



ДОКЕМБРИЙСКИЕ ЦУНАМИ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ

Д.А. РУБАН

*Южный федеральный университет
43, ул. 23-я линия, г. Ростов-на-Дону 344019, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучение цунами в геологической истории вызывает значительный интерес у исследователей. В частности, предполагается их проявление еще в докембрии. Однако соответствующая информация требует системного обобщения.

Цель. Целью статьи является синтез опубликованных данных о докембрийских цунами. Интерес представляют возраст, распространение, возможные причины этих природных катастроф, а также характер информации о них.

Материалы и методы. В основу работы положена библиографическая информация, прежде всего собранная с помощью базы данных Scopus. Анализировались 39 источников (статьи в ведущих научных журналах). Литературные данные систематизированы по критериям.

Результаты. Свидетельства цунами получены с большей части докембрийского интервала и из разных регионов планеты. Наибольшие концентрации изученных катастроф зафиксированы для конца раннего архея и раннего протерозоя. Среди причин указываются космические импакты или землетрясения. Древнейшие цунами интерпретировались, как правило, путем анализа состава и текстур пород. При этом интерпретации часто безальтернативны.

Обсуждение результатов. Установлена значительная неполнота имеющейся информации. Формулируются гипотезы о влиянии изменений частоты космических импактов и инициации тектоники литосферных плит на особенности проявления цунами в докембрии.

Заключение. В свете результатов ранее проведенных исследований можно говорить о широко проявлении цунами в докембрии. Их изучение видится перспективным, в том числе и для российских геологов.

Ключевые слова: архей, библиографические данные, космические импакты, протерозой, сейсмичность

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Благодарности: автор выражает признательность А.А. Богомолу за поддержку с размещением данных в Цифровом репозитории Южного федерального университета.

Для цитирования: Рубан Д.А. Докембрийские цунами в свете современных данных. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(3):8—17. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-8-17>

Статья поступила в редакцию 24.05.2023

Принята к публикации 08.06.2023

Опубликована 30.06.2023

PRECAMBRIAN TSUNAMIS IN THE LIGHT OF THE MODERN DATA

DMITRY A. RUBAN

*Southern Federal University
43, 23-th Liniya str., Rostov-on-Don, 344019, Russia*

ABSTRACT

Background. In the geological history of the Earth, tsunami events attract particular research attention. Such events are assumed to have taken place already since the Precambrian period. However, the information on Precambrian tsunamis requires systematic generalization.

Aim. To generalize the data published on Precambrian tsunamis with a particular focus on their age, distribution, and possible triggers. The character of information about these natural catastrophes also presents interest.

Materials and methods. A bibliographical review was conducted based on the developed systematization criteria. The information was collected with the Scopus database. A total of 39 sources (articles in the leading scientific journals) were analyzed.

Results. The evidence of tsunami events was obtained for a large part of the Precambrian interval for different regions of the planet. The highest concentrations of the studied catastrophes were established for the end-Early Archean and the Early Proterozoic. Cosmic impacts and earthquakes were indicated among the triggers. The oldest tsunamis were commonly interpreted by analyzing the composition and textures of rocks. These interpretations frequently proposed no alternative explanations.

Discussion. The available information on Precambrian tsunamis lacks completeness. Two hypotheses were formulated, those assuming the influence of the varied frequency of cosmic impacts and the initiation of lithospheric plate tectonics on the occurrence of tsunamis in the Precambrian.

Conclusion. Previous studies suggest a wide manifestation of tsunami events in the Precambrian. Further research in this direction seems promising, both for Russian and foreign geologists.

Keywords: Archean, bibliographical data, cosmic impacts, Proterozoic, seismicity

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

Acknowledgements: the author thanks A.A. Bogomolov for support with data deposition in the Digital Repository of the Southern Federal University.

For citation: Ruban D.A. Precambrian tsunamis in the light of the modern data. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(3):8—17. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-8-17>

Manuscript received 24 May 2023

Accepted 08 June 2023

Published 30 June 2023

Цунами являются катастрофическими природными явлениями, повторяемость которых в масштабах геологического времени весьма велика. Если только в течение XX и начале XXI веков было зарегистрировано почти 1300 событий такого рода, из которых почти полторы сотни характеризовались значительной силой [17], то можно предполагать, что их число в истории Земли измеряется миллиардами. Катастрофы в Индийском океане (2004 г.) и Японии (2011 г.)

способствовали значительному росту интереса ученых во всем мире к изучению как современных, так и древних цунами [20, 29]. Несмотря на тщательный анализ особого типа отложений — цунамитов — и других геологических индикаторов этих катастроф в геологическом прошлом, знания о них до сих пор остаются ограниченными [9, 30]. И речь идет только о «классических», т.е. океанических цунами, тогда как эти катастрофы могут происходить и в континентальных условиях [3, 7, 17];

установление их следов в осадочных последовательностях — еще более трудная задача. При этом надо отметить, что именно изучение древних цунами указывает на реализуемость этих явлений в относительно мелководных эпиконтинентальных бассейнах [10]. С учетом возможно большого количества цунами в прошлом Земли имеет смысл сконцентрироваться на их анализе на отдельных отрезках геологического времени.

Изучение докембрийских цунами представляет важность для понимания специфической динамики планетарной среды, а также позволяет уточнить критерии расшифровки природы сложно построенных, подчас глубоко метаморфизированных комплексов. Некоторыми исследователями уже была аргументирована возможность широкого проявления цунами не только в протерозое, но также в архее и даже гадае [12, 13, 15, 16]. В этой связи возникает вопрос о возможности обнаружения свидетельств цунами в докембрийских комплексах. Удивительно, но, несмотря на его кажущуюся сложность, за последние 25 лет было опубликовано несколько десятков работ, в которых представлена информация о докембрийских цунами разного возраста и из разных регионов. Речь идет именно о конкретных геологических свидетельствах, и прежде всего выделении типичных цунамитов. Соответствующие исследования стимулировались, как правило, интересом либо к древнейшим импактным событиям и их геологическим следствиям, либо к палеосейсмичности и расшифровке соответствующих текстурных особенностей пород. Хотя полученные сведения были представлены большей частью на страницах ведущих международных журналов и за авторством крупных специалистов, они оказываются разрозненными, подчас даже фрагментарными. В этой связи на первый план выходит задача по систематизации накопленной информации для получения общей картины проявления цунами на докембрийском этапе развития Земли.

Целью настоящей работы является синтез ранее опубликованной информации о докембрийских цунами. Он важен как для общей характеристики их пространственно-временного распространения и возможных причин, так и для установления меры их изученности к настоящему времени. Такого рода сводка видится потенциально полезной для отечественных специалистов, т.к. обращает внимание на перспективность новой тематики, которая может изучаться и на территории России, где докембрийские комплексы имеют широкое распространение.

Материалы и методы

Основным материалом для настоящей работы являются разрозненные литературные данные, касающиеся интерпретации докембрийских цунами в конкретных локусах. Для сбора международных источников была использована библиографическая база Scopus, характеризующаяся значительной полнотой [4, 33]. Информация из отечественной литературы может быть получена с помощью «Научной электронной библиотеки», однако эффективным оказалось также использование популярных средств поиска в сети Интернет. За первичным сбором библиографической информации последовало внимательное изучение ее содержания с выделением действительно релевантных источников. В конечном итоге для последующего анализа было отобрано 39 работ — статей в ведущих журналах. Во избежание перегрузки настоящей работы библиографической информацией и результатами ее первичного анализа (см. ниже) она размещена в открытом доступе в Цифровом репозитории Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону, РФ) в качестве блока исследовательских данных (Приложение), как это принято в практике современной научной деятельности.

Основным методом является контент-анализ отобранных источников. В каждом из них рассматриваются свидетельства о цунами: устанавливаются возраст, географическая привязка, причина и характер информации. Возраст определяется в соответствии с информацией из анализируемых источников, ряд из которых содержит точные датировки. В данной работе за основу берется Международная хроностратиграфическая шкала [14], т.к. именно ее подразделения рассматриваются в большинстве анализируемых работ; кроме того, она обладает достаточной дробностью. При этом полученные в итоге результаты вполне могут выражаться и в терминологии принятой в России Общей стратиграфической шкалы [5], с которой международные подразделения коррелируются по возрастным отметкам. Иными словами, привязка к международной шкале диктуется сугубо методологическими соображениями, а не ее предпочтением. Более того, важно отметить, что в настоящее время обсуждаются возможности коррекции международной шкалы [32]. Географическая привязка носит предельно общий характер — катастрофы отнесены к одному из крупных регионов (например, Индостан или Южная Африка). Привязка к геологическим структурам не проводится в силу неоднозначности трактовки докембрийской геологии ряда территорий и сохраняющейся неопределенности относительно

пространственно-генетического соотношения их структур в докембрии. Что касается причин цунами, то они обсуждаются в большинстве работ и оказываются либо импактными, либо сейсмическими. Другие известные причины этих катастрофических явлений [17] в литературе не рассматривались. Наконец, характер информации оценивался двояко. Во-первых, обращалось внимание на критерии (седиментологические, геохимические и т.п.), по которым идентифицировались древние цунами. Во-вторых, анализировалась однозначность интерпретаций (является ли цунами единственно предполагаемым явлением или возможны альтернативные объяснения). Здесь важно подчеркнуть, что интерпретации цунами в докембрийских комплексах в любом случае носят гипотетический характер, хотя во многих работах они подробно обосновываются.

После первичного анализа каждого из отображенных источников проводился синтез систематизированной с использованием вышеотмеченных критериев информации. Несмотря на наличие четко скомпилированных данных, видится возможным только их качественная интерпретация. Связано это с тремя обстоятельствами. Во-первых, в некоторых работах отмечается наличие

свидетельств нескольких цунами (однако о точном их числе судить затруднительно). Во-вторых, информация из разных регионов и представленная разными специалистами в ряде случаев могла относиться к одному цунами. В-третьих, ряд работ посвящен, по всей видимости, одному событию в том же самом регионе, однако сходимость соответствующих свидетельств не всегда можно четко увидеть. В этой связи могут быть сделаны выводы лишь об относительном количестве цунами по временным отрезкам докембрия и регионам. С несколько большей определенностью можно говорить об их соотношении по возможным механизмам, а также о характере информации.

Результаты

Синтез имеющейся библиографической информации показывает, что за 25 лет исследований в различных регионах мира было установлено несколько десятков проявлений цунами в докембрии (Приложение). В ряде случаев можно говорить о почти что глобальных катастрофах, свидетельства которых получены из разных локусов, но приблизительно с одного возрастного уровня, а в других — о сериях сравнительно часто повторяющихся событий в одном и том же регионе.

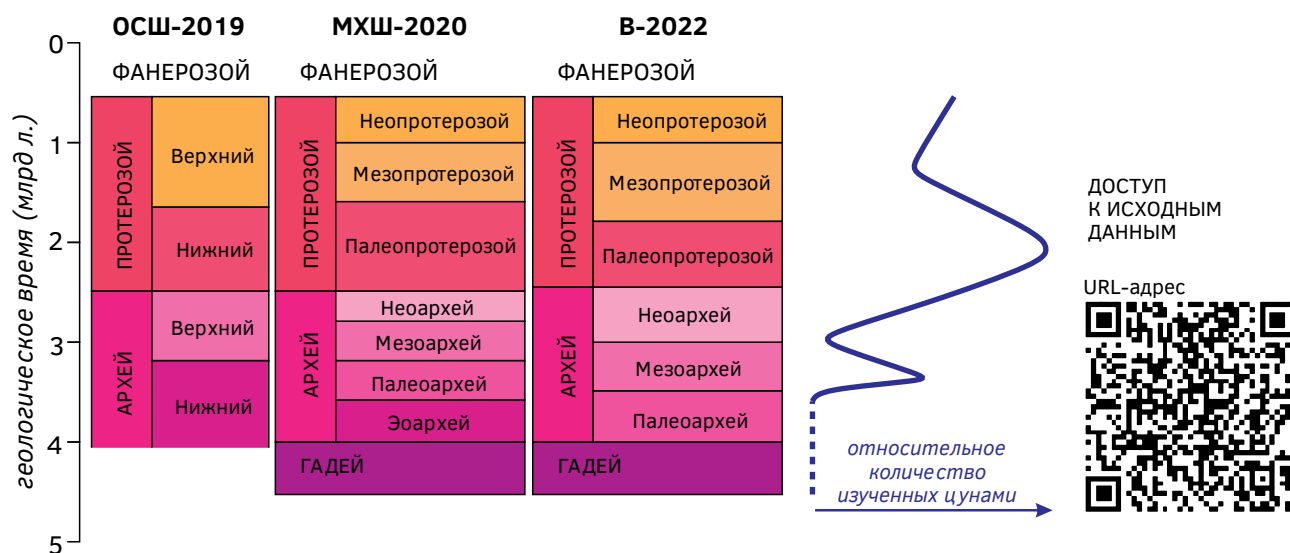


Рис. 1. Временное распределение изученных докембрийских цунами. ОСШ-2019 — общая стратиграфическая шкала (Россия [5]), МХШ-2020 — Международная хроностратиграфическая шкала (Международная комиссия по стратиграфии [14]), В-2022 — модифицированный вариант международной шкалы [32] (разработан при российском участии). Используются рекомендации по цветам стратиграфических подразделений [14]. Исходные данные размещены в Цифровом репозитории ЮФУ; для удобства доступа к ним указан QR-код

Fig. 1. Temporal distribution of the studied Precambrian tsunamis. ОСШ-2019 — general stratigraphical scale (Russia [5]), МХШ-2020 — International chronostratigraphical chart (International Commission on Stratigraphy [14]), В-2022 — modified version of the international chart [32] (developed with Russian participation). Recommendations for colouring stratigraphical units [14] are followed. The original data are stored in the Digital repository of the SFU; QR-code is indicated to facilitate access to them

Нередко специалистам удавалось интерпретировать присутствие «настоящих» цунами в метаморфических комплексах.

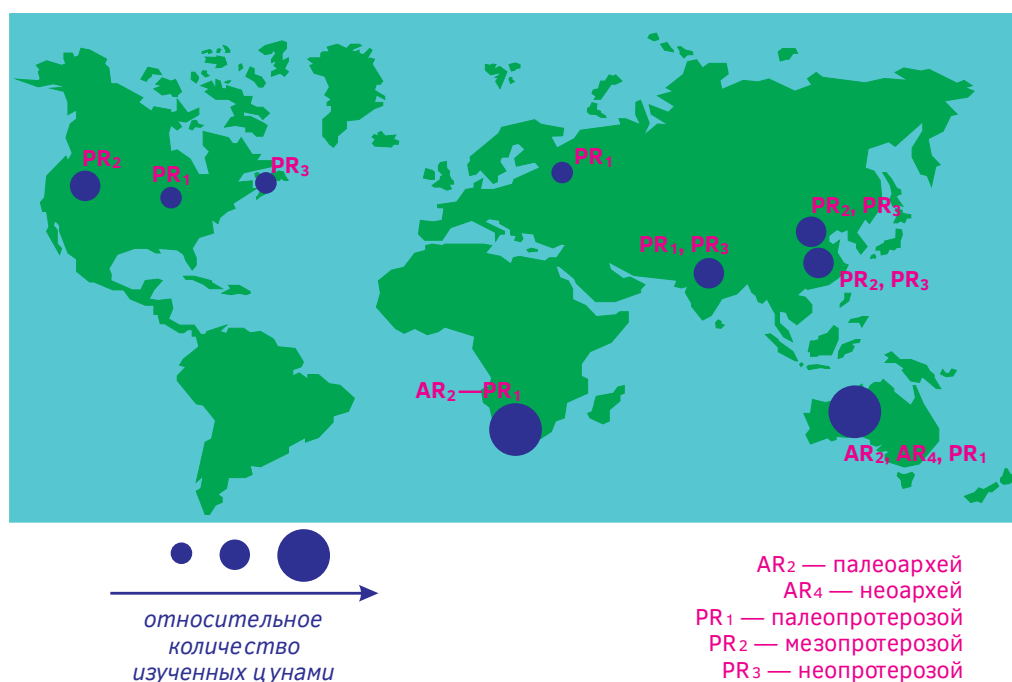
Относительное количество изученных цунами в докембрийской истории меняется (рис. 1). Для самых ранних этапов развития Земли эти события только предполагаются, однако их свидетельства пока не были обнаружены в ходе полевых исследований. Они появляются для палеоархея (конец раннего архея по отечественной шкале [5]), при этом сразу в довольно большом количестве. После мезоархейской «паузы» количество идентифицированных цунами снова возрастает в неоархее и далее в палеопротерозое (последняя треть позднего архея и ранний протерозой соответственно по отечественной шкале [5]). На оставшейся части протерозоя число цунами сначала снижается, а потом возрастает, однако не достигая палеопротерозойского уровня (рис. 1). Безусловно, такая динамика отражает скорее неравномерный исследовательский интерес к различным временным интервалам докембрия, однако палеоархейский и палеопротерозойский пики гипотетически могут отражать и реальное усиление действия факторов геологической эволюции (например, увеличение частоты космических импактов или интенсификацию

сейсмичности), способствующих более частому и/или масштабному проявлению цунами.

В географическом отношении докембрийские цунами известны из различных регионов мира (рис. 2). При этом география протерозойских (особенно палеопротерозойских) катастроф такого рода оказывается более широкой, чем архейских. Последние известны лишь из Австралии и Южной Африки. Гипотетическое цунами на территории России (Балтийский щит) также относится к первой половине протерозоя [1]. Хотя палеотектонические реконструкции для докембрия (особенно для архея) еще остаются предметом дискуссий [22, 23, 26], их различные варианты указывают на проявление цунами в действительно разных секторах планеты в протерозое.

В имеющейся литературе рассматриваются только две причины докембрийских цунами: импактная и сейсмическая (Приложение). Архейские катастрофы вызывались большей частью ударами космических тел, что неудивительно с учетом интенсивности этих процессов на ранних этапах планетарной эволюции [24, 25, 31]. Напротив, для протерозойских цунами чаще указывается сейсмическая и, как правило, более локальная причина.

Характер информации о докембрийских цунами в анализируемой литературе достаточно



ДОСТУП
К ИСХОДНЫМ
ДАННЫМ

URL-адрес



Рис. 2. Пространственное распределение изученных докембрийских цунами. Исходные данные размещены в Цифровом репозитории ЮФУ; для удобства доступа к ним указан QR-код

Fig. 2. Spatial distribution of the studied Precambrian tsunamis. The original data are stored in the Digital repository of the SFU; QR-code is indicated to facilitate access to them

однородный (Приложение). В большинстве случаев речь идет о седиментологических интерпретациях состава (например, присутствие обломков большой размерности) и текстурных особенностей пород (вполне очевидно, что они являются большей частью метаморфическими, и, следовательно, установление их изначальной осадочной природы — отдельная задача). В очень редких случаях используются геохимические, минералогические и палеонтологические (последние только для протерозоя) свидетельства. Нередко интерпретации являются вторичными, т.е. изначально устанавливается геологическое событие, которое могло спровоцировать возникновение цунами, что формирует основу для последующей интерпретации особенностей пород. Чаще всего такой подход относится к импактным цунами. При этом важно, что в большинстве отобранных источников интерпретации цунами носят однозначный характер, тогда как альтернативные объяснения (например, «цунами» могли на самом деле формироваться под действием сильных штормов) предложены лишь в 13% работ (Приложение). Это указывает на довольно некритичный подход специалистов (безусловно, не всех) к интерпретациям.

Обсуждение результатов

Представленное выше обобщение сведений о докембрийских цунами позволяет предложить ряд интерпретаций. Прежде всего интерес представляет полнота имеющейся информации. С учетом древности комплексов и их метаморфизма кажется довольно удивительным обнаружение свидетельств цунами в количестве нескольких десятков из разных временных интервалов и регионов. Однако это отнюдь не говорит о действительной полноте информации. Во-первых, длительность докембрия составляет около 4 млрд лет [14]. Если взять за основу современную повторяемость цунами [17], то получаем, что имеющиеся свидетельства касаются лишь примерно 0,0000001% возможного числа этих катастроф на данном интервале. Стоит также обратить внимание на отсутствие данных (возможно, невозможность их получения в принципе) для гадея-эоархея и их ограниченность для мезоархея (рис. 1). В пространственном отношении лишь в структурах Австралии и Южной Африки найдены свидетельства архейских цунами, а для протерозоя белыми пятнами оказываются Северная Африка и Аравия, Сибирь и Южная Америка, не говоря уже об Антарктиде, несмотря на широкое распространение там докембрийских комплексов. В этой связи даже кажущиеся необычно многочисленными

свидетельства цунами, представленные в литературе (Приложение), являются, скорее всего, лишь случайно сохранившимися и столь же случайно обнаруженными. Это, однако, не снижает их ценности, т.к. они подтверждают распространенность данных катастрофических явлений в докембрии.

Стоит отметить, что геологические процессы, которые могут выступать в качестве причин цунами, активно действовали в докембрии. Такими причинами являются не только космические импакты [9], интенсивность которых на ранних этапах эволюции планеты действительно была высока [24, 25, 31], но также землетрясения, подводные оползни, извержения вулканов и особые метеорологические явления [9, 17]. Хотя время и механизм инициации тектоники литосферных плит остаются предметом дискуссий в современной геологии, имеющиеся представления указывают на ее функционирование на протяжении хотя бы части докембрия [2, 8, 27, 36, 39], что позволяет предполагать широкое проявление связанной с ней сейсмичности и, как следствие, цунами. Подводные оползни также известны из докембрия [11, 18, 19], и нет оснований сомневаться, что некоторые из них были способны генерировать цунами. То же самое относится и к подводным извержениям вулканов [6, 38]. Выдвигать гипотезы о метеорологических цунами сложнее, т.к. их механизм связан с колебаниями атмосферного давления [28], а известно, что в докембрии оно не только отличалось от современного, но и испытывало долговременные изменения [34]. Сказанное вновь указывает на значительную неполноту информации о докембрийских цунами. С одной стороны, действие отмеченных геологических процессов на этом интервале говорит о том, что проявления цунами могли быть не менее частыми, чем в настоящее время. С другой стороны, те из них, что вызывались подводными оползнями, подводными вулканическими извержениями и, возможно, метеорологическими явлениями, пока не идентифицированы в породных комплексах.

Значительная неполнота информации может быть связана с рядом обстоятельств, а именно плохой сохранностью свидетельств цунами в осадочных последовательностях (тем более с учетом последующего метаморфизма), сложностью их идентификации, а также недостаточным интересом исследователей [9, 30, 35, 37]. Особо следует отметить трудности различения цунамитов и штормовых отложений, которые современным ученым представляются значительными, при этом даже при изучении гораздо более молодых осадочных

комплексов [21]. Использование при идентификации цунамитов преимущественно седиментологических критериев видится вполне оправданным, однако преобладание столь однозначных, по сути безальтернативных интерпретаций в работах по докембрию (Приложение) кажется удивительным, в том числе и при сравнении с аналогичными блоками информации по более поздним интервалам геологического времени и, в частности, по триасовому периоду [30]. Это лишь усиливает гипотетический характер информации о докембрийских цунами, делая целесообразным ее последующий критический анализ. Нельзя исключать, что часть установленных цунамитов на самом деле не являются таковыми.

Сравнение с информацией по фанерозою [9, 30] указывает, что космические импакты были как будто более частой причиной цунами именно в докембрии (особенно в архее). Однако при этом необходимо понимать, что фанерозой имеет значительно меньшую длительность [14], а число импактных цунами, еще не идентифицированных в фанерозойских осадочных последовательностях, могло быть значительным [9]. Более того, необходимо принять во внимание площади, которые были заняты морями и океанами в докембрии, а также учесть, что космические импакты архея сами по себе привлекают исследователей, вследствие чего шанс обнаружить связанные с ними цунами возрастает. Тем не менее имеющаяся информация (Приложение) все-таки позволяет выдвинуть предположение о снижении доли импактных цунами после архея. Другая гипотеза касается увеличения доли сейсмогенных цунами с протерозоя (Приложение), что может объясняться, в том числе, установлением тектоники литосферных плит современного типа именно в середине докембрия.

Заключение

Предпринятый синтез ранее опубликованной информации о докембрийских цунами позволяет

сделать три общих вывода. Во-первых, свидетельства цунами получены уже из раннего архея и более поздних временных интервалов; особо выделяются палеоархей (конец раннего архея) и палеопротерозой (ранний протерозой). Во-вторых, предполагаемые архейские цунами проявились в Австралии и Южной Африке и имели большей частью импактную причину; напротив, протерозойские цунами известны из различных регионов, а по природе своей были чаще сейсмическими. В-третьих, хотя ранее опубликованная информация указывает на проявление цунами в докембрии, она отличается предельной неполнотой как в части числа известных событий, так и в части их природы.

Данная работа указывает на перспективность изучения докембрийских цунами. Безусловно, широкая распространенность докембрийских комплексов на территории России может рассматриваться в качестве существенной предпосылки для разработки отмеченной тематики. Иными словами, отечественные геологи вполне могут внести весомый вклад в совершенствование соответствующих представлений, а традиции российской науки, и прежде всего нацеленность на построение целостных концептуальных схем позволяют вывести эти представления на принципиально новый уровень. С практической точки зрения это может быть важно для поиска и аргументации уникальности новых объектов геологического наследия, являющегося ценным ресурсом, освоение которого несет социально-экономические выгоды.

Приложение

Данные, скомпилированные и систематизированные в целях настоящего исследования, представлены в открытом доступе в Цифровом репозитории Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону, РФ): <https://hub.sfedu.ru/repository/material/801311452/>, DOI: 10.18522/sfedu.dataset.801311452

ЛИТЕРАТУРА

1. Винтер Г.Э. О вологодской находке раннепротерозойского Metazoa // *Фундаментальные исследования*. 2005. № 10. С. 92—93.
2. Грачев А.Ф. Первый миллиард лет развития Земли (3,8—2,8 млрд лет): анализ осадочных и магматических формаций и геодинамика // *Физика Земли*. 2005. № 11. С. 8—34.
3. Махинов А.Н. Оползень и цунами на реке Бурея 11 декабря 2018 года // *Природа*. 2019. № 4. С. 12—22.
4. Мельникова Е.В. Издательство Elsevier и информационная система Scopus // *Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы*. 2017. № 7. С. 19—22.
5. Стратиграфический кодекс России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.
6. Belyaev A.M. Paleoproterozoic Underwater Volcanism and Microfossil-Like Structures in the Metasedimentary Siliceous Rocks, Hogland Island, Russia // *Journal of Earth Science*. 2018. V. 29. P. 1431—1442.

7. Benn J.L. Tsunamis, seismic seiches, and undetermined wave events on New Zealand lakes, 1846—2022: a review // *Science for Conservation*. 2023. No. 338. P. 59.
8. Brown M., Johnson T., Gardiner N.J. Plate Tectonics and the Archean Earth // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2020. V. 48. P. 291—320.
9. Dawson A.G., Stewart I. Tsunami deposits in the geological record // *Sedimentary Geology*. 2007. V. 200. P. 166—183.
10. Diedrich C. Tsunami killed and backwashed accumulated crinoids in Middle Triassic (Anisian) intracratonic Germanic Basin carbonates of central Europe // *Carbonates and Evaporites*. 2017. V. 32. P. 435—458.
11. Draganits E., Schlaf J., Grasemann B., Argles T. Giant submarine landslide grooves in the Neoproterozoic/Lower Cambrian Phe Formation, northwest Himalaya: Mechanisms of formation and palaeogeographic implications // *Sedimentary Geology*. 2008. V. 205. P. 126—141.
12. Eriksson P.G., Catuneanu O., Sarkar S., Tirsgaard H. Patterns of sedimentation in the Precambrian // *Sedimentary Geology*. 2005. V. 176. P. 17—42.
13. Eriksson P.G., Banerjee S., Catuneanu O., Sarkar S., Bumby A.J., Mtinkulu M.N. Prime controls on Archean-Palaeoproterozoic sedimentation: Change over time // *Gondwana Research*. 2007. V. 12. P. 550—559.
14. Geologic Time Scale 2020. Amsterdam: Elsevier, 2020. 1357 p.
15. Glikson A.Y. Geochemical signatures of Archean to Early Proterozoic Maria-scale oceanic impact basins // *Geology*. 2005. V. 33. P. 125—128.
16. Glikson A.Y., Vickers J. Asteroid impact connections of crustal evolution // *Australian Journal of Earth Sciences*. 2010. V. 57. P. 79—95.
17. Gusiakov V.K. Global Occurrence of Large Tsunamis and Tsunami-like Waves Within the Last 120 years (1900—2019) // *Pure and Applied Geophysics*. 2020. V. 177. P. 1261—1266.
18. Haugaard R., Ootes L., Konhauser K. Neoarchaeal banded iron formation within a ~2620 Ma turbidite-dominated deep-water basin, Slave craton, NW Canada // *Precambrian Research*. 2017. V. 292. P. 130—151.
19. Horwitz R.C. Large scale slumping in the Ashburton trough of Western Australia // *Precambrian Research*. 1981. V. 14. P. 389—401.
20. Jain N., Virmani D., Abraham A. Tsunami in the last 15 years: a bibliometric analysis with a detailed overview and future directions // *Natural Hazards*. 2021. V. 106. P. 139—172.
21. Kennedy A.B., Cox R., Dias F. Storm Waves May Be the Source of Some “Tsunami” Coastal Boulder Deposits // *Geophysical Research Letters*. 2021. V. 48. P. e2020GL090775.
22. Li Z.-X., Liu Y., Ernst R. A dynamic 2000—540 Ma Earth history: From cratonic amalgamation to the age of supercontinent cycle // *Earth-Science Reviews*. 2023. V. 238. P. 104336.
23. Liu Y., Mitchell R.N., Li Z.X., Kirscher U., Pisarevsky S.A., Wang C. Archean geodynamics: Ephemeral supercontinents or long-lived supercratons // *Geology*. 2021. V. 49. P. 794—798.
24. Lowe D.R., Byerly G.R. The terrestrial record of Late Heavy Bombardment // *New Astronomy Reviews*. 2018. V. 81. P. 39—61.
25. Marchi S., Drabon N., Schulz T., Schaefer L., Nesvorný D., Bottke W.F., Koeberl C., Lyons T. Delayed and variable late Archean atmospheric oxidation due to high collision rates on Earth // *Nature Geoscience*. 2021. V. 14. P. 827—831.
26. Merdith A.S., Williams S.E., Collins A.S., Tetley M.G., Mulder J.A., Blades M.L., Young A., Armistead S.E., Cannon J., Zahirovic S., Müller R.D. Extending full-plate tectonic models into deep time: Linking the Neoproterozoic and the Phanerozoic // *Earth-Science Reviews*. 2021. V. 214. P. 103477.
27. Ning W., Kusky T., Wang L., Huang B. Archean eclogite-facies oceanic crust indicates modern-style plate tectonics // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2022. V. 119. P. e2117529119.
28. Rabinovich A.B. Twenty-Seven Years of Progress in the Science of Meteorological Tsunamis Following the 1992 Daytona Beach Event // *Pure and Applied Geophysics*. 2020. V. 177. P. 1193—1230.
29. Ruban D.A. Research in tsunami-related sedimentology during 2001–2010: can a single natural disaster re-shape the science? // *GeoActa*. 2011. V. 10. P. 79—85.
30. Ruban D.A. Tsunamis Struck Coasts of Triassic Oceans and Seas: Brief Summary of the Literary Evidence // *Water*. 2023. V. 15. P. 1590.
31. Schmieder M., Kring D.A. Earth's Impact Events through Geologic Time: A List of Recommended Ages for Terrestrial Impact Structures and Deposits // *Astrobiology*. 2020. V. 20. P. 91—141.
32. Shields G.A., Strachan R.A., Porter S.M., Halverson G.P., Macdonald F.A., Plumb K.A., de Alvarenga C.J., Banerjee D.M., Bekker A., Bleeker W., Brasier A., Chakraborty P.P., Collins A.S., Condie K., Das K., Evans D.A.D., Ernst E., Fallick A.E., Frimmel H., Fuck R., Hoffman P.F., Kamber B.S., Kuznetsov A.B., Mitchell R.N., Poire D.G., Poulton S.W., Riding R., Sharma M., Storey C., Stueeken E., Tostevin R., Turner E., Xiao S., Zhang S., Zhou Y., Zhu M. A template for an improved rock-based subdivision of the pre-Cryogenian timescale // *Journal of the Geological Society*. 2022. V. 179. P. jgs2020-222.
33. Singh V.K., Singh P., Karmakar M., Leta J., Mayr P. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis // *Scientometrics*. 2021. V. 126. P. 5113—5142.
34. Som S.M., Buick R., Hagadorn J.W., Blake T.S., Perreault J.M., Harnmeijer J.P., Catling D.C. Earth's air pressure 2.7 billion years ago constrained to less than half of modern levels // *Nature Geoscience*. 2016. V. 9. P. 448—451.

35. *Spiske M., Piepenbreier J., Benavente C., Bahlburg H.* Preservation potential of tsunami deposits on arid siliciclastic coasts // *Earth-Science Reviews*. 2013. V. 126. P. 58—73.
36. *Stern R.J.* The Orosirian (1800–2050 Ma) plate tectonic episode: Key for reconstructing the Proterozoic tectonic record // *Geoscience Frontiers*. 2023. V. 14. P. 101553.
37. *Weiss R., Bahlburg H.* A note on the preservation of offshore tsunami deposits // *Journal of Sedimentary Research*. 2006. V. 76. P. 1267—1273.
38. *Wilson A., Riganti A.* Architectural and Compositional Diversity of Early Earth Ocean Floor Evidenced by the Paleoarchean Nondweni Greenstone Belt, South Africa // *Journal of Petrology*. 2022. V. 63. P. egac108.
39. *Wu C., Wang G., Zhou Z., Zhao X., Haproff P.J.* Late Archean–Paleoproterozoic plate tectonics along the northern margin of the North China craton // *Bulletin of the Geological Society of America*. 2023. V. 135. P. 967—989.

REFERENCES

1. *Vinter G.E.* On the Vologda finding of the Early Proterozoic Metazoa // *Fundamental Research*. 2005. No. 10. P. 92—93 (In Russian).
2. *Grachev A.F.* The first billion years of the development of the Earth (3.8—2.8 bln yr): Analysis of sedimentary and magmatic formations and geodynamics // *Physics of the Earth*. 2005. No. 11. P. 8—34 (In Russian).
3. *Makhinov A.V.* Landslide and tsunami on the Bureya River on December 11, 2018 // *Nature*. 2019. No. 4. P. 12—22 (In Russian).
4. *Melnikova E.V.* Publisher of Elsevier and information system Scopus // *Scientific and technical information. Series 1: Organization and methods of information work*. 2017. No 7. P. 19—22 (In Russian).
5. *Stratigraphical code of Russia*. Sankt-Petersburg: VSEGEI, 2019. 96 p. (In Russian).
6. *Belyaev A.M.* Paleoproterozoic Underwater Volcanism and Microfossil-Like Structures in the Metasedimentary Siliceous Rocks, Hogland Island, Russia // *Journal of Earth Science*. 2018. V. 29. P. 1431—1442.
7. *Benn J.L.* Tsunamis, seismic seiches, and undetermined wave events on New Zealand lakes, 1846—2022: a review // *Science for Conservation*. 2023. No. 338. P. 59.
8. *Brown M., Johnson T., Gardiner N.J.* Plate Tectonics and the Archean Earth // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2020. V. 48. P. 291—320.
9. *Dawson A.G., Stewart I.* Tsunami deposits in the geological record // *Sedimentary Geology*. 2007. V. 200. P. 166—183.
10. *Diedrich C.* Tsunami killed and backwashed accumulated crinoids in Middle Triassic (Anisian) intracratonic Germanic Basin carbonates of central Europe // *Carbonates and Evaporites*. 2017. V. 32. P. 435—458.
11. *Draganits E., Schlaf J., Grasemann B., Argles T.* Giant submarine landslide grooves in the Neoproterozoic/Lower Cambrian Phe Formation, northwest Himalaya: Mechanisms of formation and palaeogeographic implications // *Sedimentary Geology*. 2008. V. 205. P. 126—141.
12. *Eriksson P.G., Catuneanu O., Sarkar S., Tirsgaard H.* Patterns of sedimentation in the Precambrian // *Sedimentary Geology*. 2005. V. 176. P. 17—42.
13. *Eriksson P.G., Banerjee S., Catuneanu O., Sarkar S., Bumby A.J., Mtimkulu M.N.* Prime controls on Archean–Palaeoproterozoic sedimentation: Change over time // *Gondwana Research*. 2007. V. 12. P. 550—559.
14. *Geologic Time Scale 2020*. Amsterdam: Elsevier, 2020. 1357 p.
15. *Glikson A.Y.* Geochemical signatures of Archean to Early Proterozoic Maria-scale oceanic impact basins // *Geology*. 2005. V. 33. P. 125—128.
16. *Glikson A.Y., Vickers J.* Asteroid impact connections of crustal evolution // *Australian Journal of Earth Sciences*. 2010. V. 57. P. 79—95.
17. *Gusiakov V.K.* Global Occurrence of Large Tsunamis and Tsunami-like Waves Within the Last 120 years (1900—2019) // *Pure and Applied Geophysics*. 2020. V. 177. P. 1261—1266.
18. *Haugaard R., Ootes L., Konhauser K.* Neoarchean banded iron formation within a ~2620 Ma turbidite-dominated deep-water basin, Slave craton, NW Canada // *Precambrian Research*. 2017. V. 292. P. 130—151.
19. *Horwitz R.C.* Large scale slumping in the Ashburton trough of Western Australia // *Precambrian Research*. 1981. V. 14. P. 389—401.
20. *Jain N., Virmani D., Abraham A.* Tsunami in the last 15 years: a bibliometric analysis with a detailed overview and future directions // *Natural Hazards*. 2021. V. 106. P. 139—172.
21. *Kennedy A.B., Cox R., Dias F.* Storm Waves May Be the Source of Some “Tsunami” Coastal Boulder Deposits // *Geophysical Research Letters*. 2021. V. 48. P. e2020GL090775.
22. *Li Z.-X., Liu Y., Ernst R.* A dynamic 2000—540 Ma Earth history: From cratonic amalgamation to the age of supercontinent cycle // *Earth-Science Reviews*. 2023. V. 238. P. 104336.
23. *Liu Y., Mitchell R.N., Li Z.X., Kirscher U., Pisarevsky S.A., Wang C.* Archean geodynamics: Ephemeral supercontinents or long-lived supercratons // *Geology*. 2021. V. 49. P. 794—798.
24. *Lowe D.R., Byerly G.R.* The terrestrial record of Late Heavy Bombardment // *New Astronomy Reviews*. 2018. V. 81. P. 39—61.
25. *Marchi S., Drabon N., Schulz T., Schaefer L., Nesvorný D., Bottke W.F., Koeberl C., Lyons T.* Delayed and variable late Archean atmospheric oxidation due to

- high collision rates on Earth // *Nature Geoscience*. 2021. V. 14. P. 827—831.
26. Merdith A.S., Williams S.E., Collins A.S., Tetley M.G., Mulder J.A., Blades M.L., Young A., Armistead S.E., Cannon J., Zahirovic S., Müller R.D. Extending full-plate tectonic models into deep time: Linking the Neoproterozoic and the Phanerozoic // *Earth-Science Reviews*. 2021. V. 214. P. 103477.
27. Ning W., Kusky T., Wang L., Huang B. Archean eclogite-facies oceanic crust indicates modern-style plate tectonics // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2022. V. 119. P. e2117529119.
28. Rabinovich A.B. Twenty-Seven Years of Progress in the Science of Meteorological Tsunamis Following the 1992 Daytona Beach Event // *Pure and Applied Geophysics*. 2020. V. 177. P. 1193—1230.
29. Ruban D.A. Research in tsunami-related sedimentology during 2001–2010: can a single natural disaster re-shape the science? // *GeoActa*. 2011. V. 10. P. 79—85.
30. Ruban D.A. Tsunamis Struck Coasts of Triassic Oceans and Seas: Brief Summary of the Literary Evidence // *Water*. 2023. V. 15. P. 1590.
31. Schmieder M., Kring D.A. Earth's Impact Events through Geologic Time: A List of Recommended Ages for Terrestrial Impact Structures and Deposits // *Astrobiology*. 2020. V. 20. P. 91—141.
32. Shields G.A., Strachan R.A., Porter S.M., Halverson G.P., Macdonald F.A., Plumb K.A., de Alvarenga C.J., Banerjee D.M., Bekker A., Bleeker W., Brasier A., Chakraborty P.P., Collins A.S., Condie K., Das K., Evans D.A.D., Ernst E., Fallick A.E., Frimmel H., Fuck R., Hoffman P.F., Kamber B.S., Kuznetsov A.B., Mitchell R.N., Poire D.G., Poulton S.W., Riding R., Sharma M., Storey C., Stueeken E., Tostevin R., Turner E., Xiao S., Zhang S., Zhou Y., Zhu M. A template for an improved rock-based subdivision of the pre-Cryogenian timescale // *Journal of the Geological Society*. 2022. V. 179. P. jgs2020-222.
33. Singh V.K., Singh P., Karmakar M., Leta J., Mayr P. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis // *Scientometrics*. 2021. V. 126. P. 5113—5142.
34. Som S.M., Buick R., Hagadorn J.W., Blake T.S., Perreault J.M., Harnmeijer J.P., Catling D.C. Earth's air pressure 2.7 billion years ago constrained to less than half of modern levels // *Nature Geoscience*. 2016. V. 9. P. 448—451.
35. Spiske M., Piepenbreier J., Benavente C., Bahlburg H. Preservation potential of tsunami deposits on arid siliciclastic coasts // *Earth-Science Reviews*. 2013. V. 126. P. 58—73.
36. Stern R.J. The Orosirian (1800–2050 Ma) plate tectonic episode: Key for reconstructing the Proterozoic tectonic record // *Geoscience Frontiers*. 2023. V. 14. P. 101553.
37. Weiss R., Bahlburg H. A note on the preservation of offshore tsunami deposits // *Journal of Sedimentary Research*. 2006. V. 76. P. 1267—1273.
38. Wilson A., Riganti A. Architectural and Compositional Diversity of Early Earth Ocean Floor Evidenced by the Paleoproterozoic Nondweni Greenstone Belt, South Africa // *Journal of Petrology*. 2022. V. 63. P. egac108.
39. Wu C., Wang G., Zhou Z., Zhao X., Haproff P.J. Late Archean–Paleoproterozoic plate tectonics along the northern margin of the North China craton // *Bulletin of the Geological Society of America*. 2023. V. 135. P. 967—989.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Рубан Д.А. — предпринял библиографический анализ, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Dmitry A. Ruban — undertook bibliographical analysis, developed the article concept, prepared the article text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Рубан Дмитрий Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент Южного федерального университета.
43, 23-я линия, г. Ростов-на-Дону 344019, Россия
e-mail: ruban-d@mail.ru
тел.: +7 (903) 463-43-44
SPIN-код: 5671-0800
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-645X>

Dmitry A. Ruban — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Southern Federal University.
43, 23 Line, Rostov-on-Don 344019, Russia
e-mail: ruban-d@mail.ru
tel.: +7 (903) 463-43-44
SPIN-code: 5671-0800
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-645X>