

## УСКОРЕННОСТЬ БИОТИЧЕСКОЙ И ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИЙ: БИОТА МОДУЛИРУЕТ ТЕКТониКУ?

А.А. Фомин\*

На основе статистических данных косвенно подкреплена гипотеза В.И. Вернадского о том, что биосфера является геологической силой, строящей поверхность и ближайшие недра планеты. По данным встречаемости находок известных особей животных и по некоторым характеристикам тектонической активности Земли обосновано наличие нескольких ранее неизвестных сокращающихся циклов (от каждого цикла к последующему соседнему, примерно в 1,51 раза, развивающихся на протяжении порядка млрд лет), что подводит к мысли о причинно-следственной связи между этими двумя разными категориями циклов. Влияние тектоники на биоту в той или иной степени давно известно. Однако из-за того факта, что упомянутые циклы носят очень ускоренный характер, трудно представить, что такая сильная ускоренность в тектонических циклах могла возникнуть вследствие внутритектонических причин, тогда как ускоренный характер биотической эволюции по внутрибиотическим причинам вполне возможен. И тогда напрашивается вывод о том, что упомянутые сокращающиеся тектонические циклы промодулировала биота. Приводятся возможные механизмы такого влияния. Для их уточнения требуются дополнительные исследования. Упомянутый вывод является революционирующим для геологии и приоткрывает у биотической эволюции на новом количественном уровне ранее неизвестную её роль активного творца глобальных тектонических (циклических) процессов, что для эволюционной биологии тоже ново. Независимо от этих выводов упомянутая сокращающаяся цикличность представляет интерес сама по себе и впервые (статистически) свидетельствует об ускоренном характере эволюции на столь огромных промежутках времени.

**Ключевые слова:** сокращающиеся циклы, биота, тектоника, магматизм, вулканы, биоразнообразие, ускоренность эволюции, сингулярность, живое вещество в геосфере.

**Ссылка для цитирования:** Фомин А.А. Ускоренность биотической и тектонической эволюций: биота модулирует тектонику? // Жизнь Земли. 2024. Т. 46, № 1. С. 33–47. DOI: 10.29003/m3772.0514-7468.2024\_46\_1/33-47.

Поступила 15.10.2023 / Принята к публикации 21.02.2024

## ACCELERATION OF BOTH BIOTIC AND TECTONIC EVOLUTIONS: DOES BIOTA MODULATE TECTONICS?

A.A. Fomin

Foreign participant of the section "Mathematical modeling of global and regional dynamics in the conditions of modernization of the science and education systems" of the Fundamental Research Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences "Economics and sociology of science and education", Kyrgyz Republic

The old hypothesis by Academician V.I. Vernadsky of the biosphere being a geological force to build the surface and immediate interior of our planet is indirectly supported based on statistical data. According to occurrence data on findings of all known animal specimens and according to some characteristics of the tectonic activity of the Earth, the presence of

\* Фомин Алексей Александрович – иностранный участник направления «Математическое моделирование глобальной и региональной динамики в условиях модернизации систем науки и образования» Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Экономика и социология науки и образования», Кыргызская Республика, lesha74@rambler.ru.

*several previously unknown cycles shortening from cycle to cycle (approx. By a factor of 1.51) over about a billion years, is substantiated. This leads to an idea of a cause-and-effect relationship between these two different categories of cycles. The influence of tectonics on biota, to one degree or another, has long been known. However, due to the mentioned cycles being rather accelerated, it is difficult to imagine that such strong acceleration in the tectonic cycles could arise due to some intra-tectonic causes, whereas the accelerated nature of biotic evolution due to some intrabiotic causes is quite possible. So, a conclusion arises of the mentioned contracting tectonic cycles being modulated by biota. Possible mechanisms of such influence are hypothesized, their clarification requiring additional research. This conclusion is revolutionary for geology and reveals biotic evolution's previously unknown role as an active creator of global tectonic (cyclic) processes at a new, quantitative level, which is also revolutionary for evolutionary biology. But, regardless of these conclusions, the mentioned decreasing cyclicality is of interest itself, for the first time (statistically) speaking about the accelerated nature of evolution over such vast time periods.*

**Keywords:** contracting cycles, biota, tectonics, magmatism, volcanoes, biodiversity, accelerated evolution, singularity, live matter in the biosphere.

**For citation:** Fomin, A.A., "Acceleration of both biotic and tectonic evolutions: does biota modulate tectonics?", *Zhizn Zemli [Life of the Earth]* **46**, no 1, 33–47 (2024) (in Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.29003/m3772.0514-7468.2024\_46\_1/33-47.

**Введение.** Традиционно в эволюции под цикличностью подразумевается, как правило, постояннопериодическая цикличность. Например, суперконтинентальные циклы [3], циклы распространённости хищников и жертв [21], кондрагьевские циклы и их подциклы в экономике [8]. Но более внимательное рассмотрение, например, последних, подводит к мысли, что они могут сокращаться от цикла к циклу примерно в 1,51 раза [15], не являясь постояннопериодическими, как это поначалу предполагалось. Хотя это не значит, что все глобальные эволюционные циклы сокращаются. А.Д. Панов объединил две известные качественные глобальные периодизации, относящиеся к миру как к целому: одна к биотической, другая к социально-экономической эволюциям, и обнаружил, что объединённая цикличность обладает тем свойством, что циклы от цикла к циклу сокращаются примерно в одно и то же количество раз [11]. Это отражает единый ускоренный характер эволюции от возникновения жизни до современности. Аналогичный результат был получен А.В. Коротаяевым с использованием периодизации, объединяющей биотическую и социально-экономическую эволюции, построенной Р. Курцвейлом [9]. В работах [16, 25] было дано объяснение того, почему такая глобальная сокращающаяся цикличность возникает. При этом соответствующие сокращающиеся циклы имеют точку сингулярности: когда частота смены циклов формально обращается в бесконечность (а их длительность стремится к нулю). В случае упомянутых циклов (по А.Д. Панову она получилась равной  $2004 \pm 15$  годам) А.В. Коротаяевым была уточнена и получилась по одним точкам равной 2027, а по другим – 2029 годам [9]. Но недостатком подобных периодизаций является субъективная составляющая. Вне такой субъективности (на основе статистических данных) сокращающиеся циклы ранее были известны в развитии землетрясений [37], ледотрясений [24], оползней [34], в показателях финансовых рынков [12]. Но там охватываемый промежуток обычно не более 100 лет. Это не претендует на статус всеобъемлющей глобальной цикличности, в частности, потому, что рассматриваемые процессы носят пространственно локальный характер. В работе [14] была сделана попытка выявления глобальной сокращающейся цикличности (относящейся ко всему миру) согласно статистическим данным по некоторым показателям неравенства в объёме мозга гоминид и числа жителей населённых пунктов. Она оказалась совместимой с точкой сингулярности в 2037 г. Более детальное исследование (планируется к публикации) дало её уточнение: ~2050 г. В данной статье реализована

попытка выявления глобальной сокращающейся цикличности по статистическим данным встречаемости особей животных и некоторым показателям тектонической активности.

**Логарифмический масштаб.** Циклы, сокращающиеся от цикла к циклу в одно и то же количество раз, обладают тем свойством, что если начало отсчёта времени поместить в точку сингулярности и время измерять в логарифмическом масштабе, то они будут выглядеть как постояннопериодические. Логарифмический масштаб в данном случае означает, что вместо времени нужно взять логарифм от модуля времени<sup>1</sup>. Но ниже для наглядности будет использован не логарифмический масштаб, а логарифмическая шкала. А т. к. циклы будут рассматриваться с длиной порядка миллиона лет и больше, то для простоты начало отсчёта будет помещаться в начало нашей эры: в логарифмическом масштабе они будут выглядеть практически как постояннопериодические.

**Сокращающиеся циклы во встречаемости особей животных.** В палеонтологической базе [33] собрана самая полная коллекция палеонтологических находок особей организмов с их датировкой. Встречаемость особей животных по ней (**рис. 1**) обнаруживает циклы, которые совпадают с демографическими циклами мирового народонаселения, если их экстраполировать в прошлое. Экстраполяция на рис. 1 показана чередованием светлых и тёмных полос. При этом в контексте данной статьи связь с демографией не важна: ключевое – то, что циклы сокращаются.

На рис. 1 умещается 14 циклов. Их длительность сократилась примерно в  $\approx 1,51^{14} \approx 320$  раз. И если первый длился  $\sim 200$  млн лет, то последний –  $\sim 0,5$  млн лет. Т. е. за  $\sim 500$  млн лет темпы биотической эволюции ускорились примерно в 320 раз, что является проявлением внутрибиотических эволюционных причин, поскольку иные причины столь стремительных эволюционных изменений трудно себе представить.

Скорее всего, сокращение циклов происходит из-за ускоренного роста биоразнообразия, т. к. для одного и того же его прироста требуется в среднем всё меньше и меньше времени. В [16, 25] было сделано предположение, что в среднем каждый сокращающийся цикл заканчивается тогда, когда биоразнообразии (или мировое народонаселение) увеличивается в одно и то же количество раз. Как там показано, если бы биоразнообразии и мировое народонаселение росли по гиперболе, то такие циклы сокращались бы от цикла к циклу в одно и то же количество раз. А если ещё и гиперболой биоразнообразия с точностью до константы пропорциональности совпадёт с гиперболой народонаселения Земли, это будет означать, что биотические сокращающиеся циклы будут перерастать в социально-экономические – т. е. могут быть единым эволюционным целым. В [16, 25] приводится обоснование, что эти гиперболы едины (для реконструированного видового морского палеонтологического биоразнообразия и для народонаселения Земли), если учесть неполноту данных из-за изменения уровня Мирового океана.

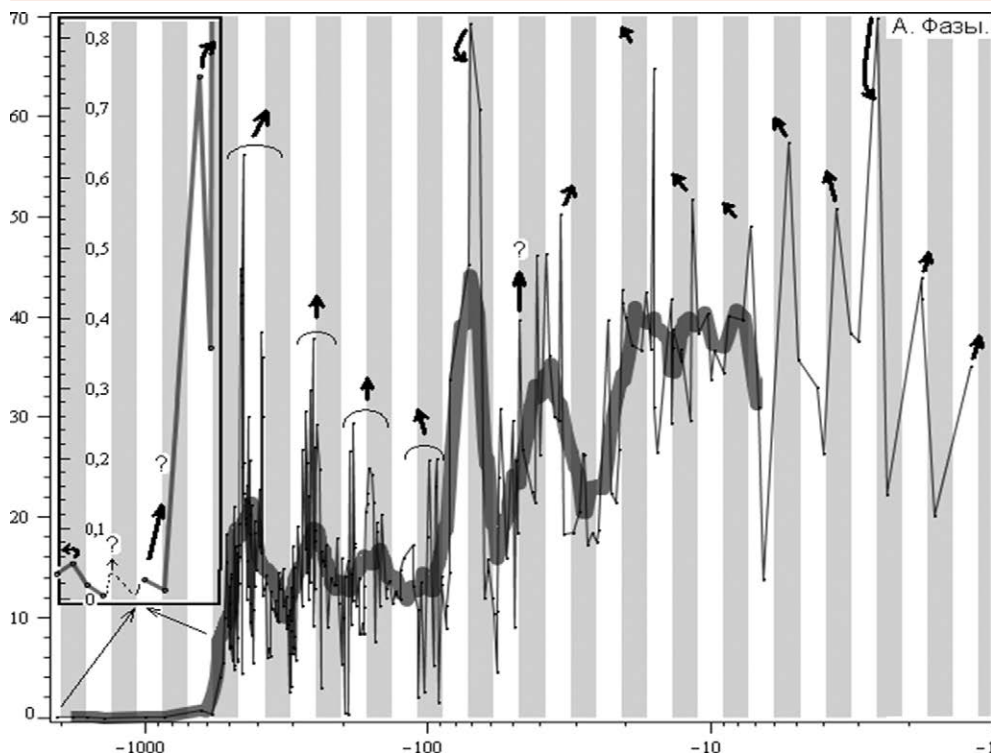
**Встречаемость циркона.** Любопытно то, что с циклами рис. 1, судя по встречаемости циркона<sup>2</sup>, коррелирует магматическая активность (**рис. 2**).

Пики приходятся в среднем на середины (идеальных) биотических циклов (на концы светлых полос). Один из пиков выражен слабо: как раз там, где недостаёт пика на рис. 1 (знаки вопроса).

**Встречаемость щелочного и субщелочного магматизма.** Аналогичные циклы есть во встречаемости субщелочного и щелочного магматизма (**рис. 3**). Этот магматизм – самый глубинный, иногда его источник уходит до границы ядро–мантия [6].

<sup>1</sup> Модуль взят, т. к. если начало отсчёта поместить в будущее, то моменты событий перед ним будут отрицательны, а вещественная функция логарифма определена лишь на положительных значениях.

<sup>2</sup> Чрезвычайно устойчивый минерал магматического происхождения, выдерживает более 1690°C [10].



**Рис. 1.** Протодемографические глобальные эволюционные сокращающиеся циклы во встречаемости особей животных (максимальное число в тысячах, которое могло бы быть известно к данному моменту с учётом погрешности датирования). Абсциссы точек:  $-2050 - 1,2$  календарных млн лет<sup>3</sup>. Толстая ломаная линия: скользящее среднее точек по сокращающимся интервалам<sup>4</sup>. Тёмные полосы – вторые половины идеальных сокращающихся от цикла к циклу в  $\approx 1,51$  раза циклов, которые плавно перерастают в демографические.

**Fig. 1.** Contracting protodemographic global evolutionary cycles of the occurrence of animal specimens (the maximum number in thousands which could be known at this time, taking into account dating errors). X-axis range:  $-2050 - 1.198$  calendar million years. Thick broken line: the moving average of points over decreasing intervals. Dark stripes: the 2<sup>nd</sup> halves of ideal contracting (by  $\approx 1.51$  times from cycle to cycle) cycles smoothly developing into demographic ones.

Возможно, из-за неё циклы рис. 3 демонстрирует смещение колебаний по сравнению с рис. 2. Восми циклам рис. 3 соответствует сокращение длительности в  $\approx 1,51^8 \approx 27$  раз. Такой рост интенсивности цикличности тоже трудно объяснить исключительно внутриплитными причинами (связанными с конвективными процессами в мантии и без учёта каких-то дополнительных факторов).

**Встречаемости внутриплитного базит-ультрабазитового магматизма.** Аналогичная картина для встречаемости базит-ультрабазитного магматизма (минералы магматических пород) (рис. 4). Как и для циркона, кульминации имеют тенденцию приходиться на середины биотических циклов рис. 1. Число полных циклов –  $\sim 10$ , сокращение их длительности  $\approx 1,51^{10} \approx 62$  раза.

<sup>3</sup> Время считается отрицательным, т. к. оно – до н. э.: если взять по модулю, то получится млн лет до н. э.

<sup>4</sup> Усреднение по всевозможным интервалам времени, выглядящим как одинаковые в логарифмической шкале времени с началом отсчёта в точке сингулярности и касающимся одной из своих граней датировок одной из точек, не выходя за общий диапазон точек с крупнейшим шагом 40 млн лет.

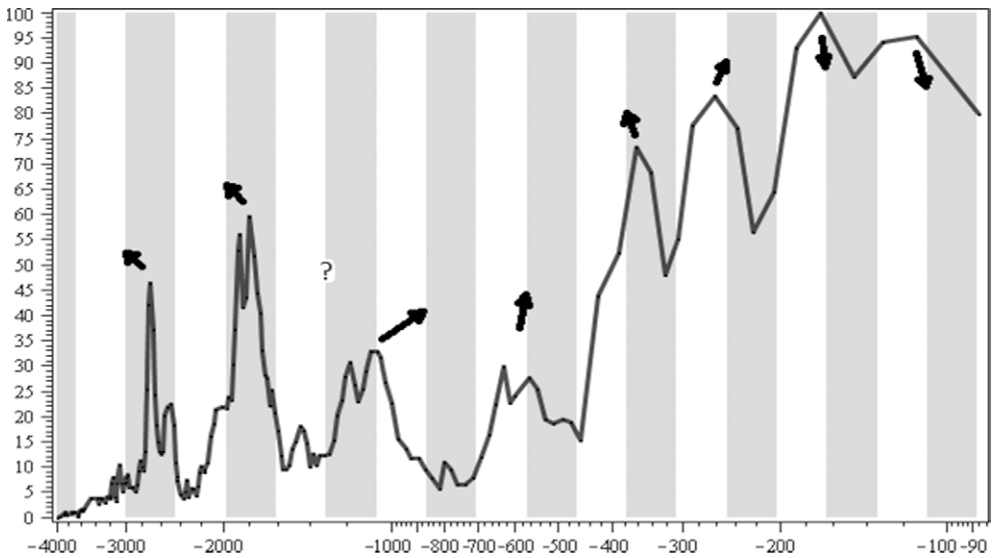


Рис. 2. Сокращающиеся циклы в интенсивности датировок (относительные единицы) цирконов. Абсцисса точек: -3999 – -87,6 календарных млн лет. Тёмные полосы: как на рис. 1. Кривая – из [13].

Fig. 2. Contracting cycles in the dating intensity (relative units) of zircons. X-axis range: -3999 – -87.6 calendar million years. Dark stripes are as in Fig. 1. The curve is from Ref. [13].

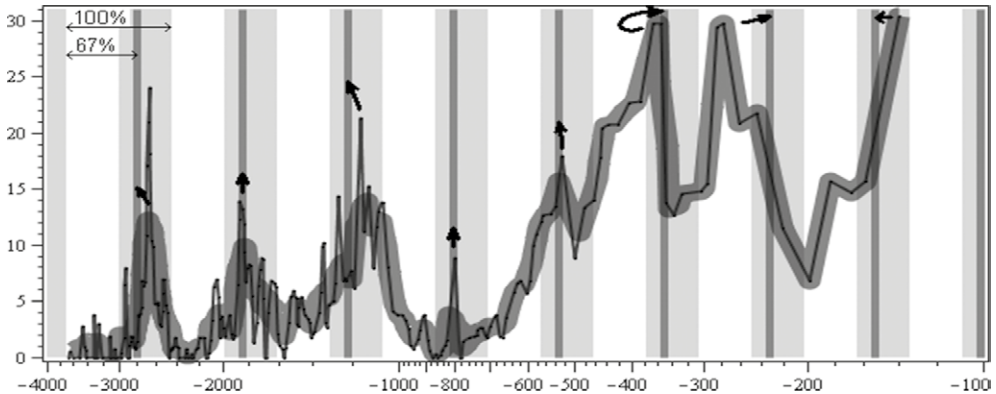
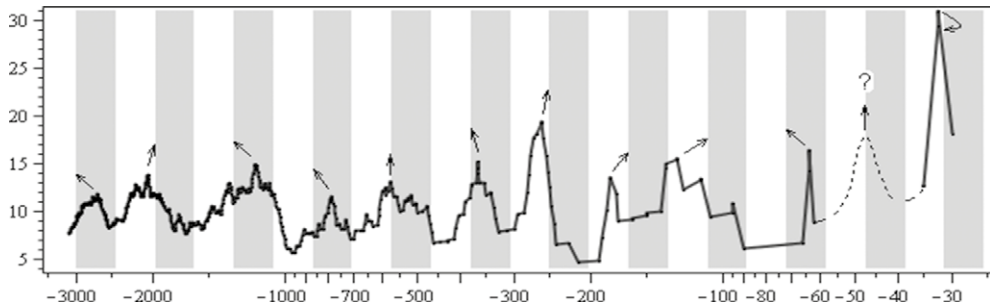


Рис. 3. Сокращающиеся циклы в числе дат (шаг осреднения 20 млн лет) активности субщелочного и щелочного магматизма, границы которых были выделены по резкому снижению магматической активности. Абсциссы точек: -3640 – -139,9 календарных млн лет. Тёмные полосы: как на рис. 1. Толстая ломаная линия: скользящее среднее как на рис. 1 (но крупнейший шаг – 200 млн лет). Точки – по [26].

Fig. 3. Contracting cycles in the number of dates (an averaging step of 20 Myr) of the activity of subalkaline and alkaline magmatism, whose boundaries were identified by a sharp decrease in magmatic activity. X-axis range: -3640 – -139.9 calendar million years. Dark stripes are as in Fig. 1. Thick broken line is the moving average as in Fig. 1 (but the largest step is 200 Myr). The points are from Ref. [26].

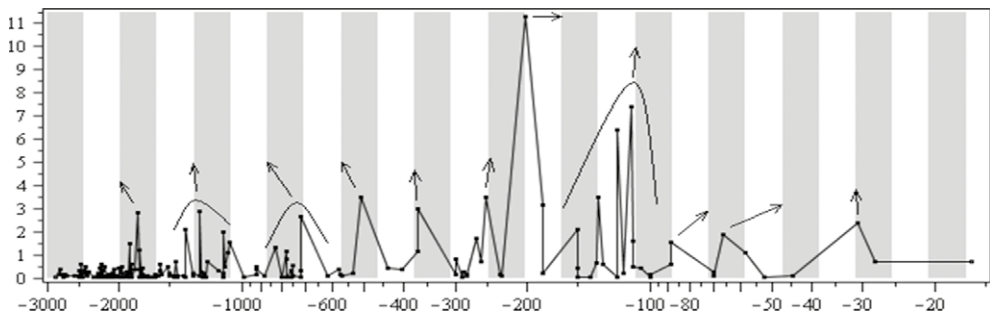
**Площадь больших магматических провинций.** Этот показатель показывает схожую ритмику (рис. 5).

**Интенсивность горообразования.** Пики в ней сместились с середин биотических циклов на середины их вторых половин (середины тёмных полос) – рис. 6. Это также понятно, поскольку магматизм и горообразование – не одно и то же.



**Рис. 4.** Сокращающиеся циклы (идущие в такт с биотическими из рис. 1) в числе событий (скользящее среднее как на рис. 1, но крупнейший шаг – 650 млн лет) внутриплитного базит-ультрабазитового магматизма в пересчёте за 100 млн лет. Абсцисса точек: -3 132,7 – -30 календарных млн лет. Тёмные полосы: как на рис. 1. По данным [4].

**Fig. 4.** Contracting cycles (in step with the biotic ones from Fig. 1) in the number of events (the moving average as in Fig. 1, but the largest step is 650 Myr) of intraplate mafic-ultramafic magmatism in terms of 100 Myr. X-axis range: -3 132.7 – -30 calendar Myr. Dark stripes are as in Fig. 1. According to Ref. [4].



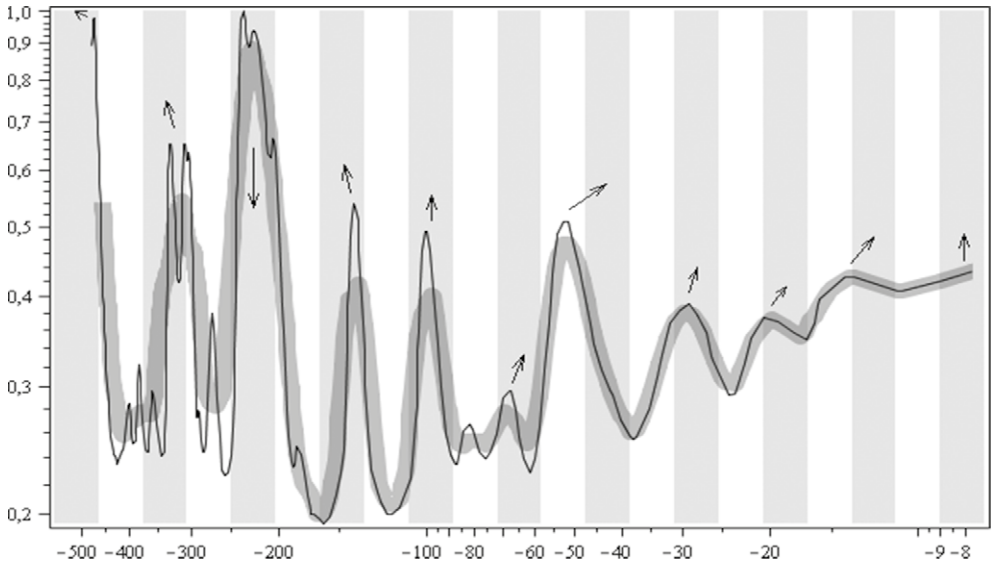
**Рис. 5.** Сокращающиеся циклы в площади (млн км<sup>2</sup>) больших магматических провинций. Абсцисса точек: -2860 – -16,3 календарных млн лет; тёмные полосы: как на рис. 1. Точки – по [23].

**Fig. 5.** Contracting cycles in the area (million km<sup>2</sup>) of large magmatic provinces. X-axis range: -2860 – -16.3 calendar Myr; dark stripes are as in Fig. 1. The points are from Ref. [23].

То, что амплитуда колебаний рис. 6 со временем уменьшается, может быть связано с двумя причинами. *Первая* – чисто техническая: тонкая ломаная рис. 6 была построена при примерно постояннопериодическом шаге времени. Поэтому чем ближе к современности, тем длительность этого шага становится крупнее по отношению к длительности сокращающихся циклов. Соответственно, тем большее сглаживание/смазывание колебаний с сокращающимися периодами. Этот же эффект должен приводить и к тому, что чем ближе к современности, тем меньше наложенных на основной тренд мелких колебаний (что есть и на рис. 6, и на рис. 2, 3). *Вторая* причина: чем ближе к современности, тем физически сложнее сокращающимся тектоническим циклам «угнаться» за биотическими: тектонические циклы физически не могут быть короче некоторого предела. Поэтому по мере приближения к нему они должны ослабляться.

**Связь с суперконтинентальными циклами.** Возможно, есть влияние сокращающихся циклов на суперконтинентальные (с периодом ок. 375 млн лет), но не прямое: не в их сокращения, а в сокращении длительности колебаний периодов суперконтинентальных циклов (таблица) относительно постоянного значения и с более крупным коэффициентом сокращения (рис. 7). Правда, циклов для надёжной идентификации немного. Но





**Рис. 6.** Сокращающиеся циклы в площади гор, возникших в единицу времени (относительные единицы): по [32] со ссылкой на [38]. Абсцисса тонкой ломаной: -478,8 – -7,794 календарных млн лет; толстая ломаная – скользящее среднее тонкой по сокращающимся интервалам (как на рис. 1, но крупнейший шаг – 60 млн лет). Тёмные полосы: как на рис. 1.

**Fig. 6.** Contracting cycles in the area of mountains arising per unit of time (rel. units) according to Ref. [32] (cited from Ref. [38]). X-axis range of the thin broken line: -478.8 – -7.794 calendar Myr; the thick broken line is the moving average of the thin line over decreasing intervals (similar to Fig. 1, but the largest step is 60 Myr). Dark stripes are as in Fig. 1.

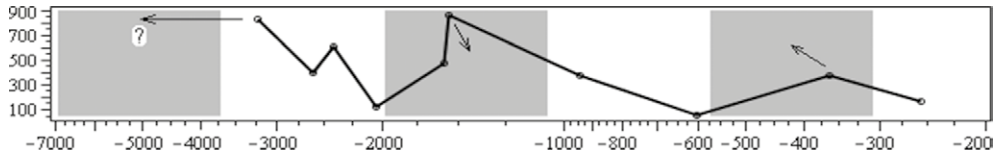
такого рода циклы<sup>5</sup> есть и в биотической эволюции, которые, как и циклы рис. 1, потом плавно перерастают в демографические/социально-экономические. В любом случае рис. 7 указывает на возможность их сокращения, объяснение чему будет дано ниже.

**Таблица.** Датировка существовавших суперконтинентов (по [38])

**Table.** Dating of the existing supercontinents according to Ref. [39]

Название суперконтинента	Верхний возраст, млн л.	Нижний возраст, млн л.
Ваальбара	3636	2803
Ур	2803	2408
Кенорленд	2720	2114
Арктика	2114	1995
Колумбия (Нуна)	1820	1350
Атлантика	1991	1124
Родиния	1130	750
Паннотия	633	573
Гондвана	550	175
Пангея	336	175

<sup>5</sup> Они по показателю рангового распределения для биотической эволюции в фанерозое рассмотрены в [16], для человека от появления до современности – в [14].



**Рис. 7.** Сокращающиеся циклы в длительности (млн лет) существования суперконтинентов (по таблице). Абсциссы точек: их середины, -3219,5 – -255,5 календарные млн лет. Тёмные полосы: 2-е половины сокращающихся циклов от цикла к циклу в  $\approx 3,4$  раза. Каждый состоит из трёх рассмотренных выше («идеальных») циклов.

**Fig. 7.** Contracting cycles in the duration (Myr) of the existence of the supercontinents (according to Table). X-axis range: their midpoints, -3219,5 – -255,5 calendar Myr. The dark stripes are the 2<sup>nd</sup> halves of the cycles decreasing by  $\approx 3.4$  times from cycle to cycle. Each one consists of 3 of the above (“ideal”) cycles.

**Толщина земной коры.** В толщине земной коры тоже могут быть такие циклы. Но, по сравнению с циклами рисунков 1–6, теперь появляется раздвоенность: мелкие стрелки на рис. 8 (на один цикл рис. 1–6 приходится два из рис. 8). Местами циклов нет. Но это вполне объяснимо слишком крупным шагом времени. При внимательном рассмотрении отмечается наличие на рис. 8 и более крупных, уже знакомых «нераздвоенных» циклов, рассматриваемых на рис. 1–6 с кульминациями, на (узких) тёмных полосах.

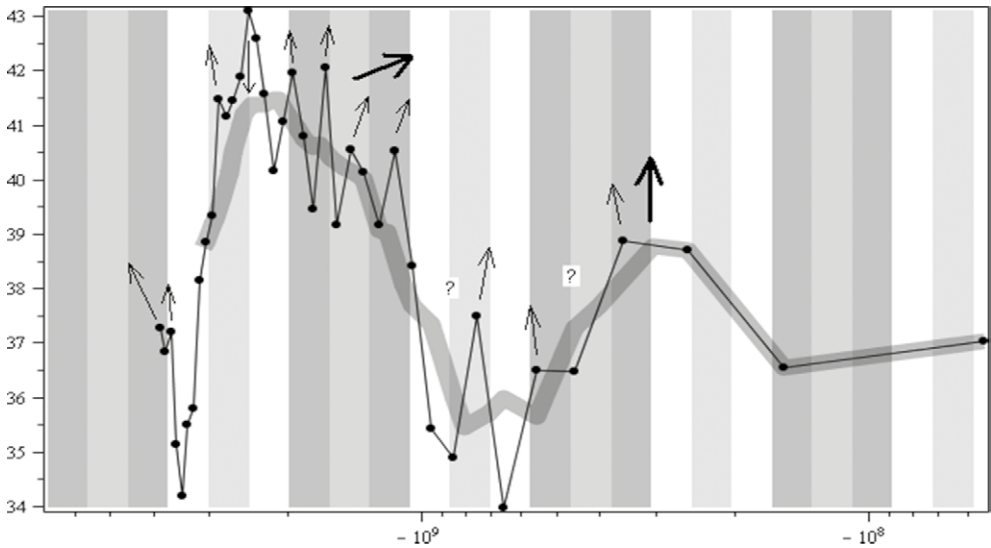
Такого род «полуциклы» (как циклы рис. 1–6) есть в разных тектонических, биотических, социально-экономических показателях. Кроме того, в тех же данных, возможно, присутствует и более крупная разновидность циклов (жирные стрелки рис. 8). В сокращение толщины земной коры не исключается вклад и каких-то других нециклических процессов.

**Возможные объяснения.** То, что показатели магматической активности на рис. 2–5 имеют тенденцию достигать кульминаций около середин биотических циклов рис. 1, можно попытаться объяснить тем, что во время массового распространения биоты (биотические революции: 1-е половины циклов рис. 1 – светлые полосы) идёт усиление эрозии и накопление осадков (под действием биоты). Что должно работать на максимум магматической активности (около середин биотических циклов) за счёт перераспределения тектонических нагрузок из-за осадкообразования, провоцирующего вулканизм. Но провокация может быть не непосредственной. Рассмотрим модельный случай жерла вулкана, заполняющегося осадками под действием биоты. Эта «пробка» усиливает давление магмы перед следующим извержением, и они идут реже, но мощнее. А чем мощнее – тем больше встряска и ниже коэффициент трения, и тем интенсивнее магматизм.

Но, возможно, есть более эффективный механизм влияния биоты на тектонику. Биота во многом может отвечать за существование континентов [28], что связано с относительно интенсивным разрушением земных пород живым веществом, приводящим к образованию мощных слоёв осадочных пород, насыщенных водой. Попадая в мантию, они и её насыщают водой, что уменьшает её вязкость, увеличивает скорость конвекции в ней и скорость образования земной коры через более усиленный вулканизм, наращивающий континенты. Расчёт [28] показал, что из-за этого площадь континентов должна выйти на предельное значение в 40 % от площади поверхности Земли, что несильно отличается от нынешнего (29 %).

Эффект «смазки» состоит не только в непосредственном уменьшении вязкости, но и в уменьшении температуры плавления мантии, что тоже работает на образование континентов [29]. По расчёту, основной источник воды – субдукция [29]. Если бы ни-





**Рис. 8.** Сокращающиеся циклы в толщине земной коры (км; по [30]). Абсциссы точек: 3,85 млрд – 61,3 млн лет назад. Смысл узких тёмных полос – как на рис. 1–6; толстых – как на рис. 7.

**Fig. 8.** Contracting cycles in the thickness (km) of the Earth's crust (from Ref. [30]). X-axis range: 3.85 billion calendar years – 61.3 Mya (logarithmic scale). The meaning of the narrow and thick dark stripes is as in Figs 1–6 and Fig. 7, respectively.

когда не было гидратации мантии осадочными отложениями (возможно, здесь большую роль играет бактериальная жизнь в недрах Земли, по оценке [18] образующая ок. 15 % биомассы, но цифра может оказаться много больше), то, по расчёту, сейчас площадь континентальной коры (она больше, чем площадь континентов) составила бы 10 % поверхности Земли против нынешних 40 %, а если гидратация прекратится сейчас, то она (из-за эрозии) через некое время сократится до 30 % (там же). Т. е. похоже, главную роль в формировании континентов играет биосфера, что согласуется и с данными о наличии сокращающихся циклов в толщине коры (см. рис. 8), связанных с биотическими циклами рис. 1.

Поскольку они должны влиять и на интенсивность эрозии, то логично ожидать, что они также должны промодулировать и интенсивность тектонических процессов. Если считать, что интенсивность эрозии биотой идёт в такт с колебаниями встречаемости животных из рис. 1 и сразу приводит к повышенному магматизму (т. е. если можно пренебречь соответствующим временем задержки по отношению к длительности циклов), то это и должно примерно приводить к результатам рис. 2–5, где показатели магматизма имеют тенденцию достигать кульминаций в среднем (примерно) там, где достигает кульминаций встречаемость находок особей животных на рис. 1.

В рамках описанного механизма может быть объяснено, почему периоды суперконтинентальных циклов в целом не сокращаются, но длительность их, вероятно, колеблется с увеличивающейся частотой (см. рис. 8). «Подача» биотой «смазки» становится чаще, а её длительность – меньше. В итоге скорости континентов и периоды суперконтинентальных циклов начинают колебаться чаще. Но средняя их длительность не меняется: доля времени «подачи» в общей длительности не меняется.

Но объяснение корреляции между биотическими циклами рис. 1 и тектонической активностью может быть более сложным и запутанным. Так, сама тектоническая актив-

ность может влиять на биоту. Например, по предложенному в работе [36] механизму, при объединении континентов должно снижаться биоразнообразие из-за уменьшения числа экологических ниш в соответствии с правилом конкурентного исключения<sup>6</sup>, что должно способствовать развитию биоценотической неустойчивости, которая вызывает массовое вымирание.

Усиленный вулканизм тоже должен оказывать какое-то влияние на биоту. Так, распространённой версией причины самого крупного вымирания (пермь-триасового ок. 252 млн лет назад) является сильнейшая вулканическая активность [27, 19], что согласуется с его длительностью – всего  $60 \pm 48$  тыс. лет [20]. Ещё пример – вымирание динозавров (граница мела и палеогена, ок. 66 млн лет назад) тоже сопровождалось повышенным вулканизмом (в Индии): 250 тыс. лет до границы и 500 тыс. лет после [35]. Это совпадёт с началом 2-й (кризисной) половины соответствующего цикла в биоразнообразии рис. 1 (начало тёмной полосы). То же относится и к пермь-триасовому вымиранию.

То есть похоже, если биота способна модулировать некоторые циклы вулканической активности, то могут быть и обратные влияния. В частности, влияние суперконтинентальных циклов, что должно приводить к некому сложному с ними взаимодействию. Отклонение от идеальной цикличности рис. 1–6, скорее всего, должно быть связано и с ним. Так, мел-палеогеновое и пермь-триасовое вымирания хоть и пришлись как раз на начала понижающих волн биотических циклов, но большинство других таких волн уже не сопровождалось столь глубокими вымираниями. Вполне вероятно, что существенная причина тому кроется во влиянии суперконтинентальных циклов: в окрестности этих двух вымираний как раз происходила суперконтинентальная сборка [36]. То же относится и к другому великому вымиранию – ордовикско-силурийскому [36], произошедшему ок. 450–440 млн лет назад (этот спад хорошо виден по рис. 1). Однако он теперь начался не на «идеальной» середине биотического цикла, а, скорее, в начале. Похоже, что это пример нарушения суперконтинентальными циклами внутробиотической цикличности рис. 1.

Можно предположить, что из-за того, что биота может влиять на климат<sup>7</sup>, через него она способна влиять и на вулканизм. Похолодания работают на рост ледников, потепления – наоборот. А это – перераспределение тектонических нагузков, что может инициировать землетрясения<sup>8</sup>, которые, возможно, могут провоцировать вулканизм, особенно когда он по своим внутренним причинам уже почти созрел.

Поэтому логично ожидать и циклическое влияние на тектонику (через климат) и биоту астрофизических циклов Миланковича и циклов солнечной активности. Но их длительность – много меньше периодов рассмотренных сокращающихся циклов. Так, крупнейший из циклов Миланковича – 93 тыс. лет (известные циклы солнечной активности много короче), тогда как самый короткий из рассмотренных тектонических – ок. 5 млн лет (рис. 6), а биотических – ок. 0,5 млн лет (рис. 1). Поэтому на фоне рассмотренных сокращающихся циклов циклы Миланковича – лишь мелкая, частая рябь, сглаженная относительно крупными шагами усреднения, с которыми были построены рассмотренные выше графики, и потому не оказывающая заметного влияния на отображённую на графиках сокращающейся цикличности.

<sup>6</sup> Когда биологические виды разных континентов оказываются объединёнными в одной экологической нише, наиболее конкурентоспособные с неизбежностью вытесняют менее приспособленных к новым условиям.

<sup>7</sup> Пример: из-за похолодания 720–635 млн лет назад в результате увеличения в атмосфере концентрации кислорода, созданного жизнью, и уменьшения углекислого газа возникла гипотеза «Земли-снежка», покрытой льдом.

<sup>8</sup> Землетрясение провоцирует даже заполнение водохранилищ.

Ещё один (потенциальный) механизм влияния биосферы на тектонику изложил Н.Ф. Глазовский: по его гипотезе движения в литосфере происходят за счёт энергии живого вещества в форме захороненной органики [7]. Во многом гипотеза имеет исторический интерес. Однако, как он писал: «Если принять гипотезу о том, что в океанических желобах земная кора увлекается под островные дуги, приуроченность вулканов именно к ним может быть отчасти связана с тем, что именно здесь происходит преобразование органического вещества осадочных пород. На это косвенно указывает и присутствие нефтей в продуктах деятельности многих вулканов» [6, с. 523].

На то, что должен существовать некоторый механизм «ощутимого» влияния биоты на тектонику, косвенно указывает совпадение периодов циклов движения континентов и циклов седиментации с галактическим годом<sup>9</sup> около 210 млн лет [2]. Это при том, что изменение внешнего гравитационного влияния на Землю в течение него ничтожно и не может так сильно повлиять на тектонику [2]. Но галактическое влияние на неё возможно, если исходить из того, что на неё может влиять жизнь. В зависимости от «сезона» галактического года может меняться интенсивность космических лучей, попадающих на Землю. А они, по разным механизмам, могут влиять на жизнь<sup>10</sup>. Неслучайно примерно с периодом 63,6 млн лет колебаний Солнца перпендикулярно галактической плоскости известны колебания и во встречаемости палеонтологических морских родов [31]: для них получен период  $62 \pm 3$  млн лет [31]. Период ок. 61 млн лет есть в событиях дубликации трансмембранных генов животных<sup>11</sup> [22, 31]. Всё это может быть объяснимо влиянием колебаний космического излучения [31].

Эти постояннопериодические циклы, как и суперконтинентальные, накладываются на сокращающиеся. В вышерассмотренных данных они не видны лишь в силу выбранной логарифмической шкалы времени и усреднения в этом масштабе (когда интервалы усреднения выглядят как постояннопериодические, но в реальном времени сокращаются). Так, если на рис. 1 видны осцилляции исходных данных, то на рис. 4 было сделано усреднение изначально. Но если рассматривать данные рис. 4, усредняя с постоянным интервалом в обычном масштабе времени, то будут видны постояннопериодические циклы. Т. е. нет противоречия между сокращающимися циклами и постояннопериодическими<sup>12</sup>, в т. ч. связанными с разными астрофизическими (подробнее о последних в [4]).

**Заключение.** Корреляция между сокращающимися от цикла циклу (в  $\approx 1,51$  раза) биотическими циклами на протяжении порядка миллиарда лет (рис. 1), циклами – показателями магматической активности (рис. 2–5) и циклами в интенсивности горообразования (рис. 6) и др. ставит неожиданный вопрос о том, что её объяснение без предположения о том, что за неё ответственна биосфера, затруднительно. Но возможно и обратное влияние тектоники на биоту. Вероятно, биотические кризисы рис. 1 обу-

<sup>9</sup> Время обращения Земли вокруг центра Галактики.

<sup>10</sup> 1) Влияя на радиацию, которая может менять интенсивность мутаций; 2) изменяя климат через увеличение интенсивности облакообразования из-за ионизации атмосферы; 3) инициируя в атмосфере возникновение оксидов азота, дающих осадки в виде азотной кислоты, которая влияет на биоту; 3) приводя к увеличению солнечного ультрафиолетового излучения из-за утоньшения озонового слоя, к чему приводит ионизация атмосферы [32].

<sup>11</sup> Трансмембранные гены – ключевые для обмена информацией между клетками и средой [23].

<sup>12</sup> Технически это связано с тем, что из-за сокращаемости циклов большинство постояннопериодических будет либо существенно короче них, либо длиннее. В первом случае, если рассматривать усреднение в логарифмическом масштабе, постояннопериодические циклы будут выглядеть лишь как мелкая рябь на фоне сокращающихся (случай циклов Миланковича) и поэтому не будут «портить» сокращающиеся. Во втором – тоже не будут «портить», но потому, что, когда на фоне одного постояннопериодического цикла развивается несколько сокращающихся (накладываваясь на него), последние всё равно будут отчётливо видны. Из-за наложения у них лишь «высота» может стать существенно разной. По аналогичной причине будут плохо видны сокращающиеся и хорошо – постояннопериодические циклы, если рассматривать обычный масштаб времени.

словлены не только внутрибиотическими причинами, но и тем, что бурное развитие биоты (обычно светлые полосы рис. 1) провоцирует так тектонику, что она потом на неё действует усугубляющее (например, через вулканизм), ещё более усиливая внутрибиотический кризис, приводящий к спаду.

Рассмотренное влияние биоты на тектонику на новом уровне возвращает к гипотезе В.И. Вернадского о том, что биосфера (живое вещество) – активная геологическая сила [1]. Это ставит новые вопросы о том, как такое влияние может реализовываться? В статье приведены некоторые варианты объяснения. Один из них (возможно, ключевой) основан на численном эксперименте, говорящем о влиянии биоты на тектонику через насыщение мантии водой, на что влияет биосфера, способствуя эрозии. Это работает на проникновение в мантию воды, являющейся «смазкой», интенсифицирующей тектонику.

Но не все тектонические циклы можно объяснить действием биоты на тектонику. Так, известные как постояннопериодические суперконтинентальные циклы, вероятно, могут активно влиять на биоту. Существует ещё множество других, кроме биоты, факторов, влияющих на тектонику, также влияющих и на биоту. Это рассмотренные астрофизические циклы, замедление скорости вращения Земли, удаление от Земли Луны.

Эта статья не даёт исчерпывающие ответы на механизмы взаимодействия биоты и тектоники, не раскрывает в полной мере факторы, влияющие на них. В связи с обнаруженной здесь сокращающейся цикличностью, она, скорее, ставит много вопросов, ответы на которые только предстоит найти. Всё это открывает новое направление исследований в геофизике и в эволюционной биологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аксёнов Г.П. В.И. Вернадский: «Живое вещество – понятие геологическое» // Жизнь Земли. 2023. Т. 45, № 1. С. 15–26.
2. Аплонов С.В. Энергетика и тектоническая активность Земли // Лекция 12. Эволюция Земли. 2014 (<https://www.youtube.com/watch?v=x0f5dx3wNmg>).
3. Божко Н.А. Алмазоносный магматизм в суперконтинентальных циклах // Руды и металлы. 2019. № 3. С. 22–27.
4. Божко Н.А. Внутриплитный базит-ультрабазитовый магматизм во времени и в аспекте суперконтинентальной цикличности // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2010. № 3. С. 10–24.
5. Гаршин И.К. О галактических циклах в истории Земли // История и Математика: мегаисторические аспекты / Отв. ред. А.В. Коротаев, Л.Е. Гринин. Волгоград: Учитель, 2016. С. 22–62.
6. ГЕОХИ РАН. Домашняя страница Лаборатории геохимии и рудоносности щелочного магматизма (<http://www.geokhi.ru/Lab14/Домашняя.aspx>).
7. Глазовский Н.Ф. Возможная роль органического вещества в тектонических и вулканических процессах // Избр. сочинения. Т. 1. Геохимические потоки в биосфере. М.: КМК, 2006. С. 520–525.
8. Гринин Л.Е., Коротаев А.В. Циклы, кризисы, ловушки современной Мир-Системы. Исследование кондратьевских, жюгляровских и вековых циклов, глобальных кризисов, мальтузианских и постмальтузианских ловушек. М.: Изд-во ЛКИ, 2012. 480 с.
9. Коротаев А.В. Сингулярность XXI века в контексте Большой истории: математический анализ // Эволюция. 2020. № 10. С. 19–79.
10. Кузьмин М., Ярмолюк В. Биография Земли: основные этапы геологической истории // Природа. 2017. № 6. С. 12–25.
11. Панов А.Д. Универсальная эволюция и проблема поиска внеземного разума (SETI). М.: ЛКИ, 2007. 203 с.

12. Сорнетте Д. Как предсказывать крахи финансовых рынков. М.: И-Трейд: Smart Book, 2008. 400 с.
13. Ткачёв А.В., Булов С.В., Рундквист Д.В., Похно С.А., Вишневская Н.А., Никонов Р.А. ВЕБ-ГИС Крупнейшие месторождения мира // Геоинформатика. 2015. 47, № 1. С. 47–59.
14. Фомин А.А. Циклы неравномерности мирового социально-экономического развития могут быть не моложе человека. Прямая эволюционная преемственность с современностью // История и математика / Отв. ред. А.В. Коротаев., Л.Е. Гринин. Волгоград: Учитель, 2018. С. 11–53.
15. Фомин А.А. Кондратьевские циклы – сокращаются? // Кондратьевские волны: К 130-летию со дня рождения Н.Д. Кондратьева / Отв. ред. Л.Е. Гринин, А.В. Коротаев. Волгоград: Учитель, 2023.
16. Фомин А.А. Сквозная гиперболическая эволюция от биосферы до техносферы // Эволюция. Эволюционные грани сингулярности / Отв. ред. Л.Е. Гринин, А.В. Коротаев. Волгоград: Учитель, 2021. С. 263–282.
17. Фомин А.А. Ранговое распределение палеонтологических морских родов и протодемографические циклы // Эволюция / Отв. ред. Л.Е. Гринин, А.В. Коротаев. Волгоград: Учитель, 2023. С. 90–101.
18. Bar Y. M., Phillips R., Milo R. The biomass distribution on Earth // PNAS 2018. V. 115, № 25. P. 6506–6511.
19. Black B.A., Elkins-Tanton L.T., Rowe M.C. Volatile release from the Siberian Traps and the end-Permian environment // American Geophysical Union annual meeting 2010. December 13, abstract id. V13E-2400.
20. Burgess S.D., Bowring S., Shen S.-Z. High-precision timeline for Earth's most severe extinction // PNAS 2011. V. 111, № 9. P. 3316–3321.
21. Cortez M.H., Weitz J.S. Coevolution can reverse predator–prey cycles // PNAS 2014. V. 111 (20). P. 7486–7491.
22. Ding G., Kang J., Liu Q., Shi T., Pei G., Li Y. Insights into the Coupling of Duplication Events and Macroevolution from an Age Profile of Animal Transmembrane Gene Families // Public Libr. Sci. Comput. Biology. 2006. V. 2, Is. 8. P. 1–7.
23. Ernst R.E., Bond D.P.G., Zhang S.-H., Buchan K. L., Grasby S.E., Bilali H.E., Bekker A., Doucet L.S. Large Igneous Province Record Through Time and Implications for Secular Environmental Changes and Geological Time-Scale Boundaries. Large Igneous Provinces: A Driver of Global Environmental and Biotic Changes? // Geophysical Monograph 255 / Ed. by R.E. Ernst, A.J. Dickson, A. Bekker. 2021. P. 3–26.
24. Faillettaz J., Fumk M., Sornette D. Icequakes as precursors of ice avalanches. 2009 (<http://arxiv.org/abs/0906.5528>).
25. Fomin A.A. Hyperbolic evolution from biosphere to technosphere // J. of Big History. 2020. V. II, № 3. P. 105–118.
26. Glaznev V.N. Cycles of alkaline magmatism // Geochemistry International. 2006. V. 44, № 3. P. 274–285.
27. Grasby S.E., Sanei H., Beauchamp B. Catastrophic dispersion of coal fly ash into oceans during the latest Permian extinction // Nature Geoscience. 2011. № 4. P. 104–107.
28. Höning D., Hansen-Goos H., Airo A., Spohn T. Biotic vs. abiotic Earth: A model for mantle hydration and continental coverage // Planetary and Space Science. 2014. V. 98. P. 5–13.
29. Höning D., Spohn T. Continental Growth and Mantle Hydration as Intertwined Feedback Cycles in Earth's Thermal Evolution // Planetary Interiors. 2016. V. 255. P. 27–49.
30. Keller C.B., Schoene B. Statistical geochemistry reveals disruption in secular litho-spheric evolution about 2.5 Gyr ago // Nature. 2012. V. 485. P. 490–493.
31. Medvedev M.V., Melott A.L. Do extragalactic cosmic rays induce cycles in fossil diversity? // The Astrophysical J. 2007. V. 664. P. 879–889.
32. Nance R.D., Murphy J.B., Santosh M. The supercontinent cycle: A retrospective essay // Gondwana Research. 2014. V. 25. P. 4–29.
33. Paleobiology Database. Animalia (<https://paleobiodb.org/classic/displayDownloadGenerator>).

34. Pralong A., Birrer C., Stahl W.A., Funk M. On the predictability of ice avalanches // *Nonlinear Processes in Geophysics*. 2005. №12. P. 849–861.
35. Schoene B., Samperton K.M., Eddy M.P., Keller G., Adatte T., Bowring S.A., Khadri S.F.R., Gertsch B. U-Pb geochronology of the Deccan Traps and relation to the end-Cretaceous mass extinction // *Science*. 2015. V. 347, Is. 6218. P. 182–184.
36. Snakin V.V. Lithospheric plate tectonics and mass extinctions of biological species // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. 946 012009.
37. Sornette D., Sammis C.G. Complex Critical Exponents from Renormalization Group Theory of Earthquakes: Implications for Earthquake Predictions // *J. de Phys. I*. 1995. № 5. P. 607–619.
38. Umbgrove J.H.F. *The Pulse of the Earth*. Martinus Nijhoff, The Hague, Netherlands. 1947. 358 p.
39. Wikipedia (<https://en.wikipedia.org/wiki/Supercontinent>).

## REFERENCES

1. Aksenov, G.P., “V.I. Vernadsky: «Living matter is a geological concept»”, *Zhizn Zemli [Life of the Earth]* **45** (1), 15–26 (2023) (in Russian).
2. Aplonov, S.V., “Energy and tectonic activity of the Earth, Lecture 11”. *Evolution of the Earth* (2014) (<https://www.youtube.com/watch?v=x0f5dx3wNmg>) (in Russian).
3. Bozhko, N.A., “Diamond-bearing magmatism in supercontinental cycles”, *Ores and Metals* **3**, 22–27 (2019) (in Russian).
4. Bozhko, N.A., “Intraplate mafic-ultramafic magmatism in time and in the aspect of supercontinental cyclicity”, *Bull. of Moscow University. Geology* **4** (3), 10–24 (2010).
5. Garshin, I.K., “About galactic cycles in the history of the Earth”, *History and Mathematics* 22–62 (Volgograd: Uchitel', 2016).
6. GEOKHI RAS, *Homepage of the Laboratory of Geochemistry and Ore Potential of Alkaline Magmatism* (<http://www.geokhi.ru/Lab14/Home.aspx>) (in Russian).
7. Glazovsky, N.F., “Possible role of organic matter in tectonic and volcanic processes”, *Izbr. sochineniya. Geochemical flows in the biosphere* **1**, 520–525 (Moscow: KMK, 2006) (in Russian).
8. Grinin, L.E., Korotayev, A.V., “Cycles, crises, and traps of the modern World System”, *Study of Kondratieff, Juglar and secular cycles, global crises, Malthusian and post-Malthusian traps* (Moscow: LKI, 2012) (in Russian).
9. Korotayev, A.V., “Singularity of the 21st century in the context of Big History: a mathematical analysis”, *Evolution* **10**, 19–79 (Volgograd: Uchitel, 2020) (in Russian).
10. Kuz'min, M., Yarmolyuk, V., “Biography of the Earth: the main stages of geological history”, *Nature* **6**, 12–25 (2017) (in Russian).
11. Panov, A.D., *Universal evolution and the problem of searching for extraterrestrial mind* (Moscow: LKI, 2007) (in Russian).
12. Sornette, D., *Why stock markets crash: critical events in complex financial systems* (Princeton University Press, cop. 2003).
13. Tkachyov, A.V., Bulov, S.V., Rundkvist, D.V., Pokhno, S.A., Vishnevskaya, N.A., Nikonov, R.A., “WEB-GIS The largest fields in the world”, *Geoinformatics* **47** (1) (2015) (in Russian).
14. Fomin, A.A., “Unevenness cycles of the global socio-economic development may be no younger than the human. Direct evolutionary continuity with modernity”, *History and Mathematics* (Volgograd: Uchitel', 2018) (in Russian).
15. Fomin, A.A., “Are the Kondratieff cycles getting shorter?”, *Kondratieff waves* (Volgograd: Uchitel', 2023) (in Russian).
16. Fomin, A.A., “End-to-end hyperbolic evolution: from the biosphere to the technosphere”, *Evolution. Evolutionary facets of singularity* (Volgograd: Uchitel, 2020) (in Russian).
17. Fomin, A.A., “Rank distribution of paleontological marine genera and protodemographic cycles”, *Evolution* (Volgograd: Uchitel, 2020) (in Russian).
18. Bar, Y.M., Phillips, R., Milo, R., “The biomass distribution on Earth”, *PNAS*, **115** (25), 6506–6511 (2018).



19. Black, B.A., Elkins-Tanton, L.T., Rowe, M.C., “Volatile release from the Siberian Traps and the end-Permian environment”, *Amer. Geophysical Union annual meeting. December 13*, abstract id. V13E-2400 (2010).
20. Burgess, S.D., Bowring, S., Shenb, S.-Z., “High-precision timeline for Earth’s most severe extinction”, *PNAS* **111** (9), 3316–3321 (2011).
21. Cortez, M.H., Weitz, J.S., “Coevolution can reverse predator–prey cycles”, *PNAS* **111** (20), 7486–7491.
22. Ding, G., Kang, J., Liu, Q., Shi, T., Pei, G., Li, Y., “Insights into the Coupling of Duplication Events and Macroevolution from an Age Profile of Animal Transmembrane Gene Families”, *Public Libr. Sci. Comput. Biology* **2** (8), 1–7 (2006).
23. Ernst, R.E., Bond, D.P.G., Zhang, S.-H., Buchan, K. L., Grasby, S.E., Bilali, H.E., Bekker, A., Doucet, L.S., “Large Igneous Province Record Through Time and Implications for Secular Environmental Changes and Geological Time-Scale Boundaries. Large Igneous Provinces: A Driver of Global Environmental and Biotic Changes?”, *Geophysical Monograph* **255**, Ed. by Ernst, R.E., Dickson, A.J., Bekker, A.P. (2021).
24. Faillietaz, J., Fumk, M., Sornette, D., *Icequakes as precursors of ice avalanches*, (2009) (<http://arxiv.org/abs/0906.5528>).
25. Fomin, A.A., “Hyperbolic evolution from biosphere to technosphere”, *J. of Big History* **II** (3) 105–118 (2020).
26. Glaznev, V.N., “Cycles of alkaline magmatism”, *Geochemistry Inter.* **44** (3), 274–285 (2006).
27. Grasby, S.E., Sanei, H., Beauchamp, B., “Catastrophic dispersion of coal fly ash into oceans during the latest Permian extinction”, *Nature Geoscience* **4**, 104–107 (2011).
28. Höning, D., Hansen-Goos, H., Airo, A., Spohn, T., “Biotic vs. abiotic Earth: A model for mantle hydration and continental coverage”, *Planetary and Space Sci.* **98**, 5–13 (2014).
29. Höning, D., Spohn, T., “Continental Growth and Mantle Hydration as Intertwined Feedback Cycles in Earth’s Thermal Evolution”, *Planetary Interiors* **255**, 27–49 (2016).
30. Keller, C.B., Schoene, B., “Statistical geochemistry reveals disruption in secular litho-spheric evolution about 2.5 Gyr ago”, *Nature* **485**, 490–493 (2012).
31. Medvedev, M.V., Melott, A.L., “Do extragalactic cosmic rays induce cycles in fossil diversity?”, *The Astrophysical J.* **664**, 879–889 (2007).
32. Nance R.D., Murphy J.B., Santosh M., “The supercontinent cycle: A retrospective essay”, *Gondwana Research* **25**, 4–29 (2014).
33. Paleobiology Database. Animalia (<https://paleobiodb.org/classic/displayDownloadGenerator>).
34. Pralong, A., Birrer, C., Stahel, W.A., Funk, M., “On the predictability of ice avalanches”, *Non-linear Proc. in Geophysics* **12**, 849–861 (2005).
35. Schoene, B., Samperton, K.M., Eddy, M.P., Keller, G., Adatte, T., Bowring, S.A., Khadri, S.F.R., Gertsch, B., “U-Pb geochronology of the Deccan Traps and relation to the end-Cretaceous mass extinction”, *Science* **347** (6218), 182–184 (2015).
36. Snakin, V.V., “Lithospheric plate tectonics and mass extinctions of biological species”, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 946 012009 (2021).
37. Sornette, D., Sammis, C.G., “Complex Critical Exponents from Renormalization Group Theory of Earthquakes: Implications for Earthquake Predictions”, *J. Phys. I France* **5**, 607–619 (1995).
38. Umbgrove, J.H.F., *The Pulse of the Earth* (Netherlands: Martinus Nijhoff, The Hague, 1947).
39. *Wikipedia* (<https://en.wikipedia.org/wiki/Supercontinent>).