



В. В. Орленок

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕОБЛАДАЮЩЕГО ВОЗРАСТА
КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ
И ОКЕАНИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ**

Приводятся доказательства древности формирования кристаллического фундамента платформенных областей Земли, образованного в результате глобального вулканизма в катархейскую эру (более 4 млрд лет назад). На рубеже мезозоя и кайнозоя (65 – 70 млн лет назад) еще одна вспышка вулканизма и дегидратации земных недр завершилась значительными опусканиями континентальных масс (на 8 – 10 км) и формированием Мирового океана.

This article presents the evidence of the ancient origin of crystalline basement of the platform areas of the Earth developed as a result of global volcanism in the Hadean (more than 4 Ga). In the late Mesozoic-early Cenozoic, another outbreak of volcanism and dehydration of subsoils led to a significant subsidence (8 – 10 km) of continental masses and the formation of the World Ocean.

Ключевые слова: начальный вулканизм, катархей, кристаллический фундамент, алданий, Мировой океан.

Key words: initial volcanism, Hadean, crystalline basement, aldanium, World Ocean.

Кристаллический фундамент континентальных и океанических платформ, обнажающийся на докембрийских щитах, — древнейшее геологическое образование на Земле. Имеются немногочисленные определения его абсолютного возраста, прежде всего комплекса алдания, слагающего его основной массив — $(4,3–4,0) \cdot 10^9$ лет [11; 12]. Аналогичный и даже более древний возраст — $(4,5–4,0) \cdot 10^9$ лет — у вулканических горных областей Луны [14], где более молодые базальты $(3,92–3,5) \cdot 10^9$ лет, — заполняющие огромные кратеры, были образованы в результате интенсивной метеоритной бомбардировки. Благодаря мощной реликтовой атмосфере Земля избежала подобной бомбардировки, поэтому первичная структура алдания сохранилась на докембрийских щитах всех континентов [11].

Образование гранитно-метаморфического комплекса алдания произошло в результате начального вулканизма, возникшего одновременно на всех планетах после завершения их аккреции $4,5 \cdot 10^9$ лет назад [6; 9]. Его энергетическим источником стали короткоживущие изотопы ^{235}U , ^{10}Be , ^{26}Al и другие, лавина которых накрыла остатки пылегазовой туманности вокруг планет в финале их аккреции, после взрыва молодой сверхновой, развивавшейся по азотно-углеродному циклу [6; 13]. Этим объясняются всепланетный характер, одновременное начало и завершение начального глобального вулканизма, что регламентируется периодом распада короткоживущих изотопов ($10^6–10^8$ лет) [1; 2].

Поверхность фундамента лежит на различных гипсометрических уровнях относительно уровня моря. Она обнажается на щитах, погружена на 2–4 км под осадочной толщей на платформах и опущена на 8–10 км в глубоководных бассейнах океанов [5]. Таким образом, возможно путем измерения амплитуды погружения поверхности фундамента определить длину земной окружности и радиуса на конец катархей ($4,0 \cdot 10^9$ лет) и сравнить результат с теоретическими расчетами гравитационного сжатия Земли, что позволит решить проблему преобладающего возраста этой поверхности. Одновременно выявляется действительная роль тепломассопотерь в изменении объема Земли. Как оказалось, она сильно преувеличена гипотезой широкой термохимической дифференциации протоматерии во внешнем ядре и мантии Земли [3; 4].

Воспользовавшись ньютоновским потенциалом, автором была рассчитана энергия гравитационного сжатия Земли на единицу длины (1 см), величина которой равна [7]

$$\frac{\partial E}{\partial R} = 3,6 \cdot 10^{23} \text{ Дж/см.}$$

Для нахождения энергии гравитационного сжатия в единицу времени (год) в структуре наблюдаемого на поверхности Земли теплового потока $Q = 8,3 \cdot 10^{20}$ Дж/год потребовалось



выделить радиогенную составляющую, обусловленную распадом долгоживущих изотопов ^{238}U , ^{232}Th , которая оказалась $Q_{\text{рад}} = 3,6 \cdot 10^{20}$ Дж/год. Оставшаяся величина $Q_{\text{грав}} = 4,7 \cdot 10^{20}$ Дж/год обусловлена гравитационным сжатием. Было составлено уравнение для определения скорости гравитационного сжатия [7]:

$$\frac{\partial E}{\partial R} / Q_{\text{грав}} = 4,7 \cdot 10^{20} \text{ Дж/год} / 3,6 \cdot 10^{23} \text{ Дж/см} = 1,30 \cdot 10^{-3} \text{ см/год.}$$

В результате удалось рассчитать сокращение радиуса Земли:

$$1,30 \cdot 10^{-3} \text{ см/год} \cdot 4,0 \cdot 10^9 \text{ лет} = 52,0 \text{ км,}$$

или за всю историю Земли ($4,5 \cdot 10^9$ лет) – 58,5 км [6; 7].

Для того чтобы понять физическую природу полученного результата, необходимо было независимым методом подтвердить его. В качестве такого метода автор предложил картографическое определение длины окружности Земли по поверхности фундамента путем вычисления амплитуды его проседания на континентальных блоках и в океанических секторах [6]. Первоначально эту задачу не удавалось решить, так как при измерении не было учтено десятикратное увеличение вертикального масштаба (табл. 1).

Таблица 1

Сокращение радиуса Земли, определенное по измерениям ее окружности (L)

λ	L_2 по амплитуде современного рельефа, км	L_1 по амплитуде рельефа до поверхности алдания, км	$R_2 = L_2 / 2\pi$ по амплитуде современного рельефа, км	$R_1 = L_1 / 2\pi$ по амплитуде докембрийского рельефа, км	$\Delta R_1 = (R_1 - R_{\text{совр}}^*) / 10$, км	$R((0^\circ) - R(\lambda)) / 10$ км
0	42344	43523	6742	6930,4	56,0	–
30° в.д.	41566	42785	6618	6812,8	44,3	12,4
40° в.д.	40365	42974	6427	6842,9	47,3	31,5
60° в.д.	40899	44079	6511	7018,9	64,8	23,1
70° в.д.	40213	45059(?)	6403	7175(?)	80,4(?)	33,9
Среднее	41077	43340	6489*	6901,0	53,0	25,2**

* $R_{\text{совр}} = 6371$ км; данные 70-го меридиана исключены из расчетов из-за большого (40%) отклонения от средних значений.

** По современным наблюдениям, разность экваториального и полярного радиусов составляет 21,3 км.

В этом масштабе длина окружности в катархее равна $L_1 = 43340$ км, радиус $R_1 = 6901$ км, средний современный радиус $R_{\text{сп}} = 6371$ км, откуда сокращение радиуса будет:

$$\Delta R = 6901 - 6371 = 530 \text{ км.}$$

С приведением к исходному масштабу (1 см = 100 км):

$$\Delta R_0 = \Delta R / 10 = 530 \text{ км} / 10 = 53,0 \text{ км.}$$

Отсюда средняя скорость уменьшения радиуса до катархей ($4,0 \cdot 10^9$ лет) равна:

$$\frac{\Delta R_0}{\partial t} = 53,0 \text{ км} / 4,0 \cdot 10^9 \text{ лет} = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ см/год.}$$

Сравнение полученного результата с гравитационным сжатием обнаруживает их поразительное совпадение. Согласно картографическому анализу измеренная величина сжатия ΔR_0 отличается от расчетной величины по гравитационному потенциалу всего на 1 км, или на $0,03 \cdot 10^{-3}$ см/год. Это значит, что преобладающий возраст пород на поверхности кристаллического фундамента действительно составляет $4,0 \cdot 10^9$ лет! Из этого следует ряд важных выводов.

1. Сокращение радиуса Земли в течение большей части ее истории было обусловлено исключительно гравитационным сжатием. Никакого видимого изменения радиуса за счет теплопотери не происходило, а их роль в изменении объема планет сильно преувеличена.

2. С установлением преобладающего возраста кристаллического фундамента, равного $4,0 \cdot 10^9$ лет, уместно называть его не традиционно докембрийским, а катархейским.

3. Существование в океанических бассейнах погруженного на глубину 8–10 км гранитно-метаморфического фундамента позволило объяснить удивительное совпадение параметров сжатия земного шара, определенных двумя независимыми методами.



Погружение земной коры под секторами будущих океанов [6] началось на рубеже мезозоя и кайнозоя (65–70 млн назад) в результате новой вспышки глобального вулканизма и дегазации недр, сопровождавшихся выносом огромных масс эндогенной воды.

Обратим внимание на величину полюсного сжатия Земли. На 4,0 млрд лет (табл. 2, 3) она составляла всего 4 км, т.е. в 5 раз меньше современного сжатия (21,3 км). Это может служить указанием на то, что объем жидкого ядра к концу катархея был значительно меньше современного.

Таблица 2

Изменение параметров Земли в геологической истории

Время, млрд лет	$R = \frac{L}{2\pi}$, км	$V = \frac{4}{3}\pi R^3$, км ³	$S = 4\pi R^2$, км ²	$M = V\rho$, г	ρ , 10 ³ кг/м ³
Современное	6371	1,083 · 10 ¹²	510 · 10 ⁶	5,98 · 10 ²⁷	5,52
Поздний протерозой (PR ₂), 1 · 10 ⁹	6384	1,092 · 10 ¹²	513,5 · 10 ⁶	6,0 · 10 ²⁷	5,50
Алданий (AR ₁), 4 · 10 ⁹	6423	1,107 · 10 ¹²	519,8 · 10 ⁶	6,02 · 10 ²⁷	5,44
Молодая Земля, 4,5 · 10 ⁹	6431	1,12 · 10 ¹²	521,1 · 10 ⁶	6,02 · 10 ²⁷	5,37
По В. Кесареву, 1976 [3]	7150	1,5 · 10 ¹²	641,1 · 10 ⁶	6,01 · 10 ²⁷	3,84

Таблица 3

Рассчитанные средние параметры Земли

Объект	Возраст, лет	Длина окружности L ₀ , км	Радиус, км	Полюсное сжатие, км	Гравитационное сжатие, ΔR км
Молодая Земля	4,5 · 10 ⁹	40386,6	6431	0	0
Земля в катархее	4,0 · 10 ⁹	40342,7	6424	4	52
Современная Земля	0	40009	6371	25,3	~60

По-видимому, долгоживущие радиоактивные ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K с периодом полураспада 1,3–4,5 · 10⁹ лет и более, в первые 500 млн лет еще не начали отдавать свое тепло. К началу протерозоя (2,6 · 10⁹ лет) завершился полный распад ⁴⁰K и увеличилась отдача тепла ураном и торием. В это время, вероятно, начинает формироваться жидкое ядро, которое достигло максимальных размеров, скорее всего, на рубеже мезозоя и кайнозоя. К этому же времени завершается формирование астеносферы под секторами будущих океанов, которая в конце мелового периода стала источником нового этапа глобального вулканизма [6]. Увеличение объема внешнего жидкого ядра до современных размеров способствовало образованию сферичности Земли.

Возникает вопрос: почему после завершения начального вулканизма за последующий громадный интервал времени (3,4 · 10⁹ лет) фундамент не был перекрыт толщей молодых осадочно-вулканогенных пород? Средняя мощность алдания составила 11,5 км, что определяет интенсивность начального вулканизма 15 км³/год. Однако начиная с конца катархея (4,0 · 10⁹ лет) и до начала фанерозоя (0,57 · 10⁹ лет) интенсивность вулканизма снизилась до 0,13 км³/год (см. рис.), т.е. более чем в 100 раз [6]! Это объясняется исчерпанием ресурсов короткоживущих изотопов. Объем вулканизма за указанный интервал времени сократился до 0,45 · 10⁹ км³. Средняя мощность вулканических пород, образованных за это время, составила:

$$4,5 \cdot 10^8 \text{ км}^3 / 5,2 \cdot 10^8 \text{ лет} = 0,86 \text{ км}^2,$$

откуда ежегодные поступления материала не превышали 2,5 · 10⁻⁴ мм/год.

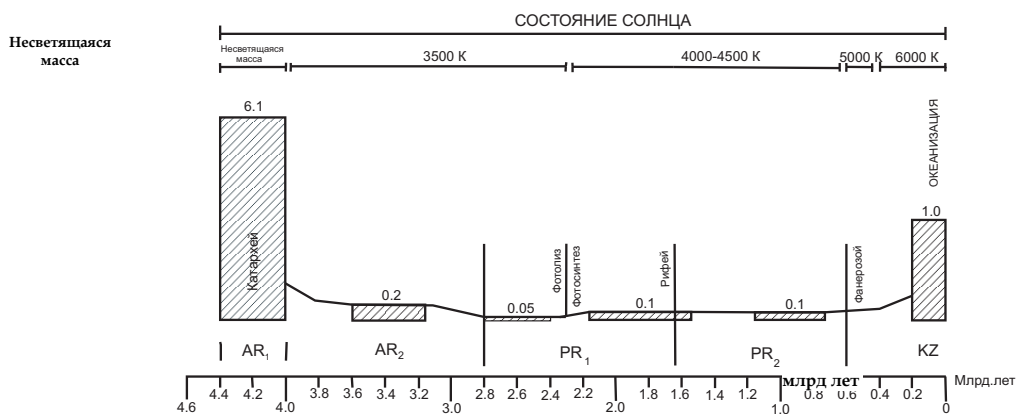




Рис. Крупнейшие этапы глобального вулканизма на Земле и состояние Солнца; цифрами показаны объемы ($\times 10^9 \text{ км}^3$) выброшенных на земную поверхность магматических масс

Нетрудно представить, что этот материал мог локализоваться лишь в депрессиях фундамента, а также в геосинклинальных прогибах по окраинам архейских гранито-гнейсовых куполов [11]. Поэтому на большей части земной поверхности катархейский фундамент длительное время должен был подвергаться размыву. Выносимая со слабым вулканизмом вода ($0,04 \text{ км}^3/\text{год}$) исключала возможность образования сколько-нибудь крупных и глубоководных морских бассейнов. Поэтому темпы дезинтеграции гранитно-метаморфических пород были малы (порядка 10^{-4} мм/год). При большей скорости эрозии, равной 10^{-3} мм/год , за 3,4 млрд лет было бы срезано 12 км пород, т.е. весь фундамент, чего на самом деле не наблюдается. Поэтому темпы дезинтеграции, равные 10^{-4} мм/год , очевидно, оптимальны. В среднем размыву и переотложению могло подвергнуться не более

$$3,4 \cdot 10^9 \text{ лет} \cdot 10^{-4} \text{ мм/год} = 3,4 \text{ км.}$$

Что же было поставщиком терригенного материала в фанерозойские морские бассейны? На первый взгляд — массивы докембрийских щитов, возвышавшиеся над уровнем морей на 300–500 м. Оценим объем денудированного со щитов терригенного материала. При площади щитов $20 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ оптимальная скорость такой денудации $\sim 10^{-3} \text{ мм/год}$. За $500 \cdot 10^6$ лет объем терригенного материала будет 10^7 км^3 , т.е. срезу подвергнется толща пород мощностью 0,5 км. В настоящее время средняя мощность осадочной толщи на платформах равна 2 км. Соотношение биогенного и терригенного комплексов составляет 50 на 50 %, т.е. объем терригенного материала на платформах площадью $150 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ будет $150 \cdot 10^6 \text{ км}^3$. Сравнивая эту цифру с объемом материала, поступившего со щитов ($10 \cdot 10^6 \text{ км}^3$), убеждаемся, что щиты не были основным поставщиком терригенных осадков на платформы. Значит, основной объем терригенного материала поступал с территории, которая по денудированной площади была бы сопоставима с объемом $140 \cdot 10^6 \text{ км}^3$. Суша такого размера могла существовать тогда только в секторах будущих океанов, где в фанерозое формировалась мощная астеносфера, а вместе с ней обширная сводовая возвышенность. Ее площадь могла составлять $200\text{--}250 \cdot 10^6 \text{ км}^2$. Она занимала срединную область Атлантического и Индийского океанов и области вокруг центральной части Тихого океана [6; 8; 10]. Приведенное выше служит еще одним подтверждением существования в пределах секторов будущих океанов на протяжении значительной части фанерозоя, обширной континентальной суши, которая служила поставщиком полимиктового терригенного материала в морские бассейны палеозоя и мезозоя. В кайнозойскую эпоху океанизации эта суша погрузилась на глубину более 8 км. Возникающие при этом впадины по мере опускания заполнялись водой, платобазальтами, морскими осадками, суммарный объем которых ($2,68 \cdot 10^9 \text{ км}^3$) практически совпадает с объемом опустившейся земной коры ($2,72 \cdot 10^9 \text{ км}^3$) [6].

Таким образом, двумя независимыми методами удалось установить сокращение радиуса Земли ($1,3 \cdot 10^{-3} \text{ см/год}$), обусловленное главным образом гравитационным сжатием. Оно составило около 60 км за 4,5 млрд лет, что не превышает 1 % от современного радиуса. Теплопотери, считавшиеся главной причиной уменьшения объема планеты и сокращения ее радиуса на 700 км и более [3], не оказывают влияния на этот процесс. Установлен преобладающий возраст поверхности кристаллического фундамента континентальных и океанических платформ $4,0 \cdot 10^9$ лет. Он совпадает с абсолютным определением возраста алдания и вулканогенных пород Луны и может быть принят как верхняя граница катархея. До кайнозоя на месте современных океанов находилась обширная приподнятая суша [5; 8; 10], поставлявшая терригенный материал в морские бассейны континентальных блоков. Слабый вулканизм в позднем архее и протерозое — основная причина того, что сиалический фундамент длительное время не был перекрыт более молодыми осадочно-вулканогенными породами. Максимальный эрозионный срез при темпах денудации 10^{-4} мм/год составил не более 3,4 км. В депрессиях фундамента возможны находки фрагментов мощной коры выветривания с характерными для них благородными металлами. Установление преобладающего возраста поверхности кристаллического фундамента ($4,0 \cdot 10^9$ лет) позволяет заменить общее название фундамента *докембрийский* на более определенное — *катархейский*.

Список литературы

1. *Войткевич Г. В.* Происхождение и химическая эволюция Земли. М., 1973.
2. *Войткевич Г. В., Закруткин В. В.* Основы геохимии. М., 1976.
3. *Кесарев В. З.* Эволюция вещества Вселенной. М., 1976.
4. *Монин А. С.* Ранняя геологическая история Земли. М., 1987.
5. *Орленок В. В.* Основы геофизики. Калининград, 2000.



6. Орленок В. В. Глобальный вулканизм и океанизация Земли. Калининград, 2008.
7. Орленок В. В. Сокращение радиуса и определение теплопотерь Земли и планет в свете новейших данных // ДАН. 2009. Т. 427, №1. С. 106–111.
8. Пронин А. А. Геологические проблемы современных и древних океанов. Л., 1977.
9. Резанов И. А. Жизнь и космические катастрофы. М., 2003.
10. Рудич Е. М. Мелководные фации Мирового океана // Океанизация Земли – альтернатива неомобилизма: сб. науч. ст. / отв. ред. В. В. Орленок. Калининград, 2004. С. 218–234.
11. Салон Л. И. Геологическое развитие Земли в докембрии. Л., 1982.
12. Черкасов Р. Ф. Архей Алданского щита. М., 1973.
13. Шкловский И. С. Звезды: их рождение и смерть. М., 1984.
14. Arrhenius G., Lepland A. Accretion of Moon and Earth at the emergence of life // Chemical Geology. 2000. №169. P. 69–82.

Об авторе

Вячеслав Владимирович Орленок – д-р геол.-минерал. наук, проф., Российский государственный университет им. И. Канта, e-mail: VOrlenok@kantiana.ru

Author

Prof. Vyacheslav Orlyonok, Dean of the Faculty of Geography and Geoecology, IKSUR, e-mail: VOrlenok@kantiana.ru