

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулинич Р.Г., Заболотников А.А., Марков Ю.З., Журавлев А.В., Здоровенин В.В., Головань А.А., Обжиров А. И., Николаева Н. А. Кайнозойская эволюция земной коры и тектогенез Юго-Восточной Азии.- М.: Наука, 1989. 256с.
2. Гейко В.С. Тейлорово приближение волнового уравнения и уравнения эйконала в обратных сейсмических задачах // Геофиз. журн.-1997.-19, №3-С.48-68.
3. Geyko V.S. A general theory of the seismic travel-time tomography// Геофиз.журн.-2004,-26, №1. С.3-32.
4. Гейко В.С., Цветкова Т.А. О единственности решения одномерной обратной кинематической задачи сейсмоки // Геофиз. журн.-1989.-11, №6-с.61-67.

УГЛОВЫЕ СКОРОСТИ ГЛАВНЫХ ДОМЕНОВ ЕВРАЗИИ В ФАНЕРОЗОЕ И УВЕЛИЧЕНИЕ ПЕРИОДА ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Земцов В.А.

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, zemtsov@krc.karelia.ru

ВВЕДЕНИЕ

Собственное вращение Земли – главнейшее физическое свойство нашей планеты. Её ротационный режим и форма существенно изменялись в геологической истории [1,2]. От начала кембрия до современности земные сутки стали длиннее на 3 ± 1 час, причем на протяжении фанерозоя рост колец разновозрастных ископаемых кораллов, моллюсков и строматолитов изменялся, практически, линейно. Геофизики связывают этот феномен с постепенным удалением Луны от Земли [3-5]. К эволюции лунной орбиты можно подойти и с других позиций: если известна топография океанического дна, положение материков и т.д., то можно теоретически оценить диссипацию приливной энергии, обусловленную приливным трением [6]. Такое моделирование по данным [7] было реализовано в работах [8-10]. Получается, что эта энергия на протяжении фанерозоя изменялась резко, в отличие от плавного увеличения земных суток. По расчетам разных авторов величины энергии диссипации для одних и тех же периодов, в частности для триаса, различаются более чем в 5 раз, поэтому возникают определенные сомнения в надежности этих данных и справедливости такого подхода к проблеме. Кроме того, как отмечает В.Н. Жарков, реальные эффекты должны быть на 25-35% больше за счет вклада других гармоник [4]. Важно, что факт фанерозойского затормаживания собственного вращения Земли, согласно теореме Клеро, обязан был привести к значительному увеличению её полярного радиуса [1], т.е. к постепенному перемещению огромных масс из экваториальных областей к полярным, что, вероятно, затрагивало не только литосферу, но и мантию, и ядро. Возникает естественный вопрос, а как эффект увеличения периода вращения Земли выразался в тектонике? В работах [1,2,11] уже сделана оценка влияния собственного вращения Земли на дрейф континентов. По данным GPS-наблюдений оценены угловые скорости вращения отдельных доменов современной Евразии, а на основе палеомагнитных исследований были получены первые оценки угловых скоростей для мезозойских доменов континента и дана упрощенная модель вращения континента на поверхности вращающейся мантии. В последние годы получены новые уникальные палеомагнитные данные по палеозойским доменам будущей Евразии (Балтике, Сибири), что позволяет оценить угловые скорости вращений древних континентов в зависимости от их географического положения, провести анализ изменения скоростей в геологическом времени, усовершенствовать методику расчета угловой скорости и существующие модельные представления.

GPS-ДАННЫЕ И МОДЕЛЬ ПЕРВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

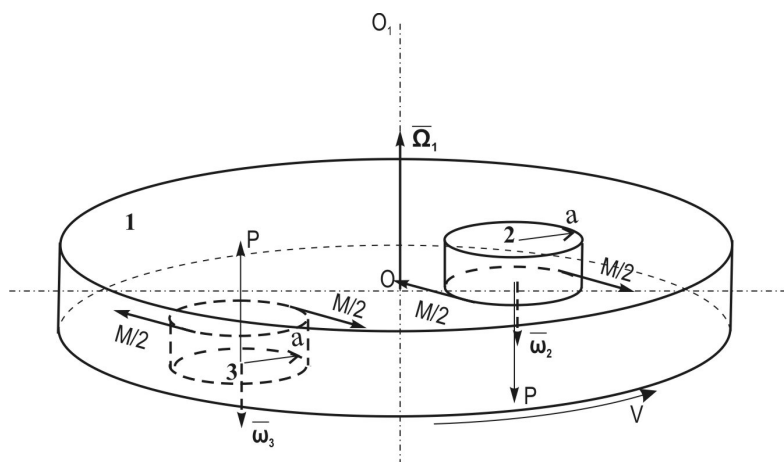
Вектор мгновенной угловой скорости вращения (ω) является главной характеристикой вращающейся плиты. Если плита жесткая, то модуль вектора ω будет неизменным в любой момент времени (t) и в любой точке плиты, причем вектор направлен вдоль оси вращения плиты по правилу правого винта. Центральный блок вращения современной Евразии (EHS) расположен в Восточных Гималаях и имеет координаты $E98^{\circ}N31^{\circ} \pm 4^{\circ}$ [1,11-13]. Отсюда, степень упругости (пластичности) Евроазиатской плиты в разных точках ее поверхности можно оценить, рассчитывая модули векторов ω из векторного произведения:

$$V = \omega \times r, \quad (1)$$

где V – вектор линейной скорости в GPS-точке, а r – радиус вектор, равный кратчайшему расстоянию от интересующей GPS-точки до оси вращения плиты, т.е. расположенный на перпендикуляре к оси вращения.

При $r < 1200$ км сферичность Земли, практически, не сказывается на результат определения модуля ω , и r можно вычислить, используя координаты точек и программу Aviation Formulary V1.42 (см: <http://williams.best.vwh.net>), которая дает дуговое расстояние между GPS-точкой и осью вращения. При больших радиусах дуговое расстояние будет всегда больше, чем величина полухорды. В таком случае, результат

определения модуля ω получится заниженным, но пользуясь таблицей элементов сегмента круга [14], можно ввести необходимую поправку. Оценки модуля ω для различных доменов Евразии, выполненные в работах [1,2], показывают, что внутри континента эта величина изменяется в несколько раз, возрастая от периферии континента ($(1.2-1.4) \times 10^{-16} \text{ с}^{-1}$ для Европейских станций) до блока ЕНС, где она достигает $(26-29) \times 10^{-16} \text{ с}^{-1}$. Следовательно, во втором приближении Евразия не является жесткой плитой, а имеет сложную структуру, демонстрируя дифференцированный вращательный дрейф. Важно, что в общей картине поля линейных скоростей Евразии существуют аномальные области (Алтай, Карпаты и др.), характеризующиеся высокой сейсмичностью [15-17]. В целом такие малые ω доменов Евразии в 30-300 млрд раз меньше величины собственной угловой скорости Земли, но очевидно и то, что все эти векторы направлены внутрь Земли, т.е. имеют составляющую противоположную земному вектору. Таким образом, вращаясь по часовой стрелке, континент отбирает часть энергии вращения Земли, поскольку на его подошве действует момент сил, тормозящий вращение планеты. Упрощенная модель вращения отдельного континента на поверхности вращающейся мантии впервые была рассмотрена в 2004 г [18]. Обновленная версия модели, учитывающая вращение континента в Южном полушарии, представлена ниже на рисунке.



Спонтанные моменты сил трения верчения (М) вертикальных цилиндров (2, 3) с равными радиусами a , прижатыми к массивному горизонтальному диску (1) с одинаковой силой Р.

Диск вращается вокруг вертикальной оси вращения OO_1 с линейной скоростью V . Ω_1 , ω_2 , ω_3 – векторы угловых скоростей этих тел, соответственно

В первом приближении современное вращение Евразии подобно цилиндру (2), вращающемуся на поверхности земной мантии (диск). Согласно этой модели момент сил M , вращающий континент, зависит от Ω_1 , размеров и географического положения континента [1,2]. Очевидно, что векторы ω_2 , ω_3 направлены противоположно вектору Ω_1 .

ДРЕВНИЕ ВРАЩЕНИЯ ЕВРАЗИИ И ЕЕ ДОМЕНОВ

В фанерозойской истории Земли на основе палеомагнитных данных можно выделить аналогичные закономерности вращения континентальной литосферы. Для мезозойской Евразии центральным блоком был Восточно-Сибирский домен, расположенный в умеренных широтах, но скорости дифференцированных вращений более удаленных доменов незначительно отличались от современных значений: $-3.0 \times 10^{-16} \text{ с}^{-1}$ для Западной Сибири, $-2.5 \times 10^{-16} \text{ с}^{-1}$ для Алтае-Саянской складчатой области и $-2.0 \times 10^{-16} \text{ с}^{-1}$ для Урала [11]. Дифференцированные вращения континентальных доменов будущей Евразии были характерны и в палеозое, до коллизии Балтики и Сибири [19, 20]. Более быстрое вращение Сибири в девоне и карбоне было связано, по-видимому, с тем, что она тогда находилась значительно севернее Балтики и Казахской плиты. Наиболее точная версия кривой кажущейся миграции полюса (КМП) для ещё более древней Балтики была получена на основе детальных палеомагнитных исследований осадочных пород нижнего силура-среднего девона Подолии [21]. Тогда, после распада Гондваны континент находился в тропических широтах Южного полушария, постепенно приближаясь к экватору. Дрейф Балтики в раннем палеозое был не таким сложным как это интерпретировалось ранее. Его можно представить в виде плавного поворота всего континента в течение 21 млн лет против часовой стрелки на 30° со скоростью $\omega = 7.9 \times 10^{-16} \text{ с}^{-1}$. Важно отметить, что угловая ошибка палеомагнитного метода составляет $5-10^\circ$, но за счет того, что геологическое время измеряется в млн лет, ошибка в определении древних угловых скоростей невелика и равна: $\pm(\pi/30) \times (1/t)$, где t – время, рассчитанное в солнечных секундах. Изменение направления вращения Балтики при пересечении экватора установлено надежно [19] и является основной геофизической закономерностью дрейфа континентов. Это произош-

ло в течение относительно короткого интервала верхнего девона (менее 27 млн лет) и в тектонике Балтики сопровождалось широтными сдвиговыми деформациями и ультрамафическим алмазоносным магматизмом на севере Фенноскандинавского щита (в древних координатах).

Новые интересные палеомагнитные данные для среднего ордовика-нижнего девона по Тас-Хаяхтасскому террейну (ТХТ) Верхояно-Колымской складчатой области получены в работе [22]. В интервале S_1 - D_1 Сибирь по данным Мировой базы палеомагнитных данных уже давно находилась в Северном полушарии, продолжая дрейф к северу к 42° СШ и вращаясь по часовой стрелке, причем положение ТХТ оставалось таким же стабильным как и в нижнем силуре: он был как бы впаян в литосферу предконтинентального бассейна [22,23]. По мере продвижения на север в интервале D_1 - C_1 скорость поступательного дрейфа уменьшалась, а вращательного, напротив, резко увеличивалась: за 67 млн лет континент повернулся по часовой стрелке почти на 90° . В девоне он оторвался от пассивной окраины, окружающей континент, поскольку ТХТ лишь сместился к северу. Среднее значение ω для Сибири в это время составило $-(7.4 \pm 0.13) \times 10^{-16} \text{ c}^{-1}$, т.е. было примерно в три раза больше, чем для современного Восточно-Сибирского домена Евразии.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Перечисленные примеры палеореконокструкций показывают, что средние значения ω были зависимы в первую очередь от географического положения континентов и их размеров, причем в Южном полушарии закономерным было вращение против часовой стрелки, а Северном – они вращались по часовой, но в соответствии с моделью (см. рисунок) имели составляющую, направленную противоположно земному вектору Ω . Эта закономерность важна для однозначного определения полярности палеополюса на кривых КМП для докембрия [12]. Когда «центр» континента находится вблизи экватора, он не вращается, например, верхнедевонская Балтика, современная Африка. В таком случае, сила давления его на мантию перпендикулярна вектору Ω . Но чем дальше континент находится от экватора, тем быстрее он вращается, что очевидно из ускорений вращения Сибири и Балтики в палеозое. Таким образом, при примерно одинаковых размерах континентов модули векторов ω были «широтнo-зависимы». Согласно глобальной сдвиговой тектонике (Global Wrench Tectonics) деформации сдвига являются также «широтнo-зависимыми, имеющими максимальный эффект, который направлен вдоль (палео)экватора» [24, 25]. Именно в это время, пересекая экватор, в условиях меридионального сжатия верхнедевонская Балтика испытала одну из последних тектонических активизаций. Алмазоносные кимберлитовые трубки Терского берега образуют самостоятельную серию Кандалакшского грабена. Их возраст К-Аг методом оценивается в 380-360 млн. лет [26,27]. Однако, как очевидно из примеров для палеозойской Сибири, деформации на умеренных широтах имели иной характер: это были преимущественно кольцевые сдвиговые деформации, образовавшиеся в условиях растяжения литосферы и обусловленные спонтанным вращением континента. Рост полярного радиуса Земли, обусловленный историческим увеличением земных суток, также косвенно подтверждает, что литосфера умеренных широт должна была испытывать постепенное растяжение на протяжении всего фанерозоя. Кроме того, анализ абсолютных значений ω позволяет предполагать, что палеозойские скорости доменов Евразии были выше современных. Из модельных представлений это может быть связано как с перемещением центра вращения континента к экватору (из Сибири в Гималаи), так и с уменьшением скорости вращения Земли. В немалой степени этому способствовали континенты распавшейся Гондваны, которые в течение последних 580 млн лет вращались, как показано выше, т.е. суммарное трение вращения на их подошве, вероятно, на глубинах около 100 и 220 км [1,2,28-30], безусловно диссипировало часть колоссальной энергии вращающейся мантии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Земцов В.А. Закономерности вращения Евразии // Геофизический журнал, Т. 28, №5, 2006. С. 179-189.
2. Zemtsov V.A. Influence of Earth rotation on continental motions // Gondwana Res. J., 2007. N 12. P. 242-251.
3. Varga P. Variation of Earth's rotation speed in geological time-scale // The Earth and its rotation. Heidelberg: Wichmann, 1996. P. 441-474.
4. Жарков В.Н. Геофизические исследования планет и спутников. М.: ОИФЗ РАН, 2003. 102 с.
5. Sonett C.P., Chan, M.A. Neoproterozoic Earth-Moon dynamics: Rework of the 900 Ma Big Cottonwood Canyon tidal laminae // Geophys. Res. Lett., 1998, N25. P. 539-542.
6. Марчук Г.И., Каган Б.А. Динамика океанских приливов. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 472 с.
7. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геофизику. М.: Наука, 1979. 311 с.
8. Готлиб В.Ю., Каган Б.А. Эволюция глобальных океанских приливов в кайнозое // Океанология, Т. 28, №1, 1988. С.17-24.
9. Sundermann J., Brosche P. The numerical computation of tidal friction for present and ancient oceans // Tidal friction and the Earth's rotation. Berlin: Springer Verlag, 1978. P. 125-144.
10. Ooe M. Effects of configuration and bathymetry of the oceans on the tidal dissipation of the Earth's rotation // J. Phys. Earth. 1989, Vol 37., N. 3. P. 345-355.

11. Zemtsov V., Bragin V., Didenko A., Kazansky A. Rotations of the Eurasia's Lithospheric Structures // Proceedings of the 6th Intern. Conf. «Problems of Geocosmos». St.-Petersburg, 2006. P. 348-353.
12. Земцов В.А. Скорости вращения континентов // Материалы 1-й Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия: Геология и геодинамика архея. С.Петербург.: Центр информ. культуры, 2005. С. 134-138.
13. Уткин В.И. О наследовании движения Евро-Азиатской плиты//Глубинное строение и геодинамика Фенноскандии, окраинных и внутриплатформенных транзитных зон. Тез. докл., Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 2002. С. 243-245.
14. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Наука, 1964. 608 с.
15. Goldin S.V., Timofeev V.Yu., Ardyukov D.G. Fields of the Earth's Surface Displacement in the Chuya Earthquake Zone in Gornyi Altai. // Docl. Earth Sci., 2005. N 9. P. 1408-1413.
16. Timofeev V.Yu., Ardukov D.G., Calais E. et al. Displacement fields and models of ground motion in Gorny Altai // J. Geol. Geophys., 2006, N8. P. 917-925.
17. Mocanu V. Geodynamics, the high seismicity zone from the Romanian Carpathians by GPS and seismic attenuation studies // Agenda and abstracts of the 3rd International Conference «The Geology of the Tethys», Cairo: Cairo University, 2008. P. 48.
18. Zemtsov V.A. Continent drift pattern. Materials of the 32nd International Geol. Congress, Florence, 2004. P. 544.
19. Filippova I.B., Bush V.A., Didenko A.N. Middle Palaeozoic subduction belts: The leading factor in the formation of the Central Asian fold-and-thrust belt // Russian electronic J. Earth Sci., 2001, 6. P. 405-426.
20. Диденко А.Н., Руженцев С.В. Геодинамическая модель формирования Полярного Урала // Тектоническая история полярного Урала. М.: Наука, (Тр. ГИН РАН, вып. 531), 2001. С. 137-169.
21. Лубнина Н.В., Иосифиди А.Г., Храмов А.Н. и др. Палеомагнетизм силурийских и девонских осадочных формаций Подолы // Палеомагнетизм осадочных бассейнов Северной Евразии, С.-Петербург: ВНИГРИ, 2007. С. 105-125.
22. Родионов В.П., Некрасов А.И., Иосифиди А.Г. и др. Палеомагнитное положение Восточно-Сибирской плиты и Тас-Хаятасского террейна в течение раннего и среднего палеозоя. // Палеомагнетизм осадочных бассейнов Северной Евразии, С.-Петербург: ВНИГРИ, 2007. С. 89-104.
23. McElhinny M.W., Lock J. IAGA palaeomagnetic databases with Access. // Surv. Geophys., 1996, 17. P. 575-591.
24. Storetvedt K. M. Polar wander and global tectonics // Boll. Soc. Geol. It., 2005, N5. P. 177-187.
25. Storetvedt K. Global Wrench Tectonics and the Precambrian Earth // Precambrian continental growth & tectonism. New Delhi: Selective & Scientific Books, 2005. P. 119-121.
26. Калинин М.М., Арзамасцев А.А., Полинов И.В. Кимберлиты и родственные породы Кольского региона // Петрология, 1993, Т. 1, №2. С. 205-214.
27. Arzamastsev A.A. Unique Paleozoic intrusions of the Kola Peninsula. Apatity, 1994. 79 p.
28. Gaherty J., Jordan T.H. Lehmann discontinuity as the base of an anisotropic layer beneath continents // Science, 1995, N 268. P. 1468-1471.
29. Павленкова Н.И. Глубинные сейсмические исследования и глобальная геодинамика // Исследования в области геофизики, М.: ОИФЗ РАН, 2004. С. 286-295.
30. Arora B.R., Campbell W.H., Schiffmacher E.R. Upper mantle electrical conductivity in the Himalayan region // J. Geomagn. Geoelectr., 1995, N47. P. 653-665.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР И ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ О-ВА СИМУШИР ПО ДАННЫМ ГСЗ И МОВЗ

Злобин Т.К.^{1,2}

¹Институт морской геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск,

²Сахалинский государственный университет (СахГУ), г. Южно-Сахалинск, t.zlobin@mail.ru

Одно из наиболее ярких сопоставлений глубинных структур земной коры и их видимых проявлений на поверхности выполнено нами на Курильских островах. Исследования, приведенные в данной работе, посвящены сопоставлению глубинных структур с такими явными, видимыми и доступными для прямых наблюдений геологами и вулканологами структурами, как вулканические аппараты. При этом, образование, развитие и состояние (действующий, не действующий) вулканов прямо связано с глубинным строением недр и отражается в структуре и физических свойствах глубинных слоев земной коры и верхней мантии, неоднородностях в них и особенностях. Геолого-геофизические работы были выполнены вдоль о-ва Симушир, который является самым крупным в цепи островов среднего звена Курильской островной дуги. Остров протянулся в длину на 59 км при ширине от 4 до 15 км.

Глубинные сейсмические исследования земной коры на Средних Курилах, выполнены нами методами МОВЗ, ГСЗ, КМПВ и МОВ-НСП. [1,2]. При этом исследования МОВЗ были выполнены с помощью автономных переносных станций «Черепаша», установленных на островах Уруп, Черные Братья, Симушир, Кетой и Расшуа. Наблюдения КМПВ выполнялись по методике, обеспечивающей получение обращенных встречных и нагоняющих годографов. Регистрация сейсмических волн осуществлялась донными и радиобуйковыми станциями, которые расставлялись вдоль линии профиля в 10-20 км одна от другой. В качестве источника сейсмической энергии применялся пневмоизлучатель с объемом рабочей камеры 30 л. Работы ГСЗ были вы-