  (в числе которых – изменение геомагнитного поля, нестабильности температуры и атмосферного давления, потоки остаточного газа в вакуумной камере прибора, изменение его наклона и влияние гравитационного поля, связанное с изменением взаимного положения Земли, Луны и Солнца) не могут привести к наблюдаемым при ее измерениях флуктуациям<sup>8</sup>.

Такие скачки значений для фундаментальной физической величины являются пока непонятными и до настоящего времени приводят исследователей к разным предположениям. Так, П. Дирак и другие физики, полагали, что  $G$  не является постоянной во времени и ее величина, как, впрочем, и величины некоторых других фундаментальных физических постоянных, в рамках модели Большого взрыва уменьшается обратно пропорционально времени<sup>9</sup>.

**Земля в Солнечной системе и в Галактике.** Имеющиеся данные позволяют предположить, что локальные геофизические и глобальные гравитационные процессы могут взаимодействовать между собой. Такой вывод подтверждается многолетними наблюдениями. Так, по результатам наблюдений последних 65 лет было сделано заключение о влиянии расположения Нептуна и Урана и лунно-солнечных приливов на сейсмическую активность<sup>10</sup>. В.М. Федоров формулирует вывод о том, что величина вулканической активности Земли в XX в. зависит как от ее положения на орбите, так и от расстояния до Солнца и Марса<sup>11</sup>.

Исторически сложилось мнение, что приближение Марса к Земле вызывает различные беды – засухи или, наоборот, наводнения, ураганы, тайфуны, землетрясения. Проведенный В.Е. Хаиным и Э.Н. Халиловым анализ аномальных природных явлений, приуроченных к «великому» приближению Марса к Земле 28 августа 2003 г. (в результате которого расстояние между планетами составляло всего 55,7 млн. км при «обычном» расстоянии около 400 млн. км)<sup>12</sup>, показал следующее. Во-первых, «с июля по конец сентября 2003 г. на планете произошло

<sup>1</sup> Пейве А.В. Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР. Серия геологическая. 1961. № 3. С. 36–54.

<sup>2</sup> Наливкин Д.В. Указ. соч.

<sup>3</sup> Шпитальная А.А., Заколдаев Ю.А., Ефимов А.А. Проблема времени в геологии и звездной астрономии // Проблемы пространства и времени в современном естествознании. Серия «Проблемы исследования Вселенной». Вып. 15. СПб: Амфора, 1991. С. 95–106.

<sup>4</sup> Кикоин И.К. Таблицы физических величин. Справочник. М.: Атомиздат, 1976, 1008 с.

<sup>5</sup> Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1977. 943 с.

<sup>6</sup> Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Указ. соч. С. 252–259.

<sup>7</sup> Измайлов В.П., Карагиоз О.В., Пархомов А.Г. Исследование вариаций результатов измерений гравитационной постоянной // Физическая мысль России. 1999. № 12, С. 20–26.; Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Указ. соч. С. 276–277.

<sup>8</sup> Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Указ. соч. С. 284.

<sup>9</sup> Дирак П.А. Космологические постоянные // Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М.: Мир, 1979; Горелик Г.Е. Космология Дирака в историко-методологическом контексте (к статье Х. Крага) // Польш Дирак и физика XX века. М.: Наука, 1990. С. 92–94.

<sup>10</sup> Bagby D.P. "Purther Evidence of Tidal Influence on Earthquake Incidence." *Moon* 6.3–4 (1973): 398–404.

<sup>11</sup> Федоров В.М. Сопоставление хронологии вулканической активности Земли с характеристиками ее орбитального движения // Вулканоология и сейсмология. 2001. № 5. С. 65–67.; Он же. Многомерный анализ и хронологическая структура геодинамической активности Земли // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2007. № 4. С. 24–31.

<sup>12</sup> Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Указ. соч. С. 337–341.

вдвое больше ураганов и тайфунов, чем за аналогичные периоды прошлых лет». Во-вторых, наблюдалась ярко выраженная аномально высокая активность как атмосферных, так и геологических катаклизмов. Степень активности атмосферных проявлений энергетики планеты (тайфуны, ураганы) и геологических (землетрясения, вулканы) превысила фоновые значения, примерно в 2,5–3 раза.

Земля в составе Солнечной системы обращается вокруг центра нашей Галактики по сильно вытянутой орбите. Период полного ее обращения составляет 200 – 250 млн. лет<sup>1</sup>. Ряд исследователей уже обращал внимание на то обстоятельство, что длительность этого периода, в общем, совпадает с продолжительностью тектонического цикла Бертрана, в течение которого Земля периодически то приближается к центру Галактики (перигалактий), то удаляется от него (апогалактий) и при этом, естественно, испытывает большее или меньшее притяжение масс, расположенных в центре Галактики.

**Квадрупольные деформации Земли.** По данным инструментальных наземных наблюдений 1976–1981 гг. исследовались глобальные нерегулярные изменения силы тяжести на поверхности Земли  $\Delta g$ <sup>2</sup> и угловой скорости ее вращения  $\Delta \omega$ <sup>3</sup>. Оказалось, что оба параметра как функции времени хорошо коррелируют между собой. При этом положительным значениям  $\Delta g$  соответствуют отрицательные значения  $\Delta \omega$ , а не положительные, которые соответствовали бы общему сжатию Земли. Полученный результат показывает: сжатию Земли в месте измерения соответствует общее увеличение момента инерции Земли, что возможно только в том случае, если в другом месте земного шара происходит расширение<sup>4</sup>. Очевидно, что и деформация Земли в этом случае имеет квадрупольный характер<sup>5</sup>.

С использованием полученных за последние 25 лет данных спутниковой лазерной дальнометрии были выявлены вариации значений второго момента ( $J_2$ ) в разложении гравитационного потенциала Земли по сферическим гармоникам<sup>6</sup>, который, отражая динамику соотношения экваториального ( $A$ ) и полюсного ( $C$ ) моментов инерции Земли, также имеет квадрупольный характер<sup>7</sup>.

Здесь  $J_2 = \frac{C - A}{MR_3^2} \approx \varepsilon$ ,  $J_0 = 1$ ,  $J_1 = 0$ ,  $J_{2n-1} = 0$ ,  $J_{2n} \approx \varepsilon^2$ ,  $n = 2, 3, \dots$ ,  $A$  и  $C$  – соответственно экваториальный и полюсный моменты инерции Земли;  $a$  и  $c$  – соответственно экваториальный и полюсный радиусы Земли;  $M$  – масса Земли;  $R_3 = \frac{1}{2}(a + c)$  – средний радиус Земли;  $\varepsilon = \frac{a - c}{a} \approx 0,003$  – сжатие Земли.

Анализ показал, что вариации значений  $J_2$  и вариации определений гравитационной постоянной  $G$  по данным последних 25 лет коррелируют между собой<sup>8</sup>.

Д.Д. Иваненко и Б.Н. Фроловым было отмечено, что существует только один механизм, позволяющий объяснить квадрупольный характер деформации Земли как следствие гравитационного эффекта, при котором земной шар оказывается в поле падающей гравитационной волны и Земля является ее детектором<sup>9</sup>. Действительно, согласно Общей теории относительности гравитационная волна имеет две степени свободы, и при ее взаимодействии с телом в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, будут отмечены деформации, характерные для квадрупольных колебаний<sup>10</sup>.

Выявление квадрупольных деформаций Земли и установление их корреляции с вариациями гравитационной постоянной позволяет продолжить сформулированный выше вывод и предположить, что в качестве космического фактора, влияющего на значение гравитационной постоянной, могут выступить гравитационные волны, излучаемые внешними по отношению к Земле источниками. Известно, что «всякое гравитационное поле является не чем иным, как изменением метрики пространства–времени. Это важнейшее обстоятельство означает, что геометрические свойства пространства–времени (его метрика) определяются физическими явлениями, а не являются неизменными свойствами пространства и времени»<sup>11</sup>.

Таким образом, приведенные выше данные и полученные результаты позволяют предположить, что вариации гравитационной постоянной  $G$ , выявляемые многочисленными исследователями, могут определяться двумя типами процессов, протекающими в момент ее измерения в месте установки регистрирующего прибора. К первому типу следует отнести локальные геофизические процессы, протекающие в месте установки прибора, измеряющей величину  $G$ . Ко второму типу относятся глобальные процессы, связанные с деформацией всей Земли в целом, при прохождении через нее гравитационных волн от внешних по отношению к Земле источников.

### Геогравитационные эффекты

**Вариации  $G$  и геофизические поля.** Анализ временных рядов определения величины  $G$  выполнялся многими исследователями<sup>12</sup>. Его результаты, согласно В.Е. Хаину и Э.Н. Халилову, сводятся к

<sup>1</sup> Баренбаум А.А. Галактоцентрическая парадигма в геологии и астрономии. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. С. 49.  
<sup>2</sup> Буланже Ю.Д. Некоторые результаты изучения непривливаемых измерений силы тяжести // Доклады АН СССР. 1981. Т. 256. № 6. С. 1330–1331.  
<sup>3</sup> Парийский Н.Н. О нерегулярных изменениях скорости вращения Земли и возможной связи их с деформациями Земли и изменениями силы тяжести // Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984. С. 84–93.  
<sup>4</sup> Буланже Ю.Д. Указ. соч.  
<sup>5</sup> Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Указ. соч. С. 322.  
<sup>6</sup> Cox С., Chao В.Ф. "Detection of Large-Scale Mass Redistribution in the Terrestrial System Since 1998." *Science* 297.2 (2002): 831.  
<sup>7</sup> Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Учебное пособие. Петропавловск–Камчатский: КамГУ, 2009. С. 52–55, 149; Грушинский Н.П. Теория фигур Земли. М.: Наука, 1976. С. 225; Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. С. 66; Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Наука, 2006. С. 209–215.  
<sup>8</sup> Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Указ. соч. С. 309–313.  
<sup>9</sup> Иваненко Д.Д., Фролов Б.Н. Деформация Земли и современная теория гравитации // Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984. С. 93–97.  
<sup>10</sup> Цзю Х., Гофман В. (ред.) Гравитация и относительность. М.: Мир, 1965. 544 с.  
<sup>11</sup> Ландау Л.Д., Лифшиц И.М. Теория поля. М.: Наука, 2006. С. 307.  
<sup>12</sup> Измайлов В.П., Карагиоз О.В., Кузнецов В.А., Мельников В.Н., Росляков А.Е. Временные и пространственные вариации

тому, что в вариациях значений гравитационной постоянной в третьем знаке после запятой существуют ритмичности с периодами 85, 53, 39, 23, 21, 17 суток<sup>1</sup>. Эти же периоды выявлены и в вариациях солнечной активности. Результаты анализа временных рядов многих исследователей привели к предположению, согласно которого вариации гравитационной постоянной «связаны с целым рядом космических и геофизических явлений ... прямо или косвенно влияющих на результаты измерений»<sup>2</sup>.

В отношении «космических явлений» говорилось выше. В отношении же «геофизических процессов» можно добавить, что согласно имеющимся данным<sup>3</sup> существует место тесная связь магнитных и гравитационных аномалий, местоположение, простираение и общая форма которых чаще всего совпадают. Отмечена корреляция между сейсмической активностью Земли в 1985–2000 гг. и вариациями значений гравитационной постоянной  $G$ <sup>4</sup>. Согласно данным, полученным в результате сейсмологических, вулканологических и геодезических исследований<sup>5</sup>, имеет место корреляция между распределением сейсмической и вулканической активности вдоль поверхности Земли и аномалиями формы ее фигуры в виде волн геоида, которые, по сути, являются планетарными гравитационными аномалиями<sup>6</sup>.

Приведенные геофизические данные позволяют продолжить высказанную выше мысль о том, что «анализ вариаций результатов измерений гравитационной постоянной» действительно «выявляет не изменение величины гравитационной постоянной», а такой анализ, по сути, выявляет изменения гравитационного поля, вызываемые геофизическими процессами, протекающими в местах установки измеряющих величину  $G$  приборов в моменты измерений.

**Поплавковые колебания Земли.** На существование тесной взаимосвязи между геодинамическими и гравитационными движениями Земли указывают и следующие данные.

Во-первых, это данные о поплавковых колебаниях Земли, как целой, под которыми понимается перемещение планеты на орбите в направлении оси ее вращения. Существование таких колебаний вытекает из анализа дрейфа нуля сейсмографов и гравиметров и асинхронности океанических приливов северного и южного полушарий<sup>7</sup>. Очевидно, что объяснение поплавковых колебаний Земли, как геодинамических движений, возможно лишь во взаимосвязи с гравитационными движениями других тел Солнечной системы. При этом все геодинамические движения, включая и поплавковые колебания, коррелируют с величиной солнечной активности, которая, в свою очередь, определяется орбитальными и вращательными вокруг своих осей движениями планет, в основном планет-гигантов Юпитера и Сатурна<sup>8</sup>.

Во-вторых, минимизируя гравитационную энергию Земли, можно определить величину ее «поверхностно-го натяжения»<sup>9</sup>, являющегося, по сути, балансом между силой притяжения (гравитацией) и геодинамическим полем, определяющим для вещества поверхности геоида структуру, которая по сути своей должна быть планетарной – далекодействующей. Гравитация в таком балансе может быть представлена волнами геоида<sup>10</sup>. Дальнедействующим же геодинамическим полем, которое «управляет» движением блоковой вращающейся среды, как будет показано ниже, является ротационное упругое поле. Поверхностное натяжение геоида достигает большой величины  $10^{19}$  эрг/см<sup>2</sup><sup>11</sup>, значительно превышающее коэффициенты поверхностного натяжения «лабораторных» жидкостей и твердых тел, значения которых лежат в пределах  $1-10^4$  эрг/см<sup>2</sup>. Такие данные могут указывать на существование «очень сильной» взаимосвязи между гравитацией (волнами геоида, имеющими моментную природу<sup>12</sup>) и геодинамическими движениями.

С.М. Крылов и Г.А. Соболев полагают, что им впервые удалось с помощью вариометра Этвеша в полевых условиях зарегистрировать гравитационные волны, источником которых являются очаги землетрясений – движущиеся блоки литосферы<sup>13</sup>. Принципиальная возможность влияния сверхдлинных гравитационных волн космического происхождения на геодинамические процессы показана в монографии В.Е. Хаина и Э.Н. Халилова<sup>14</sup>, в которой описан положительный опыт краткосрочного прогнозирования сильных удаленных землетрясений на основании длиннопериодных гравитационных предвестников.

---

измеряемых значений гравитационной постоянной // Измерительная техника. 1993. № 10. С. 3–5.; Измайлов В.П., Карагиоз О.В., Пархонов А.Г. Исследование вариаций результатов измерений гравитационной постоянной // Физическая мысль России. 1999. № 12. С. 20–26.; Карагиоз О.В., Измайлов В.П., Силин А.А., Духовский Е.А. Всемирное тяготение и теории пространства и времени. М.: УДН, 1987. С. 102–126.; Карагиоз О.В., Измайлов В.П., Кузнецов А.И. Методика и результаты исследований путей повышения точности гравитационной постоянной Кавендиша // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1992. № 2. С. 91–101.; Карагиоз О.В., Измайлов В.П. Измерение гравитационной постоянной крутильными весами // Измерительная техника. 1996. № 10. С. 3–9.

<sup>1</sup> Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Указ. соч. С. 279.

<sup>2</sup> Там же, с. 284.

<sup>3</sup> Хмелевской В.К. (ред.). Геофизика. Учебник. М.: КДУ, 2007. 320 с.

<sup>4</sup> Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Указ. соч. С. 316–319.

<sup>5</sup> Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика... С. 388–389.

<sup>6</sup> Магницкий В.А. Указ. соч. С. 219–221, 232–235.

<sup>7</sup> Линьков Е.М. Сейсмические явления. Ленинград: Из-во ЛГУ, 1987. 248 с., с. 144–163.

<sup>8</sup> Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Учебное пособие. С. 380–381.; Долгачев В.А., Доможилова Л.М., Хлыстов А.И. Особенности движения центра масс Солнца относительно барицентра // Труды Гос. Астрономического ин-та им. П.К. Штернберга. 1991. Т. 62. С. 111–115.; Тимашев С.Ф. О базовых принципах «нового диалога с природой» // Проблемы геофизики XXI века: В 2 кн. Кн. 1 / Ред. А.В. Николаев. М.: Наука, 2003. С. 104–141.

<sup>9</sup> Кузнецов В.В. Введение в физику горячей Земли. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2008. 367 с., с. 101.

<sup>10</sup> Магницкий В.А. Указ. соч. С. 215–221.

<sup>11</sup> Кузнецов В.В. Указ. соч. С. 101.

<sup>12</sup> Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Учебное пособие. С. 160–161.

<sup>13</sup> Крылов С.М., Соболев Г.А. О вихревых гравитационных полях естественного и искусственного происхождения и их волновых свойствах // Вулканология и сейсмология. 1998. № 3. С. 78–92.

<sup>14</sup> Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Указ. соч.

### Геодинамические волны

**Блоковое строение геосреды.** Волновая природа геодинамических движений не вызывает сомнений. На это указывают и так называемые «земляные волны», распространяющиеся из очагов сильных землетрясений<sup>1</sup>, геодинамические предвестники землетрясений<sup>2</sup> и наблюдаемые визуально и регистрируемые геодезическими методами медленные движения поверхности Земли<sup>3</sup>, отмечаемые как до и после землетрясений, так и без видимой активизации сейсмической и вулканической активности. Все эти движения, очевидно, имеют одну природу. Однако описание волнового характера таких движений невозможно в рамках классической<sup>4</sup> теории упругости.

Достижением научной мысли последних десятилетий в науках о Земле стало обоснование концепции блокового строения геосреды<sup>6</sup>. Изменяемость во времени, сильная нелинейность, активность, энергонасыщенность, возможность реидных движений (сверхпластичного течения в твердом состоянии<sup>7</sup>) – фундаментальные свойства такой среды. Все эти свойства, включая и медленные движения поверхности Земли, в рамках ротационной модели<sup>8</sup> являются следствием существования нового типа геодинамических волн – ротационных<sup>9</sup>, являющихся для геосреды такими же характерными, как и упругие волны для твердого тела<sup>10</sup>.

**Волны миграции геодинамической активности.** Исследовались пространственно-временные закономерности геодинамической активности в пределах трех самых активных поясов планеты, в пределах которых выделяется не менее 95–98% всей геодинамической энергии планеты: окраины Тихого океана, Альпийско-Гималайского пояса и Срединно-Атлантического хребта (рис. 1).

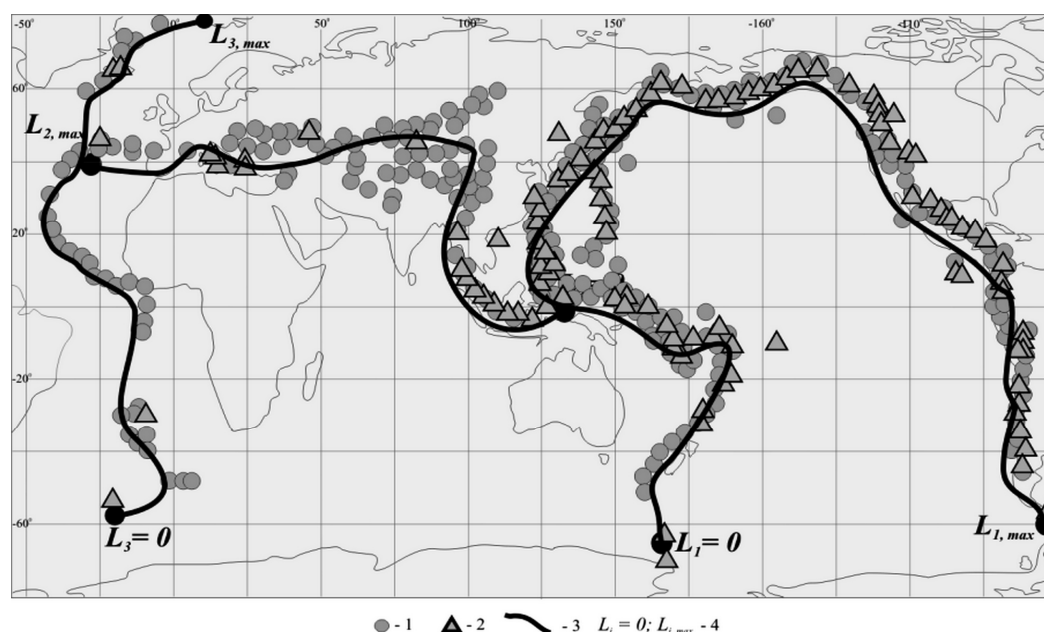


Рис. 1. Наиболее активные пояса планеты. 1 – очаги землетрясений; 2 – извергавшиеся вулканы, 3 – линии вдоль осей поясов, по которым рассчитывались координаты  $l$  очагов землетрясений и вулканов; 4 – начала ( $L_i = 0$ ) и окончания ( $L_{i,max}$ ) поясов:  $i = 1$  – окраина Тихого океана,  $L_{1,max} = 45000$  км,  $i = 2$  – Альпийско-Гималайский пояс,  $L_{2,max} = 20500$  км,  $i = 3$  – Срединно-Атлантический хребет,  $L_{3,max} = 18600$  км.

Все эпицентры сильных землетрясений последних двух столетий магнитудного диапазона  $M \geq 6$  ( $M_{max} \approx 9$ ) и все извержения последних 10 тыс. лет с индексом эксплозивности  $W \geq 4$  (объемом изверженного материала  $V \geq 0,1$  км<sup>3</sup>;  $W_{max} = 7$ ,  $V_{max} \approx 100$  км<sup>3</sup>) в пределах этих регионов располагаются вдоль цепочек миграции, примеры которых приведены на рис. 2. Эти данные определяют волновую природу геодинамической активности<sup>11</sup>.

<sup>1</sup> Шебалин Н.В. Проблемы макросейсмологии. М.: Наука, 2003. (Вычислительная сейсмология, Вып. 34). С. 57–200; Lomnitz C. "Some Observations of Gravity Waves in the 1960 Chile Earthquake." *Bull. Seism. Soc.* 59 (1970): 669–670; Lomnitz C., Castanos H. *Op. cit.*; Matuzawa T. "On the Possibility of Gravitational Waves in Soil and Allied Problems." *J. Inst. Astr. Geophys.* 3 (1925): 145–155.

<sup>2</sup> Зубков С.И. Каталог сейсмических предвестников землетрясений. М.: ИФЗ АН СССР, 1986; Он же. Каталог предвестников землетрясений: Гравитационные предвестники. М.: ИФЗ АН СССР, 1991.

<sup>3</sup> Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1988. С. 325, 400–401; Бороздич З.В. Короткоживущие подкорковые локальные возмущения (КПЛВ). Их природа и проявления // Исследования в России. Электронный журнал, 2008. № 49. С. 555–574.; Каррыев Б.С. Вот пришло землетрясение. М.: СИБИС, 2009. 410 с.; Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения. 1. Сильные движения землетрясения как выход ударной волны на поверхность // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12. № 6. С. 87–96.; Леонов М.Г. Тектоника консолидированной коры. М.: Наука, 2008. С. 5; Попков В.И., Фоменко В.А., Глазырин Е.А., Попков И.В. Катастрофическое тектоническое событие лета 2011 г. на Таманском полуострове // Доклады РАН. 2013. Т. 448. № 6. С. 1–4.

<sup>4</sup> Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 2003. 264 с.

<sup>5</sup> Шебалин Н.В. Указ. соч.

<sup>6</sup> Пейве А.В. Указ. соч.; Садовский М.А. Естественная кусковатость горных пород // ДАН СССР. 1979. Т. 247. № 4. С. 829–831.

<sup>7</sup> Леонов М.Г. Указ. соч.; Carey S.W. "The Rheid Concept in Geotectonics." *Bull. Geol. Soc. Austral.* 1 (1954): 67–117.

<sup>8</sup> Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика... С. 85–95, 124–136; Vikulin A.V., Tveritina T.Yu., Ivanchin A.G. *Op. cit.*

<sup>9</sup> Викулин А.В. Энергия и момент силы упругого ротационного поля...; Он же. Новый тип упругих ротационных волн...

<sup>10</sup> Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика... С. 384–394.

<sup>11</sup> Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р., Иванчин А.Г., Водинчар Г.М., Долгая А.А., Гусяков В.К. Информацион-

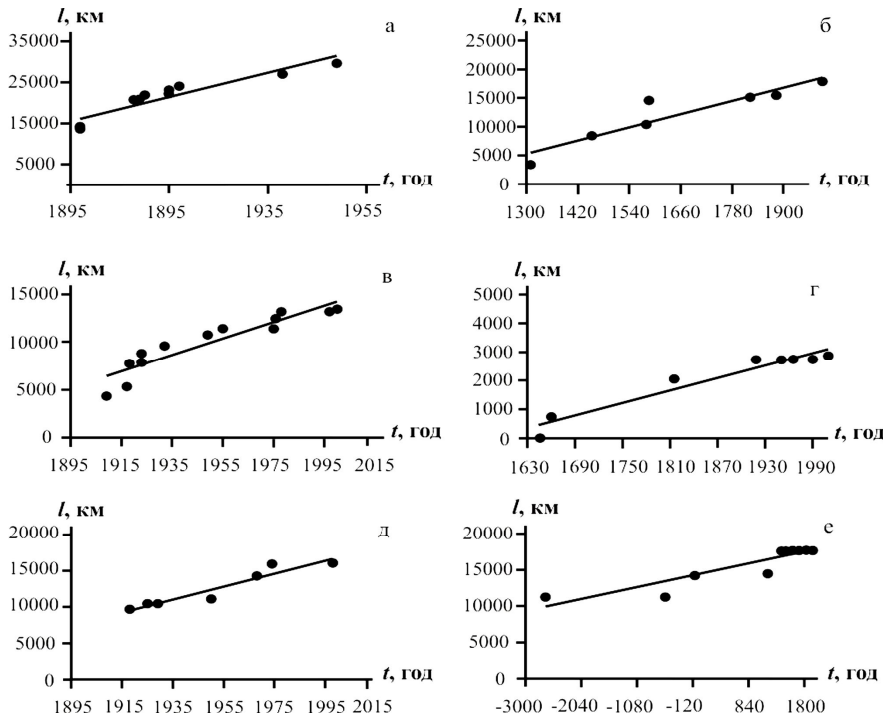


Рис. 2. Примеры миграционных цепочек. а) и б) – очагов землетрясений с  $M \geq 8$  и вулканических извержений с  $W \geq 5$  ( $V \geq 1 \text{ км}^3$ ) в пределах Пацифики; в) и г) – очагов землетрясений с  $M \geq 7$  и вулканических извержений с  $W \geq 4$  в пределах Альпийско-Гималайского пояса; д) и е) – очагов землетрясений с  $M \geq 7,2$  и вулканических извержений с  $W \geq 4$  в пределах Срединно-Атлантического хребта. Значения скоростей миграции для представленных на рисунке а-е цепочек составляют  $V = 300; 90; 90; 20; 7; 2 \text{ км/год}$  соответственно.

На рис. 3 представлены детальные данные о процессе миграции в пределах окраины Тихого океана<sup>1</sup>. Видно, что все значения скоростей миграции распадаются на два поля: глобальное, определяющее миграцию вдоль всей окраины с предельным значением скорости (1–10) см/с – скоростью крипа, и локальное, определяющее миграцию в пределах очагов отдельных взятых сильных землетрясений с предельным значением скорости – скоростью поперечных сейсмических волн  $V_S \approx 4 \text{ км/с}$ .

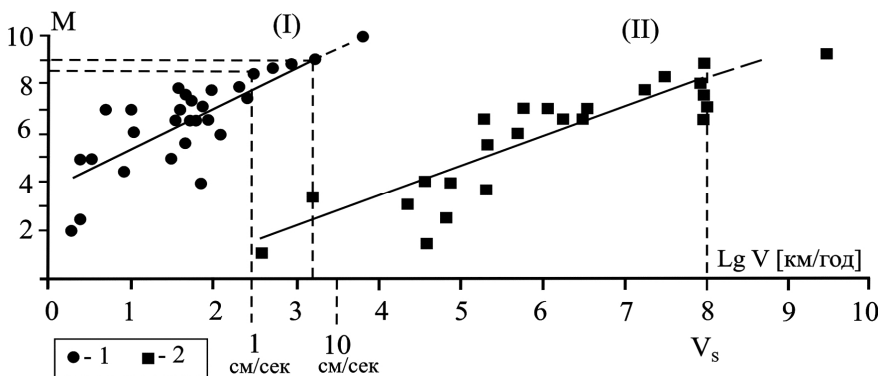


Рис. 3. Значения скоростей миграции тихоокеанских землетрясений как функции их магнитуды  $M$ . (I), (II) – зависимости  $M(LgV)$ , определяющие глобальную миграцию очагов землетрясений вдоль окраины Тихого океана и локальную миграцию форшоков и афтершоков в очагах индивидуальных землетрясений, соответственно.

**Ротационные напряжения геосреды.** Литосфера, находится в постоянном движении, вследствие чего слагающие ее блоки трансляционным образом перемещаются вдоль поверхности Земли. Например, блок из положения  $M_1$  через некоторое время перемещается в положении  $M_2$  (рис. 4.а), что и определяет специфические

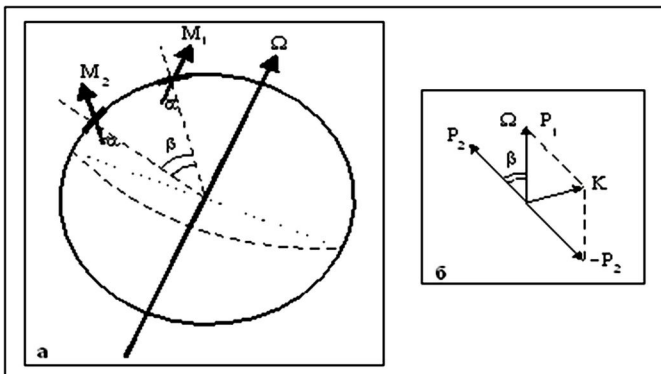


Рис. 4. Движение блока литосферы из положения с моментом импульса  $M_1$  в положение  $M_2$  (поворот блока на угол  $\beta$ ) (а) сопровождается «генерацией» в литосфере прикладываемыми к блоку со стороны окружающей его среды напряжениями с моментом силы  $K$  (б), пояснения в тексте.

но-вычислительная система моделирования сейсмического и вулканического процессов как основа изучения волновых геодинамических явлений // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17. № 3. С. 34–53.

<sup>1</sup> Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Учебное пособие. С. 296.

ротационные свойства блоковой литосферы. Угловая скорость  $\Omega$ , с которой вращается в каждый данный момент времени жестко связанная с телом (Землей) система координат, оказывается совершенно не зависящей от этой системы; все такие системы вращаются в заданный момент времени вокруг параллельных друг другу осей с одинаковой по абсолютной величине скоростью  $\Omega$ . Поэтому каждый блок (и/или плита) литосферы независимо от его (ее) размера характеризуется одинаковым моментом импульса  $\mathbf{M}$ , направленным параллельно оси вращения тела (Земли):  $\mathbf{M} = m \cdot \Omega$ . Здесь  $m$  – момент инерции блока (плиты), величина которого при их перемещении и, как следствие возможной деформации, вообще говоря, может изменяться. Движение литосферы должно бы было приводить к изменению направления момента импульса  $\mathbf{M}_1 \rightarrow \mathbf{M}_2$ . Но это невозможно – момент должен сохраняться, поскольку этот блок должен вращаться вместе с Землей с угловой скоростью  $\Omega$ . Это приводит к появлению момента силы  $\mathbf{K}$ , прикладываемому к блоку со стороны окружающей его среды – литосферы (рис. 4, б).

Для определения величины и направления момента силы  $\mathbf{K}$  применим следующий мысленный эксперимент. Сначала в положении  $\mathbf{M}_2$  останавливаем блок (который считаем однородным объемом шаровой формы), прикладывая к нему упругие напряжения с моментом силы  $-\mathbf{P}_2$ , затем раскручиваем его до начального состояния в положении  $\mathbf{M}_1$ , прикладывая к нему упругие напряжения с моментом силы  $\mathbf{P}_1$ . Полагая, что в каждом случае преобразование кинетической энергии вращения блока в упругие напряжения и наоборот происходит без потери энергии:  $|\mathbf{P}_1| = |\mathbf{P}_2| = P$ , для величины момента силы  $\mathbf{K}$  получаем:

$$|\mathbf{K}| = 2P \sin \beta / 2. \quad (1)$$

Важно: упругие напряжения с моментом силы  $\mathbf{K}$  прикладываются к блоку со стороны окружающей его среды (литосферы).

Таким образом, приходим к модели, в которой описание движения блока во вращающейся  $\Omega$  среде механически эквивалентно движению блока в не вращающейся среде под действием *собственного момента импульса*  $\mathbf{M}$  (поворачиванию блока на угол  $\beta$ ), который в окружающем блок пространстве создает упругое поле с моментом силы (1). Генерируемое при таком ротационном движении блока поле упругих напряжений является следствием закона сохранения момента количества движения.

«Внутренний» (или собственный) момент  $\mathbf{M}$ , по сути – спин, обладает специфическим для геодинамики свойством – его никаким образом нельзя «отнять» у литосферы за счет пластической деформации блока. Поэтому ротационные напряжения с моментом силы (1) в результате трансляционного движения блока (вследствие увеличения угла поворота блока  $\beta$ ) будут в литосфере накапливаться, что очевидным образом и объясняет такое свойство геосреды, как ее энергонасыщенность<sup>1</sup>.

**Симметричное поле напряжений.** Будем полагать, что в окружающем поворачивающийся под действием собственного момента импульса блок литосферы создаются упругие напряжения с моментом силы (1). Для определения величины упругих напряжений  $\sigma$ , создаваемых поворачивающимся под действием собственного момента  $\mathbf{K}$  блока шаровой формы  $R_0$  в безграничном твердом теле  $r \geq R_0$ , авторами поставлена задача, решением которой в сферической системе координат  $(r, \theta, \varphi)$  с началом  $r = 0$  в центре блока и с плоскостью  $\theta = 0$ , ортогональной  $\mathbf{K}$ , является выражение<sup>2</sup>:

$$\sigma_{r\varphi} = \sigma_{\varphi r} = 4\Omega R_0^4 r^{-3} \sqrt{\frac{\rho G}{5\pi}} \sin \theta \sin \beta / 2, \quad r \geq R_0. \quad (2)$$

Остальные компоненты напряжений равны нулю. Здесь  $\rho \approx 3 \text{ г/см}^3$  и  $G \approx 10^{12} \text{ дин/см}^2$  – плотность и модуль сдвига геосреды,  $\Omega = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ рад/с}$  – угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси.

Важно, что поле напряжений в ротационной модели является симметричным, что позволяет не использовать при решениях геодинимических задач математические, физически не обоснованные модели геосреды типа континуума Коссера и им подобные.

**Новый тип волн – ротационные волны.** Вид выражения для напряжений с моментом силы (1) определяет закон движения одномерной цепочки блоков (которой моделируется сейсмический пояс планеты) как уравнение синус-Гордона (СГ)<sup>3</sup>:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} - \frac{\partial^2 \theta}{\partial \eta^2} = \sin \theta, \quad (3)$$

где  $\theta = \beta / 2$ ,  $\xi = k_0 z$  и  $\eta = c_0 k_0 t$  – безразмерные координаты,  $z$  – расстояние вдоль цепочки блоков,  $t$  – время. Принимая длину волны близкой к размеру блока  $\lambda \approx R_0$ , волновое число  $k_0 = 2\pi / R_0$ , для характерной скорости процесса  $c_0$  получаем<sup>4</sup>:

$$c_0 \approx \sqrt{\Omega R_0} \sqrt{G / \rho} \approx \sqrt{V_R V_S} \approx (1 - 10) \text{ см / с} \quad (4)$$

Здесь  $R_0 \approx 100 \text{ км}$ ,  $\rho \approx 3 \text{ г/см}^3$  и  $G \approx 10^{12} \text{ дин/см}^2$  – плотность и модуль сдвига геосреды,

$V_S = \sqrt{G / \rho}$  – скорость поперечных сейсмических волн,  $V_R = \Omega R_0$ .

Видно, что численное значение характерной скорости  $c_0$  равно предельной скорости глобальной миграции (1, рис. 3).

Вид закона движений (3) предопределен выражением для момента силы упругого поля в виде (1). СГ-уравнение (3), правая часть которого,  $\sin \theta$ , содержит функцию угла поворота блока  $\beta$ , является, как сказано выше, следствием закона сохранения момента импульса. Это принципиальный момент, который позволяет в ротационной задаче о цепочке взаимосвязанных между собой блоков не прибегать к их взаимодействию между

<sup>1</sup> Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика... С. 384–394.

<sup>2</sup> Викулин А.В. Энергия и момент силы упругого ротационного поля...

<sup>3</sup> Викулин А.В. Новый тип упругих ротационных волн...

<sup>4</sup> Vikulin A. V., Tveritina T. Yu., Ivanchin A. G. *Op. cit.*



собой за счет трения, как это предполагается в моментной теории упругости. И, как следствие, такой подход при условии, что решение ротационной задачи о поле напряжений вокруг поворачивающегося под действием собственного момента блока получены в рамках классической теории упругости<sup>1</sup> с симметричным тензором напряжений (2), дает возможность физически прозрачно проинтерпретировать характерную скорость геофизического процесса, описываемого уравнением СГ (3).

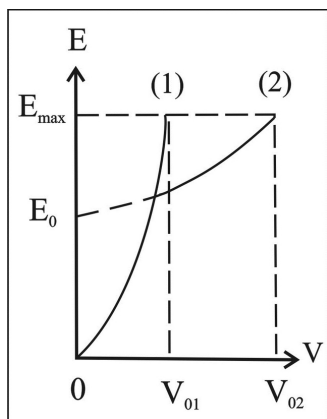


Рис. 5. Волновые решения уравнения синус-Гордона для молекулярных цепочек. (1) – солитоны, (2) – экситоны;  $V_{01}$  и  $V_{02}$  (скорость звука) – характерные скорости процесса, соответствующие «предельным» при  $E \rightarrow E_{max}$  решениям;  $E_0$  – энергия «нулевого» колебания всей молекулярной цепочки в целом

СГ-уравнение имеет много решений. Моделируя движения в длинных молекулярных цепях, А.С. Давыдов показал, что волновые движения в таких цепях описываются двумя типами возбуждений: солитонами и экситонами – решениями (1) и (2) на рис. 5 соответственно<sup>2</sup>. Характерными для таких решений являются «предельные» скорости, соответствующие максимальным энергиям возбуждения  $E_{max}$ :  $V_{01}$  и  $V_{02}$ .

Видно, что решения (1) и (2) на рис. 5 в координатах энергия  $E$  – скорость  $V$  являются, по сути, близкими решениям (I) и (II) на рис. 3 в координатах магнитуда  $M$  (логарифм энергии:  $M \approx Lg E$ ) –  $Lg V$ . Характерное значение скорости солитонного решения  $c_0$  (4) уравнения СГ оказалось равным предельному ( $V_{01}$ , рис. 5<sup>3</sup>) значению скорости глобальной миграции (рис. 3). Это позволяет предельную скорость  $c_0 = (1-10)$  см/с, как и объемную сейсмическую скорость  $V_s$ , считать характерной скоростью геодинамического процесса, протекающего в блоковой геосреде<sup>4</sup>.

**«Сверхтекучесть» (реидность) геосреды и колебания Чандлера.** Согласно обзору развития представлений о реологических свойствах вещества Земли<sup>5</sup>, температура Дебая  $\theta_d$  для геосреды может быть записана в виде<sup>6</sup>:

$$\theta_d \approx 10^{-3} \bar{V}(H) \sqrt[3]{\rho(H)}. \quad (5)$$

Здесь  $\bar{V}$  – средняя скорость возбуждений в геосреде, измеряемая в [см/с],  $\rho$  – плотность среды, измеряемая в [г/см<sup>3</sup>],  $H$  – глубина. При средней скорости, определяемой продольной и поперечной сейсмическими скоростями, для литосферы и верхней мантии изменяющимися в пределах 1–10 км/с, температура Дебая достаточно высока; для глубины  $H = 100$  км она составляет  $\theta_d \approx 660^0 \text{ K} \approx 1000^0 \text{ C}$  и хорошо соответствует широко распространенной модели физики Земли<sup>7</sup>.

Ситуация кардинальным образом меняется при переходе к ротационной моде  $c_0$  (4), определяемой коллективным движением совокупности геофизических блоков, тектонических плит и геологических структур. Характерное для такой моды предельное значение  $c_0$  на пять порядков по величине меньше поперечной и продольной сейсмических скоростей и температура Дебая (5) для нее составляет ничтожно малую величину:  $\theta_d \approx 10^2 \text{ K}$ , которая и определяет возможность, по сути, квантового, без трения, сверхтекучего движения геосреды – ее реидность и/или сверхпластичное течение в твердом состоянии<sup>8</sup>.

Температура Дебая пропорциональна максимально возможной частоте колебаний слагающих среду частиц или мезообъемов для твердого тела или геофизических блоков, тектонических плит и других геологических структур для Земли. Для Земли такой частотой, как показано нами<sup>9</sup>, является частота Чандлера, с которой колеблются все слагающие сейсмотектонический пояс блоки, в совокупности. Именно колебание всего пояса, как целого, и определяется энергией «нулевых» колебаний  $E_0$  (рис. 5).

### О регистрации гравитационных волн

Отмеченные в работе «совпадения» и «пересечения» геодинамического и гравитационного процессов позволяют на новом качественном уровне рассмотреть задачу регистрации гравитационных волн, в основе которой заложена идея о взаимодействии блоков земной коры с гравитационными волнами<sup>10</sup>.

Эффективное сечение детектора<sup>11</sup>, регистрирующего гравитационную волну, имеет следующий вид:

$$\sigma \approx m|r|^2, \quad (6)$$

где  $m|r|^2$  – квадрупольный момент антенны. Эффективное сечение достигает максимума, когда расстояние между двумя массами  $|r|$  приближается к акустической длине волны. Под акустическими волнами здесь, очевидно, понимаются упругие волны, в случае Земли – продольная и/или поперечная сейсмические волны. Скорости таких волн лежат в пределах (1–10) км/с и чувствительности такого метода при регистрации коротких гравитационных волн при их взаимодействии с блоками земной коры и/или Землей, в целом, оказывается не-

<sup>1</sup> Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости.

<sup>2</sup> Давыдов А.С. Солитоны в квазиодномерных молекулярных структурах // Успехи физических наук. 1982. Т. 138. Вып. 4. С. 603–643.

<sup>3</sup> Давыдов А.С. Указ. соч.

<sup>4</sup> Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Учебное пособие. С. 316–319.

<sup>5</sup> Там же. С. 239–247.

<sup>6</sup> Жарков В.Н. Внутренне строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. С. 199.

<sup>7</sup> Там же. С. 199–207.

<sup>8</sup> Леонов М.Г. Указ. соч.; Carey S.W. *Op. cit.*

<sup>9</sup> Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика... С. 244–258.; Викулин А.В., Кролевец А.Н. Чандлеровское колебание полюса и сейсмотектонический процесс // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 6. С. 996–1009.; Vikulin A.V., Tveritipova T.Yu., Ivanchin A.G. *Op. cit.*

<sup>10</sup> Брагинский В.Б., Гусев А.В., Митрофанов В.П., Руденко В.Н., Якимов В.Н. О поисках низкочастотных всплесков гравитационного излучения // УФН. 1985. Т. 147. С. 422–424.; Брагинский В.Б., Митрофанов В.П., Якимов В.Н. О методах поиска низкочастотных гравитационных волн. Препринт физического ф-та МГУ. 1985. № 1. 4 с.

<sup>11</sup> Цзю Х., Гофман В. (ред.) Указ. соч. С. 191–192.

достаточной. По оценкам, проведенным в работах<sup>1</sup>, для уверенной регистрации гравитационных волн таким методом чувствительность антенны необходимо повысить, как минимум, на один – два порядка по величине.

Ситуация коренным образом меняется при использовании в качестве «рабочего инструмента» не упругих сейсмических волн, а ротационных геодинамических (I, рис. 3, 1, рис. 5) возмущений, характерная скорость которых  $c_0 = (1-10)$  см/с (4) меньше сейсмических на пять порядков по величине. Поэтому использование при регистрации гравитационных волн ротационных геодинамических возмущений при прочих равных условиях в соответствии с (6) приведет к повышению чувствительности антенны, как минимум, на десять порядков и, следовательно, сделает задачу регистрации гравитационных волн методом<sup>2</sup> вполне решаемой.

### Ротационно-гравитационные возмущения и гидродинамика

Способы описания геогравиационных возмущений (волн) могут быть различными. Два таких возможных способа описаны ниже.

**Вихревые течения Римана**<sup>3</sup>. В середине XIX в. П. Дирихле поставил следующую задачу<sup>4</sup>. Дана однородная несжимаемая вращающаяся 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. Дедекинд отметил особую, присущую уравнениям движения эллипсоида Дирихле симметрию, которая указывает на возможность существования во вращающихся средах вихревых течений.

Самый значительный вклад в разработку идеи Дирихле внес Б. Риман. Он впервые рассмотрел стационарные фигуры равновесия и открыл класс двухпараметрических равновесных эллипсоидов, у которых вектор угловой скорости и вектор вихря внутренних течений совпадает с одной из главных осей симметрии фигуры –  $S$ -эллипсы Римана. У таких фигур (например, Земли) оси вращения и вихря не совпадают с главными осями эллипсоида, что значительно расширяет спектр возможных решений и их применения к задачам геодинамики: ось вращения Земли и магнитная ось не совпадают.

За цикл работ по динамике звезд в рамках проблемы Дирихле С. Чандрасекхар в 1983 г. получил Нобелевскую премию.

Выяснилось, что 11-летняя цикличность солнечной активности является, по сути, отражением структуры вихревых течений нашего светила<sup>5</sup>. В соответствии с полученными в 1960–1990 гг. данными о большой амплитуде движения центра масс Солнца, которая в два раза превышает его диаметр<sup>6</sup>, стало ясно, что цикличность солнечной активности обусловлена не внутренней динамикой Солнца. Солнечная активность, а следовательно, и большая часть земных явлений, включая социум, определяется сложной моментной динамикой всей Солнечной системы, в первую очередь моментной динамикой Юпитера, период обращения которого вокруг Солнца составляет ок. 11 лет<sup>7</sup>.

Работы, выполненные Б.П. Кондратьевым и его коллегами<sup>8</sup>, а также результаты, полученные нами, доказывают существование во вращающихся реальных системах (планетах) внутренних движений, имеющих вихревую природу. Важным результатом такого рассмотрения, имеющим принципиальное значение, является возможность получения новых данных о физических свойствах вещества планет – вращающихся блоковых сред, таких как вязкость, сжимаемость, напряженность магнитного поля и др.

**Ротационные течения**. В нелинейной физической акустике кроме переменных величин, таких, как давление, колебательная скорость и смещение, в звуковом поле возникают постоянные силы – радиационное давление. Его происхождение связано с изменением в некотором объеме среднего по времени переносимого волной импульса (момента силы и/или момента импульса). Такое давление в сплошных средах возникает всегда, поскольку даже при относительно небольших интенсивностях звука возникают нелинейные эффекты. В свою очередь, радиационное давление приводит к движению вещества самой среды – возникают акустические течения<sup>9</sup>.

Как видим, в нелинейной акустике при рассмотрении явления ротационного течения или «звукового ветра» акустические и гидродинамические параметры тесно «переплетаются» между собой<sup>10</sup>.

Таким образом, теоретически открытые вихревые течения Дирихле–Дедекинды–Римана во вращающихся гравитирующих невязких жидкостях, получают свое теоретическое и практическое подтверждение. Такие движения для блоковой вращающейся Земли, вещество которой, как показано выше, имеет реидные (сверхпластичные) свойства, могут быть описаны в рамках нелинейной физической акустики.

### Заключение

Приведенные в работе данные и полученные результаты не только подтверждают взаимосвязь геодинамики и гравитации — такие данные указывают на существование сильной взаимосвязи между геодинамическими и гравитационными волновыми движениями. В таком случае становится понятным, почему, несмотря на гигантские усилия, предпринимаемые большими коллективами ученых в течение последних десятилетий, гравитационные и геодинамические (тектонические) волны до сих пор так и не были обнаружены — это, возможно,

<sup>1</sup> Брагинский В.Б., Гусев А.В., Митрофанов В.П., Руденко В.Н., Якимов В.Н. Указ. соч.; Брагинский В.Б., Митрофанов В.П., Якимов В.Н. Указ. соч.

<sup>2</sup> Брагинский В.Б., Гусев А.В., Митрофанов В.П., Руденко В.Н., Якимов В.Н. Указ. соч.

<sup>3</sup> Викулин А.В. Ротационные упругие поля в твердых тела и вихревые решения проблемы Дирихле: тождественные системы? // Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле, 2005. № 6. С. 89–99.; Викулин А.В. Мир вихревых движений. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008. С. 39, 57–58.

<sup>4</sup> Кондратьев Б.П. Теория потенциала и фигуры равновесия. М. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. С. 26–31.

<sup>5</sup> Тимашев С.Ф. Указ. соч.

<sup>6</sup> Долгачев В.А., Доможилова Л.М., Хлыстов А.И. Особенности движения центра масс Солнца относительно барицентра // Труды Гос. Астрономического ин-та им. П.К. Штернберга. 1991. Т. 62. С. 111–115.

<sup>7</sup> Викулин А.В. Мир вихревых движений...; Тимашев С.Ф. Указ. соч.

<sup>8</sup> Кондратьев Б.П. Указ. соч.

<sup>9</sup> Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984. С. 118–137.

<sup>10</sup> Руденко О.В., Солуян С.И. Теоретические основы нелинейной акустики. М.: Наука, 1975. С. 198.

«сильно» взаимосвязанные явления, требующие совместной регистрации<sup>1</sup>. Отдельные результаты<sup>2</sup> обнадеживают и являются тому подтверждением.

Геодинамические волны и гравитационные квадрупольные изменения формы Земли оказываются сильно взаимосвязанными. Поэтому геодинамические волны могут являться детектором гравитационных возмущений (волн).

Полученные результаты являются полным подтверждением мысли В.И. Вернадского<sup>3</sup> о том, что: «В геологической истории нашей планеты есть времена большей или меньшей интенсивности геологических процессов... Никакого объяснения этих фактов мы не знаем, но едва ли правильна мысль большинства геологов, что причину ее надо искать внутри планеты». Другими словами, построение теории геологических движений является, в том числе, и «ключом» к пониманию природы времени и пространства<sup>4</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

- Аксенов Г.П. В.И. Вернадский о природе времени и пространства. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. 352 с.
- Балуховский Н.Ф. Геологические циклы. Киев: Наукова Думка, 1966. 168 с.
- Баренбаум А.А. Галактоцентрическая парадигма в геологии и астрономии. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 544 с.
- Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1988. 522 с.
- Брагинский В.Б., Гусев А.В., Митрофанов В.П., Руденко В.Н., Якимов В.Н. О поисках низкочастотных всплесков гравитационного излучения // УФН. 1985. Т. 147. С. 422–424.
- Брагинский В.Б., Митрофанов В.П., Якимов В.Н. О методах поиска низкочастотных гравитационных волн. Препринт физического ф-та МГУ. 1985. № 1. 4 с.
- Бороздич З.В. Короткоживущие подкорковые локальные возмущения (КПЛВ). Их природа и проявления // Исследования в России. Электронный журнал, 2008. № 49, с. 555–574.
- Буланже Ю.Д. Некоторые результаты изучения неприливных измерений силы тяжести // Доклады АН СССР. 1981. Т. 256. № 6. С. 1330–1331.
- Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1991. 271 с.
- Викулин А.В. Ротационные упругие поля в твердых телах и вихревые решения проблемы Дирихле: тождественные системы? // Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2005. № 6. С. 89–99.
- Викулин А.В. Мир вихревых движений. Петропавловск-Камчатский: КамчатГГУ, 2008, 230 с.
- Викулин А.В. Энергия и момент силы упругого ротационного поля геофизической среды // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 6. С. 559–570.
- Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Учебное пособие. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2009. 463 с.
- Викулин А.В. Новый тип упругих ротационных волн в геосреде и вихревая геодинамика // Геодинамика и тектонофизика, 2010. Т. 1. № 2. С. 119–141.
- Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика. Сборник трудов. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2011. 407 с.
- Викулин А.В. Геодинамика и гравитация // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. Материалы Всероссийского совещания и молодежной школы. Т. 1. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. С. 23–26.
- Викулин А.В. Геодинамика и гравитация (космические факторы) // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Материалы третьей тектонофизической конференции. Т. 1. М.: ИФЗ РАН, 2012. С. 57–61.
- Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р., Иванчин А.Г., Водинчар Г.М., Долгая А.А., Гусяков В.К. Информационно-вычислительная система моделирования сейсмического и вулканического процессов как основа изучения волновых геодинамических явлений // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17. № 3. С. 34–53.
- Викулин А.В., Кролевец А.Н. Чандлеровское колебание полюса и сейсмостектонический процесс // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 6. С. 996–1009.
- Владимиров Ю.С. Между физикой и метафизикой. Кн. 2. По пути Клиффорда-Эйнштейна. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 248 с.
- Владимиров Ю.С. Между физикой и метафизикой. Кн. 3. Геометрическая парадигма: испытание временем. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. 288 с.
- Горелик Г.Е. Космология Дирака в историко-методологическом контексте (к статье Х. Крага) // Польша Дирак и физика XX века. М.: Наука, 1990. С. 92–94.
- Грушинский Н.П. Теория фигур Земли. М.: Наука, 1976. 512 с.
- Давыдов А.С. Солитоны в квазиодномерных молекулярных структурах // УФН. 1982. Т. 138. Вып. 4. С. 603–643.
- Дирак П.А. Космологические постоянные // Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М.: Мир, 1979.
- Долгачев В.А., Доможилова Л.М., Хлыстов А.И. Особенности движения центра масс Солнца относительно барицентра // Труды Гос. Астрономического ин-та им. П.К. Штернберга. 1991. Т. 62. С. 111–115.
- Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 416 с.
- Зубков С.И. Каталог сейсмических предвестников землетрясений. М.: ИФЗ АН СССР, 1986.
- Зубков С.И. Каталог предвестников землетрясений: Гравитационные предвестники. М.: ИФЗ АН СССР, 1991.
- Иваненко Д.Д., Фролов Б.Н. Деформация Земли и современная теория гравитации // Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука. 1984. С. 93–97.
- Измайлов В.П., Карагиоз О.В., Кузнецов В.А., Мельников В.Н., Росляков А.Е. Временные и пространственные вариации измеряемых значений гравитационной постоянной // Измерительная техника. 1993. № 10. С. 3–5.
- Измайлов В.П., Карагиоз О.В., Пархомов А.Г. Исследование вариаций результатов измерений гравитационной постоянной // Физическая мысль России. 1999. № 12. С. 20–26.
- Карагиоз О.В., Измайлов В.П., Силин А.А., Духовский Е.А. Всемирное тяготение и теории пространства и времени. М.: УДН. 1987. С. 102–126.

<sup>1</sup> Викулин А.В. Сейсмичность. Вулканизм. Геодинамика... С. 384–394.

<sup>2</sup> Крылов С.М., Соболев Г.А. О вихревых гравитационных полях естественного и искусственного происхождения и их волновых свойствах // Вулканология и сейсмология. 1998. № 3. С. 78–92.

<sup>3</sup> Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1991. 271 с.

<sup>4</sup> Аксенов Г.П. В.И. Вернадский о природе времени и пространства. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. 352 с.

34. Карагиоз О.В., Измайлов В.П., Кузнецов А.И. Методика и результаты исследований путей повышения точности гравитационной постоянной Кавендиша // Известия ВУЗ–ов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1992. № 2. С. 91–101.
35. Карагиоз О.В., Измайлов В.П. Измерение гравитационной постоянной крутильными весами // Измерительная техника. 1996. № 10. С. 3–9.
36. Каррыев Б.С. Вот произошло землетрясение [Электронный ресурс] // SIBIS, 2009. Режим доступа: <http://www.pablication.ru>.
37. Кикоин И.К. Таблицы физических величин. Справочник. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.
38. Кондратьев Б.П. Теория потенциала и фигуры равновесия. М. - Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 624 с.
39. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984. 400 с.
40. Крутов И.В. Введение в общую теорию Земли. М.: Мысль, 1978. 368 с.
41. Крылов С.М., Соболев Г.А. О вихревых гравитационных полях естественного и искусственного происхождения и их волновых свойствах // Вулканология и сейсмология. 1998. № 3. С. 78–92.
42. Кузнецов В.В. Введение в физику горячей Земли. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2008. 367 с.
43. Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения. 1. Сильные движения землетрясения как выход ударной волны на поверхность // Физическая мезомеханика. 2009. Т. 12. № 6. С. 87–96.
44. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 2003. 264 с.
45. Ландау Л.Д., Лифшиц И.М. Теория поля. М.: Наука, 2006. 536 с.
46. Леонов М.Г. Тектоника консолидированной коры. М.: Наука, 2008. 457 с.
47. Линьков Е.М. Сейсмические явления. Ленинград: Из-во ЛГУ, 1987. 248 с.
48. Магницкий В.А. Внутренне строение и физика Земли. М.: Наука, 2006. 390 с.
49. Наливкин В.Д. О цикличности геологической истории // Географический сборник. Астрогеология. 1962. № 5. С. 188–197.
50. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. Л.: Наука, 1969. 487 с.
51. Парийский Н.Н. О нерегулярных изменениях скорости вращения Земли и возможной связи их с деформациями Земли и изменениями силы тяжести // Проблемы расширения и пульсации Земли. М.: Наука, 1984. С. 84–93.
52. Пейве А.В. Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР. Серия геологическая. 1961. № 3. С. 36–54.
53. Попков В.И., Фоменко В.А., Глазырин Е.А., Попков И.В. Катастрофическое тектоническое событие лета 2011 г. на Таманском полуострове // Доклады РАН. 2013. Т. 448. № 6. С. 1–4.
54. Руденко О.В. Солуян С.И. Теоретические основы нелинейной акустики. М.: Наука, 1975. 288 с.
55. Садовский М.А. Естественная кусковатость горных пород // Доклады АН СССР. 1979. Т. 247. № 4. С. 829–831.
56. Симаков К.В. Введение в теорию геологического времени. Становление. Эволюция. Перспективы. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1999. 556 с.
57. Тимашев С.Ф. О базовых принципах «нового диалога с природой» // Проблемы геофизики XXI века: в 2 кн. Кн. 1. М.: Наука, 2003. С. 104–141.
58. Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. Новая ротационная гипотеза структурообразования и ее геолого-математическое обоснование. Днепрпетровск – Донецк: Ноулидж, 2009. 342 с.
59. Федоров В.М. Сопоставление хронологии вулканической активности Земли с характеристиками ее орбитального движения // Вулканология и сейсмология. 2001. № 5. С. 65–67.
60. Федоров В.М. Многомерный анализ и хронологическая структура геодинамической активности Земли // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2007. № 4. С. 24–31.
61. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 5. Электричество и магнетизм. М.: Мир, 1966. 296 с.
62. Флинт Р. История Земли. М.: Прогресс, 1978. 358 с.
63. Хаин В.Е. Циклы Бертраана и циклы Вильсона // Доклады РАН. 1992. Т. 325. С. 557–559.
64. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа. М.: Научный мир, 2009. 520 с.
65. Хмельевской В.К. (ред.). Геофизика. Учебник. М.: КДУ, 2007. 320 с.
66. Шебалин Н.В. Проблемы макросеймики (Вычислительная сейсмология, Вып. 34). М.: Наука, 2003. С. 57–200.
67. Шпитальная А.А., Заколдаев Ю.А., Ефимов А.А. Проблема времени в геологии и звездной астрономии // Проблемы пространства и времени в современном естествознании. Серия «Проблемы исследования Вселенной». Вып. 15. СПб: Амфора, 1991. С. 95–106.
68. Цзю Х., Гофман В. (ред.) Гравитация и относительность. М.: Мир, 1965. 544 с.
69. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1977. 943 с.
70. Bagby D.P. "Puther Evidence of Tidal Influence on Earthquake Incidence" *Moon*. 6.3-4 (1973): 398–404.
71. Carey S.W. "The Rheid Concept in Geotectonics" *Bull. Geol. Soc. Austral.* 1 (1954): 67–117.
72. Cox C., Chao B.F. "Detection of Large-scale Mass Redistribution in the Terrestrial System Since 1998." *Science*, 297.2 (2002): 831.
73. Lomnitz C. "Some Observations of Gravity Waves in the 1960 Chile Earthquake" *Bull. Seism. Soc.* 59 (1970): 669-670.
74. Lomnitz C., Castanos H. "Earthquake Hazard in the Valley of Mexico: Entropy, Structure, Complexity." *Earthquake Source Asymmetry, Structural Media and Rotation Effects*. Eds. R. Teisseyre, M. Takeo, E. Majewski. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2006, pp. 347–364.
75. Matuzawa T. "On the Possibility of Gravitational Waves in Soil and Allied Problems." *J. Inst. Astr. Geophys.* 3 (1925): 145–155.
76. Vikulin A.V., Tveritinova T.Yu., Ivanchin A.G. "Wave Moment Geodynamics" *Acta Geophysica*. 61.2 (2013): 245–263.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11—2011:

Викулин, А. В. О геодинамическом детекторе гравитационных волн / А.В. Викулин // Пространство и Время. — 2014. — № 1(15). — С. 196—207. Стационарный сетевой адрес: 2226-7271provst1-15.2014.71.