

## ЧАСТЬ 5. РОТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ И РОТАЦИОННАЯ ФЕНОМЕНОЛОГИЯ

В природе все закономерно  
И, если виден разворот  
Земных структур, то, несомненно –  
Земли космический полет  
Тот разворот структурный вызвал,  
В ней напряженья изменив.  
Транспресс-транстенсия тот признак,  
Структур космический извив,  
Когда все блоки литосферы  
Собой тот ощущая стресс,  
На угол сдвинутся мгновенно...  
В нас вызывая интерес,  
Стремление понять устройство  
Земли и всех других Миров.  
Но факт – во всем – Вращенья свойство  
Оно – в основе из основ!



**АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ  
НАБЛЮДЕНИЙ, ДОПОЛНЯЮЩИЕ ФОНД ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ**

Авсюк Ю.Н., Суворова И.И.

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

**Аннотация.** В геодинамике желательно иметь перечень известных на настоящее время глобальных процессов, регистрируемых астрометристами и геофизиками, с энергетической оценкой их проявления. Эти факты могут оставаться не привлеченными к тем или иным вариантам модельной реконструкции природных процессов, но они будут сохраняться в фонде геодинамики, и не исключено, что окажутся важным дополнением, способным объяснить то или иное затруднение в ранее предложенной геодинамической модели.

В настоящей статье обращено внимание на факты, которые реально наблюдаются, которые являются важным обоснованием уточнения модели приливной эволюции системы Земля–Луна–Солнце. Это факты, а не гипотезы или предположения, и о них мало написано в обобщающих работах по геодинамике.

Начнем с рассмотрения особенностей орбитального движения Земли и периодичностей, которые характеризуют ее движение.

Орбитальное движение Земли относительно Солнца представляет собой сумму двух движений: годового движения центра масс системы Земля–Луна (барицентра) вокруг Солнца и месячного движения Земли относительно барицентра. Эклиптика – плоскость орбитального движения барицентра. Притяжение Солнца динамически уравновешено в барицентре, а не в центре Земли.

Лунное неравенство, равное  $6''.4356$ , – это параллакс орбиты Земли относительно барицентра, он входит в число астрономических постоянных [Абалакин и др., 1976]. Скорость движения Земли вокруг барицентра измерена в 1962 г. при помощи космического зонда с точностью до 3 см/сек [Фундаментальные постоянные..., 1967]. Таким образом, орбитальная скорость, размер орбиты Земли вокруг барицентра ( $\sim 0.74R_{\oplus}$ , где  $R_{\oplus}$  – радиус Земли) известны по материалам независимых наблюдений. Эти факты должны быть включены в фонд геодинамики.

Движение Земли вокруг центра масс Земля–Луна (барицентра) в поле притяжения Солнца – возмущенное. Земля, также как и Луна, то движется ускоренно, то ее движение замедляется. Плоскость эллиптической орбиты Земли (с эксцентриситетом  $\varepsilon \sim 0.055$ ) наклонена к плоскости эклиптики на угол  $i \sim 5^\circ$ .

Привычные термины новолуние, полнолуние можно применять и к положению Земли относительно линии Солнце–барицентр.

Пусть в начале года полнолуние приходится на момент прохождения Землей перигея, т.е. большой полуоси орбиты (рис. 1).

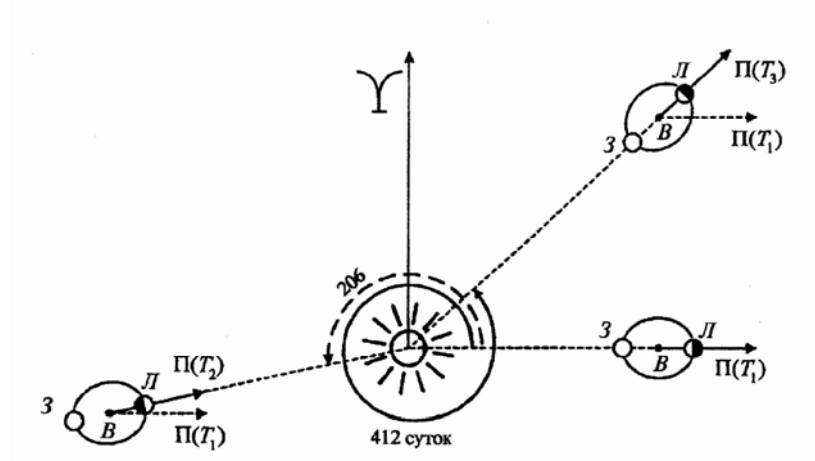


Рис. 1. Иллюстрация повторяемости моментов полнолуний, совпадающих с прохождением перигея орбиты  $П(T_i)$ . Так как большая полуось орбиты Земли (Луны) не остается фиксированной в пространстве (период обращения перигея равен 8.85 года), то совпадение полнолуния с прохождением перигея повторяется в момент  $T_3 = T_1 + 412$  суток. Момент  $T_2$  фиксирует новолуние, совпадающее с прохождением перигея. Аномалистический месяц – это среднее движение Луны по отношению к подвижному перигею.

В последующие месяцы моменты прохождения линии Солнце–барицентр (т.е. полнолуния, новолуния) и прохождения перигея Земли не будут совпадать, соответственно будет меняться от месяца к месяцу модуль возмущения орбитального движения Луны (Земли). Заметим, что продолжительность аномалистического лунного месяца меняется из-за возмущений в очень большом диапазоне 25–29 суток (табл.), а эксцентриситет орбиты в диапазоне 0.045–0.065. Эти числа говорят о значительной величине модуля возмущений Солнцем месячного орбитального движения Луны, Земли. У Луны модуль возмущения равен  $1.5 \cdot 10^{-3}$  см/с<sup>2</sup>, у Земли в 81 раз меньше и равен  $19 \cdot 10^{-6}$  см/с<sup>2</sup>. Отношение масс Луны и Земли равно 1/81.3. По отношению масс Земля–Луна уникальна в Солнечной системе.

**Изменение продолжительности аномалистического месяца в течение года и от года к году**

Год	Календарный месяц											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1957	28.40	28.53	28.45	28.12	27.10	<b>25.04</b> 27.15	28.06	28.35	28.44	28.36	27.92	25.74
1958	<b>25.77</b>	27.96	28.41	28.50	28.39 28.06	27.06	<b>25.08</b>	27.15	28.09	28.41	28.50	28.39
1959	27.86	<b>25.36</b> 26.17	28.00	28.37	28.44	28.34	28.04	27.08	<b>25.02</b>	27.19	28.16 28.47	28.53
1960	28.36	27.71	<b>25.18</b>	26.48	27.97	28.32	28.40	28.34	28.07 27.04	<b>24.88</b>	27.36	28.26
1961	28.52	28.52	28.29	27.55	<b>25.19</b>	26.60 27.94	28.30	28.42	28.39	28.12	26.94	<b>24.79</b>
1962	27.56	28.33	28.51	28.46	28.20 27.47	<b>25.27</b>	26.60	27.93	28.33	28.46	28.43	28.12
1963	26.66 <b>24.96</b>	27.70	28.32	28.45	28.39	28.15	27.45	<b>25.25</b>	26.63	27.98	28.39 28.53	28.46
1964	28.05	26.27	<b>25.31</b>	27.75	28.28	28.41	28.37	28.16	27.47 <b>25.09</b>	26.72	28.08	28.47
1965	28.56	28.42	27.93	26.07	<b>25.59</b>	27.72 28.23	28.39	28.38	28.20	27.48	<b>24.86</b>	26.93
1966	28.18	28.49	28.52	28.34	27.82 25.99	<b>25.76</b>	27.70	28.23	28.41	28.43	28.24	27.38

Повторение исходной конфигурации, т.е. полнолуние в перигее произойдет через 412 суток. Если учесть, что орбита наклонена, то продолжительность квазиповторяемости положения Земли на наклонной эллиптической орбите относительно линии Солнце–барицентр определяется в диапазоне 206 суток и 412–437 суток и, соответственно, с этой периодичностью будет меняться модуль возмущенного орбитального ускоренного движения Земли вокруг барицентра, достигающий значения порядка  $19 \cdot 10^{-6} \text{ см/с}^2$ .

Возмущения Солнцем орбитального месячного движения Луны (Земли) не только визуально наблюдаются у Луны, но и проявляются в вариациях их напряженного состояния.

Подтверждением реальности воздействия возмущения орбитального движения на напряженное состояние исследуемого тела являются материалы регистрации сейсмической активности Луны. У Луны модуль возмущения равен  $1.5 \cdot 10^{-3} \text{ см/с}^2$ . В материалах регистрации станциями Apollo лунотрясений в период 1972–1974 г. выделяется периодичность в 206 суток как один из значимых периодов сейсмоактивности Луны (рис. 2).

Таким образом, констатируем факт реального проявления возмущений орбитального движения в вариациях глобальных процессов, регистрируемых на исследуемом спутнике Земли, на Луне.

Задаем следующий вопрос: проявляются ли возмущения Солнцем месячного движения Земли вокруг центра масс Земля–Луна в процессах наблюдаемых на Земле?

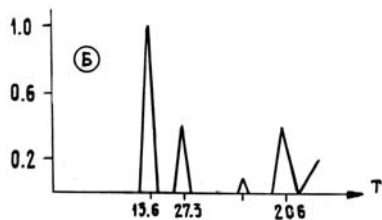


Рис. 2Б. Спектр числа лунотрясений, зарегистрированных станциями Apollo-12, 14, 16, в период 1972–1974 гг.

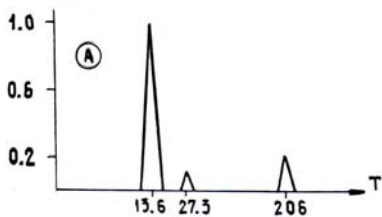


Рис. 2А. Спектр приливных волн на Луне, рассчитанный по формуле Ньютона.

С. Чандлер в 1891 г. обнаружил, что изменения широт при дискретности опроса через месяц (или 0.1 года) характеризуются гармониками с периодами 365 суток (год) и 412–437 суток (период Чандлера). Он сделал крупное открытие, установил, что ось вращения (рис. 3) перемещается в теле Земли с периодичностью возмущения Солнцем месячного орбитального движения Земли [Chandler, 1892]. Все ведущие специалисты Европы и Америки не упоминают, что С. Чандлер обнаружил проявление возмущений в месячном движении Земли. Они говорят, что сто лет нет прогресса в привлечении модели свободной нутации

Первоначально процесс перемещения оси вращения в теле Земли астроном С. Ньюкомб предлагал объяснять как проявление свободной нутации, т.к. он в 1876 году сообщил Кельвину, что обнаружил вариацию широты Вашингтона за 1862–1865 гг. с периодом 305 суток. А через 15 лет, т.е. в 1891 г. С. Чандлер показал, что вариации в 305 суток не наблюдаются. Кельвин не обсуждал сложившуюся ситуацию, а С. Ньюкомб предложил гипотезу – превратить период 305 суток в период 410–440 суток. Но эта гипотеза была искусственной и «по истечении столетия наблюдений и исследований движения полюса мы не продвинулись с позиций понимания возбуждения и демпфирования чандлеровой составляющей, которыми располагали сто лет назад» [Runcorn, Wilkins, 1988].

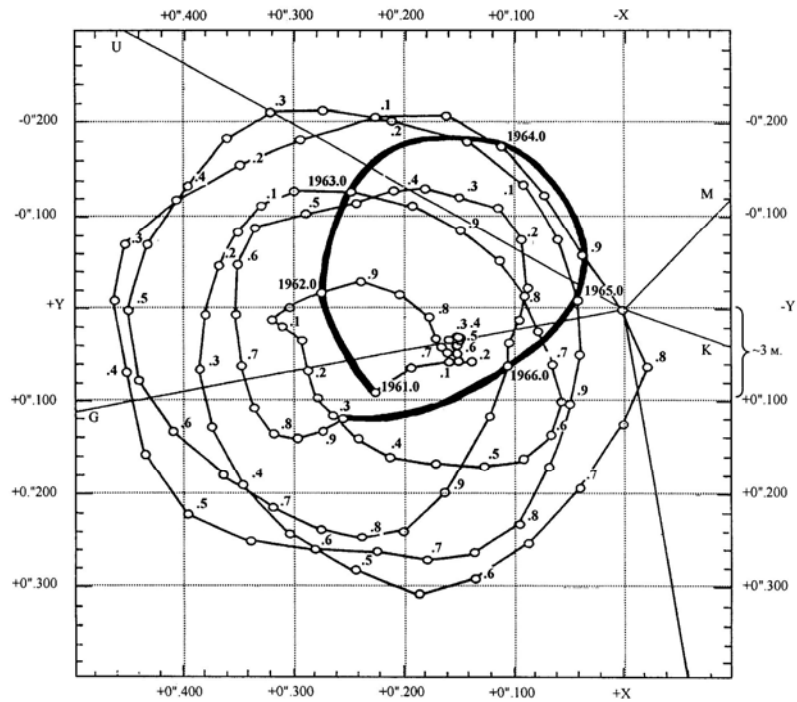


Рис. 3. Траектория перемещения географического полюса (процесс изменения широт)

Ось вращения может изменять положение в теле Земли не только при свободной нутации, перемещения могут происходить и при перераспределении масс, из-за которых меняется положение центра масс в теле Земли (рис. 3). На этот вариант возможного объяснения процесса перемещения оси вращения в теле Земли обращал внимание в 20-х годах XX века Дж.Г. Дарвин [Дарвин, 1965].

Главный аргумент в пользу вынужденных перемещений центра масс – это равенство цикличностей его перемещения периодичностям силового воздействия. Как нами было уже сказано, притяжение Солнца динамически уравновешено в барицентре, на центр Земли действует возмущенная часть приливного воздействия  $1.9 \cdot 10^{-6} \text{ см/с}^2$ , равная градиенту гравитационного поля Солнца на расстояние центра Земли от барицентра. Необходимо знать структурное строение Земли. Оно не было известно в период открытия С. Чандлера и высказанной С. Ньюкомбом искусственной гипотезы.

Факт изменения широт практически не упоминался в публикациях по геодинاميке. Астрометристы обсуждали только материалы службы широт и предлагали варианты экстраполяции траектории полюса на несколько месяцев вперед. Геофизики в своих учебниках писали, что нет прогресса в обосновании свободной нутации.

На наш взгляд, затруднение в объяснении, из-за чего меняет положение центр масс и эти перемещения отслеживает ось вращения, было преодолено открытием сейсмологов. В 1936 году И. Леманн из обработки записей землетрясений и изучения «зоны тени» установила наличие твердого тела в окружающем его жидком материале ядра. Г. Джеффрис подтвердил правильность интерпретации И. Леманн [Джеффрис, 1960].

Жесткость связи и частота свободных колебаний внутреннего ядра Земли была оценена несколькими авторами. Через значение коэффициента жесткости связи  $k$  величина воздействующей на внутреннее ядро силы может быть пересчитана в его смещения. В значении коэффициента связи  $k$  имеется некоторая неопределенность, зависящая от разности величин плотности ядра  $\sigma_1$  и плотности окружающего его жидкого материала  $\sigma_2$ . Поэтому в расчет бралось несколько вариантов  $(\sigma_2 - \sigma_1)$  [Авсюк, 1996].

Оценки показывают, что вынужденные перемещения внутреннего ядра порядка 0.4–11.6 м с цикличностью в половину сидерического месяца ( $6 \cdot 10^{-7}$  с) «перемешивают» окружающую ядро жидкость с мощностью  $3.5 - 10.5 \cdot 10^{18}$  эрг/с. Следовательно, мощность процесса перемещения ядра возмущением Солнца перекрывает верхний предел мощности «генератора», способного регенерировать земное магнитное поле.

Чтобы была система токов, поддерживающая современное дипольное поле в 0.6 Гс, необходим генератор мощностью  $10^{14} - 10^{15}$  эрг/с. Для тороидального поля в 100 Гс «генератор» должен быть более мощным, порядка  $10^{17} - 10^{18}$  эрг/с.

Вышеприведенные факты дают основание подойти к уточнению геодинамической модели приливной эволюции системы Земля–Луна–Солнце, которая была предложена Кельвином на начальных этапах геофизических исследований, когда не было известно о наличии внутреннего ядра, и когда к рассмотрению не привлекались возмущения Солнцем орбитального движения Земли.

Схема приливной эволюции системы Земля–Луна–Солнце базируется на факте, что из-за сил трения постепенно изменяются динамические характеристики системы. Такое эволюционное перерождение системы наблюдается в технике на относительно коротких промежутках времени. Оно ощущается и в природных процессах, но в менее явном виде, из-за незначительной скорости эволюции и высокого «шума» других природных явлений.



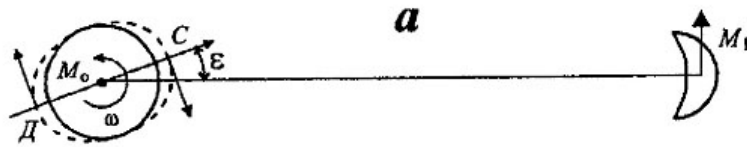


Рис. 4. Схема модели Кельвина, объясняющая механизм перераспределения момента в Солнечной системе.

Механизм, управляющий приливной эволюцией системы Земля–Луна, в классических работах иллюстрируется схемой (рис. 4) и следующими рассуждениями [Дарвин, 1965; Джеффрис, 1960]. Рассматривается однородная твердая Земля сферической формы, покрытая гидросферой. Вокруг Земли по орбите обращается Луна. Первое приближение эволюционной схемы ограничивается рассмотрением только лунного влияния, солнечное влияние считается малым и в рассмотрение не вводится. На рис. 4 представлено экваториальное сечение Земли, покрытое пленкой гидросферы. Положение центра Луны изображено точкой  $M_1$ , стрелками показаны направления обращения Луны по орбите и вращение Земли.

На рисунке форма сечения гидросферы, деформированная приливными силами, изображается в виде эллипса с наивысшим уровнем прилива в точках  $C$  и  $D$ . То, что точки  $C$  и  $D$  не лежат на прямой, соединяющей центры  $M_0$  и  $M_1$ , объясняется приливным трением.

При вращении более быстром, чем обращение ( $\omega < n$ ), угловое перемещение приливной деформации опережает движение Луны по орбите. Поэтому гравитационное взаимодействие между Луной и приливной деформацией гидросферы ускоряет движение Луны и тормозит вращение Земли. До тех пор пока угол  $\varepsilon$  положительный, орбитальная скорость Луны растет, угловая скорость вращения Земли уменьшается. Предсказанная тенденция изменения этих характеристик системы Земля–Луна подтверждается прямыми наблюдениями. Момент сил  $N$ , тормозящий вращение Земли и ускоряющий орбитальное движение Луны, рассчитывается теоретически в соответствии со схемой взаимодействия приливной деформации с приливообразующим телом.

Факторов, которые могли бы изменить знак  $\varepsilon$ , так чтобы изменился знак момента, и, соответственно, ускорение орбитального движения  $\dot{n}$  Луны стало бы замедляться, а осевое вращение Земли  $\dot{\omega}$  ускоряться, в этом модельном варианте нет. Ход эволюции в первоначальном варианте модели – однонаправленный, монотонный.

Монотонный ход эволюции системы Луна–Земля рассмотрен в работах Дарвина, Джеффриса, Макдональда, Рускол, Герстенкорна,

Голдрайха, Каулы [Голдрайх, 1975; Дарвин, 1965; Джеффрис, 1960; Каула, 1971; Манк, Макдональд, 1964; Рускол, 1975].

Результаты Макдональда, Гольдрайха, Каулы различаются в деталях на ранних и поздних этапах эволюции, т.е. в зависимости от интервала экстраполяции. Современный этап эволюции сопоставляется с измеряемыми в настоящее время характеристиками системы. Момент сил  $N$  определяется по измеренной величине изменения среднего движения Луны  $\dot{n}$ .

Экстраполяция развития природных процессов в прошлое время в рамках монотонного варианта объяснения приливной эволюции оказалась противоречащей материалам исторической геологии и палеонтологии, которые создали стратиграфическую шкалу цикличности глобальных процессов. Главный фактор утраты интереса геологов и геофизиков к приливным процессам в геодинамике – это отсутствие предсказания цикличности. Это затруднение отпадает, когда вводится в рассмотрение полное описание приливной силы, содержащее возмущения Солнцем орбитального движения Земли вокруг барицентра и детальное описание внутреннего строения Земли (мантия, жидкое ядро, твердое внутреннее ядро). Модель сохраняется, уточняется реальность орбитального движения и структурное строение Земли.

Дж.Е. Уильямс в статье «*Tidal Rhythmites: Key to the History of the Earth's Rotation and the Lunar Orbit*» отмечает: «Признание, которое получило в последнее время существование циклических приливных ритмов, открывает возможности нового похода к определению динамической истории системы Земля–Луна... Продолжение исследований приливных ритмов обещает дальнейшее прояснение эволюции системы Земля–Луна» [Williams, 1990].

Начнем с уже упоминавшихся фактов. В конфигурации Земля–Луна–Солнце движение Земли и Луны вокруг их центра масс (барицентра) возмущенное. Поэтому в характеристике приливной силы присутствуют еще члены, отвечающие возмущениям. Возмущение орбитального движения Земли (равное градиенту поля Солнца, умноженному на расстояние между центром Земли и барицентром) по модулю составляет  $19 \cdot 10^{-6} \text{ см/с}^2$ , в то время как лапласовы члены приливного воздействия Луны и Солнца оцениваются как  $58 \cdot 10^{-6} \text{ см/с}^2$  и  $25 \cdot 10^{-6} \text{ см/с}^2$  соответственно.

На график изменения  $\delta g$  нанесены значения  $a$  и суммы  $\delta g + a$  для различных расстояний Земля–Луна (рис. 5). Тенденция хода суммарного значения перестает быть монотонно убывающей, появляется перегиб, где уменьшение модуля сменяется его постепенным ростом, что можно рассматривать как качественную предпосылку реализации колебательного режима. Для большей конкретизации механизма перестройки рассмотрим момент сил, изменяющих вращение Земли и орбитальное движение Луны.

Наибольшие перемещения масс из-за приливного воздействия происходят в мировом океане. Результирующая сил их гравитационного взаимодействия с Луной создает момент сил  $N$ , определяющий направление и ход эволюции. Деформация твердой оболочки и атмосферы играет второстепенную роль [Манк, Макдональд, 1964; Джеффрис, 1960]. В случае однородного структурного строения исследуемого тела, объем результирующей деформации определяется модулем прямого приливного воздействия, и ее ориентировки относительно линии, соединяющей центры Земли и Луны (угол  $\varepsilon_1$ ), связаны с добротностью материала  $Q$ :  $\text{tg } \varepsilon_1 = 1/Q$ .

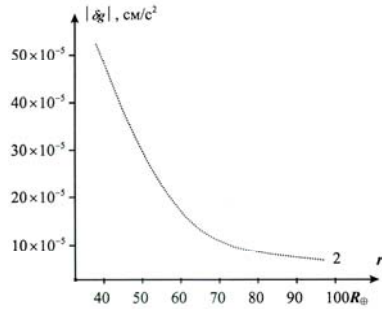


Рис. 5а. Изменение приливного воздействия  $\delta g$  Луны на Землю при изменении расстояния Земля–Луна– $r$  (в радиусах Земли  $R_{\oplus}$ ).

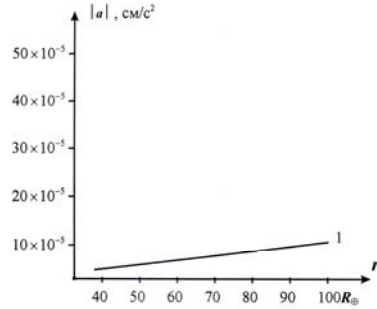


Рис. 5б. Изменение модуля возмущения Солнцем орбитального движения Земли  $\bar{a}$  вокруг центра масс Земля–Луна при изменении расстояния Земля–Луна– $r$ .

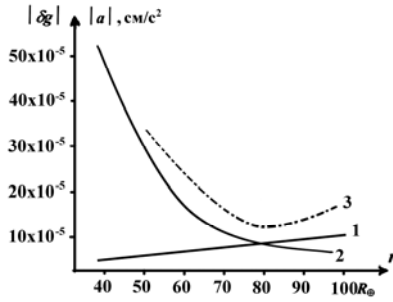


Рис. 5в. Противоположная тенденция изменения  $|a|$  и  $|\delta g|$  с изменением расстояния Земля–Луна. Изменения: 1– возмущения от Солнца; 2 – невозмущенная часть приливного воздействия Луны на Землю; 3 – сумма невозмущенной и возмущенной части приливного воздействия как функция изменения расстояния между Землей и Луной в радиусах Земли  $R_{\oplus}$ .

Схема с результирующей деформацией является упрощенной, но наглядным представлением зависимости момента сил  $N$  от угла  $\varepsilon$ .

В случае неоднородного строения, как это имеет место на Земле, деформация гидросферы зависит также и от изменения сил притяжения, связанных с перемещением структур. Как было сказано ранее под действием приливного воздействия, главным образом его возмущенной части  $\delta m$ , внутреннее ядро Земли испытывает вынужденные перемещения. Величина этих перемещений поддается статической оценке [Джекобс, 1979]. Так, для расстояний Земля–Луна  $r$ , равных  $50\text{--}70R$  ( $R$  – радиус Земли), смещения внутреннего ядра оцениваются в  $8\text{--}12$  м, чему соответствуют изменения силы тяжести на поверхности порядка  $6.5\text{--}9.0 \cdot 10^{-5}$  см/с<sup>2</sup>. Деформацию, обусловленную перемещением внутреннего ядра, и ее расположение (угол  $\varepsilon_2$ ) относительно линии, соединяющей центры масс Земли и Луны, следует ввести в описание результирующей деформации. В соответствии с модельными исследованиями и полукачественными рассуждениями фазовое запаздывание перемещения ядра в вязкой вращающейся жидкости может быть в пределах  $10^\circ\text{--}15^\circ$  по отношению к линии Земля–Луна (угол  $\varepsilon_2$ ) [Авсюк, 1996; Лаплас, 1982; Джозеф, 1981]. Тогда результирующий момент  $N$  следует представить в виде суммы момента  $N_1$ , соответствующего прямому приливному воздействию, и момента  $N_2$ , соответствующего изменению силы тяжести из-за смещения внутреннего ядра.

Последовательные этапы изменения расположения Земли и Луны и соответствующего изменения соотношения  $N_1$  и  $N_2$  в результирующем  $N$  представлены на рис. 6. В этой схеме есть некоторые характеристики, которым сейчас затруднительно дать точные численные значения из-за отсутствия планомерных инструментальных наблюдений. Это, например, значение расстояния Земля–Луна, при котором  $N_1=N_2$ . Пока можно полагать, что данное условие выполняется при  $r \sim 62R$  и, как следует из современных астрономических наблюдений, в настоящее время  $N_1 > N_2$ . На участке  $N_1=N_2$  ускорение орбитальной скорости Луны сменяется торможением, Луна продолжает удаляться по радиусу с постепенной потерей скорости из-за действия  $N_2$ . На некотором расстоянии от Земли (порядка  $68R$ ) скорость Луны по радиусу меняет знак и начинается возвратное движение, т.е. приближение с возрастающей скоростью до момента  $N_1=N_2$  после которого приближение продолжается, но с убывающей скоростью, и т.д. (картина, подобная колебанию маятника).

Смена времен года служит наглядным подтверждением зависимости климата от наклона экватора к эклиптике. Хотя причина материковых оледенений остается неизвестной, бесспорен факт, что изменение наклона экватора может благоприятствовать их возникновению [Приливы и резонансы в солнечной системе, 1975; Шварцбах, 1955]. Интервал четвертичного оледенения взят нами в качестве интервала наибольшего

сближения Земли и Луны и минимального наклона экватора в схеме эволюции. Так как выделяются по крайней три эпохи материковых оледенений (переход от альгонка к кембрию, от карбона к перми и четвертичный период), то время 200–250 млн лет, разделяющее эти эпохи, принято за продолжительность цикла эволюции системы Земля–Луна.

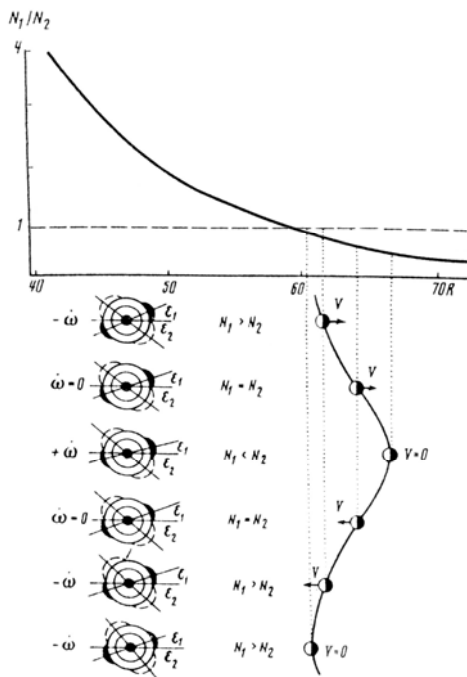


Рис. 6. Схема этапов эволюции как функция изменения расстояния Земля–Луна и соответствующего отношения моментов  $N_1/N_2$ .

По скорости изменения кинетической энергии вращательного и орбитального движения в системе Земля–Луна, известной из материалов современной регистрации  $\dot{\omega}$  и  $\dot{n}$  (принимая их за среднюю характеристику на протяжении цикла), оценено изменение потенциальной энергии системы и, следовательно, диапазон изменения расстояния  $r$  Земля–Луна [Ержанов, Колыбаев, 1984.]. При  $N=3.9 \cdot 10^{23}$  эрг диапазон изменения  $r$  порядка 8 радиусов Земли [Манк, Макдональд, 1964]. Если считать современное расположение Земли и Луны ( $r=60R$ ) этапом удаления после наибольшего сближения (при  $r=58R$ ), то наибольшему уходу Луны будет соответствовать расстояние в  $r=66R$ . На основании крайних значений размеров орбиты рассчитаны соответствующие значения наклона экватора к эклиптике ( $17^\circ$ – $30^\circ$ ), продолжительность

суток (23.8–24.2 ч) и сидерического месяца (26–30 сут.). Эти оценки подобны оценкам Макдональда, выполненным на ЭВМ для таких же значений расстояний Земля–Луна [Приливы и резонансы в солнечной системе, 1975]. В настоящее время значение  $N$  уточняется, поэтому можно ожидать некоторого пересмотра приведенных выше величин.

Предположения, что оледенения приурочены к времени наибольшего сближения Земли и Луны, закрепляют схему эволюции на абсолютной шкале геологического времени [Стейси, 1972]. События геологии фанерозоя могут быть сопоставлены с оценками одновременных с ними изменений наклона экватора и скорости вращения Земли (рис. 7).

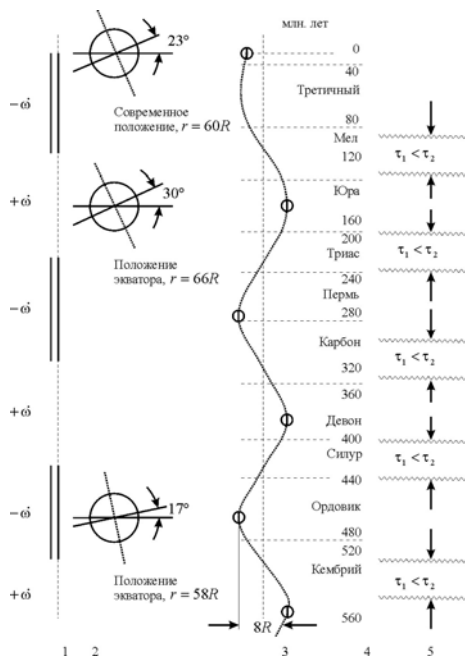


Рис. 7. Схема изменений режима вращения (1), наклона экватора Земли к эклиптике (2), связанных с удалением и приближением Луны (3). Схема приведена к шкале абсолютного времени (4) с указанием стратиграфической периодизации фанерозоя. Примерные границы интервалов  $\tau_1 < \tau_2$ , сопоставимы с циклами орогенеза (5).

Изменение наклона экватора можно рассматривать как медленное изменение климата с накладывающимися на него короткопериодными флуктуациями, которые при крайних значениях наклона экватора будут в одном случае частыми, в другом – редкими [Монин, 1977]. Изменение скорости вращения и перемещения оси в теле Земли, происходящие

циклически, могут быть использованы в построениях, привлекаемых к объяснению глобальных перемещений океанических масс воды, перестроек в коре и мантии, сопровождающихся «растрескиванием» и «скупиванием» пород [Магницкий, 1965]. Принципиальную возможность объяснения инверсии магнитного поля можно усмотреть в том, что за время цикла эволюции Земля находилась то в режиме замедления вращения, то ускорения, следовательно, течения по границам жидкое ядро–твердое внутреннее ядро, ядро–мантия меняли свой знак относительно вмороженного поля.

Таким образом, следует отметить, что выделенные геологией периоды приурочены к характерным фазам эволюционной кривой и это мало похоже на случайное совпадение. Это эволюция системы планета–массивный спутник.

Название статьи и приведенный фактический материал наблюдений говорит о том, что не надо оставлять без внимания реальное орбитальное движение Земли, не надо умалчивать факт перемещения оси вращения по направлению орбитального движения и игнорировать реальность воздействия возмущения на природные процессы.

По всей видимости, режиму эволюции планеты, лишенной спутника (например, Венера), не свойственны варианты, реализуемые в системе планета–спутник.

Как уже было сказано затруднение привлечения модели приливной эволюции к объяснению материалов исторической геологии и палеонтологии было связано только с тем, что в первом приближении не было обоснования цикличности эволюции. Приливная эволюция могла объяснить практически весь спектр природных процессов. Поэтому учет противоположной тенденции изменения с расстоянием  $r$  составляющих приливной силы устраняет это затруднение, и можно стратиграфическую шкалу и шкалу палеомагнетизма сопоставлять с ходом приливной эволюции системы Земля–Луна–Солнце.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 04–05–64862.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Абалакин В.К., Аксенов В.П., Гребенников Е.А. и др.* Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. М.: Наука, 1976. 862 с.
2. *Авсюк Ю.Н.* Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.
3. *Голдрайх П.* История лунной орбиты // Приливы и резонансы в Солнечной системе. М.: Мир, 1975. С. 97–248.

4. *Дарвин Дж.Г.* Приливы и родственные им явления в Солнечной системе. М.: Наука, 1965. 328 с.
5. *Джекобс Дж.* Земное ядро. М.: Мир, 1979. 305 с.
6. *Джеффрис Г.* Земля, ее происхождение, история и строение / Пер. с англ. М.: Иностран. лит., 1960. 485 с.
7. *Джозеф Д.* Устойчивость движения жидкости. М.: Мир, 1981. 638 с.
8. *Ержанов Ж.С., Колыбаев А.А.* Общая теория вращения Земли. М.: Наука, 1984. 253 с.
9. *Каула У.* Введение в физику планет Земной группы. М.: Мир, 1971. 536 с.
10. *Лаплас П.С.* Изложение системы мира. Л.: Наука, 1982. 374 с.
11. *Магницкий В.А.* Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 1965. 378 с.
12. *Манк У., Макдональд Г.* Вращение Земли. М.: Мир, 1964. 384 с.
13. *Монин А.С.* История Земли. Л.: Наука, 1977. 277 с.
14. Приливы и резонансы в солнечной системе. Сб. ст. М.: Мир, 1975. 286 с.
15. *Рускол Е.Л.* Происхождение Луны. М.: Наука, 1975. 118 с.
16. *Стейси Ф.* Физика Земли. М.: Мир, 1972. 342 с.
17. Фундаментальные постоянные астрономии. М.: Мир, 1967. 382 с.
18. *Шварцбах М.* Климаты прошлого. М.: ИЛ, 1955. 247 с.
19. *Chandler C.* On the variation of the latitude// Astron. J. 1892. Vol.11, No.12. С.97–107.
20. *Runcorn S.K., Wilkins G.A.* The Excitation of the Chandler Wobble surveys in Geophys // 1988. Vol.9. P.419–449.
21. *Williams G.E.* Tidal Rhythmites: Key to the History of the Earth's Rotation and the Lunar Orbit // J. Phys. Earth, 1990, 38. P. 475–491.

**Авсюк Юрий Николаевич.** Член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук. Работает заведующим лабораторией Гравиметрии Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Область научных интересов: гравиметрия, внутренне ядро, процесс изменения широт. [avsyuk@uife-ras.scgis.ru](mailto:avsyuk@uife-ras.scgis.ru)

**Суворова Ирина Ивановна.** Старший научный сотрудник лаборатории Гравиметрии Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Работает в институте с 1993 года. Область научных интересов: гравиметрия, внутренне ядро, процесс изменения широт.



**К ФЕНОМЕНОЛОГИИ СТРУКТУР И ПРОЦЕССОВ  
РОТАЦИОННОГО ГЕНЕЗИСА.**

Ю.А. Морозов

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, [morozov@ifz.ru](mailto:morozov@ifz.ru)**Геологический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова*

**Аннотация.** Статья посвящена описанию многочисленных примеров в разновозрастных линейных подвижных поясах земного шара, которые на основании структурно-кинематических данных можно интерпретировать с точки зрения ротационного генезиса. Приведены свидетельства периодически повторяющихся кинематических инверсий (смена знака сдвиговой компоненты тектонических движений) в пространственно сопряженных подвижных поясах разного возраста, указывающие на возможное изменение осевого сжатия Земли в связи с изменением скорости вращения. Описаны ситуации, в которых устанавливается устойчивый для самых разных поясов северного и южного полушария разворот против часовой вектора силового воздействия на подвижный пояс.

Выяснение роли ротационных процессов в развитии Земли не только как планеты и космического тела, но и как эволюционирующей геологической системы имеет долгую, непростую и весьма интересную историю, требующую специального и обстоятельного рассмотрения (см. статью Л.И. Иогансон в этом же сборнике). Здесь же отметим, что к ротации, как креативной, созидательной силе, формирующей фигуру Земли, или как к геодинамически значимому фактору, действующему самостоятельно или в сочетании с эндогенными и внеземными силами, обращались многие выдающиеся ученые и мыслители и прежних времен (И. Ньютон, М.В. Ломоносов, И. Кант и др. [13, 24]) и нашего недалекого или нынешнего времени (С.Н. Бубнов, Г.Н. Каттерфельд, Б.Л. Личков, Д.В. Наливкин, Н.М. Страхов, П.Н. Кропоткин, В.Е. Хаин, Ю.Н. Авсюк, Б.В. Левин и др. [1–3, 8, 10, 12, 14–16, 27, 36, 41–43]). Несмотря на активное и разностороннее обсуждение этого круга вопросов и в печати [18, 27, 88] и на конференциях [5, 41], а также создание целого научного направления в науках о Земле – Ленинградской школы астрогеологов во главе с Б.Л. Личковым – это не привело к широкому восприятию существенной роли в тектогенезе различных факторов не эндогенной природы (в том числе и ротационного). Помимо многих причин объективного и субъективного характера это произошло и потому, что до сих пор нет вразумительных критериев и признаков для распознавания структур и процессов заведомо или предположительно ротационного генезиса. По-прежнему актуален вопрос их идентификации, феноменологического описания и накопления представительной базы данных,

свидетельствующих об их возможной планетарно значимой роли в геодинамической эволюции Земли.

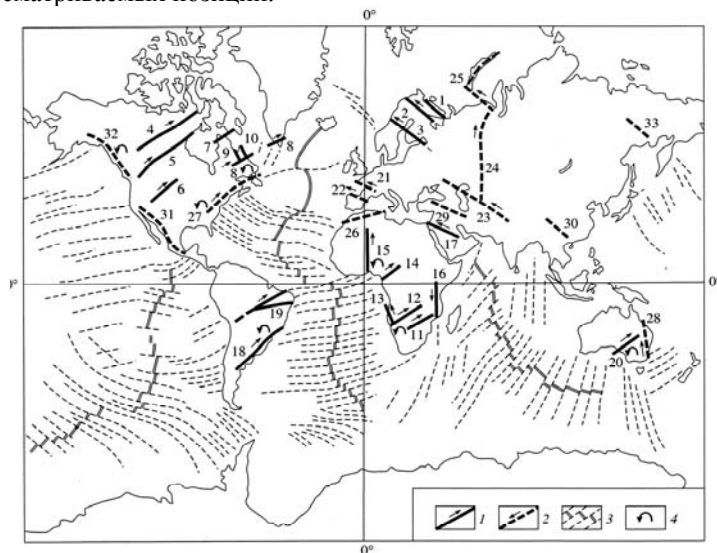
Изучение особенностей кинематики тектонических движений в линейных подвижных поясах разного возраста и длительности эволюции, различной геоструктурной принадлежности и планетарного расположения позволило автору этой статьи выявить целый ряд принципиально новых явлений и закономерностей [21,22], которые не вполне вписываются в рамки господствующей плитно-тектонической парадигмы и требуют иного объяснения или интерпретации. Здесь приводятся описания двух групп достаточно закономерных, с нашей точки зрения, явлений планетарного порядка и делается попытка объяснения их природы с позиций, допускающих возможную значимость в тектогенезе ротационного фактора, действующего не самостоятельно, а в сочетании с процессами лунно-земного приливного взаимодействия и процессами земной эндогенной природы.

### **Некоторые закономерности в соотношении пространственных ориентировок и кинематических инверсий в подвижных поясах Земли**

Давно замечено, что в пространственных ориентировках линейных подвижных поясов самого разного возраста и местоположения на всех континентах планеты, составляющих весьма обширную в количественном отношении совокупность, имеется достаточно ограниченное число характерных доминирующих направлений. Более того, эти направления (субширотное, субмеридиональное и два сопряженных с ними диагональных) устойчиво и закономерно ориентированы относительно всей системы современных географических координат, включая полюса, экватор, сеть меридианов и параллелей (рис. 1). Это естественным образом приводило многих исследователей к заключению о генетической связи такой закономерности с ротационным фактором.

В частности, С.Н. Бубнов в своих знаменитых публичных лекциях в октябре–ноябре 1956 г. в Московском Университете особо отмечал: «...мы имеем дело...с закономерным расположением структурных элементов и зон деформации относительно оси вращения Земли [8, стр. 227]. М.В. Стовас в свою очередь связывал размещение подвижных поясов с периодическими вариациями ротационного режима при неизменном положении оси вращения и, как следствие этого с «...изменением полярного сжатия земного эллипсоида» [34, стр. 269]. Так называемая регматическая сеть разломов и планетарной трещиноватости, образующих линеаментную делимость земной коры, характеризуется, как известно, статистической устойчивостью своих структурных планов и доминирующих направлений для разных временных этапов эволюции Земли, также закономерно сопряженных с элементами современных географических координат, что опять-таки принято связывать с

ротационным режимом [4,9,26 и др.]. При всей, казалось бы, логически очевидной связи отмеченных закономерностей с ротационным фактором в качестве креативного, по-видимому, все же следует признать, что это скорее реализация необходимого условия, чем достаточного, и уж во всяком случае, не однозначное свидетельство их ротационной природы. Именно поэтому так важны описания иных примеров и фактов подобного круга явлений, дополняющих феноменологию процессов и структур, которые можно было бы более или менее определенно интерпретировать с рассматриваемых позиций.



**Рис. 1.** Схема расположения разновозрастных линейных подвижных поясов на континентах (показаны только те пояса, для которых автором проанализированы структурно-кинематические данные) в сопоставлении с системой трансформных разломов мирового океана. 1 – докембрийские пояса; 2 – фанерозойские пояса; 3 – система трансформных разломов и рифтов океанов; 4 – места, где установлено вращение вектора силового воздействия на подвижный пояс. Цифры на схеме: 1 – зона Колмозеро-Воронье, 2 – Беломорско-Лапландский пояс, 3 – Саво-Ладжская зона, 4 – сдвиговая зона Грэйт Слэйв Лэйк, 5 – тектоническая зона Сноубёрд, 6 – зона Грэйт Фол, 7 – складчатый пояс Кейп Смит, 8 – пояс Макковик-Кителиды, 9 – пояс Новый Квебек, 10 – пояс Торнгат, 11 – пояс Лимпопо, 12 – пояс Дамара, 13 – пояс Каоко, 14 – пояс Камерун, 15 – пояс Адрар де Ифорас, 16 – Мозамбикский пояс, 17 – сдвиговые зоны Нубийского щита, 18 – пояс Рибейра-Арасуаи, 19 – система сдвиговых зон Барборема, 20 – сдвиговая зона Калиньяла, 21 – сдвиговые зоны Армориканского массива, 22 – Пиренеи, 23 – Южный Тянь-Шань, 24 – Урал, 25 – Пай-Хой, 26 – Атлас, 27 – Аппалачи, 28 – пояс Яролл-Новая Англия, 29 – Северо-Анатолийская сдвиговая зона, 30 – сдвиговые зоны южного Китая, 31 – пояс Американских Кордильер, 32 – пояс Канадских Кордильер, 33 – Яно-Колымская зона.

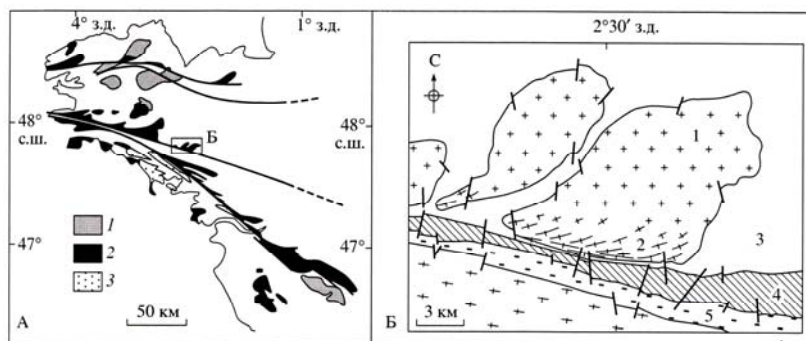
Обратимся к особенностям кинематики структурообразующих движений в ортогонально и диагонально сопряженных системах разновозрастных (по времени тектогенеза) линейных подвижных поясов различного геоструктурного положения (внутриплитные, перикратонные, межплитные) и разной геодинамической природы на разных континентах земного шара. Имеющиеся данные также позволяют оценить характер устойчивости и регулярности проявления этих особенностей во времени, на разных временных интервалах длительной эволюции Земли от докембрия до новейшего времени.

Изучение кинематики основано на возможностях структурно-парагенетического анализа и включает оценку типов геомеханической обстановки, способов нагружения среды, направлений перемещения и перераспределения материала, объемных эффектов, пространственной ориентировки приложенных сил и трендов важнейших структурных элементов. Для обстановок простых типов нагружения геоматериала (сжатия, растяжения, простого сдвига) и их комбинированного проявления (транспрессия, трансенсия) эмпирически и экспериментально установлены наиболее характерные и устойчивые сочетания структурных элементов, которые возникают в определенном положении относительно главных осей деформации и объединяются в соответствующие структурные парагенезы [17,20,30,65,87].

Изучение кинематики тектонических движений в подвижных поясах показывает, что практически все они, независимо от возраста, развиваются как зоны транспрессии, с соответствующим внутренним строением по типу дивергентной «структуры пальмового дерева» и обязательным проявлением сдвиговой компоненты на фоне поперечного сокращения [19,20]. Более того, в пределах единой эпохи тектогенеза обязательно выявляются две или несколько стадий с разными знаками сдвиговой компоненты, проявленные последовательно одна после другой. Если складчатый пояс в последующем был вовлечен в события более молодого времени, то и для них устанавливается неоднократные смены знака, которые автор назвал *кинематическими инверсиями* [21]. С этой точки зрения были проанализированы разновозрастные подвижные пояса и складчатые зоны практически всех континентов (см. рис.1). Оказалось, что в каждом из них на протяжении их эволюции происходили неоднократные кинематические инверсии, имеющие соответствующее структурное выражение и отмеченные теми или иными, синхронными с деформациями, термально-метаморфическими и магматическими событиями.

Рассмотрим в качестве примера несколько достаточно типичных природных ситуаций из разновозрастных и разноориентированных линейных подвижных поясов нескольких континентов.

Армориканский массив (см. на рис.1, № 21). В пределах Арморианского массива юга Франции известны две протяженные шовно-сдвиговые зоны, имеющие СЗ–ВЮВ простирания (Северо- и Южно-Армориканская), которые были активны во время варисского тектогенеза (рис.2). При этом многие исследователи выделяют как минимум две последовательные фазы, различающиеся кинематикой движений [53,64]. С ранней из них, охватывающей практически весь девон, связывают дивергентное покровно-складчатое перемещение метаморфитов неопротерозоя и нижнего палеозоя, обусловившее формирование пакетов тектонических пластин в сопряженных по этим разломам блоках. Надвиговые движения осуществлялись в комбинации с левосдвиговыми смещениями по шовным зонам, что зафиксировано: в кулисно-эшелонированном расположении многочисленных тел анатектических гранитов, оперяющих сдвиговые зоны (см. рис.2 А, Б), с возрастными 380–375±8 млн лет [53,70], в соответствующих ориентировках структурных элементов нижнепалеозойских ортогнейсов Lanvaux в бортах южной шовной зоны [58], в формировании синтетектонических пулл-апартовых впадин (например, бассейн Ancenis) около разломных нарушений, заполненных терригенными отложениями девона–самых низов карбона [64]. На эту же сдвиговую кинематику указывает ориентировка складчатости в породах раннего–среднего палеозоя (кембрий–девон) в пространстве между Северо- и Южно-Армориканскими шовными зонами, оси которой развернуты относительно простирания этих зон по часовой стрелке [57, fig.46].



**Рис. 2.** Схема строения вариссийских подвижных поясов Арморианского массива. На А, по [57], – Северо- и Южно-Армориканская сдвиговые зоны: 1 – граниты известково-щелочного ряда, 2 – мусковитовые лейкограниты; 3 – анатектические граниты. На Б, по [53], – фрагмент строения Южно-Армориканской сдвиговой зоны (местоположение показано прямоугольником на рис. 2, А): 1 – недеформированные изотропные граниты, 2 – милонитизированные лейкограниты, 3 – вмещающие осадочные породы бриоверианского комплекса, 4 – палеозойские осадочные породы, 5 – сланцы.

Вторая кинематическая стадия варисской фазы приходится на карбон и характеризуется тектоно-магматическими событиями, датированными в диапазоне 340–300 млн лет [64]. При этом все структурно-кинематические признаки указывают на правосдвиговые движения вдоль разломов. Милонитовая полосчатость предшествующей стадии сминается в «Z»-образные складки и на нее дискретно накладываются явно более низкотемпературные катаклазиты [70]. Многие гранитные массивы подверглись интенсивному расщеплению, особенно в приразломных зонах, и сланцеватость эта оказывается развернутой против часовой стрелки, что соответствует правосдвиговой кинематике (рис.2, Б). Такое же положение занимает и складчатость второго этапа в межразломных пространствах, создавая там отчетливые интерференционные структуры при наложении на вышеупомянутые складки предшествующей стадии [57, fig.46]. Верхний возрастной предел этих событий, вероятно, приходится на рубеж около 300 млн лет, так как обломки тектонизированных гранитов найдены в терригенных отложениях стефанского яруса (300–290 млн.л.), заполняющих небольшие приразломные впадины на рассматриваемой территории. После этого произошли сдвиговые движения новой кинематической стадии (неизвестного знака), так как осадки Стефания сами подверглись деформациям в узких локализованных зонах тектонизации [70].

Еще один наглядный пример относится к тектоническим событиям неопротерозойской бразилианской фазы тектогенеза Южной Америки, которые проявились в системе линейных подвижных поясов и зон северо-восточного простираения.

Пояс Рибейра-Арасуаи. В этом поясе ранние деформационные события, начиная с рубежа ~650 млн лет, связаны с надвигообразованием в пластичных, высокотемпературных условиях, когда в северо-западном направлении от осевой зоны пояса перемещались пластины гнейсового основания и супракрустальных пород неопротерозоя [62]. При этом синкинематические интрузии гранитоидов, с возрастными в диапазоне 655–575 млн лет [62, 81], образуют явную левосдвиговую кулису (см. рис.3, Г), свидетельствуя о транспрессивных условиях деформаций. После этого кинематические условия сменились на правосдвиговые и возник комплекс структур, наложенных на элементы предшествующего этапа. Покровные пластины были деформированы прямыми складками с субмеридиональным и северо–северо-восточным простираением осей, гранитоиды подверглись расщеплению по тому же направлению, внедрились граниты новой генерации с возрастными 550–500 млн лет [81,90], образующие правосдвиговые кулисы (см. рис.3, Г). Проявились правосдвиговые зоны с более низкотемпературными тектонитами [62].

Система сдвиговых зон Борборема. Эта сложно ветвистая система сдвиговых зон (Patos, Pernambuco, Quixada, Sobral и др.) находится на северо-востоке Бразилии и составлена нарушениями северо-восточного и

субширотного простираения (см. рис.3, Б, В), имеющими все признаки полидеформационного развития. Ранняя стадия тектонической эволюции здесь проявилась в пологом надвигообразовании, охватившем и архейское основание, и неопротерозойские супракрустальные толщи, с субширотно-западным направлением движения покровных пластин (см. рис.3, Б) [55]. Последнее обстоятельство указывает на проявление левосдвиговой составляющей и на транспрессивный режим тектонического развития в целом.

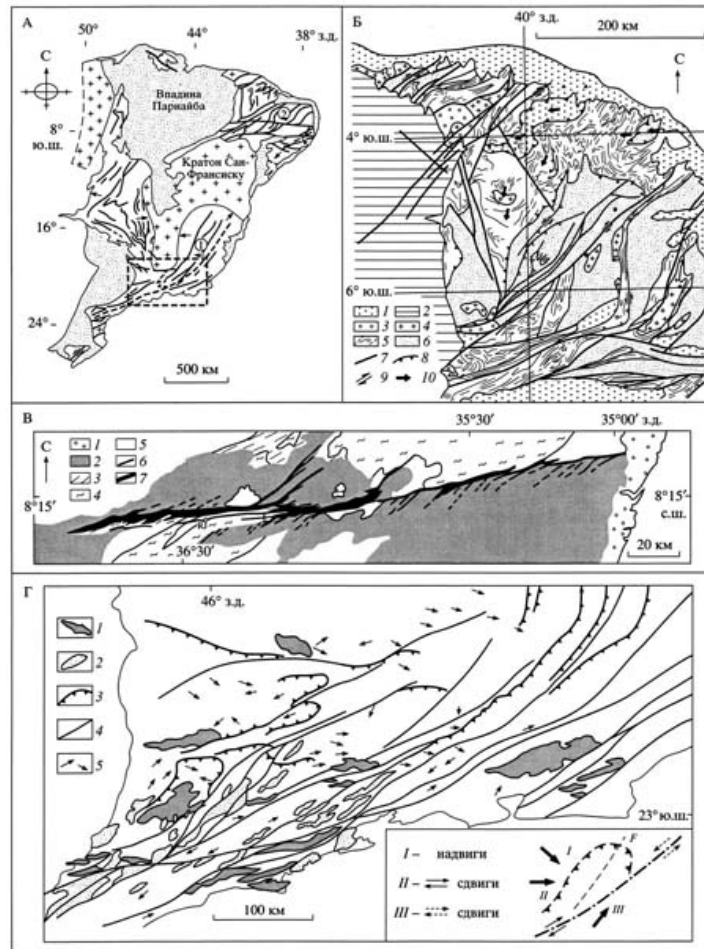


Рис. 3. Подвижные пояса бразилианской орогении (Южная Америка).

Условные обозначения к рис. 3. На А, по [62], – упрощенная тектоническая схема Восточной Бразилии. Цифры в кружках: 1 – пояс Рибейра-Арасуаи, 2 – система сдвиговых зон Борборема. Прямоугольником показано положение рис. 3, Г. На Б, по [55], – геологическая схема провинции Борборема (цифра 2 на А): 1 – мезозойские и третичные отложения, 2 – палеозойские отложения впадины Парнайба, 3 – позднебразилианская моласса, 4 – массивы гранитов, 5 – неопротерозойские породы, 6 – архейский фундамент, 7 – крупные сдвиговые зоны, 8 – крупные надвиги, 9 – знаки сдвиговых смещений, 10 – направления движения покровов. Продолжение на след. стр. На В, по [80], – генерализованная геологическая карта восточной части сдвиговой зоны Пернамбуко: 1 – фанерозойский чехол, 2 – гранитоиды, 3 – очковые гнейсы; 4 – слюдистые сланцы, 5 – мигматиты и ортогнейсы, 6 – низкотемпературное рассланцевание в гранитах, 7 – высоко температурные милониты. На Г, по [62], – схема строения части пояса Рибейра-Арасуаи, с изменениями (соответствует местоположению прямоугольника на рис.3, А): 1 – массивы синкинематических гранитов с возрастом 550–500 млн лет, образующие правосдвиговую кулису, 2 – массивы гранитов с возрастом 655–575 млн лет, образующие левосдвиговую кулису, 3 – пологие надвиги, 4 – сдвиговые зоны, 5 – линейные элементы двух пространственно-возрастных систем. На врезке – кинематическая схема деформационных стадий

Также на левосдвиговую кинематику указывает кулисно-эшелонированное расположение синтетектонических интрузий гранитоидов с возрастными в интервале 650–585 млн лет [80], как бы опережающих шовные сдвиговые зоны, а также ромбовидные, пулл-апартовские формы отдельных тел (см. рис.3, Б, В). По-видимому, с этой стадией связано формирование высоко температурных тектонитов [61], милонитовая полосчатость которых на последующей, уже правосдвиговой, стадии сминалась в асимметричные «Z»-образные складки. Кроме того, сами милониты дискретно перерабатываются низкотемпературными тектонитами со всеми структурными признаками правосдвиговой кинематики, фиксирующими региональное снижение температуры в возрастном интервале 585–545 млн лет [80].

На этой же стадии в субстрате гранитов сформировалась деформационная плоскостная текстура, ориентированная в интрузиях в соответствии с положением эллипсоида деформации при правом сдвиге, а сами тела гранитов и текстуры тектонитов предшествующей стадии испытали соответствующие подвороты около сдвиговых зон (см. рис.3, В). Наконец, накопление позднеорогенной молассы было локализовано во впадинах, чья ориентировка как раз соответствует положению структур растяжения при правом сдвиге (см. рис.3, Б). Амплитуда правосторонних смещений по сдвиговым зонам суммарно могла составлять десятки километров, если принять во внимание то, что только в восточной половине зоны Пернамбуко (Pernambuco) такое смещение оценивается в 25 км [61]. Сводная картина кинематической эволюции рассмотренных



поясов и зон Южной Америки, вместе с данными по кинематике пояса Дом Фелисиано, являющегося юго-западным продолжением пояса Рибейра-Арасуаи, приведены в табл. 1.

Время, млн. лет	Пояс Рибейра-Арасуаи		Пояс Пернамбуко		Пояс Дом Фелисиано	
	Кинем. знак	Возраст (млн. лет) /описание датирован. объектов	Кинем. знак	Возраст (млн. лет) /описание датирован. объектов	Кинем. знак	Возраст (млн. лет) /описание датирован. объектов
400						
500		500-550 – у масс. Sacorro II [81,90]		545-585 – низко температурный тектонит [80]		463±12 – у массив Ramada 460-480 – моно-у Sao Sepé 521±14; 525±40 – у Jaguarí 542±6-562±7 – у Sao Sepé
600		580±13 – у Firasaja; 610±10; 624±2 – у Nazare Paulista 645±12-655±2 – у Sacorro I [62]		588±12 – у, левая кулиса [80] 630±24 – высоко температурный тектонит [55]		554±26 Q-кондониты 589±5 – у Сагарви да Сол 606±56; 630±66 – у Lavras 650 – паллиг+метам.
700						

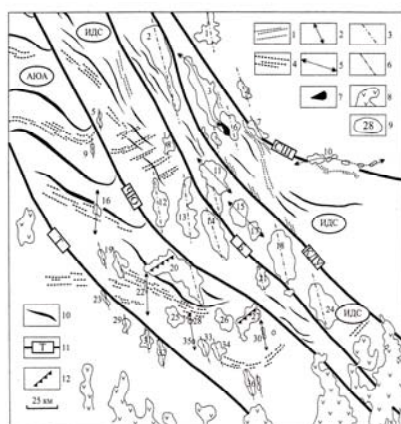
**Таблица 1.** Кинематическая характеристика подвижных поясов бразилианского тектогенеза в Южной Америке.

Условные обозначения, общие для всех таблиц: // // // – правый сдвиг; \ \ \ \ – левый сдвиг; ПП – транспрессия; утолщенный пунктир – транстенсия;  $\gamma$  – граниты;  $\delta$  – диориты;  $\gamma$ - $\delta$  – гранодиориты; F<sub>1</sub> – генерации складок; S<sub>1</sub> – сланцеватость; D<sub>1</sub> – этапы деформации; M<sub>1</sub> – этапы метаморфизма)

Другие примеры показывают, что нет какой-либо принципиальной разницы в особенностях кинематического развития и более молодых подвижных поясов и зон мезозоя и кайнозоя. Так, В.Г. Шахтыровым [45] описана ситуация знакопеременного режима горизонтально-сдвиговых движений в пределах линейной Яно-Колымской складчатой зоны (№ 33 на рис. 1) для юрско-мелового отрезка эволюции этого региона (Верхне-Колымский регион и Северное Приохотье). На основе изучения взаимоотношения отдельных магматических тел разного возраста и формационной принадлежности, как между собой, так и с вмещающими породами, а также с учетом их формы, ориентировки подводющих каналов, их соотношения с явно тектоническими границами структурно-формационных зон, ориентировок осей складчатых структур и роев дайково-жильных серий разных генераций были установлены как минимум два последовательных этапа тектонических движений с разной кинематикой (рис.4).

Для позднеюрского этапа установлены правосдвиговые движения вдоль серии глубинных разломов северо-западного простирания, что отражено в кулисно-эшелонированном расположении роев даек нерабахапчинского и удлиненных гранитных батолитов колымского комплекса с возрастом более 145 млн лет, развернутых относительно разломов по часовой стрелке. В правосдвиговый парагенез с этими

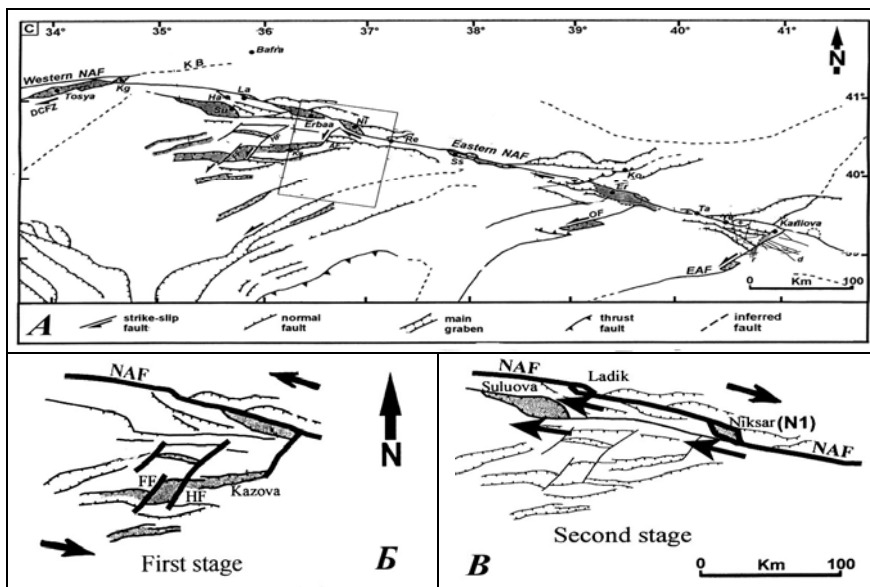
магматическими образованиями вписываются и складки во вмещающих породах, чьи оси ориентированы под углом к тем же разломам с разворотом против часовой стрелки. В раннем мелу в этих же зонах имели место прямо противоположные по знаку левосторонние сдвиговые перемещения, отмеченные явным подворотом осей складок около глубинных разломов, наложенными деформациями даек нерабахапчинского комплекса и внедрением роев даек и штоков басугуньинского комплекса, ориентированных диагонально (с разворотом против часовой стрелки) относительно простирания магистральных зон и разломов. Таким образом, можно констатировать, что в начале раннего мела в Яно-Колымской складчатой зоне произошла кинематическая инверсия знака сдвиговых тектонических движений. В связи с этим примером, интересно отметить, что для раннего мела устанавливаются именно левосдвиговые движения и в других линейных подвижных поясах и зонах также северо-западной ориентировки, например, в мезокайнозойском поясе Канадских Кордильер [63] и в Пиренеях [56,75], а на начало раннего мела как раз приходится один из рубежей регулярных кинематических инверсий с правосдвиговых на левосдвиговые движения, выявленных нами ранее [21].



**Рис. 4.** Кинематическая схема гранитоидного магматизма Верхне-Колымского региона, по [45]. 1 – правосторонние позднеюрские рои даек нера-бохапчинского комплекса; 2 – ориентировка штоков, по возрастным датировкам синхронных нера-бохапчинским дайкам; 3 – длинные оси правосторонних позднеюрских «батолитов» колымского комплекса; 4 – левосторонние раннемеловые рои даек басугуньинского комплекса; 5 – ориентировка левосторонних басугуньинских штоков и группы тел, по петрологическим данным относимых к другим комплексам; 6 – ориентировка правосторонних

позднемеловых массивов, синхронных с вулканитами Охотско-Чукотского вулканогенного пояса; 7 – Сохатинский массив расслоенных базитов; 8 – правосторонние позднемеловые вулканогенные грабены Охотско-Чукотского вулканогенного пояса; 9 – гранитоидные тела; 10 – антиклинальные складки; 11 – зоны продольных глубинных разломов: Т – Тенькинский, ЧЮ – Чай-Юрьинский, Б – Бургандинский, КДУ – Кунтук-Дебино-Умарский, СШ – Среднекано-Штурмовской; 12 – ориентировка гранитоидных тел над поперечными расколами фундамента. АЮА – Аян-Юряхский антиклинорий, ИДС – Иньяли-Дебинский синклиорий.

Кайнозойский этап тектонической эволюции также не является исключением в рассматриваемом плане. Так в восточной части Северо-Анатолийской разломной зоны (рис.5 и № 29 на рис.1), имеющей северо-западное простирание, для позднего миоцена–раннего плиоцена (15–5 млн лет) определяется устойчивое левосдвиговое смещение, зафиксированное в системе оперяющих (с разворотом против часовой стрелки) синтетектонических кулисно расположенных грабенов, заполненных осадками этого возраста. В позднем плиоцене и в четвертичное время проявились правосдвиговые движения, приведшие к формированию вдоль зоны разлома цепочки пулл-апартовых впадин соответствующей морфологии [56].



**Рис. 5.** Схема строения Северо-Анатолийской зоны разломов (А) и структурно-кинематические схемы ее эволюции для позднего миоцена–раннего плиоцена (Б) и позднего плиоцена–квартера (В) [56].

Рассмотренные примеры, помимо методического подхода, иллюстрируют не только сам факт проявления кинематических инверсий в отдельных подвижных поясах и зонах, но и достаточную типичность их реализации в разных геоструктурных элементах и на разных этапах эволюции земной коры. Этот феномен становится еще более интересным, если в систематический анализ и сопоставление включить подвижные пояса разных ориентировок и возраста. Оказывается, что в одновозрастных подвижных поясах, имеющих одинаковую

пространственную ориентировку (например, северо-западную) для одного и того же отрезка времени устанавливается *одинаковый* знак сдвиговой компоненты, который в последующем *синхронно* (!) меняется на противоположный (см. табл.1; табл. 2 – центральная и правая колонки). Наоборот, в диагонально сопряженных поясах (северо-западного и северо-восточного простирания) одного и того же возраста сдвиговые смещения происходят одновременно как бы в кинематической противофазе. При этом они также синхронно испытывают кинематические инверсии: левый сдвиг в поясах северо-западной ориентировки сочетается с правым сдвигом в поясах северо-восточного направления с одновременной сменой знаков в каждом из них на противоположные (сравните левую колонку с центральной и правой в табл. 2). Такая же закономерность выявляется и при рассмотрении одновозрастных субмеридиональных и субширотных подвижных поясов мира (табл. 3).

Время, млн. л.	Пояс Максовик(СВ)		Пояс Торнгат (СЗ)		Пояс Квебек(СЗ)	
	Кинем. знак	Возраст / описание датированных объектов.	Кинем. знак	Возраст / описание датированных объектов.	Кинем. знак	Возраст / описание датированных объектов.
1600		1650-1640 млн. л. – у [85]				
1700		1719-1716 млн. л. – интрузии в зонах вулкан-аплит [60]				
		1769-1723 млн. л. – левый сдвиг, складки А [60]		1805-1750 млн. л. – правые		1793-1741 млн. л. – метам. М., правые сдвиги [77]
1800		1805-5-1791+2 млн. л. – у		сдвиги [79]		
		1841-1830 млн. л. – правый сдвиг		1845-1829 млн. л. – левый сдвиг		1845-1829 млн. л. – левый сдвиг, интрузии + М.
1900		1877-1845 – трансформный ТП		1895-1880 млн. л. – интрузии		
		1896-6 млн. л. – интрузии [72]		1896-1871(млн. л. – у [86]		1845 млн. л. – F+M [76]
1896 – 1871 – 1845 млн. лет		1845 – 1829 млн. лет		1805 – 1740 – 1720 млн. л.		

Таблица 2. Кинематические характеристики и возрастные датировки этапов и стадий тектонической эволюции линейных подвижных поясов юго-восточной части Канадского щита (провинция Нейн).

К не менее интересной закономерности, выявленной нами при анализе кинематики подвижных поясов и зон разного возраста, можно отнести установление отчетливой регулярной повторяемости кинематических инверсий в ходе тектонической эволюции. При этом поразительна выдержанность на значительных отрезках времени длительности кинематических стадий и синхронность переиндексаций, характерные

одновременно для всех материков и позволяющие говорить о квазицикличности кинематических инверсий, общей для разных континентов. Например, в архее, в раннем, среднем и в начале позднего протерозоя (т.е. в период от 3.0 до 1–0.7 млрд. лет) такие смены знака сдвиговой компоненты в подвижных поясах имели место с интервалом в 100 млн лет (см. табл. 2, 4). Во второй половине неопротерозоя, вплоть до рубежа с фанерозоем, продолжительность циклов была близка к 75 млн лет (см. табл. 1). В палеозое и отчасти в мезозое (триас–юра) кинематические инверсии происходили через интервал около 50 млн лет (см. табл. 3), во второй половине мезозоя и в кайнозое продолжительность циклов сокращается до 25–30 млн лет, а для третичного периода есть некоторые основания сократить этот интервал до 15–20 млн лет. Последняя по времени, из фиксируемых повсеместно, кинематическая инверсия приходится на рубеж около 5 миллионов лет и наступивший этап характеризуется правосдвиговыми смещениями вдоль подвижных поясов и зон северо-западного направления и, наоборот, левосдвиговыми движениями в диагонально сопряженных поясах северо-восточного простирания. Эта же закономерность прослеживается и в данных по решениям механизмов очагов современных землетрясений.

Время, млн. л.	Южный Тянь-Шань (ЗСЗ)		Урал (субмеридион.)		Восточная Австралия (С-Ю)	
	Кинем. знак	Возраст/описание датированных объектов	Кинем. знак	Возраст/описание датированных объектов	Кинем. знак	Возраст/описание датированных объектов
200				Правосдвиговая кулиса ранне-камерийской складч-ти [28]		
250			?			
300		Разворот векторов маломасштаб. складч-ти [6]. Левая кулиса позднепротер. у		Полноширотная у-сменит-у ряда [37]		
350		Зд-скл. в кавказской свите и в молдессе С <sub>1</sub> и-С <sub>2</sub> [23]		С <sub>1,2</sub> – левосдвиговая ТП, шаржаж, у-тоналит-плагио- гранитного комплекса [37]		Левая кулиса гранитоидов позднего карбона [82]
400		Кулисно-эпизональ. складч-ть, грозь кавказской св.(D <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> ), С <sub>2</sub> -скл. предш. тект. раскл-ти		D <sub>1</sub> и-D <sub>2</sub> – правосдвигов. ТП, дифференциал покр.-складч. структура [37]		Правые кулисы нектарных впадин позднего девона [82]
450		Зд-скл., правые сдвиги в зонах расчленил., диверг. покр.-складч. стр-ра в мезо-кай [23]				Доминирующая сдвиговатость предсреднедевонского возраста [82]

Таблица 3. Кинематические характеристики варисских поясов Южного Тянь-Шаня, Урала и Восточной Австралии.

Время, млн. лет	Кинем. знак	Возраст (млн. лет) и описание датированных объектов	Цикл мет-ма	Временные интервалы циклов метам.	Этапы и стадии деф-ции	Кинематич. схемы этапов
1800						
1900		Правосдвиговая трансформация с образованием грабенов Palaruе, Soutpansberg и др. 1,9-1,85 – лавы и дайсы комплекса Soutpansberg [54]	M <sub>7</sub> Зеленосл. фашия	1900-1850 млн. лет	D <sub>5</sub>	
2000		1983±14; 2007±5; 2010±17 – синтект. минерализация зон пластичных левых сдвигов [68]	M <sub>6</sub> Амфибол фашия	2010-1930 млн. лет	D <sub>4</sub>	
2100		2040 – синклин. γ Triangle Shear Zone зоны пластич. сдв. в γ Булан 2100 – “Z”-складки СВ простиран.	M <sub>5</sub> Гранулит фашия [68]	2100-2020 млн. лет [68]	D <sub>3</sub> <sup>3</sup> D <sub>3</sub> <sup>2</sup>	
2100		2117±17 – чарнокиты		> 2100 млн. лет	D <sub>3</sub> <sup>1</sup>	
2200		Накопление формаций раннего палеопротерозоя		?		
2300	?					
2400						
2500						
2600		2520 (2580) Великая Дайка Родезии 2570-2600 – γ-энтерб. масс. Булан 2590 – γ Selebi Pikwe	M <sub>2</sub> Гранулит фашия	2620-2520 млн. лет [68]	D <sub>2</sub> 2600-2570	
2700		2650 – γ комплекса Razi Granites 2660±40 (Rb-Sr) – скл. F <sub>1</sub> (CCB) 2671-2664 – γ Matok Pluton [48] 2690 – шарьяжи, синклинем. γ [74]	M <sub>1</sub> Гранулит фашия	2710-2640 млн. лет [73]	D <sub>1</sub> <sup>3</sup> >2640 D <sub>1</sub> <sup>2</sup> 2671-2664 D <sub>1</sub> <sup>1</sup> ~2690	

Таблица 4. Кинематические характеристики и возрастные датировки этапов и стадий тектонической эволюции докембрийского пояса Лимпопо Южной Африки (Z и K – кратоны Зимбабве и Каапвааль)

## Феномен вращения вектора силового воздействия в подвижном поясе

В некоторых подвижных поясах разных континентов северного и южного полушария, для которых накоплен весьма подробный материал по их полистадийной кинематической эволюции и имеются многочисленные абсолютные датировки деформационных, магматических и метаморфических процессов, картины кинематических инверсий дополняется еще одной весьма интересной устойчивой закономерностью. В поясах как докембрийского, так и фанерозойского заложения и эволюции неоднократно устанавливался факт смены во времени (в пределах единой эпохи тектогенеза) характера кинематики структурообразующих тектонических движений. Например, датированные смещения чисто сдвигового характера того или иного знака, во времени сменяются деформациями сначала с доминирующей надвиговой компонентой при подчиненности сдвига, затем чисто надвиговыми перемещениями, а под конец опять сдвигом, но со знаком, противоположным первоначальному. Это свидетельствует о явном развороте (обычно на угол более  $90^\circ$ ) во времени вектора силового воздействия на подвижный пояс, причем направленность такого разворота, фиксируемого в системе современных географических координат, во всех случаях устанавливается *против часовой стрелки*. Приведем несколько примеров этого явления в ряде подвижных поясов, местоположение которых отмечено специальным знаком округлой стрелки на рис.1.

Подвижные пояса провинции Нейн (Nain). Этот регион в восточной части Канадского щита интересен торцовым сочленением (см. рис.1, № 8–10, табл. 2) разно ориентированных палеопротерозойских подвижных зон, развивавшихся синхронно и согласованно одна с другой: пояс Макковик-Кетилиды (Makkovik-Ketilidian belt) северо-восточного простирания и орогены Торнгат (Tornгат) и Новый Квебек (New Quebec) северо-западного направления. Подробное описание строения и развития этих поясов здесь опущены, а кинематические характеристики сведены в таблице 2. Ниже приводится только обобщенная схема сопряженной тектонической эволюции поясов, которая включает ориентировки вектора силового воздействия на каждый из них, полученные на основе структурно-кинематических данных для нескольких последовательных временных этапов [60,72,86]. В поясе Макковик, так же, как и в орогенах Торнгат и Новый Квебек, в интервале 1896–1871 млн лет ориентировка сил сжатия реконструируется по направлению северо-запад–юго-восток, что привело в первом из них к развитию надвиговых структур с небольшой правосдвиговой компонентой, а в последних – к левосторонним транскурентным сдвигам. В последующем (1845–1829 млн лет) в поясе Макковик нарастала роль сдвиговой составляющей, приближая деформационный режим к типично транспрессивному. В

сопряженных орогенах (сначала в Новом Квебеке, а затем в орогене Торнгат) на фоне левосдвиговых смещений стали проявляться надвиги, что может свидетельствовать о постепенном развороте внешних сил воздействия до направления запад-северо-запад–восток-юго-восток. Это вращение, по-видимому, продолжалось и далее, через субширотное направление, когда, начиная с рубежа 1805 млн лет, в поясе Торнгат доминировали субсеквентные надвиги, до направления северо-восток–юго-запад, когда в интервале 1793–1741 млн лет в обоих орогенах северо-западной вытянутости в дискретных зонах имели место правосдвиговые смещения. Почти одновременно с этим (интервал ~ 1815–1720 млн лет) в поясе Макковик преобладающее развитие получили левые сдвиги. Таким образом, получается, что при тектонической эволюции региона в палеопротерозое происходили неоднократные кинематические инверсии (см. табл. 2). Входящие в его структуру диагонально сопряженные подвижные пояса и орогены развивались в кинематической противофазе, а векторы внешнего силового воздействия на них разворачивались во времени против часовой стрелки (см. рис. в табл.2).

Пояс Лимпопо в Южной Африке (см. рис.1, № 11 и табл.4). Этот широкий (до 200 км) и весьма протяженный (900–1000 км) в северо-восточном направлении пояс расположен между двумя архейскими гранит-зеленокаменными областями Южной Африки – кратонами Зимбабве и Каапвааль. Для пояса характерно общее дивергентно-верное строение и длительное полиэтапное развитие, отмеченное тремя разобщенными периодами нарушения изотопно-геохимических систем около 3,2; 2,6 и 2,0 млрд. лет [68]. В кинематическом плане достаточно полно охарактеризованы только позднеархейский и палеопротерозойский мегаэтапы, разделенные периодом тектонического покоя (табл. 4). Помимо уже упомянутой в предыдущем разделе регулярной повторяемости кинематических инверсий здесь также выявляется разворот во времени вектора силового воздействия, в соответствии с которым видоизменяется и кинематика движений на отдельных деформационных стадиях и структурное выражение этих деформаций (см. правую колонку в табл.4). Так, на неоархейском этапе тектогенеза основные деформационные и синхронные двухэтапные термально-метаморфические события в целом связывают с коллизией кратонов Зимбабве и Каапвааль [83,89]. Их конвергенция по направлению СЗ–ЮВ привела к «выдавливанию» нижнекоровых комплексов краевых зон и их дивергентному шарьированию по пологим сместителям на смежные кратоны (стадия  $D^1_1$ ). В последующем (стадия  $D^2_1$ ), субпоперечные к простиранию пояса движения сменились транспрессивными деформациями с правосдвиговой компонентой, которая выявляется некоторыми исследователями в тектонитах зоны, а также читается в форме и развороте по часовой стрелке удлиненного тела плутона Мэток (Matok Pluton), чарнокит-эндербитовая фаза которого датируется в



2671±4 млн лет, а гранодиоритовая – в 2664 млн лет [48]. В Северной краевой зоне синтетектонические интрузии этого этапа представлены телами гранитоидов комплекса Рази (Razi Granites) с возрастом около 2.65 млрд лет [49], конфигурация которых, кулисный характер группирования и расположение относительно внешних границ зоны также в целом соответствуют позиции структур растяжения при правом сдвиге. На третьей стадии этого этапа ( $D_3^1$ ) имели место собственно правосдвиговые смещения, устанавливаемые в многочисленных сдвиговых зонах, сопряженных со складками  $F_2$ , выделенных П. Кумером с соавторами [59] как в пределах пояса Лимпопо, так и в сопряженных с ним частях кратона Зимбабве. Им эти исследователи приписывают, вслед за М. Хикманом и Дж. Уэйкфилдом [66], возраст 2660±40 млн лет.

Деформационные события, имевшие место на фоне второго этапа термально-метаморфических преобразований (2.62–2.52 млрд лет), характеризуются проявлением левосдвиговой компоненты движений вдоль основных структурно-формационных зон пояса и их границ (этап  $D_2$ ). Например, в пределах Центральной зоны известен крупный массив гранитов Булаи (Bulai Pluton), одновременный с процессами мигматизации и имеющий в целом характерные кулисно-эшелонированные очертания и разворот против часовой стрелки относительно ее внешних границ. Его возраст оценивается в интервале 2.60 (эндербитовая фаза) – 2.57 (гранитная фаза – 2572±4) млрд лет. Схожие цифры (2.59 млрд лет) получены и для другого синтетектонического массива гранитов Selebi Pkwe, расположенного на северо-западе пояса и вписывающегося в левосдвиговую кинематику. Кроме того, этой же кинематической обстановке соответствует положение роя Великой дайки Родезии и ее многочисленных сателлитов (U-Pb SHRIMP возраст – 2579±3 млн лет [47]), пересекающих не только северный борт пояса Лимпопо, но частично и его Северную краевую зону. Прямые свидетельства левосдвиговой кинематики установлены в мощной сдвиговой зоне Палала (Palala Shear Zone), отделяющей Южную краевую зону от Центральной [78], для которой, кстати, некоторые исследователи [52] определяют две последовательные фазы милонитообразования с признаками разнознаковых сдвиговых смещений – сначала правосторонних, а затем левосторонних.

Следующий крупный этап развития пояса Лимпопо приходится уже на палеопротерозойский этап, с которым связывают его повторную тектоно-термальную ремобилизацию в режиме интракратонной сутуры во временном интервале 2.1–1.8 млрд лет. Метаморфические преобразования включают несколько последовательных циклов, достигая уровня гранулитовой фации ( $M_3$ ) с последующим развитием ретроградных процессов уровня амфиболитовой ( $M_4$ ) и зеленосланцевой ( $M_5$ ) фаций. Начальные тектонические события этого интервала времени ( $D_3^1$ ) определялись деформацией с левосдвиговой компонентой

смещений, с которой было сопряжено внедрение чарнокитов с возрастом  $2117 \pm 17$  млн лет (сдвиговая зона Палала), вытянутые линзовидные тела которых группируются в некоторых шовных зонах в соответствующие кулисные эшелоны. Эти особенности структуры предполагают на данной стадии субмеридиональную или ССВ ориентировку вектора внешних сил относительно пояса в целом. Последующие деформации ( $D_3^2$ ), будучи отчетливо наложенными на все структуры и магматические образования предыдущего цикла, определялись уже другими ориентировками внешних сил. В частности, в гранитах Булай Центральной зоны отмечаются многочисленные зоны пластичного сдвига, которые возникали после рубежа 2100 млн лет как структурный результат ССЗ–ЮЮВ укорочения (т.е. практически поперечного сокращения пояса с некоторой правосдвиговой компонентой), а позже ( $D_3^3$ ) эволюционировали в собственно правосдвиговые структуры [68]. Приблизительно в то же время происходили правосдвиговые смещения в мощной шовно-сдвиговой зоне (Triangle Shear Zone), разделяющей Центральную и Северную краевую зоны, в которой синкинематические гранаты дают возраста около 2040 млн лет [71]. В южнее расположенной и субпараллельной ей сдвиговой зоне Палала в это же время внедрялись одноименные граниты (Palala Granites) с возрастными цирконов около 2040 млн лет [84], отдельные линзовидные тела которых образуют отчетливую правосдвиговую кулису. Более того, в них самих фиксируются дискретные правосдвиговые зоны, совпадающие с доминирующим СВ простираем всех структур пояса [51]. Пластический характер деформаций этого этапа с правосдвиговой кинематикой зафиксирован также в системах картируемых в гнейсах Центральной зоны, «Z»-образных по морфологии, асимметричных складок  $F_4$  в классификации П. Кумера с соавторами [59] с СВ ориентировкой осевых поверхностей, которые эти исследователи коррелируют с периодом изотопной регомогенизации пород около 2100 млн лет.

Синхронные этапу метаморфизма амфиболитовой фации деформационные процессы ( $D_4$ ) характеризуются новой кинематической обстановкой, теперь уже с левосдвиговой компонентой движений. Так, например, Л. Хольцер с коллегами [68] приводит датировки отдельных синтектонических минералов из сдвиговой зоны в гнейсах центральной части пояса (гранат –  $2010 \pm 17$  млн.л.; титанит –  $2007 \pm 5$  млн. л.;  $1983 \pm 14$  млн лет), которые отражают регрессивную ветвь преобразований. Они параллелизуются с деформациями, обусловленными ВСВ–ЗЮЗ сжатием, приведшим к перемятию прежних складчатых структур прямыми изоклинальными складками с СЗ ориентировкой осевых поверхностей и к формированию пересекающейся складчатости. Естественно, что такая ориентировка приложения сил и формирующихся

при этом складок относительно ВСВ ориентировки самого пояса предполагает проявление и левосдвиговой компоненты деформаций.

Последние, из устанавливаемых на палеопротерозойском этапе (интервал 1.92–1.83 млрд лет), деформационные события отражают уже совсем приповерхностные эпизоды тектонической эволюции комплекса, которые происходили в принципиально иной кинематической обстановке, чем предшествующие, а именно в условиях регионально проявленной трансенсии и с ССВ–ЮЮЗ ориентировкой растягивающих усилий. Следствием этого стало формирование систем грабенов и впадин, в которых накапливались терригенные и вулканогенно-осадочные серии (Palapaе, Waterberg, Sautpansberg formations) с датировками наиболее молодых базальтов около 1.85 млрд лет. Расположение впадин часто контролируется крупнейшими шовными зонами пояса (например, зоной Палала), а общий характер их морфологии и кулисно-эшелонированного группирования свидетельствует о правосдвиговой компоненте, действовавшей на фоне растяжения.

Таким образом, как видим (см. табл. 4, правая колонка), в периоды проявления двух крупных эпох тектогенеза в поясе Лимпопо – неоархейской и палеопротерозойской, устанавливается принципиально схожая кинематическая картина – разворот во времени векторов силового воздействия на комплексы пород устойчиво против часовой стрелки.

Подвижная зона Адрар-Ифора (Adrar des Iforas). Эта субмеридиональная по своему простиранию зона является составной частью Транс-Сахарского подвижного пояса, ограничивающего с востока Западно-Африканский кратон (см. рис. 1, № 15, табл. 5). Здесь во временном интервале 700–450 млн лет устанавливается [50], как минимум, четырехкратная перестройка кинематических планов, связанная с изменением ориентировки сил внешнего воздействия на пояс (их разворот от этапа к этапу опять-таки *против часовой стрелки*) и имеющая следствием неоднократную смену знака сдвигового смещения в поясе (см. табл.5). При субмеридиональной ориентировке сил на первом этапе ( $D_1$  – 696–613 млн лет), действующих практически вдоль пояса, реализуется только простой сдвиг с правосторонним смещением. Последующий их разворот (в интервале 610–570 млн лет) сначала до северо–северо-западного (стадия  $D_2^1$ ), а затем до субширотного направления (ВЮВ–ЗСЗ – стадия  $D_2^2$ ) последовательно вводит в действие режим левосторонней транспрессии и обстановку преимущественного субпоперечного сокращения. С первой стадией связывается формирование косо ориентированных (ВСВ–ЗЮЗ) к простиранию пояса прямых складок, а со второй – широкое проявление опрокинутой складчатости уже ССВ–ЮЮЗ направления и надвигов с некоторой левосдвиговой компонентой. Для третьего этапа ( $D_3$  – 566–535 млн лет) устанавливается северо-восток – юго-западное направление сокращения, обусловившее формирование внутри пояса правосдвиговых зон пластичных деформаций с диапазоном

пространственных ориентировок 0–20°. Наконец, финальная стадия пан-африканских деформаций (D<sub>4</sub>), наложенных на все предшествующие структуры, характеризуется широтным направлением сжатия и формированием сопряженных хрупких разрывов.

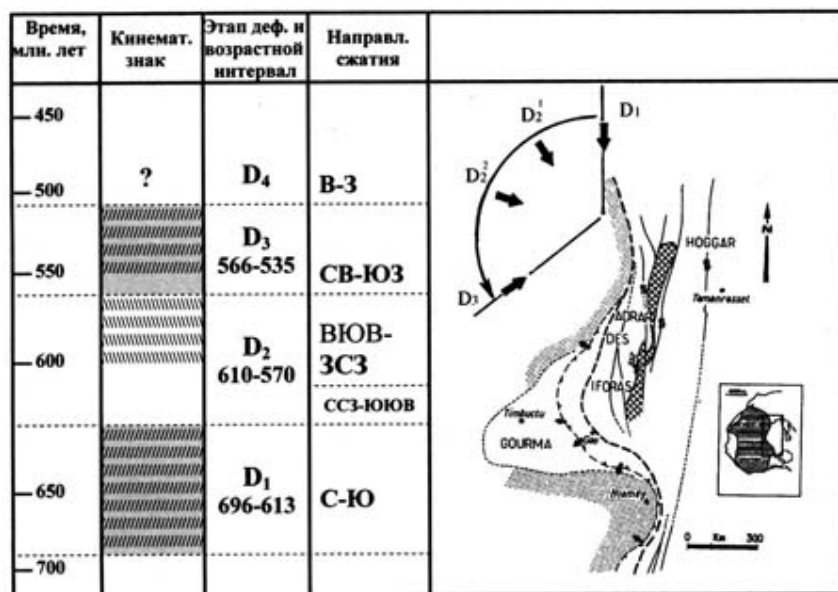
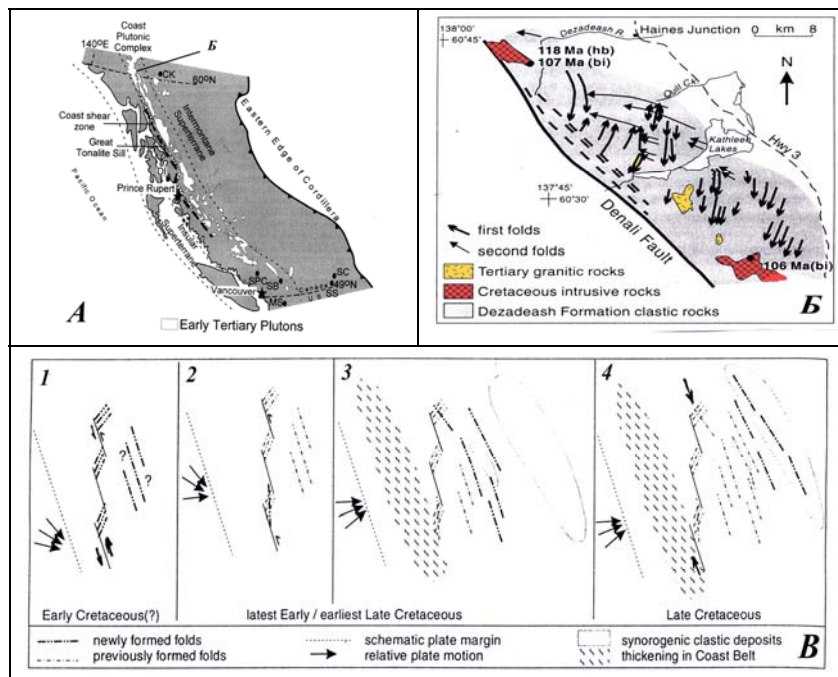


Таблица 5. Кинематика и периодичность движений в подвижном поясе Адрар-Ифора (Трансахарский пояс, Западная Африка), по [50].

Пояса Рибейра-Арасуаи и Дом Фелисиано Южной Америки (см. рис. 1, №18 и рис. 3г, табл.1). В приведенном в предыдущем разделе описании кинематической эволюции этих поясов, помимо фактов неоднократных кинематических инверсий, также есть все признаки постадийно-последовательного разворота силового вектор (см. кинематическую схему на угловой врезке рис.3г). Изначально северо-западная, поперечная к простиранию поясов ориентировка сжатия (I стадия 650–580 млн лет), приведшая к выдавливанию на борта пакета шарьяжно-складчатых пакетов пластин, сменилась субширотным сжатием, которое привело не только к правосдвиговым смещениям по магистральным зонам разломов северо-восточного простирания, но и к наложенному «перемятию» пластин прямыми складками ССВ ориентировки (II стадия 580–500 млн лет). Последние деформации (III стадия 480–460 млн лет) уже были левосдвиговыми, что предполагает ССВ–ЮЮЗ силовое воздействие при северо-восточной ориентировке самих поясов.

Канадская Кордильера. В складчатом поясе Канадской Кордильеры (см. рис.1, № 32), имеющем северо-западную ориентировку (рис.6), формирование разрывно-складчатой структуры в мезозое, обычно связываемой с конвергенцией литосферных плит, происходило на фоне неоднократной смены знака сдвиговой компоненты [63].



**Рис. 6.** Полистадийность структурно-кинематической эволюции мезокайнозойского подвижного пояса Канадских Кордильер. А – общая схема пояса [46], Б – структурная схема одного из участков, показывающая разноориентированные системы складок и интрузивных тел двух последовательных кинематических стадий [63], В – последовательное вращение вектора силового внешнего воздействия на пояс в ходе его эволюции [63].

Для юрского периода (~200–150 млн лет) устанавливается косое сближение плит, вызывающих левосдвиговые смещения, но в раннем мелу эти движения в региональном масштабе не проявлялись и знак движений остается неопределенным. В позднем мелу (110–80 млн лет) совершенно отчетливо проявились опять левосдвиговые движения, зафиксированные в кулисном расположении интрузивных массивов с абсолютными датировками 106–107 млн лет и в косоориентированной по отношению к продольным разломам (с разворотом по часовой стрелке)

складчатости субмеридионального простирания (рис.6Б). В более позднее время была сформирована вторая система складок субширотного простирания (разворот против часовой стрелки), явно соответствующая уже правосдвиговой обстановке. Результатом проявления двух разноориентированных систем складок явилось формирование сложной интерференционной структуры, включающей изометричные куполовидные и мульдобразные формы [63]. Судя по правокулискому расположению гранитных массивов раннетретичного возраста, можно предположить, что действие правого сдвига могло начаться с рубежа 75–60 млн лет. И действительно, по данным некоторых исследователей правосдвиговая обстановка имела место на протяжении кампана–палеоцена [46] и сохранялась до рубежа 45–40 млн лет, о чем свидетельствуют палеомагнитные материалы, фиксирующие вращение блоков этой части пояса по часовой стрелке в палеоцене–эоцене [69]. Так как на рубеже между этими двумя кинематическими стадиями (~75–65 млн лет) доминировало поперечное сокращение пояса, приведшее к формированию надвигов и складок, ориентированных вдоль пояса [46], можно заключить, что векторы внешнего силового воздействия на пояс испытывали во времени (по крайней мере, от среднего мела до середины эоцена) направленный разворот против часовой стрелки (рис. 6В) [63].

Прочие подвижные пояса. В геологической литературе встречается достаточно много работ исследователей разных поколений, которые при заметном различии методических подходах и на совершенно разных примерах и материалах независимо друг от друга приходят к одинаковому заключению, подобному нашему – *вектор силового воздействия в подвижных поясах со временем разворачивается против часовой стрелки*. С.Н. Бубнов, говоря о наиболее общих закономерностях тектогенеза на планете особо отмечал «Вращение плана напряжений, т.е. эллипсоида напряжений, в течение каждого тектонического цикла, происходящее всегда против часовой стрелки» [8, стр. 226]. Этот вывод сделан на основе подмеченного им явления постепенного «поворачивания главных осей морей и трансгрессий» на европейском континенте против часовой стрелки, а также на основании разворота простираний подвижных поясов разных эпох тектогенеза: генеральные простирания складчатости и покровно-надвиговых структур в каледонидах (Скандинавии) оказываются северо-восточными, в герцинидах (центральная Европа) – северо-западными, а в альпидах – субширотными (Средиземноморье).

В.И. Славин в своей обобщающей монографии по тектонике Афганистана [32] также отмечал последовательный разворот простираний структур против часовой стрелки по мере омоложения складчатости: герциниды (Шеберганский выступ Туранской плиты) простираются по азимуту 282°, киммериды – 270°, ранние альпиды (Фарахрудский прогиб, Аргандабское поднятие) – 250–236°, поздние альпиды (Катавазский

прогиб) – 210°. Эти сведения цитируются по обстоятельной работе Ю.И. Тверитинова [33], посвященной перестройке структурных планов в складчатых областях, в которой также приводятся многочисленные факты и сведения подобного же рода для Горного Алтая, Саяно-Байкальской горной области, Памиро-Южно-Тяньшаньского региона. Фиксируя азимуты простираения складчатости в разновозрастных образованиях этих складчатых систем, последовательно вовлекаемых в тектогенез Ю.И. Тверитиновым делается вывод о закономерном, последовательном развороте во времени структурных планов складчатых систем против часовой стрелки. При этом им впервые даны приблизительные оценки скоростей разворота на разных временных отрезках нескольких эпох тектогенеза, показана определенная изменчивость этих скоростей 0.34–0.27–0.16–0.20–0.45–0.58–0.15–1.15 град/млн лет (Горный Алтай), при средней скорости в фанерозое 0,34 град/млн лет. Понимая всю условность таких оценок, тем не менее, любопытно отметить то ускорение, то замедление темпов такого вращения от одной тектонической фазы к другой. «Интересна тенденция изменения скорости поворота структур: близкая к средней в палеозое, она после пфальцской эпохи резко замедляется, затем постепенно нарастает, достигая максимума к концу мезозоя, падает до минимума в палеогене и увеличивается до предельных значений в неогене. С этим коррелируются различные тектонические режимы. Как правило, этапам замедления скорости поворота структур сопутствуют погружения, либо умеренные поднятия и вулканизм. Этапам возрастания скорости отвечают контрастные движения большой амплитуды и плутонический магматизм» [33, стр.103–104]. Нам представляется, что подобное обобщение Ю.И. Тверитинова заслуживает внимания и требует дальнейшего специального изучения.

#### **Обсуждение и интерпретация изложенного материала**

Весь приведенный выше, в двух разделах, фактический материал, в совокупности с другими аналогичными свидетельствами из обширного массива проанализированных данных по кинематике тектонических движений подвижных поясов мира [21,22], позволяет сформулировать несколько обобщающих позиций:

1) обращает на себя внимание системная выдержанность в современных географических координатах пространственных ориентировок линейных подвижных поясов, независимая от времени их формирования, по диагонально-сопряженным (северо-восточному и северо-западному) и ортогональным (субмеридиональному и субширотному) направлениям, а также симметричность их расположения относительно экватора, подобная системе трансформных разломов в океанах (см. рис.1).

2) устанавливается согласованность кинематики движений по сопряженным системам одновозрастных подвижных поясов, единая для всех континентов и устойчиво проявляемая на всех этапах тектонической эволюции Земли – синхронное развитие в кинематических противофазах диагонально и ортогонально сопряженных линейных поясов и зон и синхронные кинематические инверсии в них, и наоборот, одинаковые по кинематике движения на одних и тех же временных интервалах в подвижных поясах близкой пространственной ориентировки.

3) выявляется регулярная, как бы циклическая повторяемость кинематических инверсий, которая происходит на фоне явного сокращения во времени (от докембрия до наших дней) продолжительности циклов.

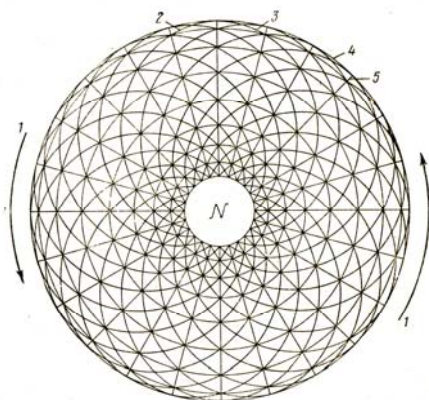
4) установлен феномен устойчивого во времени разворота против часовой стрелки вектора внешнего силового воздействия на подвижные пояса самого разного возраста и геоструктурного положения на разных континентах северного и южного полушарий.

Сформулированные выводы, на наш взгляд, вполне можно отнести к разряду общепланетарных закономерностей, так как охватывают примеры из самых разных материков и основаны не на единичных ситуациях, а на множественных сходных данных, устойчиво повторяющихся как во времени, так и в пространстве. Объективность их выявления доказывается тем, что одинаковые или близкие по своей природе факты описывались исследователями разных поколений независимо друг от друга, на основании совершенно различных подходов и с использованием разных методов исследования. Кроме того, весьма существенно то, что собранные воедино эти факты, по сути дела, характеризует с разных сторон одно и то же явление и являются взаимосвязанными и взаимодополняющими. Естественно возникает вопрос, каковы могут быть источники проявления описанных процессов и механизмы их реализации, объясняющие как отдельные факты и стороны, так и всю их совокупность и взаимодействие. Нужно найти такие силы, которые действовали бы постоянно на протяжении всей длительной истории развития Земли и которые были бы одновременно ответственны за устойчивое во времени и закономерно симметричное расположение линейных структур относительно естественной системы координат на нашей планете, за строго периодическую повторяемость (цикличность) проявления процессов, типа кинематических инверсий, саму природу этих инверсий и факты разворота векторов силового воздействия на линейные структуры. Нам представляется вполне допустимым если не объяснять, то хотя бы обсуждать возможную роль в проявлении отмеченных закономерностей ротационного фактора, который в отличие от многих процессов, только предполагаемых геологами и геофизиками, действительно реально существует. Не менее значимую роль может играть не только само осевое вращение Земли, но и его периодическое возмущение, связанное с



приливной эволюцией системы Земля–Луна–Солнце [1–3] и выраженное в вариациях угловой скорости вращения Земли, в перемещениях твердого ядра, в смещениях оси вращения – все это также не придуманные процессы, а инструментально фиксируемые.

Итак, обсуждая именно в таком ракурсе представленные материалы и факты и сформулированные на их основе четыре обобщающих позиции, можно по каждой из них сделать определенные комментарии. Отмеченная в первом пункте симметричность расположения линейных подвижных поясов относительно естественной системы координат планеты вполне согласуется с расчетной картиной распределения напряжений в земной коре (рис.7) для случая «...упругой тонкостенной оболочки, заполненной вязкой несжимаемой гравитирующей жидкостью» в условиях изменения угловой скорости вращения [9]. Как раз в соответствии с этой картиной, когда максимальные касательные напряжения действуют по двум диагонально сопряженным направлениям, расположенным под углом  $45^\circ$  к главным нормальным напряжениям, располагается и большинство линейных подвижных зон (см. рис.1), где ярко проявлены сдвиговые деформации.



**Рис. 7.** Поле напряжений земной коры, по [9]. 1 – направление вращения Земли; 2,3 – направления площадок, вдоль которых действуют максимальные касательные напряжения; 4,5 – направления площадок на которые действуют главные нормальные напряжения.

Вторая и третья, из перечисленных позиций, вполне могут найти свое объяснение в вариациях угловой скорости вращения Земли, следствием чего должно быть периодическое изменение ее осевого сжатия (наряду с изменением наклона оси вращения и другими вариациями параметров), приводящее в свою очередь кинематическим инверсиям в диагонально сопряженных одновозрастных подвижных поясах. Естественно речь идет в основном о длиннопериодных вариациях режима вращения, которые объясняются в известной модели Ю.Н. Авсюка [1,2]. Согласно этой модели приливо-гравитационное взаимодействие планеты и спутника в сочетании с возмущением от Солнца имеет отчетливо циклический характер из-за повторяющегося во времени удаления и приближения Луны относительно Земли (траектория «ухода» Луны имеет вид раскручивающейся спирали с шагом по радиусу Земля–Луна). Это вызывает вынужденное перемещение

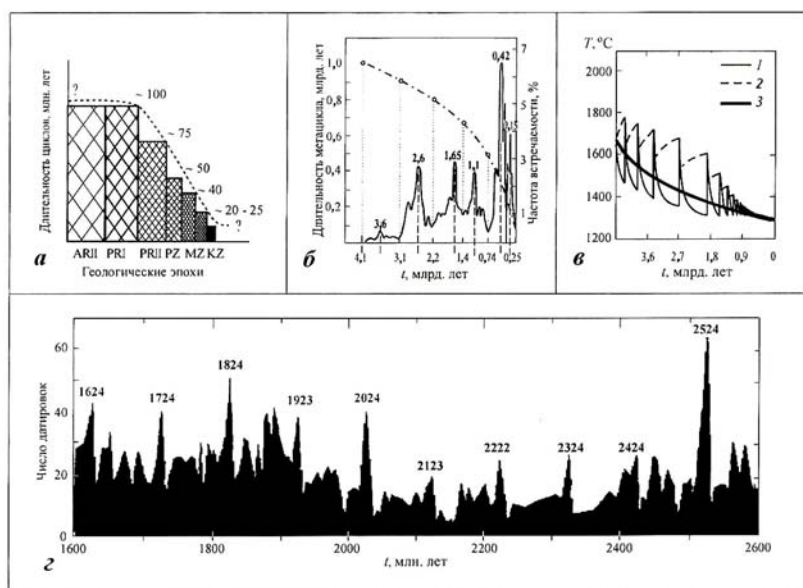
твёрдого ядра и изменение наклона оси вращения Земли относительно плоскости эклиптики, фиксируемого процессом миграции широт. При максимальном приближении Луны к Земле этот угол минимален, при удалении он возрастает. Это имеет следствием периодическую перестройку фигуры геоида, порождающую соответствующие внутренние напряжения в теле планеты и появление областей растяжения и сжатия, когда участки из высоких широт оказываются на более низких широтах, и наоборот. Кроме того, цикл «ухода–прихода» Луны разбивается на четыре фазы с попеременным ускорением и замедлением этого движения, что влияет не только на скорость вращения земного шара и, соответственно, на определенное изменение размера ее осей, но и на движение внутреннего ядра, а также на разную реакцию на приливные силы более «подвижных» оболочек (жидкое ядро, астеносфера, гидросфера) и более твердых геосфер. Все это, несомненно, влияет на эндогенную активность литосферы и мантии и на характер эволюции процессов в них. При медленных перемещениях оси вращения и малых приращениях скорости вращения, что имеет место при прохождении положений наибольшего сближения и удаления Луны и Земли, время релаксации напряжений в породах намного меньше характерного времени изменения напряженного состояния, поэтому перестройка пород происходит без существенных их разрушений. Наоборот, при быстром изменении режима вращения Земли (стадия прохождения Луной среднего положения) характерное время короче периода релаксации и породы испытывают значительные деформации и разрушения (тектогенез).

Выявленное нами «учащение» во времени кинематических инверсий (рис. 8, *a*) свидетельствует о том, что на фоне некоего циклически развивающегося процесса действует направленно нисходящий тренд, свойственный обычно диссипативно развивающимся колебательным системам. Это обстоятельство вполне согласуется с эмпирически установленными фактами подобного же бимодального развития эндогенной активности Земли, выраженного, в частности, через периодическое усиление интенсивности тектоно-термальных событий, зафиксированное в нарушении изотопных систем (рис.8, *b*, *в*) [7,29].

С одной стороны, эта периодичность отличается заметной регулярностью на длительных отрезках времени, позволившей ввести понятие так называемых геонев – этапов с повторяемостью (по крайней мере, для докембрия) максимальной эндогенной активности с шагом в 100 млн лет [67]. С другой стороны, для нее устанавливается экспоненциальное сокращение во времени длительности циклов (рис.8, *b*) [29].

И в том, и в другом случае это совпадает с выявленными нами тенденциями в характере проявления кинематических инверсий на протяжении эволюции Земли от архея до новейшего времени. Более того, обращает на себя внимание факт удивительного совпадения положения

временных рубежей между геонами и границ кинематических стадий, приходящихся на узко локализованный интервал 20–25 млн лет в каждом 100-миллионном отрезке времени докембрийской эволюции (см. рис.8, *а* и табл. 2, 4). Все это наводит на мысль о вероятной согласованности, а может быть и о генетической взаимосвязанности ротационно-приливных процессов с эндогенной активностью недр Земли.



**Рис. 8.** Сопоставление цикличности кинематических инверсий (*а*) с мегациклическостью эндогенной активности системы кора–мантия (*б*, по [29]), с циклическостью термальных импульсов эндогенного теплового потока (*в*, по [Davies,1995]: 1 – в верхней мантии, 2 – в нижней мантии, 3 – в мантии в целом) и циклическостью максимальной «энергетической разрядки» коры и верхней мантии (*г*), выраженной в периодичности нарушения изотопных систем (по [7])

Наконец, четвертая позиция, свидетельствующая об устойчивом развороте против часовой стрелки вектора силового воздействия в подвижных поясах разного возраста и местоположения, затрагивает, по сути, природу тектонических сил. Учитывая то, что разворот этих сил совпадает с направленностью вращения Земли, и то, что он остается неизменным (исходя из имеющихся данных) на материках как северного, так и южного полушария, объяснение, вероятно, тоже следует связывать с ротационно-приливными явлениями. Так М.А. Садовским и Ю.Н. Авсюком предложено понимание тектонической силы как результата совместного воздействия приливной силы и вариаций

центробежной силы, обусловленных изменением величины и направления вектора осевого вращения Земли [31]. Недавно Б.В. Левин [14] дал свой вариант толкования сил, названных им гироскопическими, порождаемых возмущениями вращательного движения Земли, вызванных вынужденными перемещениями внутреннего твердого ядра под воздействием приливных сил. Латеральная составляющая этой силы, действующей на каждый элемент литосферы в направлении, перпендикулярном плоскости вращения данного элемента (т.е. параллельно оси вращения), испытывает разворот вместе с изменением положения оси вращения Земли. Получается, что оба упомянутых толкования так или иначе объясняют устойчивость разворота сил именно против часовой стрелки. Вопрос состоит лишь в том, достаточно ли силового воздействия ротационных процессов и лунно-земного приливного взаимодействия, чтобы порождать те деформации, которые возникают в коре и литосфере, или же оно не играет креативной роли, выступая только в качестве регулирующего фактора в системе, получающей основные (и достаточные) импульсы из эндогенного источника тектогенеза (конвекция, плюмы)? Традиционно распространено мнение, что напряжения, порождаемые ротационным фактором в земной коре настолько ничтожны, что его влиянием на эволюцию геологических систем можно пренебречь [25]. Однако в последнее время стали появляться работы, показывающие, что неравномерности вращения Земли, перемещения твердого ядра и соответствующие смещения оси вращения (Чандлеровы качания полюса) и приливные эффекты существенно могут влиять на напряженное состояние литосферы, а по своей энергетике эти процессы могут быть весьма значимыми и даже могут существенно влиять на эндогенную жизнь Земли (ее разогрев) [14,15].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 04–05–64862.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Авсюк Ю.Н.* Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.
2. *Авсюк Ю.Н.* Внеземные факторы, воздействующие на тектогенез // *Фундаментальные проблемы общей тектоники*. М.: Научный мир, 2001. С. 425–443.
3. *Авсюк Ю.Н., Суворова И.И.* Процесс изменения широт и его связь с вынужденными перемещениями внутреннего твердого ядра // *Физика Земли*. 2006. №7. С. 66–75.
4. *Анохин В.М., Одесский И.А.* Характеристики глобальной сети планетарной трещиноватости // *Геотектоника*, 2001. №5. С.3–9.
5. III Астрогеологическая конференция по проблемам теории Земли. Тезисы докладов. Л.: АН СССР, 1960.

6. *Баженов М.Л., Буртман В.С.* Палеозойские деформации Тянь-Шаня // Геотектоника. 1997. №3. С. 56–65.
7. *Балашиов Ю.А.* Концепция времени в геологической истории Земли // Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Т.3. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2002. С. 51–75.
8. *Бубнов С.Н.* Основные проблемы геологии. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1960. 235 с.
9. *Долицкий А.В., Кийко И.А.* О причинах деформации земной коры // Проблемы планетарной геологии (Ред. Д.В. Наливкин, Н.В. Тупицын). М.: Госгеолтехиздат, 1963. С. 291–311.
10. *Каттерфельд Г.Н.* Лик земли и ее происхождение. М.: Географиздат, 1962. 152 с.
11. *Клименко А.В.* Глобальные свойства сейсмической активности Земли и их связь с ее вращением. Автореф. канд. дисс. М.: ИФЗ РАН. 2005. 27 с.
12. *Кропоткин П.Н., Трапезников Ю.А.* Вариации угловой скорости вращения Земли, колебаний полюса и скорости дрейфа геомагнитного поля и их возможная связь с геотектоническими процессами // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1963. № 11. С. 32–50.
13. *Кант И.* «Исследование вопроса о том, могли ли произойти изменения во вращении Земли вокруг своей оси, вызывающем смену дня и ночи, с первых дней ее возникновения и как об этом можно узнать». 1754 г.
14. *Левин Б.В.* Роль движений внутреннего ядра Земли в тектонических процессах // Фундаментальные проблемы общей тектоники. М.: Научный мир, 2001. С. 444–460.
15. *Левин Б.В., Павлов В.П.* Влияние астрономических факторов на вариации плотности энергии в твердой оболочке Земли // Физика Земли. 2003. №7. С. 71–76.
16. *Личков Б.Л.* Природные воды Земли и литосфера. М.–Л.: АН СССР, 1960, 163 с.
17. *Лукьянов А.В., Щерба И.Г.* Парагенетический анализ структур как основа тектонического районирования // Тектоника Сибири. М.: Наука, 1972. Т. 5. С. 15–24.
18. *Манк У., Макдональд Г.* Вращение Земли. М.: Мир. 1964. 384 с.
19. *Морозов Ю.А.* О роли транспрессии в формировании структуры свекокарелид Балтийского щита // Геотектоника. 1999. № 4. С. 37–50.
20. *Морозов Ю.А.* Структурообразующая роль транспрессии и транстенсии // Геотектоника. 2002. № 6. С. 3–24.
21. *Морозов Ю.А.* Цикличность кинематических инверсий в подвижных поясах в свете лунно-земных связей // Геотектоника, 2004 а. № 1. С. 21–50.
22. *Морозов Ю.А.* Пространственно-временные закономерности структурообразования в земной коре (с позиций структурно-

- парагенетического анализа). Автореф. докт. дисс. М.: ИФЗ РАН, 2004 б. 42 с.
23. *Морозов Ю.А., Талицкий В.Г.* Структурно-кинематические аспекты эволюции Киргизатинской синформной структуры Южного Тянь-Шаня // Геотектоника. 2006. № 1. С. 44–62.
  24. *Ньютон И.* «Математические начала натуральной философии». Собрание трудов. М–Л: 1936.
  25. *Парийский Н.Н.* Геофизика. Избранные труды. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 236 с.
  26. *Полетаев А.И.* Линеаментная делимость земной коры // Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование: Обзор. М.: «Геоинформмарк», 1994. Вып. 4. 44 с.
  27. Проблемы планетарной геологии (Д.В. Наливкин, Н.В. Тупицын – ред.). М.: Госгеолтехиздат, 1963. 342 с.
  28. *Пучков В.Н.* Образование Урало-Новоземельского складчатого пояса – результат неравномерной косоориентированной коллизии континентов. // Геотектоника. 1996. № 5. С. 66–75.
  29. *Пушкарев Ю.Д.* Мегациклы в эволюции системы кора–мантия. Л.: Наука, 1990. 217 с.
  30. *Расцветаев Л.М.* Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М.: Изд-во ГИН АН СССР, 1987. Ч. II. С. 173–235.
  31. *Садовский М.А., Авсюк Ю.Н.* Физический эквивалент понятия «тектоническая сила» // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 3. М.: Янус-К, 2002. С. 84–93.
  32. *Славин В.И.* Тектоника Афганистана. М.: Недра, 1976. 204 с.
  33. Структурные перестройки и размещение металлогенических зон в складчатых областях. М.: Недра, 1981. 222 с.
  34. *Стовас М.В.* Некоторые вопросы тектогенеза // Проблемы планетарной геологии (Ред. Д.В. Наливкин, Н.В. Тупицын). М.: Госгеолтехиздат, 1963. С. 222–274.
  35. *Стовас М.В.* Избранные труды. М.: Недра, 1975. 155 с.
  36. *Страхов Н.М.* Типы климатической зональности в после протерозойской истории Земли и их значение для геологии // Изв. АН СССР. Серия геол. 1960. № 3. С. 23–85.
  37. *Тевелев Ал.В.* Особенности развития магматизма и формирования складчато-покровной структуры южной части Восточно-Уральского мегаблока // Общие вопросы тектоники. Тектоника России. Материалы XXXIII тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2000. С. 510–514.

38. *Тяпкин К.Ф.* Вращение Земли – фактор, определяющий направленность геологических процессов и геофизические поля // Геофизика, 1994. №4. С. 8–14.
39. *Тяпкин К.Ф., Довбич М.М.* О напряжениях, возникающих в тектоносфере в результате изменения ротационного режима упруговязкой Земли // Геофизический журнал, 2002. №2. Т. 24. С. 52–59.
40. *Фридман А.М. и др.* О связи глобальной сейсмической активности Земли с особенностями ее вращения // Сейсмология и вулканология. 2005. №1.
41. *Хаин В.Е.* Роль астрогеологических факторов в развитии земной коры и в формировании ее мегаструктуры // Тез. докл. III Астрогеологической конференции по проблемам теории Земли. Л.: АН СССР, 1960. С. 34–35.
42. *Хаин В.Е.* Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. 511 с.
43. *Хаин В.Е.* Крупномасштабная цикличность, ее возможные причины и общая направленность тектонической истории Земли // Фундаментальные проблемы общей тектоники. М.: Научный мир, 2001. С. 403–424.
44. *Хаин В.Е.* Глобальная геодинамика на пороге нового века // Геотектоника, 2002. №4. С. 3–13.
45. *Шахтыров В.Г.* Расчленение и корреляция магматических комплексов на основе знакопеременного режима горизонтальных тектонических движений (Верхне-Колымский регион) // Эволюция петрогенеза и дифференциации вещества Земли. Матер. междунар. петрограф. совещ. «Петрография XXI века». г. Апатиты, 20–22 июня 2005 г. Апатиты. ГИ КНЦ РАН. 2005. С. 281–284.
46. *Andronicos C.L., Holister L.S., Davidson C., Chardon D.* Kinematics and tectonic significance of transpressive structures within the Coast Plutonic Complex, British Columbia // Journ. Struct. Geol., 1999. V. 21. P. 229–243.
47. *Armstrong R.A., Wilson A.H.* A SHRIMP U-Pb study of zircons from the layered sequence of the Great Dyke, Zimbabwe and granitoid anatectic dyke // Earth. Planet Sci. Letter. 2000. V. 180. P. 1–12.
48. *Barton J.M., Doig R., Smith C.B. et al.* Isotopic and REE characteristics of the intrusive charnoenderbite and enderbite geographically associated with the Matok Pluton, Limpopo Belt, southern Africa // Precambrian Research. 1992. Vol. 55. P. 451–467.
49. *Blenkinsop T.G., Frei R.* Dating the intrusion of the Razi Granites Zimbabwe: Tectonic implications for the Northern Marginal Zone of the Limpopo Belt and the Zimbabwe Craton. In: Dirks P., Jelsma H. (eds.) Abstracts Intraplate Magmatism and Tectonics of southern Africa, Harare, 1997. V.4.

50. *Boullier A.M.* Sense of shear and displacement estimates in the Abeibara-Rarhous late Pan-African shear zone, Adrar des Iforas, Mali // *Journ. Struct. Geol.* 1986. Vol. 8. P. 47–58.
51. *Brandl G., Reimold W.U.* The structural setting and deformation associated with pseudotachylite occurrences in the Palala Shear Belt and Sand River gneiss, Northern Transvaal // *Tectonophysics*, 1990. V. 171. P. 201–220.
52. *Broekhuizen A., McCourt S.* Structural evolution of the Koedoesrand hills and surrounding area North-West Transvaal South Africa. Centennial Geocongress of the Geological Society of South Africa, Johannesburg, South Africa, 1995, P. 280.
53. *Brun J.-P., Burg J.-P.* Combined thrusting and wrenching in the Ibero-Armorican arc // *Earth Planet. Sci. Letters*. 1982. Vol. 61. P. 319–332.
54. *Bumby A.J., Eriksson P.G., Van Der Merwe R., Brummer J.J.* Shear-zone controlled basins in the Blouberg area, Northern Province, South Africa // *Journ. African Earth Sci.* 2001. Vol. 33. P. 445–461.
55. *Caby R., Arthaud M.* Major precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceara, northeast Brazil // *Geology*. 1986. Vol. 14. P. 871–874.
56. *Choukroune P.* Tectonic evolution of the Pyrenees // *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 1992. Vol. 20. P.143–158.
57. *Cogne J.* Le Massif Armoricaïn // *Geologie de la France*. 1974. Vol. 1. P. 105–161.
58. *Cogne J.P., Choukroune P., Cogne J.* Cisaillements varisques superposes dans le massif de Lanvaux (Bretagne Centrale) // *Comptes Rendus Academie des Sciences*. Paris, 1983. Vol. 296. P. 773–776.
59. *Coomer P.G., Coward M.P., Lintern B.S.* Stratigraphy, structure and geochronology of ore leads in the Matsitama schist belt of Northern Bptswana // *Precambrian Research*, 1977. V. 5. P. 23–71.
60. *Culshaw N., Ketchum J., Barr S.* Structural evolution of the Makkovik Province, Labrador, Canada: Tectonic processes during 200 Ma at a paleoproterozoic active margin // *Tectonics*. 2000. Vol. 19. P. 961–977.
61. *Davison I., Mccarthy M., Powell D. et al.* Laminar flow in shear zones: the Pernambuco shear zone, NE Brazil // *Journ. Struct. Geol.* 1995. Vol. 17. P. 149–161.
62. *Ebert H.D., Chemale F., Babinski M. et al.* Tectonic setting and U/Pb zircon dating of the plutonic Socorro Complex in the transpressive Rio Paraiba do Sul Shear Belt, SE Brazil // *Tectonics*. 1996. Vol.15. № 2. P. 688–699.
63. *Evenchick C.A.* Northeast-trending folds in the western Skeena Fold Belt, northern Canadian Cordillera: a record of Early Cretaceous sinistral plate convergence // *Journ. Struct. Geol.* 2001. Vol. 23. P. 1123–1140.
64. *Guineberteau B., Bouchez J.-L., Vignerresse J.-L.* The Montagne granite pluton (France) emplaced by pull-apart along a shear zone // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1987. Vol. 99. P. 763–770.
65. *Hanmer, S., Passchier, C.W.* Shear sense indicators: a review. Geological Survey of Canada, 1991. Vol. 90. 71 p.



66. *Hickman M.H., Wakefield J.* Tectonic implications of new geochronologic data from the Limpopo belt at Pikwe, Botswana, southern Africa // *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1975. V. 86. P.1468–1472.
67. *Hofmann H.J.* Precambrian time units and nomenclature – The geon concept // *Geology*. 1990. Vol. 18. P.340–341.
68. *Holzer L., Frei R., Barton J.M., Kramers J.D.* Unraveling the record of successive high grade events in the Central Zone of the Limpopo Belt // *Prec. Res.* 1998. Vol. 87. P. 87–115.
69. *Irving E., Wynne P.J., Thorkelson D.J., Schiarizza P.* Large northward movements of tectonic domains in the northern Cordillera, 83–45 Ma // *Journ. Geoph. Res.* 1996. V. 101. P. 901–916.
70. *Jegouzo P.* The South Armorican Shear Zone // *Journ. Struct. Geol.* 1980. V. 2. P. 39–47.
71. *Kamber B.S., Biino G.G., Wijbrans J.R. et al.* Archaean granulites of the Limpopo Belt, Zimbabwe: one slow exhumation or two rapid events? // *Tectonics*, 1995. V. 15. P. 1414–1430.
72. *Ketchum J.W.F., Culshaw N.G., Dunning G.R.* U-Pb geochronologic constraints on Paleoproterozoic orogenesis in the northwestern Makkovik Province, Labrador, Canada // *Can. Journal of Earth Sci.* 1997. Vol. 34. P. 1072–1088.
73. *Kramers J.D., Kreissig K., Jones M.* Crustal heat production and style of metamorphism: a comparison between two Archean high grade provinces in the Limpopo Belt, southern Africa // *Prec. Res.* 2001. Vol. 112. P. 149–163.
74. *Kreissig K., Holzer L., Frei R. et al.* Geochronology of the Hout River Shear Zone and the metamorphism in the Southern Marginal Zone of the Limpopo Belt, Southern Africa // *Prec. Res.* 2001. Vol. 109. P. 145–173.
75. *Lamouroux C., Soula J.C., Deramond J., Debat P.* Shear zones in the granodiorite massifs of the Central Pyrenees and the behaviour of these massifs during the Alpine orogenesis // *Journ. Struct. Geol.* 1980. Vol. 2. P. 49–53.
76. *Machado N., Clark T., David J., Goulet N.* U-Pb ages for magmatism and deformation in the New Ouebec Orogen // *Can. Journal Earth Sci.* 1997. Vol. 34. P. 716–723.
77. *Machado N., Goulet N., Gariépy C.* U-Pb geochronology of reactivated Archean basement and of Hudsonian metamorphism in the northern Labrador Trough // *Can. Journal Earth Sci.* 1989. Vol. 26. P. 1–15.
78. *McCourt S., Vearncombe J.R.* Structure of the Limpopo belt and adjacent granitoid-greenstone terranes: implications for Late Archaean Crustal evolution in Southern Africa // *Precambrian Res.*, 1992. V. 55. P. 553–570.
79. *Mengel F., Rivers T., Reynolds P.* Lithotectonic elements and tectonic evolution of Torngat orogen, Saglek Fiord, northern Labrador // *Can. Journal Earth Sci.* 1991. Vol. 28. P. 1407–1423.
80. *Neves S.P., Mariano G.* Assessing the tectonic significance of a large-scale transcurrent shear zone system: the Pernambuco lineament, NE Brazil // *Journ. Struct. Geol.* 1999. Vol. 21. P. 1369–1383.

81. *Noce C.M., Macambira M.J., Soares A.C.* Chronology of neoproterozoic-cambrian granitic magmatism in the Araçuaí Belt, eastern Brazil // *Revista Brasileira de Geociências*. 2000. Vol. 30. P. 25–29.
82. *Powell C., Cole J.P., Cudahy T.J.* Megakinking in the Lachlan Fold belt, Australia // *Journ. Struct. Geol.* 1985. Vol. 7. P. 281–300.
83. *Roering C., van Reenen D.D., Smit C.A. et al.* Tectonic model for the evolution of the Limpopo Belt // *Precambrian Research*, 1992. V. 55. P. 539–552.
84. *Schaller M., Steiner O., Studer I. et al.* Exhumation of Limpopo Central Zone granulites and dextral continent-scale transcurrent movement at 2.0 Ga along the Palala Shear Zone, Northern Province, South Africa // *Precambrian Research*, 1999. V. 96. P. 263–288.
85. *Scharer U., Krogh T.E., Wardle R.J., Ryan B., Ganhdi S.S.* U-Pb ages of early and middle Proterozoic volcanism and metamorphism in the Makkovik Orogen, Labrador // *Can. Journal of Earth Sci.* 1988. Vol. 25. P. 1098–1107.
86. *Scott D.J., Machado N.* U-Pb geochronology of the northern Torngat orogen, Labrador, Canada: a record of Paleoproterozoic magmatism and deformation // *Precambrian Research*. 1995. Vol. 70. P. 169–190.
87. *Sylvester A.G.* Strike-slip faults // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1988. Vol. 100. P. 1666–1703.
88. *Teisseyre R., Takeo M., Majewski E. (Eds.)* Earthquake Source Asymmetry, Structural Media and Rotation Effects. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 582 p.
89. *Van Reenen D.D., Barton J.M., Roering C. et al.* Deep crustal response to continental collision: the Limpopo belt of southern Africa // *Geology*, 1987. V. 15. P. 11–14.
90. *Wernick E., Artur A.C., Hormann P.K. et al.* O magmatismo alcalino potássico Piracaia, (SE Brazil): aspectos composicionais e evolutivos // *Revista Brasileira de Geociências*. 1997. Vol. 27. P. 53–56.

**Морозов Юрий Алексеевич.** Закончил кафедру исторической и региональной геологии геологического ф-та МГУ и аспирантуру ИФЗ РАН. Доктор геолого-минералогических наук, академик РАЕН. Зам. директора ИФЗ РАН, профессор кафедры динамической геологии геологического Ф-та МГУ. Специалист в области структурной геологии метаморфических комплексов, тектонофизического моделирования. Занимается изучением планетарных геодинамических процессов на основе структурно-кинематических данных и материалов геофизических исследований.

**РОТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ТЕКТОГЕНЕЗА – ИСТОРИЯ  
ВОПРОСА И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ**

Л.И. Иогансон

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

**Ведь каждый день пред нами солнце ходит,  
Но все же прав упрямый Галилей.**

**А.С. Пушкин**

**Аннотация.** Проведен анализ литературных данных и эволюции представлений, касающихся ротационных процессов как геодинамически значимых факторов.

В истории великих геологических споров, включающих дискуссии между плутонистами и непунистами, катастрофистами и эволюционистами, наконец, фиксистами и мобилистами, как-то не нашлось места для давнего противостояния между сторонниками «Земли – тепловой машины» и Земли – космического тела со всеми вытекающими следствиями о приоритете энергетических источников в процессах тектогенеза. Основные постулаты наиболее известных и долгоживущих геотектонических концепций, (для примера назовем только некоторые из них – контракции, геосинклинально-платформенная, тектоники плит) были полностью сосредоточены на внутриземных процессах, рассматриваемых как производные от теплового режима, и индифферентны к космическому статусу Земли.

Вращение Земли или ротационный фактор в ее жизни, тем не менее, не ускользал от внимания многих естествоиспытателей, высказывавших свои соображения об устройстве Земли, начиная с довольно раннего времени. Однако «ротационные мотивы» долгое время звучали не в унисон с прочной эмпирической, чисто земной основой ведущих геотектонических концепций. В отрыве от последних, некими аутсайдерами, они существовали в виде все увеличивающегося набора дедуктивных заключений, остроумных догадок, некоторых наблюдений. Так, начиная с XVII-XVIII веков, сложилась система взглядов на причины тектогенеза, основанная исключительно на ротационных источниках тектонической энергии. В этом качестве рассматривались приливные и полюсобежные силы, а также воздействие изменения скорости вращения Земли. Подобные идеи имеют, таким образом, достаточно солидный возраст и достаточно сходное содержание: 1. Приливные силы обуславливают западный дрейф континентов; 2. Полюсобежные силы вызывают формирование горных поднятий в низких широтах; 3. С изменениями скорости вращения Земли связаны определенные дислокации земной коры.

Ситуация изменилась в первой трети XX века, когда на смену контракционной гипотезе пришли многочисленные геотектонические концепции с разработкой иных механизмов тектогенеза. Авторы новых гипотез увлеченно манипулировали с возникшими практически одновременно представлениями о подкоровых мантийных течениях и, еще не полагаясь на их возможности так, как это стало позже, во времена триумфа плитной тектоники, стали привлекать ротационные силы в качестве движущих сил процессов тектогенеза. Ретроспективный анализ важнейших геотектонических гипотез этого времени показывает, что самих механизмов тектогенеза оказалось гораздо меньше, чем гипотез. Во многих из них, в той или иной комбинации, рассматривается достаточно узкий набор возможных энергетических источников тектогенеза, которые можно разделить на «тепловые» и ротационные [10]. С этих пор интерес к ротационным силам то усиливался, то затухал в зависимости от господствующей системы (систем) взглядов, формирующей некие приоритеты геологического мировоззрения. В последнее время наблюдается явное возрождение и расширение ротационных представлений, формирующих качественно новый корпус «заготовок» для построения новой теории Земли.

\* \* \*

Возможно, одно из первых упоминаний о влиянии вращения Земли основывается на представлении об ее различных оболочках. Имеются в виду соображения астронома Галлея (1656–1742), о том, что внешняя затвердевшая скорлупа Земли и внутреннее ядро вращаются с различными скоростями, чем объясняется уже известный к тому времени западный дрейф магнитного поля [16].

Ж.Л. Бюффон (1707–1788) в трактате «Теория Земли» (1749) полагал, что под влиянием вращения Земли в постоянной плоскости воды первичного моря, кроме приливов и отливов, испытывали и слабое движение с востока на запад. Бюффон предположил также, что в экваториальных широтах, где центробежная сила максимальна, аккумуляровались размываемые материалы и возникли первые цепи поднятий. А.И. Суворов в своей интереснейшей работе «История мобилизма в геотектонике» [26] отмечает, что именно Бюффон «положил начало ротационным представлениям в тектонике, которые потом получают широкое распространение» [26, с. 12]. В конце XVIII века Б. Герман в развитие взглядов Бюффона рассматривал вращение Земли как причину для концентрического распределения вещества в ее недрах.

И. Кант (1724–1804) не только сформулировал космогоническую концепцию, легшую позднее в основу наиболее внушительной геотектонической контракционной гипотезы, но внес определенный вклад и в интересующие нас проблемы. Так, в качестве прелюдии к своей космогонической гипотезе в 1754 г. Кант опубликовал статью с длинным

названием «Претерпела ли Земля в своем вращении вокруг оси, благодаря которому происходит смена дня и ночи, некоторые изменения со времени своего возникновения», в которой обосновывал замедление осевого вращения Земли приливным трением вод Мирового океана. Поразительно созвучны устоявшимся представлениям мысли философа: под воздействием лунного притяжения морские приливы перемещаются с востока на запад и тормозят земное вращение. «Правда, отмечает Кант, если сопоставить медленность этого движения с быстротой вращения Земли, незначительность количества воды с громадными размерами земного шара, то может показаться, что действие такого движения следует считать равным нулю. Но если, с другой стороны, принять во внимание, что этот процесс совершается неустанно и вечно, что вращение Земли представляет собою свободное движение, малейшая потеря которого остается невозмещенной, то было бы совершенно неподобающим для философа предрассудком, объявить этот малый эффект не имеющим значения» [9, с. 22]. Кант полагал также, что возникновение гор вызывало изменение положения земной оси, что в свою очередь вызывало перемещение полюсов с последующими климатическими изменениями.

В середине XIX века возникли представления об изменениях скорости вращения Земли как причине горообразования. Так, английский геолог Бушпорн (1849) полагал, что при замедлении скорости вращения на экваторе должны возникать складки, а при увеличении – трещины и сбросы. Ш. Шредер (1856), исходя из физических различий между жидким ядром и твердой земной корой, постулировал различные скорости их вращения, вследствие чего в земной коре возникали движения, вплоть до расколов материков. В работе 1862 г. физик В. Томсон (будущий лорд Кельвин) допускал изменения положения географических полюсов, обусловленные перемещением центра тяжести планеты при ее вращении. А. Блитт и Дж. Дарвин высказывали близкие взгляды, придавая большое значение изменениям скорости вращения Земли под влиянием солнечных приливов, что могло повлечь за собой изменение формы Земли (уменьшение ее эллипсоидальности в пользу шарообразности), с последующим накоплением напряжений в коре, дроблением коры на глыбы и смещении последних [24,28,331].

В России XIX века наиболее ярким «ротационистом» был долго слывшийся анонимом (так подписал он свое без преувеличения выдающееся произведение, должным образом оцененное только в середине XX века, когда и было установлено имя его автора) Е.В. Быханов (1838–1915). В своей работе «Астрономические предрассудки и материалы для составления новой теории образования планетной системы» (1877) автор решающее значение придавал изменениям скорости вращения Земли и другим «неправильностям» в устройстве Солнечной системы. Изменение скорости вращения Земли, по его мнению, вызывает изменение

центробежной силы, при уменьшении которой могут возникать процессы горообразования. Увеличение скорости движения Земли способно вызвать латеральные передвижения континентов, из-за чего «...древний материк (Атлантида) вовсе не опускался вниз, как думают, и не покрывался водою, а только отодвинулся далее на запад и в настоящее время существует под именем Америки» [цит. по 28, с.40].

Значительной вехой в развитии и обобщении ротационных представлений следует считать работу швейцарского естествоиспытателя Г. Веттштейна «Потоки твердых, жидких и газообразных веществ и их значение для геологии, астрономии, климатологии и метеорологии» (1880). В ней автор постулирует увеличение центробежной силы от полюсов к экватору под воздействием солнечного притяжения. Приливное воздействие Солнца вызывает также западный дрейф материков, перемещающихся в вязком веществе ядра, чем может объясняться образование Атлантического океана. Таким образом, практически одновременно в России и Швейцарии были высказаны заодно и мобилистические идеи [26].

В начале XX века наблюдался новый всплеск интереса к ротационным силам. Возможность существования двух видов сил – перемещающих континентальные массивы с востока на запад и от полярных областей к экватору активно обсуждалась в научной литературе. Характерно, что активно ищущий обоснование для механизма горизонтального перемещения материков А.Л. Вегенер с большим доверием относился к ротационным силам и предпочел их концепции подкорковых потоков, которая также начала разрабатываться в этот период. Казалось, что наиболее обоснованными были полюсобежные силы. Первооткрывателем силы, перемещающей континенты от полюса к экватору – Polflctkraft, считался Д. Крайхгауэр. В своей работе «Вопросы экватора и геология», издававшейся в 1900 и 1902 г., он дал определение полюсобежной силы, возникающей из-за разности величин центробежных сил в меридиональном направлении, обусловленной различным уровнем положения центров тяжести на вращающейся планете. В десятилетия двадцатые годы XX века в пользу полюсобежных сил высказывались Этвеш, В. Кеппен, П.С. Эпштейн, В.Д. Ламберт, В. Швейдар, Р. Вафре, Р. Бернер, М. Меллер [4].

П.С. Эпштейну принадлежат, видимо, первые количественные расчеты полюсобежной силы, из которых он делает вывод, что «... центробежные силы вращения Земли могут и должны вызывать движение материковых глыб, направленных от полюсов» [4, с.163], однако он полагал, что подобных сил недостаточно для создания гор в низких широтах. Попытки рассчитать величину полюсобежных сил также предпринимали В.Д. Ламберт (1921), М. Меллер (1922), Р. Вафре и Р. Бернер (1925). В.Д. Ламберт нашел максимальное значение этой силы, равное одной тремиллионной силы тяжести для широты  $45^\circ$  и заключил: «Силы,

вызывающие перемещение континентов от полюса существуют, но на вопрос о том, оказывали ли они в течение геологических периодов существенное влияние на положение и форму материков, должны ответить геологи» [4, с. 164]. По подсчетам В. Швейдара (1921) величина полюсобежной силы составляла одну двухмиллионную веса глыбы. В 1925 году были опубликованы расчеты Р. Вафре и Р. Бернера, согласно которым максимальное значение полюсобежной силы на  $45^\circ$  параллели составляло  $1/800000$  веса блока. По этому поводу А. Вегенер писал: «Итак, если мы предположим вместе с Вафре и Бернером, что сила, перемещающая материки от полюса к экватору, составляет  $1/800000$  веса материкового блока, то все же нужно будет учесть, что это в 15 раз больше, чем горизонтальные силы прилива. В то время как последние все время меняют свое направление, сила, перемещающая материки тысячелетие за тысячелетием, действует в неизменном направлении и размерах. Это делает ее способной преодолеть стальную жесткость земной массы в ходе геологических эпох» [4, с.165].

При обосновании западного дрейфа континентов А. Вегенер ссылался на уже упоминавшуюся работу Г. Веттштейна, а также рассуждения Э.Г. Шварца, В.Д. Ламберта, В. Швейдара. Основным источником сил для западного дрейфа рассматривались приливно-отливные силы трения, вызываемые солнечным и лунным притяжением в земной коре. Очевидная незначительность подобных сил, приложимых к упругой Земле (наблюдаемые эффекты) может обернуться совершенно другими масштабами, если принять во внимание остающиеся незамеченными пластические деформации и их способность к накоплению в ходе геологического времени. «Воздействие в форме приливного трения накапливается в течение геологических эпох, а это может, в конце концов, способствовать значительным перемещениям земной коры» [4, с.168]. В. Швейдар постулировал и явления прецессии оси вращения отдельных материков наряду с прецессией земной оси: «Я вычислил, что прецессия вращения оси материка, расположенного между  $-30$  и  $+40$  и меридианами  $0$  и  $40^\circ$  западной долготы, будет в 220 раз больше, чем прецессия оси вращения всей Земли. Таким образом, материк стремится вращаться вокруг оси, которая отличается от оси вращения Земли. Отсюда возникают силы, которые действуют не только в меридиональном направлении, но и в западном и стремятся переместить материк... Эти силы значительно больше, чем сила, вызывающая перемещение материка от полюса к экватору. Они наиболее резко проявляются на экваторе и равны нулю на  $36^\circ$  с.ш. и  $36^\circ$  ю.ш.» [4, с.168].

Дж. Джоли (1924), автор одной из наиболее известных геотектонических гипотез, возникших в период поиска альтернативы контракционной концепции, привлек представления о приливных течениях в расплавленном базальтовом слое под влиянием солнечно-лунного притяжения. Эти течения перемещают в материки в западном

направлении, в результате чего материки и океаны меняются местами [3, 22, 26, 28, 29].

Взаимодействия мощных магматических потоков и ротационных сил Земли составляют основу геотектонической концепции Р. Штауба (1927). Штауб отдавал предпочтение полюсобежным силам, которые обуславливали движение континентов из высоких широт в низкие. Сближение континентов в экваториальных широтах должно вызывать под ними возникновение мощных магматических потоков, направленных к полюсам. Эти потоки раздвигают континенты и приводят к образованию податливых зон растяжения, которые при следующем сближении континентов превращаются в горные складчатые области. Тектонический процесс по Штаубу заключается в непрерывной смене сближения материков в экваториальных широтах под влиянием сил вращения Земли и их распада в результате образования подкоровых мощных течений, которые снова переносят их в высокие широты [3, 24, 28, 31].

Другое направление в разработке представлений о ротационных силах было связано с ролью изменения скорости вращения Земли в тектонических процессах. В конце XIX - начале XX века были высказаны предположения о так называемых критических параллелях, с тяготеющими к ним горно-складчатыми областями, как местах наибольшего накопления тангенциальных напряжений за счет изменения скорости вращения Земли. Вероятно, впервые о критических параллелях и меридианах высказался знаменитый А. Гумбольдт в середине XIX века. Он выделил 35-40-е и 50-60-е параллели, к первым из которых приурочен Средиземно-Гималайский горный пояс. Второй критический широтный пояс на шестидесятих широтах в Азии, а именно в нашей Сибири, очень привлекал Гумбольдта, и он даже планировал его посещение [17]. В пользу существования критических параллелей в конце XIX века высказывались А.А. Тилло, А.А. Карпинский, А.И. Воейков. В работе 1910 года немецкий ученый Бем фон Бемерсгейм высказал убеждение, что энергетическим источником тектогенеза являются изменения скорости вращения Земли. Вызываемые ими тангенциальные напряжения реализуются преимущественно на широтах 35-40°. Сходные взгляды высказывал Л. Поккельс в работе 1911 г. и К. Шнейдер в работе 1912 г. Последний основное внимание уделял распространению вулканизма и увязывал его с низкими широтами. Математическое обоснование критических параллелей было проведено Л.С. Лейбензоном (1910, работа опубликована в 1955 г.), французскими математиками А. Веронне (1912, 1918, 1927) и П. Аппелем (1927). Стронником критических параллелей был также Г. Квириг (1921). Позднее, в 1939 г. известный китайский геолог Ли Сы-гуан писал, что «широтные складчатые зоны, привлекая к себе особое внимание, заставляют предполагать, что они обязаны своим происхождением либо силе прилива и отлива, либо изменению скорости вращения Земли» [цит. по 28, с.49]. В нашей стране сочувственное



отношение к идее критических параллелей разделялось Д.И. Мушкетовым [21], а Б.Л. Личков непосредственно развивал сходные идеи в своих работах, начиная с 1930-х гг. В начале сороковых годов в их пользу высказались В.А. Магницкий и Ф.Н. Красовский. Ряд исследователей (О.П. Слензак, Д.В. Наливкин, А. Кэр, Ли Сы-Гуан и др.) вращение планеты и приливные силы полагают ответственными за образование вихреобразных структур [28, 33].

В защиту ротационных факторов в тектонической жизни Земли в отечественной геологии до известной поры звучали только отдельные голоса, но следует отметить, что это были голоса весьма авторитетных ученых. Так, Д.И. Мушкетов в работе 1935 г. писал: «Несостоятельность большинства тектонических гипотез, зафиксированная даже рядом европейских (геологических) съездов, вызывает все большее стремление искать объяснений закономерностям развития Земли в космических факторах» [21, с.5]. Мушкетов придавал большое значение изменениям формы Земли и увязывал причины некоторых геологических явлений с процессом приспособления геоида к форме сфероида. Он также полагал, что малые, но длительные напряжения, вызываемые ротационными силами, способны породить так называемую «усталость» веществ, приводящую к образованию необратимых деформаций. Ленинградский геолог А.В. Хабаков в начале 40-х годов настаивал на неприменимом учете в геотектонических теориях того факта, что Земля – вращающаяся планета, и ее развитие должно рассматриваться с точки зрения ее взаимодействия с другими небесными телами [3].

Во второй половине XX века накопившиеся эмпирические данные уже заявляли о необходимости ввести в рассмотрение некую дополнительную к существующим источникам энергетики тектогенеза силу, проявления которой лучше всего соответствовали ротационным силам. Так, Н.С. Шатский при анализе разломной тектоники Восточно-Европейской платформы выразительную пространственную ориентировку нарушений и в особенности долгоживущих тектонических швов связывал с ротационными факторами: «Планетарное распределение таких швов определяется вращением Земли и возможными его изменениями» [32, с.23]. Достаточно активно выступал в поддержку необходимости изучать космические факторы в развитии тектогенеза В.Е. Хаин, по крайней мере, в работах 50-х годов. Так, в принципиальной статье 1958 г. «Современные геотектонические гипотезы» он подчеркивал, что движение по планетарным разломам «могут происходить под влиянием астрономических факторов. Игнорировать роль последних, в частности вращение Земли при тектонических движениях, недопустимо» [30, с.138].

Однако, большинство тектонистов именно игнорировали космические факторы в своих построениях, находя мощное оправдание (если таковое требовалось) в расчетах, проведенных Н.П. Парийским и показавшим, что

напряжения, возникающие в твердой Земле от приливных волн и неравномерности вращения Земли, слишком малы, чтобы обеспечить энергетически любые процессы тектогенеза [33].

Повышение интереса к ротационным силам особенно стимулировало развитие исследований сдвиговой тектоники во второй половине XX века. В шестидесятые годы возникло специфическое направление «сдвиговой тектоники», рассматриваемое как особая форма тектонического развития, в формулировке В.Е. Хаина и А.Е. Михайлова. Сдвиги различного масштаба, в том числе глобального, обнаружались в различных регионах мира, их своеобразные проявления и сама география их распространения наводили на мысль о связи этих зон нарушений с особенностями ротационного режима планеты. Странникам сдвиговой тектоники геотектонические построения без учета сдвиговой тектоники и причин, ее вызывающих, казались «ущербными», о чем писал в 1961 г. А.В. Пейве, положивший начало легитимизации сдвигов и активному их изучению на территории нашей страны: «Вероятно, изучение историко-геологических закономерностей (мощности, фации, формации, фазы, циклы и т.д.) при полном или частичном забвении морфологических и общих структурных закономерностей планетарного характера сделали нашу тектонику в известной мере ущербной. ...Кажется странным, что хотя теперь уже ясно, что ни форма Земли, ни ее движение в пространстве не остаются постоянными, а изменяются и эволюционируют – геологи этого не учитывают» [цит. по 25, с.561].

Анализ развития сдвиговых зон в пределах Евразии дал основание А.Л. Яншину высказать предположение о том, что они «... возникают... как механическая реакция на вращение Земли, изменение скорости этого вращения и положение оси вращения» [34, с.33].

В такой атмосфере в 50-60-е годы XX века в отечественной геотектонике возникло особое астрогеологическое направление, ярко заявившее о себе публикацией серии работ и проведением ряда специальных конференций. Возглавил астрогеологическое направление талантливый и оригинальный ученый Б.Л. Личков, наиболее яркими представителями были М.В. Стюас, Г.Н. Каттерфельд, П.С. Воронов, Д.Г. Панов, Э. Краус. Ряд других известных геологов, в том числе весьма авторитетных, например, Д.В. Наливкин и А.В. Пейве, Н.Б. Вассоевич, если не примыкали, то явно сочувствовали этому направлению. Сам термин «астрогеология» был заимствован из работы 1949 г. академика В.Г. Фесенкова, который полагал, что наблюдательный астрономический материал должен использоваться в естественных науках, в том числе геологии. Астрогеологическая группа заявила о своих намерениях создать новую теорию Земли, где были бы учтены не только геологические, но и астрономические, географические, климатологические и метеорологические наблюдения. В сфере рассмотрения этих

исследователей оказались вопросы, явно выпадающие из рула ведущего геотектонического направления того времени – закономерности общего устройства лика Земли с акцентом на просвечивающую упорядоченность ее структуры, взаимодействие различных оболочек планеты, в том числе атмосферы и гидросферы, закономерности в распространении регматической сети разломов, феномен «сдвиговой тектоники», периодичность геологических явлений и др. Нужно ли подчеркивать, что решение связанных с означенными явлениями вопросов, астрогеологии связывали с ротационными особенностями нашей планеты.

Б.Л. Личков [17], наиболее последовательный сторонник ротационных сил в развитии Земли, полагал, что тектоническая структура планеты обусловлена сложным полем напряжений, возникающих вследствие неравномерных движений земного шара по солнечной орбите и вокруг своей оси. Дополнительные напряжения возникают из-за периодических приливных волн, что вместе создает необходимость приспособления структуры Земли к условиям вращения, вследствие чего горообразование является результатом приливного воздействия на литосферу, гидросферу и атмосферу. Поэтому причины тектонических движений следует связывать в основном не с термальными, а с динамическими и именно приливными явлениями. Таким образом, по Личкову «земная тектоника, изменяющая положение материков и создающая затем на материках новые горные структуры, возникла в теле планеты вследствие борьбы в условиях вращения планеты ее гравитационных сил и сил сцепления горных пород» [17, с.70]. Отсюда – решительное отрицание Личковым роли внутренних энергетических источников тектогенеза: «Выводы нашей тектонической теории о создании гор вследствие взаимодействия оболочек Земли можно понять так, что поднятие гор есть резонанс приливного воздействия на литосферу гидросферы и атмосферы... Причины тектонических явлений в основном динамические, а не термальные. Термальный фактор может играть и играет только дополнительную роль. Динамические причины... рождаются в ходе взаимодействия основных оболочек Земли – гидросферы, атмосферы, литосферы и части мантии. Воздействие это носит гравитационный характер, поскольку в основе его лежит гравитационное движение масс этих оболочек» [17, с. 78].

Работами наших астрогеологов как бы вновь открыты критические параллели и меридианы. В этом отношении особенно выделяется серия работ М.В. Стоваса [27], в которых математически моделируется распределение напряжений в земной коре вдоль меридионального направления при изменениях скорости осевого вращения Земли. Главный постулат этого исследователя сводится к следующему: «Весьма вероятно, что в исторической жизни нашей планеты происходило достаточно большое изменение угловой скорости вращения на общем фоне ее незначительного приливного затухания, которое, в конечном счете, и

порождало, через изменение потенциала деформирующих сил, перенапряженное состояние в коровом слое, разрядка которого могла приводить к образованию планетарных глубинных разломов главным образом широтного и меридионального направлений, и... к поверхностной и глубинной складчатости в геосинклинальных областях преимущественно той же ориентировки» [27, с.41]

Согласно построениям Стоваса, вековое замедление скорости вращения Земли проявляется в изменении ее фигуры, уменьшении сплюснутости земного шара. Наряду с этим происходят периодические изменения скорости осевого вращения, также влияющие на фигуру Земли и происходящие в ней процессы. Причиной неравномерности вращения Земли, по М.В. Стовасу, является приливное торможение, осложненное наложением неравномерной солнечной активности и внутривиземных процессов, например, гигантских магматических излияний, приводящих к перестройке фигуры Земли. Смысл критических параллелей заключается в том, что они являются границами зон земной коры, испытывающих разнохарактерные деформации при изменении формы Земли. Так, «при историческом процессе затухания угловой скорости вращения... происходит прогрессивное уменьшение полярного сжатия, которое в свою очередь вызывает изменение объемного расширения  $\Delta$ , в результате чего в высоких широтах должно происходить неравноценное поднятие литосферы и гидросферы и соответствующее опускание их в низких широтах с пограничной зоной на 35-й параллели» [27, с.42].

При ускорении скорости вращения Земли происходит сжатие части земного шара от 35 параллелей до полюсов с максимумом сжатия на последних и одновременное широтное растяжение между 35 параллелями с максимумом растяжений на экваторе. При ускорении скорости вращения наблюдается обратная картина. Эти явления сопровождаются перетеканием подкорового вещества из областей растяжения в области сжатия. В любом случае на 35 параллелях наблюдаются минимальные изменения площади наряду с концентрацией максимальных напряжений, что и вызывает избирательное тяготение к этим параллелям горноскладчатых сооружений. 62 параллели представляют границы менее резких изменений формы Земли и подчеркиваются развитием зон крупных региональных нарушений [27]. «Поэтому совершенно закономерно, пишет М.В. Стовас, что зона 35-й параллели в обоих полушариях является границей докембрийских ядер платформ, т.е. в северном полушарии она является южной границей для Канадской, Русской и Сибирской (учитывая Китайскую) платформ и одновременно северной широтной границей для Бразильской, Африкано-Аравийской и Декано-Австралийской платформ. В южном полушарии зона 35-й параллели служит зоной южной широтной границей Бразильской, Африкано-Аравийской и Австралийской платформ и одновременно северной границей Патагонской платформы. Одновременно зона 35-й

параллели совпадает с каледонской, герцинской и альпийской складчатостью по всем фазам орогенеза» [27, с.40].

Хотелось бы отметить и интереснейшие, хотя и не вызвавшие особого резонанса (возможно, из-за некоторой преждевременности появления) работы Г.Н. Каттерфельда, посвященные объяснению закономерностей общей структуры поверхности Земли [12]. В своих работах основное внимание Каттерфельд уделяет таким в общем известным, но не находящим должного объяснения фактам глобального устройства поверхностной структуры Земли, как антиподальность северного и южного, западного и восточного полушарий, антиподальность материков и океанов, клиновидность южных материков, приуроченность горноскладчатых сооружений и островных дуг к определенным большим и малым кругам земного эллипсоида. Автор предлагает свое объяснение названным феноменам, связывая их с асимметрией и трехосностью фигуры Земли и их изменениями в процессе неравномерного пульсационного осевого вращения, ответственного за возникновение специфических сил, создающих асимметрию вращающихся тел. «Действующие внутри планеты малые силы, причиной которых является гравитационное сжатие, осевое вращение и его непостоянство, помножаясь на миллионы веков своего геологического появления, создают весьма внушительный импульс преобразования внутреннего строения, формы и внешнего вида планеты» [12, с.127]

В рамках астрегеологического направления прозвучали первые работы по закономерностям пространственного расположения разломов Арктики и Антарктики П.С. Воронова, которое находило вполне достаточное объяснение с точки зрения ротационного фактора [5,6,25]. П.С. Воронов последовательно развивал свои взгляды о связи разломных зон Земли, в частности глобальных сдвиговых зон, с особенностями ее ротационного режима. Позднее он предложил концепцию геофлюкций, согласно которой полюсобежные силы обуславливают миграцию, «оплывание» блоков континентальной коры Евразии и Северной Америки к югу в сторону экватора по двум системам глобальных сдвигов северо-западного и северо-восточного простираний (правых и левых) и по системе периконтинентальных сдвиговых зон вдоль тихоокеанских побережий Азии и Северной Америки, а также вдоль южной и юго-западной окраин Восточно-Европейской платформы. В этой связи хотелось бы отметить интереснейшую трактовку Воронова особенностей структуры зоны, расположенной между 100 и 105-м меридианами в.д., выделяющееся на всем протяжении (по крайней мере в северном полушарии) спецификой строения и повышенной тектонической, в том числе сейсмической активностью. По Воронову, это как раз осевая зона «оплывания» к югу Восточно-Сибирской платформы, что и предопределяет ее явный статус оси симметрии деформаций, происходящих в земной коре к западу и востоку от этой линии: «...(в среднем вдоль зоны 100° в.д.) происходит

разделение региональных сдвигов на северо-западные (правые) и северо-восточные (левые), определяющие собой нагнетание вещества местной литосферы с севера на юг в сторону островной дуги Банда в Индонезийском архипелаге. Здесь образуется своеобразная сейсмичная «каменная река» [25, с.14]. (Кстати, Г.Н. Каттерфельд выделяет линию меридианов  $75^{\circ}$  з.д. -  $105^{\circ}$  в.д., соответствующего малой оси экватора, в качестве наиболее «континентального» меридиана, проходящего через наиболее широкие части всех материков (за исключением Африки)).

П.С. Воронову принадлежит замечательное по убедительности и эмоциональности рассуждение об отношении к ротационному фактору в геологических науках в целом: «... одно из самых заблуждений человечества в истории развития науки: живя на вращающемся шаре, созданном в основном ротационными силами в комбинации с силами гравитации, геологи практически всегда игнорировали и игнорируют в своих геотектонических построениях именно то, что Земля круглая и что она вращается. Повторяя эти истины со школьной скамьи, мы почему-то все еще очень мало задумываемся над их физическим геологическим смыслом». [5, с.148].

Хотелось бы верить, что на современном этапе как раз начали об этом задумываться, поскольку ротационные силы входят неотъемлемой и практически основной компонентой в большинство рабочих геодинамических концепций [1, 2, 13-15, 18-23, 29, 35-39 и др.]. Складывается впечатление, что настала пора, о которой писал академик С.В. Калесник, утверждая, что пора уяснить себе окончательно, что Земля – космическое тело и не может развиваться только как внутризамкнутая система, изолированная от действия космических влияний» [11, с. 4].

При этом ротационный механизм заметно усложняется за счет стремления к учету новейших достижений, главным образом, в глубинной геофизике. В последние десятилетия воздействие ротационных сил рассматривается в рамках представления об оболочечном строении Земли, что вносит свою специфику в рассматриваемую проблему.

Одним из наиболее последовательных приверженцев приоритета ротационных сил в оформлении морфоструктуры Земли является К.Ф. Тяпкин, основывая свои построения на особенностях сдвиговой тектоники [29]. Тесная связь структур вращения и сдвига, их взаимодействие и взаимовлияние рассматривается также в сдвигово-ротационной концепции структурной эволюции Земли А.И. Полетаева [23]. Основными структурообразующими линеаментами, по Полетаеву, являются Средиземноморско-Индонезийский и Африкано-Чукотский планетарные линии, отражающие наиболее глубинные неоднородности Земли (на границе ядро-мантия) и в условиях субмеридионального сжатия Земли, обуславливающие правосдвиговые смещения вдоль первого и левосдвиговые вдоль второго.

Следует отметить, что в ряде современных ротационных гипотез, в том числе выдвинутых отечественными исследователями, предлагаются новые источники энергии для тектонических процессов. В связи с вовлечением в рассмотрение оболочечного строения Земли, многими исследователями принимается допущение, что в процессе осевого вращения Земли отдельные ее оболочки движутся с разной скоростью, и возникающее трение на их границах может быть источником дополнительной тепловой энергии, трансформирующейся в конце-концов в тектоногенную [2, 23, 31 и др.]. При этом происходит более быстрое вращение с запада на восток внутренних оболочек земли по отношению к внешним. Именно ротационными приливными силами, замедляющими вращение вышележащих геосфер относительно нижележащих, объясняется теперь уже установленный по отношению к Антарктиде западный дрейф континентов. После долгого затишья на эту тему, поднятую Вегенером, к ней начали активно возвращаться в последнюю треть XX века. Особенно активно пропагандируют эти идеи американский геофизик Р.К. Бостром и итальянский геолог К. Дольони, выдвинувший понятие «тектонического экватора» как линии максимальных скоростей этого дрейфа [35-38]. М.А. Гончаров, [8], предложил оригинальное объяснение западного и *северного* дрейфа континентов на основании заимствованного из физики «правила буравчика» – именно так должны двигаться континенты при допущении под Антарктидой мощного восходящего мантийного потока.

На подобных предпосылках основаны достаточно стройные гипотезы Ю.В. Баркина и О.А. Мельникова. Так, Ю.В. Баркин [2] рассматривает циклическое гравитационное воздействие Луны и Солнца на несферичные неоднородные оболочки Земли как источник значительных дополнительных сил между соседними оболочками, что и приводит к циклическим вариациям напряженного состояния сфер и их деформациям. Относительные смещения оболочек и их центров тяжести ответственны за инверсии тектонических процессов и смену активизаций полюсов Земли. Тем самым объясняется суперконтинентальную циклическую, инверсионные обращения системы Гондвана-Лавразия, закономерности в расположении геологических структур Земли, циклическая эндогенная активность Земли.

О.А. Мельников предложил ротационную гипотезу, состоящую из пяти взаимосвязанных геодинамических механизмов: ротогенеза, дрейфогенеза, пассивного и активного рифтогенеза и сепаратогенеза (геосфегенеза), имеющих общую ротационную природу – вращение Земли вокруг своей оси [18]. В этой гипотезе достаточно органично сочетаются уже знакомые мотивы западного и экваториального дрейфа, а также элементы многих других геотектонических гипотез – от почтенных по возрасту концепций дифференциации вещества до суперсовременных - образования и распада суперконтинентов. Начало процесса заключается в

сепаратогенезе – центробежном разделении слагающего вращающуюся Землю материала под влиянием преимущественно внешнего энергетического источника, в результате которого произошло разделение на различные по вещественному составу и физическим свойствам общеземные сферические оболочки с закономерно возрастающей плотностью от внешних к внутренним. Разделение на оболочки приводит к увеличению скорости вращения внутренних более плотных оболочек и замедлению внешних. Общее замедление скорости вращения Земли с возрастом обуславливает общее разуплотнение материала Земли и разное по величине увеличение объема внутренних оболочек. Более жесткая литосфера по сравнению с увеличивающимися в объеме подстилающими оболочками становится тесной для них, растрескивается и раздвигается. Это называется пассивным рифтогенезом, в результате которого образуются срединно-океанические хребты. В континентальной коре пассивный рифтогенез проявляется в виде радиально ориентированных, расходящихся к экватору зон разломов, расколов и растяжения, вдоль которых закладывались геосинклинальные прогибы, завершившиеся каледонским, герцинским и альпийским орогенезом. Дрифтогенез – проявление центробежных сил, направленных от полюсов к экватору, с ним связано разрастание праматериков Лавразии и Гондваны за счет наращивания субширотными складчатыми сооружениями, а затем распад этих становящихся тесными для расширяющейся Земли праматериков. Механизм ротогенеза обеспечивает более быстрое вращение с запада на восток внутренних оболочек относительно внешних. Из-за неровностей на нижних поверхностях внешних оболочек возникает резко неоднородное поле напряжений с формированием зон сжатия и растяжения, которые ответственны за происхождение глубоководных желобов, островных дуг и задуговых глубоководных котловин окраинных морей.

Р.Г. Гарецкий и А.И. Добролюбов выступили с приливно-волновой гипотезой горизонтальных движений земной коры, суть которой заключается в том, что приливные силы генерируют дискретно-волновые движения, т.н. приливные бегущие волны деформации, которые могут переносить массу и накапливать энергию практически любой величины [7]. Дискретно-волновые однонаправленные движения, возникающие под влиянием приливных сил, рассматриваются авторами в качестве постоянного фактора в жизни Земли, который «необходимо учитывать в глобальной тектонике и он даже может оказаться основным, а все остальные многочисленные факторы могут стать только осложняющими» [7, с.122].

Норвежский геофизик К. Сторетведт [37] предложил гипотезу «глобальной тектоники скручивания». По мнению автора, на границах ядра и мантии, а также верхней и нижней мантии генерируются энергетическо-вещественные плавучие объемы, всплывающие к верхним горизонтам Земли и приводящие к образованию океанов. Эти процессы



имеют ряд важнейших следствий и обуславливают прерывистое развитие планеты: возникновение латеральных физико-химических неоднородностей в мантии, изменение момента инерции планеты и соответственно изменение положение полюсов. Развитие литосферы поэтому должно подчиняться скачкообразным широтно ориентированным скручиваниям, генерирующим складчатые пояса вокруг соответствующего во времени экватора. С ними сопряжены вторичные, ортогональные к ним тектоно-магматические рифты. Из-за общего ротационного замедления такие рифты имели большее распространение в докембрии. Современная картина расположения континентов имеет сходство с архейской, фанерозойская конфигурация сильно отличалась из-за блуждания поясов.

Особое направление в ряду ротационных гипотез развивают Ю.Н. Авсюк и Р.К. Бостром [1,35,36]. Их работы можно назвать следующим шагом как в расширении пространства, охватываемого геотектоническими гипотезами, так и в расширении круга объясняемых явлений. Если в упомянутых выше ротационных гипотезах Земля расценивается как космическое тело, испытывающее воздействие других космических тел, в первую очередь, Солнца и Луны, но все же автономное в рамках Солнечной системы, то в построениях названных авторов Земля и Луна составляют единую систему. А.Н. Авсюк рассматривает Землю вместе с Луной в качестве единой динамической системы Земля–Луна, обладающей общим гравитационным центром. Такое позиционирование Земли как планеты, составляющей с массивным спутником единую систему, имеет самые важные и непосредственные следствия для тектонической жизни Земли. Ю.Н. Авсюк обосновывает цикличность развития этой системы, обусловленной смещениями внутреннего ядра под приливным воздействием Луны и выражающейся в периодическом приближении и удалении Луны от Земли в диапазоне от 55 до 65 земных радиусов. При уменьшении расстояния между Землей и ее спутником наклон экватора к эклиптике уменьшается, при увеличении – увеличивается. В свою очередь это вызывает изменение положения оси вращения Земли и силы тяжести на поверхности Земли. Рассчитана продолжительность этой периодичности, составляющая около 200 млн лет, которой соответствует цикличность многих геологических процессов – проявления орогении, глобальные изменения климата, в частности, великие оледенения, периодичность трансгрессивно-регрессивных циклов в высоких и низких широтах, инверсии геомагнитного поля, характер напряженного состояния Земли.

Р.К. Бостром расценивает Землю с ее массивным спутником как двойную планету (double planet), полагая так же, как и Ю.Н. Авсюк, что они имеют общий барицентр, который находится вне Земли. Приливное воздействие Луны на Землю достаточно значительно для того, чтобы воздействовать на внутренние оболочки Земли и обуславливать

восточный дрейф мантийной оболочки, выражающийся в литосфере западным дрейфом континентов.

Хотелось бы отметить и монографию «Роль сдвиговой тектоники в структуре литосфер Земли и планет земной группы», подготовленную под руководством П.С. Воронова и изданную Санкт-Петербургским отделением издательства «Наука» в 1997 г. [23] В предисловии к книге Воронов подчеркивал, что «закономерная ориентировка глобальных сдвиговых зон, фронтальных поясов сжатия и направлений смещений континентов относительно оси вращения и экватора (направления вращения) указывает на важную роль ротационного режима Земли» [25, с. 20]. Это была последняя работа этого замечательного ученого, которой он хотел привлечь внимание к всестороннему исследованию влияния ротационных сил на сдвиговую тектонику и сопутствующие ей многие геологические процессы. Книга вышла тиражом 500 экземпляров, так что на особый резонанс именно этой книги рассчитывать не приходится, однако как свидетельствует приведенный материал, похоже, что ротационные факторы уже невозможно игнорировать при создании адекватной геотектонической концепции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авсюк Ю.Н. Приливная эволюция системы Земля – Луна // Геотектоника, 1993, №1, с. 13–22.
2. Баркин Ю.В. Небесная механика ядра и мантии Земли: геодинамические и геофизические следствия // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых: Материалы XXXVIII тектон. совещ. М.: ГЕОС, 2005. С.30–33.
3. Варсанюфьева В.А. Происхождение и развитие Земли. Госгеолиздат. 1949. 412 с.
4. Вегенер А. Происхождение континентов и океанов. Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1984. 286 с.
5. Воронов П.С. Очерки о закономерностях морфометрии глобального рельефа Земли. Л., Наука, 1968.
6. Воронов П.С. Роль ротационных сил Земли в истории становления ее литосферы // Эволюция геологических процессов в истории Земли. М., Наука, 1993. С.104–114.
7. Гарецкий Р.Г., Добролюбов А.И. Дискретно-волновое движение системы Земля–Луна и глобальная тектоника. Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых. Материалы XXXVIII тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2005. С. 120–124.
8. Гончаров М.А. Западная и северная компоненты дрейфа континентов как результат вынужденной конвекции мантии по правилу буравчика.

- В кн. Тектоника и геофизика литосферы. Мат. XXXV Тектонического совещания. Т. 1, ГЕОС. 2002. С.128–131.
9. Гулыга А.В. Кант. М.: Молодая гвардия. 1977. 304 с.
  10. Иогансон Л.И. Движущие силы тектогенеза в геотектонических гипотезах // Бюлл. МОИП. отд. геол. №5. С.1–22
  11. Калесник С.В. Предисловие к книге «Очерки о закономерностях морфометрии глобального рельефа Земли». Л.: Наука, 1968. С. 3–4
  12. Каттерфельд Г.Н. К проблеме образования морфологического лика планет типа Земли. Географический сборник. Вып. XV. Астрогеология. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1962. С. 104–131.
  13. Кац Я.Г., Козлов В.В., Полетаев А.И. Ротогенез Земли: структурный анализ и проблемы. М.: Знание, 1991, 40 с.
  14. Красный Л.И. Эволюция тектонических идей от середины XIX столетия до современности. С-Пб: ВНИИОкеанология, 2005. 28 с.
  15. Кропоткин П.Н. Возможная роль космических факторов в геотектонике. Геотектоника, 1970. С. 30–46.
  16. Кэри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. М.: Мир, 1991, 445 с.
  17. Личков Б.Л. К основам современной теории Земли. Л., 1965
  18. Мельников О.А. Ротационный режим Земли – отправной пункт и основа численного и физического моделирования любых геологических процессов. В кн. Тектоника и геодинамика континентальной литосферы. Мат. XXXVI Тектонического совещания, Т. 2, М.: ГЕОС, 2003. С.40–44.
  19. Морозов Ю.А. Цикличность кинематических инверсий в подвижных поясах в свете лунно-земных связей // Геотектоника. 2004. № 1. С.21–50
  20. Морозов Ю.А. Пространственно-временные закономерности структурообразования в земной коре. Автореферат докт дисс. М.: ИФЗ РАН, 2004. 42 с.
  21. Мушкетов Д.И. Региональная геотектоника. Л.-М.: ОНТИ, 1935. 527 с.
  22. Павленкова Н.И. Структура земной коры и верхней мантии и глобальная геотектоника // Спорные аспекты тектоники плит и возможные альтернативы. М.: ОИФЗ РАН, 2002, с. 64–83
  23. Полетаев А.И. Сдвигово-ротационная мотивация структурной эволюции Земли. Тектоника и геофизика литосферы. Материалы XXXV тектонического совещания. М.: ГЕОС. Т. II. 2002. С. 104–107.
  24. Резанов И.А. История геотектонических идей. М.: Наука. 1987. 250 с.
  25. Роль сдвиговой тектоники в структуре литосферы Земли и планет земной группы. С-Пб: Наука. 1997. 586 с.
  26. Слензак Л.И. Вихревые системы литосферы и структуры докембрия. Киев: Наукова думка, 1972. 181 с.
  27. Стовас М.В. О роли неравномерности вращения Земли в образовании планетарных глубинных разломов земной коры. Географический

- сборник. Вып. XV. Астрогеология. М.-Л., Изд. АН СССР, 1962. С. 29–44
28. Суворов А.И. История мобилизма в геотектонике. М., Наука, 1994. 222 с.
  29. Тяпкин К.Ф. О природе горизонтальных сдвигов в земной коре с позиций новой ротационной гипотезы структурообразования // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1981. №3. С. 30–32.
  30. Хаин В.Е. Современные геотектонические гипотезы // Бюлл. МОИП, 1958, отд. геол., т.30, вып.5. С. 138. .
  31. Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии. М.: Научный мир, 2003. 346 с.
  32. Шатский Н.С. О происхождении Пачелмского прогиба // Бюлл. МОИП. отд. геол., т. 30, вып. 5. С. 23
  33. Шолпо В.Н. Структура Земли: упорядоченность или беспорядок? М., Наука, 1986, 158 с.
  34. Яншин А.Л. Тектоническое строение Евразии // Геотектоника. 1965. № 5. С. 67–71
  35. Bostrom R.C. Tectonic consequences of the Earth's rotation. Oxford Univers. Press. 2000. 266 p.
  36. Bostrom R.C. The Earth/Moon double planet. I – Lithosphere mobility // AGU, WPGM Meeting. 2000. Vol. 29, № 06
  37. Doglioni C. The global tectonic pattern // J. Geodyn. 1990. Vol. 12. P. 21–38
  38. Doglioni C., Cuffaro M., Green D., Mongelli F. Hotspots and the westward drift of the lithosphere. // Abstr. 32th IGC. Florence, Italy, 2004.
  39. Storetvedt K.M. Our evolving Planet. Earth History in new Perspective. Bergen. Norway. 1997. 456 p.

**Иогансон Лидия Ивановна.** Ведущий научный сотрудник ИФЗ РАН, кандидат геолого-минералогических наук. Занимается вопросами современной геодинамики, анализом планетарных закономерностей в развитии геодинамических процессов и структур.