



АСИНХРОННОСТЬ РАЗВИТИЯ РИФОВ И РИФОСТРОЯЩЕЙ БИОТЫ. ПАЛЕОЗОЙ

В.Г. КУЗНЕЦОВ

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия*

*Институт проблем нефти и газа РАН
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия*

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ развития рифов — мощных морфологически выраженных карбонатных массивов, созданных в результате жизнедеятельности каркасных организмов. Установлены крупные этапы рифообразования — раннекембрийский, ордовикский, силурийско-девонский, поздневизейско-серпуховский и пермский, верхние границы которых в целом определяются моментами массовых вымираний.

Главными рифостроителями раннего кембрия были археоциаты и эпифитоны. Рифы ордовика создавали губки, строматопороидеи, табуляты и мшанки. Строителями рифов самого длительного силурийско-девонского периода были строматопороидеи, табуляты, ругозы и в меньшей степени мшанки. Для рифов верхнего визе-серпухова каркасообразующими служили мшанки и кораллы. Набор строителей пермских рифов существенно изменился, это были губки, в меньшей степени мшанки при резком снижении доли кораллов.

Показано отсутствие строгого соответствия прекращения рифостроения и моментов вымираний, когда потенциальные рифостроители еще существовали, но вне рифового биоценоза. Аналогично, начало формирования рифов как геологических тел происходит несколько позже, чем появляются соответствующие каркасообразующие организмы. По-видимому, организмам разных групп нужно определенное время для создания дееспособного биоценоза, который образует рифовую экосистему, что и обуславливает формирование рифов. Эта экосистема оказывается устойчивой при относительно постоянных внешних условиях. При изменении последних, что в итоге и приводит к массовым вымираниям, этот биоценоз деградирует раньше, чем исчезают составляющие его организмы, и формирование рифов прекращается раньше вымирания организмов.

Ключевые слова: рифы, рифовая экосистема, массовые вымирания, палеозой

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Кузнецов В.Г. Асинхронность развития рифов и рифостроящей биоты. Палеозой. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(1):54—62. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-54-62>

ASYNCHRONOUS DEVELOPMENT OF REEFS AND REEF-BUILDING BIOTA. PALEOZOIC

VITALY G. KUZNETSOV

National University of Oil and Gas

65, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia

Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences

3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia

ABSTRACT

This work analyses the development of reefs, which represent thick morphologically expressed carbonate massifs created by the activity of frame-forming organisms. Major stages in the development of reefs include the periods of Early Cambrian, Ordovician, Silurian-Devonian, Late Viséan-Serpukhovian and Permian, the upper boundaries of which are generally determined by mass extinction events.

The main reef builders during the Early Cambrian were archaeocyatha and epiphytaceans, while Ordovician reefs were created by sponges, stromatoporoids, tabulata and bryozoans. Stromatoporoid, tabulata, rugose and, to a lesser extent, bryozoans were the reef builders during the longest Silurian-Devonian period. Bryozoans and corals served as the frame-forming organisms for Upper Viséan-Serpukhovian reefs. However, during the Permian, reefs were built primarily by sponges and, to a lesser extent, by bryozoans and corals.

It is shown that there is no strict correspondence between the termination of reef formation and the beginning of extinction events. During extinction periods, potential reef builders did exist, although beyond the reef biocoenosis structure. Similarly, the beginning of reef formation occurs somewhat later than the appearance of the corresponding frame-forming organisms. Apparently, it takes time for organisms to develop such a biocoenosis that could trigger the formation of reef ecosystems. Reef ecosystems are stable under relatively constant external conditions, changes in which cause first the degradation of the biocoenosis and then the extinction of its constituent organisms. Therefore, the process of reef formation is terminated before the actual extinction of organisms.

Keywords: reefs, reef ecosystem, mass extinctions, Paleozoic

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

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

For citation: Kuznetsov V.G. Asynchronous development of reefs and reef-building biota. Paleozoic. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):54—62. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-54-62>

Постановка задачи и объект исследования

В сферу интересов европейской науки рифы вошли в эпоху великих географических путешествий и открытий и более осознано и целеустремленно — с конца XVIII века, когда во время второй экспедиции Дж. Кука был открыт Большой Барьерный риф Австралии, а участник этой экспедиции немецкий натуралист Рейндгольд Форстер установил, что эти рифы созданы кораллами, и возникло представление о коралловых и, в более общем виде, органогенных рифах. Уже в начале XIX века были выявлены древние ископаемые рифы. В первой половине XX века стало ясно, что органогенные сооружения достаточно разнообразны, были введены

понятия «биостром» и «биогерм», а во второй его половине — «органогенная постройка» (organic buildup). Последний термин, по остроумному замечанию академика О.С. Вялова, оказался «безалкогольным», то есть крайне широким и неопределенным. Были предприняты попытки создать некоторую иерархию: первый уровень — органогенная постройка, которая включала биостромы и биогермы, и второй, более высокий — собственно рифы. При этом в определение кроме механизма образования — за счет жизнедеятельности организмов — включался и второй показатель — морфология постройки: пластовая в случае биострома и холмовидная в случае биогермов и рифов.

В свою очередь, холмовидные образования начали подразделяться по наборам строящих их организмов. Так, В. Кисслинг и Э. Флюгель [20] подразделили подобные сооружения на три типа:

1 — истинные рифы (true reefs), где рифо-строящие организмы образуют твердый каркас. В определенной степени этот термин соответствует экологическим рифам Данэма [17];

2 — рифовые холмы (reef mounds), где скелетные организмы обильны, но нет очевидных доказательств, что они создают твердый каркас. Значительную роль в образовании последнего играют микробиально-водорослевые сообщества. Н. Джеймс и П. Бурко выделяют подобные образования под названием скелетные холмы [19]. По-видимому, этот тип является наиболее распространенным, так как во всех крупных массивах собственно каркасные организмы и созданные ими тела составляют часть, и нередко не самую значительную, всего сооружения;

3 — иловые холмы (mud mounds), где скелетные организмы если присутствуют, то имеют очень небольшое значение в создании постройки; в этой связи основные породы этих образований — пелитоморфные и микрозернистые известняки с редкими остатками скелетной фауны.

Обзор основных терминов, относящихся к обсуждаемой тематике, был проведен в специально подготовленном словаре-справочнике, где риф определен как «сложное геологическое образование, возникшее в результате жизнедеятельности колониальных или нарастающих организмов, живших вблизи поверхности воды и обладающих волноустойчивым потенциалом и представляющее собой карбонатный массив, сложенный, по крайней мере частично, остатками организмов и продуктами их разрушения, возвышающийся в период своего формирования над дном окружающего моря и образующий волнолом. Поскольку скорость роста рифа превышает скорость накопления окружающих осадков, его мощность больше мощности синхронных отложений» [14].

По сути дела, это определение включает два первых типа построек В. Кисслинга и Э. Флюгеля. В аналогичном значении понятие «иловый холм» используется и в настоящей работе.

Мировая литература по рифам, их биоте, составу, строению, распространению в пространстве и времени огромна. В 1992 г. Э. Флюгель и Э. Флюгел-Калер составили библиографию по фанерозойским рифам, которая заняла более 100 журнальных страниц формата А4 и включала более

5000 наименований [17]; количество публикаций по проблеме с тех пор существенно возросло, причем как в нашей стране, так и за рубежом были изданы монографии и специальные тематические сборники [3, 12, 13, 22, 23 и др.] и многие сотни статей. Другими словами, материал по ископаемым рифам огромен, и создавать еще какие-либо обзоры по распределению рифов по площади и в стратиграфическом разрезе, равно как и подробно характеризовать рифы разных возрастов и регионов, в целом нет никакой необходимости, поэтому в данной работе приведен лишь краткий обзор и краткая характеристика рифов палеозоя.

Для решения поставленной задачи требуется очень дробная стратиграфия и точная корреляция узких стратиграфических подразделений, в том числе между весьма удаленными друг от друга регионами, что по ряду причин удается далеко не всегда, но в целом общую картину выявить более или менее достоверно, с теми или иными затруднениями, все же возможно, что и составило содержание настоящей работы.

Распределение рифов в разрезе палеозоя

В палеозойской истории установлено пять крупных циклов рифообразования: раннекембрийский, ордовикский, самый продолжительный и самый значительный по количеству регионов их распространения и мощности отдельных сооружений, силурийско-франский, поздневизейско-серпуховский и пермский, верхние границы которых определяются моментами массовых вымираний на границах ранний-средний кембрий, ордовик-силур, фран-фамен, серпухов-башкир и пермь-триас (рис.).

Характеристика рифов соответствующих этапов и их биоты дана в серии предыдущих публикаций [2—9 и др.], поэтому здесь не рассматривается, а обсуждаются более конкретные вопросы соотношения собственно рифообразования как такового и рифостроящей биоты.

Кембрийский цикл рифообразования был относительно кратким в палеозойской истории Земли — рифы развивались в течение 18—19 млн лет.

Рифы этого цикла развиты в Алтай-Саянской складчатой области, в Монголии, Канаде, Австралии и на Сибирской платформе, где они, по-видимому, наиболее изучены. Каркасообразующими организмами были археоциаты; аналогичные функции, возможно хотя бы частично, выполняли кустистые эпифитоны. Основной объем карбонатного материала поставляли водоросли и микробиальные сообщества.

Сис-тема	Отдел	Ярус	Абс. возраст, млн лет	Рифы	Иловые холмы	Биотические кризисы (Алексеев, 1989)
Пермская	Лопинский	Чансинский	298,9			
		Вучапинский				
	Гваделупский	Кептенский				
		Вордский				
		Родский				
	Приуральский	Кунгурский				
		Артинский				
		Сакмарский				
		Ассельский				
Каменноугольная	Верхний	Гжельский	358,9			
		Касимовский				
	Средний	Московский				
		Башкирский				
	Нижний	Серпуховский				
		Визейский				
	Турнейский					
Девонская	Верхний	Фаменский	419,2			
		Франский				
	Средний	Живетский				
		Эйфельский				
	Нижний	Эмский				
		Пражский				
	Лохковский					
Силурийская	Пржидольский		443,4			
	Лудловский	Лудфордский				
		Горстийский				
	Венлокский	Гомерский				
		Шейнвудский				
	Лландоверский	Теличский				
Аэронский						
	Рудданский					
Ордовикская	Верхний	Хирнантский	485,4			
		Катийский				
	Средний	Сандбийский				
		Дарривильский				
	Нижний	Дапинский				
		Флотский				
	Тремадонский					
Кембрийская	Верхний	Батырбайский	541,0			
		Аксайский				
		Сакский				
	Средний	Аюсокканский				
		Майский				
		Амгинский				
	Нижний	Тойонский				
		Ботомский				
		Атдабанский				
		Томмотский				

Рис. Схема цикличности рифообразования палеозоя

Fig. Scheme of cyclicity of Paleozoic reef formation

Дробная стратиграфия отдельных ярусов нижнего кембрия, которая, как отмечено выше, нужна для целей настоящего исследования, практически отсутствует, однако некоторые примеры рифов Сибирской платформы, где установлены самые древние рифы, позволяют предполагать, что собственно рифы начинают формироваться не с самого начала кембрия — в основании осинского горизонта вначале отлагаются слоистые карбонатные отложения, в том числе и с археоциатами, и лишь затем начинают формироваться собственно рифовые сооружения.

После первого фанерозойского вымирания на границе тойонского и амгинского ярусов рифообразование прекратилось, возникали постройки только микробиально-водорослевые, а возможные каркасообразователи в виде губок развивались вне рифового биоценоза.

Средний, поздний кембрий, ранний и начало среднего ордовика — тремадокский и аренигский века общей стратиграфической шкалы, тремадокский, флосский, дапинский и начало дарривилльского веков международной шкалы — это время отсутствия рифов, становление которых относится лишь во второй половине дарривилльского века (лландоверийского общей шкалы). Важно отметить, что каркасные организмы — потенциальные рифостроители появились в геологической истории раньше — строматопороидей и кораллы в тремадоке и раннем арениге, мшанки в конце раннего — начале среднего ордовика [12, 24 и др.].

Другими словами, рифовый биоценоз, который и привел к формированию морфологически выраженных «истинных рифов», сложился позднее возникновения собственно составляющих его организмов.

Основное ордовикское рифообразование с некоторыми колебаниями его интенсивности продолжалось порядка 24—25 млн лет и происходило в дарривилском, сандбийском и катийском веках, и в ограниченных масштабах в начале хирнантского века, хотя каркасные возможно рифостроящие организмы еще существовали [5].

После мощного, но в целом кратковременного и не столь катастрофического, как следующее фран-фаменское, вымирания на границе ордовик-силур начался третий, самый длительный — порядка 69 млн лет силурийско-девонский цикл рифообразования, который закончился до конца девона — на границе франа и фамена. Он также является периодом и самого масштабного рифообразования как по числу областей развития рифов, так и по мощностям и разнообразию

построек. Этот цикл состоит из двух этапов с относительным сокращением формирования рифов в начале девона — лохковском и пражском веках, что, однако, не повлияло принципиально на состав основных рифостроителей, которыми, как и ранее, были строматопороидеи, кораллы, главным образом табуляты, и мшанки. Закончился этот цикл на стратиграфической границе относительно низкого уровня — франского и фаменского веков.

Распространены рифы силурийско-франского этапа в пределах Восточно-Европейской (Русской) платформы и Урала, Северо-Американской платформы и Кордильер, в Казахстане, Алтай-Саянской и Верхояно-Колымской областях, на Чукотке, в Монголии, Китае и Австралии, то есть практически по всему земному шару [3, 4, 7—9, 12, 23 и др.].

Ряд небольших построек, часто даже не соответствующих принятому в настоящей работе понятию рифа, описан в начале силура — в нижнем руддании, в частности в бассейне Мичиган [15, 16], однако дальнейшего развития они не получили и силурийское собственно рифообразование началось лишь в конце лландовери, а массовое с венлока, возможно, скорее, даже не с самого его начала.

Основными организмами-каркасообразователями силурийско-девонского этапа были кораллы, главным образом табуляты, строматопороидеи, мшанки. Как и всегда в рифах, обильны водоросли и микробиальные сообщества как важные поставщики материала и его цементации.

Что касается окончания рифостроения, то на ряде конкретных примеров востока Русской платформы, Западно-Канадского бассейна, Австралии, Китая и горно-складчатых областей (Гарц, Германия) показано, что собственно рифы исчезли ниже границы фран-фамен, до события Кельвассер, которое завершило вымирание, когда потенциальные рифостроители еще существовали, но вне рифового биоценоза [4—9].

После массового вымирания на границе фран-фамена каркасное рифостроение в рассматриваемом в данной работе смысле практически прекратилось, шло формирование иловых холмов в их «классическом» выражении, в частности в виде уолсортских фаций. В ряде случаев в них встречаются остатки и каркасных рифостроителей, например в фаменских сооружениях Печорской синеклизы в виде разрозненных строматопороидей, но каркасообразующего значения они не имели. Временной интервал подобного развития иловых холмов: фамен — средний визе.

С позднего визе каркасное рифостроение возобновилось, и оно охватило серпуховский век. Это был самый короткий в палеозое цикл рифообразования, который продолжался порядка 16 млн лет.

Рифам этого цикла посвящена специальная статья [6], поэтому можно ограничиться очень кратким описанием этих образований. В пределах Евразии они известны в Западной Европе в Великобритании, Бельгии и Франции, в Донбассе, на западных и восточных склонах Урала, в Прикаспийской впадине по ее западному обрамлению и непосредственно во впадине в виде крупных массивов Тенгиз, Карачаганак и др., в Восточном Казахстане, на северо-востоке в Алазейской складчатой области и Сихотэ-Алине. Рифы этого возраста описаны на востоке Канады и США, в Австралии. Каркасными строителями были мшанки и кораллы (преимущественно табуляты), но везде в значительных, а иногда и преобладающих (Злоказовские рифы Западного Урала) присутствовали микробияльно-водорослевые компоненты.

Не самое значительное по масштабу вымирание организмов на границе серпухов-башкир определило, однако, длительное — в течение среднего и позднего карбона, прекращение рифообразования, хотя потенциальные рифостроители в виде кораллов, мшанок и строматопорат еще существовали. Следует, однако, отметить, что количество последних было существенно ограничено, равно как и кораллов, разнообразие которых, по данным А.С. Алексеева [1], на этом рубеже сократилось на 80%.

К сожалению, не удалось найти разрезы с очень дробными и детальными подразделениями, поэтому не установлено, прекратилось ли рифообразование точно на рубеже вымирания на границе серпухов-башкир, или оно завершилось несколько раньше, как это установлено в конце ордовика и конце франа. Что касается начала рифообразования, то оно, как отмечено выше, произошло значительно позднее франско-фаменского вымирания.

Новый, последний цикл палеозойского рифообразования датируется пермским периодом и продолжался, видимо, 45—47 млн лет.

Нижне- и среднепермские образования широко развиты на Русской платформе, в Прикаспийской впадине, на Урале, на Северо-Американском континенте, в пределах Северной и Центральной Европы, средне-верхнепермские на Кавказе, Памире, в Иране, Пакистане, Китае, где они, по-видимому, наиболее подробно изучены.

Состав пермских рифостроителей существенно отличается от такового предыдущих этапов. Практически потеряли свое значение кораллы, в ранней перми относительно сохранили эти функции мшанки, но основная роль перешла к губкам, разнообразие таксонов которых, особенно в поздней перми, существенно расширилось. Для целей настоящей работы очень важные сведения предоставляют рифы Южного Китая, где показано, что собственно рифы ни в одном случае не достигают границы перми и триаса, разрезы самого конца перми над рифами завершаются карбонатными слоистыми отложениями с тем же набором организмов, что и рифовые образования [11, 21].

Соотношение рифообразования и развития рифостроящих организмов

Приведенный краткий обзор временного развития рифов и рифостроящих организмов показывает отсутствие строгого соответствия между ними.

Оставляя пока кембрийский цикл, следует отметить, что после появления рифостроящей биоты необходимо определенное время, чтобы эти организмы сформировали определенный биоценоз, определенную экосистему, которая уже и создает рифовые постройки. Это отчетливо видно на примере ордовика, когда соответствующие организмы возникли в раннем и начале среднего ордовика, а рифы появились лишь в конце среднего ордовика. Неизмеримо более длительное время оказалось необходимым для начала поздневизейско-серпуховского и пермского циклов рифогенеза. Не исключено, что в этих случаях существовали какие-то иные, дополнительные причины столь длительной задержки начала формирования соответствующих рифов.

Несоответствие временного появления рифостроителей и создаваемых ими рифов отмечены и в случае пермского цикла. Мшанки, одна из важнейших групп, участвовавших в создании рифов, особенно в ранней и средней перми, существовали в карбоне, тубифиты — одни из важных и специфических строителей рифов последнего палеозойского цикла появились еще в позднем карбоне, но настоящее массовое рифостроение началось лишь с начала перми.

Не очень ясна ситуация с началом кембрийского рифообразования. С одной стороны, поскольку рифостроящими каркасообразователями являются только археоциаты, рифы могли формироваться сразу с начала кембрия. С другой не исключено, что становление специфической рифовой экосистемы археоцат и микробияльно-

водорослевых сообществ, включая эпифитоны, ренальцисы и другие подобные формы, могло сложиться с некоторым запаздыванием, и тогда реализуется ранее предложенный вариант — появление сначала биостромов и биогермов, и лишь затем, с тем или иным запаздыванием, — началось собственно рифообразование [2].

Касаясь вопроса о соотношении времени прекращения рифообразования и границ массовых вымираний, можно констатировать, что также отмечается временное несоответствие прекращения развития рифов и создающих (строющих) их организмов — оно начинается раньше границы биотических кризисов и массовых вымираний, что было отмечено ранее [7—10].

Дело, видимо, в том, что рифовая экосистема в климаксовой стадии максимального развития в определенной степени замкнута сама на себя и устойчива при стабильных внешних условиях. При изменении последних она как единая система в трофических и медиотопических отношениях становится неустойчивой, деградирует и распадается, хотя отдельные, составляющие

ее таксоны еще существуют. Границы вымираний, «событий», таких как отмеченное выше событие Кельвассер, — это завершающий момент массовых вымираний, вызванных изменениями внешней среды. Подобное обстоятельство фиксируется на границах ордовика и силура, франа-фамена, перми и триаса [5, 7—10].

Менее ясна, как и раньше, ситуация с окончанием кембрийского рифообразования. Не исключено, что очень ограниченный в систематическом отношении биоценоз, где скелетными являлись лишь археоциаты, обусловил прекращение рифостроения одновременно с исчезновением последних.

Таким образом, рифостроящие каркасообразующие организмы появляются в геологической истории раньше, чем начинается образование самих рифов — требуется определенное время для формирования рифового биоценоза, собственной рифовой экосистемы. При изменении внешних условий, которые в итоге приводят к массовым вымираниям, эта рифовая экосистема деградирует и распадается раньше, чем наступит максимум вымирания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С. Типизация фанерозойских событий массового вымирания организмов // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2000. № 5. С. 6—14.
2. Кузнецов В.Г. Кембрийское рифообразование в пределах России // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1998. Т. 6. № 6. С. 82—91.
3. Кузнецов В.Г. Палеозойское рифообразование на территории России и смежных стран. М.: ГЕОС, 2000, 228 с.
4. Кузнецов В.Г. Эволюция карбоната накопления в истории Земли. М.: ГЕОС, 2003. 262 с.
5. Кузнецов В.Г. Рифы позднего ордовика и биологический кризис на границе ордовик-силур // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2018. Т. 26. № 3. С. 24—30. <https://doi.org/10.1134/S0869593818030085>
6. Кузнецов В.Г., Антошкина А.И. Поздневизейскоерпуховский этап палеозойского рифообразования // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13. № 4. С. 61—77.
7. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Рифовые образования Западно-Канадского бассейна и их нефтегазоносность // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 3. С. 257—273. <https://doi.org/10.7868/S0024497X18030047>
8. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Девонское рифообразование в обрамлении Прикаспийской впадины // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 5. С. 432—443. <https://doi.org/10.1134/S0024497X18050063>
9. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Рифообразование в эпохи вымираний: граница франа-фамена и девона-карбона // Доклады АН. 2018. Т. 481. № 4. С. 410—413.
10. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Геологические и биологические причины прекращения рифообразования, палеозой // Литология и полезные ископаемые. 1919. № 2. С. 119—129.
11. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М., Лю Шицы. Верхнепермские рифы Южного Китая — последние рифы палеозоя // Литосфера. 2019. Т. 19. № 3. С. 386—392.
12. Рифогенные постройки в палеозое России. М.: Наука, 1997. 167 с.
13. Рифогенные формации и рифы в эволюции биосферы. М.: ПИН, 2011. 228 с.
14. Современные и ископаемые рифы. Термины и определения. Справочник. М.: Недра, 1990. 184 с.
15. Copper P. Evolution, Radiations, and Extinction in Proterozoic to Mid-Paleozoic reefs // The History and Sedimentology of Ancient reef Systems. New York: Kluwer, 2001. P. 89—119.
16. Copper P. Silurian and Devonian reefs: million years of global greenhouse between two Ice ages // SEPM Sp. Publ. 2002. No 72. P. 18—238.
17. Dunham R.J. Classification of carbonate rocks according to deposition texture // Classification of Carbonate rocks. AAPG. Memorr. 1. 19612. P. 108—121.
18. Fluegel E., Fluegel-Kahler E. Phanerozoic reef evolution: Basic Questions and Data Base // Facies. 1992. Vol. 26. P. 167—278.

19. James N.P., Bourque P.A. Reef and mounds // Facies Models: Response to Sea Level Change: Geological association of Canada. 1992. P. 323—347.
20. Kiessling W., Fluegel E. Paleoreefs — a database on Phanerozoic Reefs // SEPM Sp. Publ. 2002. No 72. P. 77—92.
21. Kuznetsov V.G. Reef Construction in the Second Half of the Permian and Biotic Crisis at the Permian-Triassic Boundary // Stratigraphy and Geological Correlation. 2008. Vol. 26. No 7. P. 743—758.
22. Phanerozoic Reef Patterns / W. Kisling, E. Fluegel, J. Golonka, eds. SEPM Sp. Publ. 2002. No 72.
23. The History and Sedimentology of Ancient reef Systems / ed. G.D. Stanley. Kluwer. New York, 2001. 458 p.
24. Webby B. Pattern of Ordovician Reef Developments // SEPM Sp. Publ. No 72. P. 129—179.

REFERENCES

1. Alekseev A.S. Typification of Phanerozoic events of mass extinction of organisms. *Vestnik MGU. Seriya 4. Geologiya — Moscow University Geology Bulletin*, 2000, no. 4, pp. 6—14. (In Russian).
2. Kuznetsov V.G. Cambrian reef formation within Russia. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy and Geological Correlation]*, 1998, no. 6, pp. 82—91. (In Russian).
3. Kuznetsov V.G. *Paleozoic reef formation in Russia and adjacent countries*. Moscow, Geos, 2000, 228 p.
4. Kuznetsov V.G. *Evolution of the carbonate formation in the Earth's history*. Moscow, Geos, 2003, 262 p. (In Russian).
5. Kuznetsov V.G. Late Ordovician reefs and the biological crisis at the Ordovician-Silurian Boundary. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy and Geological Correlation]*, 2018, vol. 26, no. 3, pp. 24—30. (In Russian). <https://doi.org/10.1134/S0869593818030085>
6. Kuznetsov V.G., Antoshkina A.I. The late Viséan-Serpukhovian stage in Paleozoic reef formation. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy and Geological Correlation]*, 2005, vol. 13, no. 4, pp. 61—77. (In Russian).
7. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Reef Formations in the West Canada Basin and Their Oil and Gas Potential. *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and Mineral Resources]*, 2018, no. 3, pp. 257—273. (In Russian). <https://doi.org/10.7868/S0024497X18030047>
8. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Devonian Reef Formation in the Caspian Basin Framing. *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and Mineral Resources]*, 2018, vol. 53, no. 5, pp. 432—443. (In Russian). <https://doi.org/10.1134/S0024497X18050063>
9. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Reef Formation during Mass Extinction Events: Frasnian—Famennian and Devonian—Carboniferous Boundaries. *Doklady AN [Doklady Earth Sciences]*, 2018, vol. 481, no. 4, pp. 410—413. (In Russian).
10. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Geological and Biological Reasons for the Cessation of Reef Formation: Evidence from the Paleozoic. *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and Mineral Resources]*, 1919, no. 2, pp. 119—129. (In Russian).
11. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M., Lyu Shitsy. The Upper Permian reefs of South China are last reefs of the Paleozoic. *Litosfera [Lithosphere]*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 386—392. (In Russian).
12. *Reef construction in the Paleozoic of Russia*. Moscow, Nauka, 1997, 167 p. (In Russian).
13. *Reef formations and reefs in the evolution of the biosphere*. Moscow, PIN, 2011, 228 p. (In Russian).
14. *Modern and fossil reefs. Terms and definitions*. Handbook. Moscow, Nedra, 1990, 184 p. (In Russian).
15. Copper P. *Evolution, Radiations, and Extinction in Proterozoic to Mid-Paleozoic reefs* // In: The History and Sedimentology of Ancient reef Systems. New York, Kluwer, 2001, pp. 89—119.
16. Copper P. Silurian and Devonian reefs: million years of global greenhouse between two Ice ages. *SEPM Sp. Publ.*, 2002, no. 72, pp. 18—238.
17. Dunham R.J. Classification of carbonate rocks according to deposition texture // In: Classification of Carbonate rocks. *AAPG. Memorr.*, 1961, vol. 2, pp. 108—121.
18. Fluegel E., Fluegel-Kahler E. Phanerozoic reef evolution: Basic Questions and Data Base. *Facies*, 1992, vol. 26, pp. 167—278.
19. James N.P., Bourque P.A. Reef and mounds // Facies Models: Response to Sea Level Change: Geological association of Canada, 1992, pp. 323—347.
20. Kiessling W., Fluegel E. Paleoreefs — a database on Phanerozoic Reefs. *SEPM Sp. Publ.*, 2002, no. 72. P. 77—92.
21. Kuznetsov V.G. Reef Construction in the Second Half of the Permian and Biotic Crisis at the Permian-Triassic Boundary. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2008. Vol. 26, no. 7, pp. 743—758.
22. Phanerozoic Reef Patterns / W. Kisling, E. Fluegel, J. Golonka, eds. *SEPM Sp. Publ.*, 2002, no. 72.
23. *The History and Sedimentology of Ancient reef Systems* / ed. G.D. Stanley. New York, Kluwer, 2001, 458 p.
24. Webby B. Pattern of Ordovician Reef Developments. *SEPM Sp. Publ.*, 2002, no. 72, pp. 129—179.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Кузнецов В.Г. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Kuznetsov V.G. — made the main contribution to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

Кузнецов Виталий Германович — доктор геолого-минералогических наук, профессор Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия
Главный научный сотрудник Института проблем нефти и газа РАН
3, ул. Губкина, г. Москва, 119333, Россия
e-mail: vgkuz@yandex.ru
тел.: +7 (495) 330-39-42
SPIN: 9477-8454
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

Vitaliy G. Kuznetsov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., National University of Oil and Gas
65, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia
Chief researcher of Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences
3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia
e-mail: vgkuz@yandex.ru
tel.: +7 (495) 330-39-42
SPIN: 9477-8454
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>