

УДК 56.016.3:551.734 (47)

В.М. Назарова¹, Ю.А. Гатовский²**«КОНОДОНТОВЫЙ ЖЕМЧУГ» ИЗ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**Lomonosov Moscow State University, 119991, GSP-1, Leninskiye Gory, 1*

Рассмотрены история изучения и гипотезы происхождения уникальных фосфатных микрофоссилий — «конодонтового жемчуга». Материал происходит из отложений среднего и верхнего девона европейской части России. Анализ химического состава образований показал большое сходство с другими фосфатными микрофоссилиями, принадлежавшими конодонтам и рыбам, обитавшим в тех же палеобассейнах. Морфологические особенности и химический состав позволяют предположить, что «конодонтовый жемчуг», по-видимому, являлся отолитами конодонтов.

Ключевые слова: конодонты, «конодонтовый жемчуг», отолиты, девон, европейская часть России.

The history of study and hypothesis of origin unique phosphate microfossils — «conodont pearls» was considered. The material comes from the Middle and Upper Devonian sediments of the European part of Russia. Analysis of the chemical composition of the formations showed great similarity with other phosphate microfossils belonging to conodonts and fishes inhabiting the same paleobasins. Apparently, the morphological features and chemical composition suggests that the «conodont pearls» was the otoliths of the conodonts.

Key words: conodonts, «conodont pearls», otoliths, Devonian, European part of Russia.

Введение. Под «конодонтовым жемчугом» понимают микроскопические сферические фосфатные образования. Цвет этих образований изменяется от желтоватого, почти бесцветного, через коричневый и до черного. Прозрачность варьирует от почти полной у светлых разновидностей до совершенно непрозрачных темных разновидностей. На поверхности каждой сферы имеется небольшое углубление (базальная ямка). На просвет видны концентрические линии нарастания, подобные таковым у конодонтовых элементов. «Конодонтовый жемчуг» обнаруживается в одних и тех же пробах вместе с конодонтами, причем встречается крайне редко. За всю историю изучения конодонтов опубликовано около 20 работ, в которых упоминался «конодонтовый жемчуг». Анализу этих работ и рассмотрению гипотез происхождения фосфатных образований посвящена эта статья.

История изучения и интерпретации. Впервые «конодонтовый жемчуг» описал К.Р. Стауффер [Stauffer, 1935] из ордовикских отложений в штате Миннесота (США) вместе с таксонами конодонтов под названием «оболочки яиц?» («egg cases?»): «Эти маленькие сферические тела состоят из того же материала, что и зубы [конодонтовые элементы]. Они не имеют особых характеристик, кроме круглого или эллиптического отверстия с одной

стороны. В одном из местонахождений они были весьма обычны и казались достаточно важными, чтобы их проиллюстрировать. Мы неуверенно предполагаем, что это оболочки яиц, но этому нет обосновывающих доказательств». Судя по изображениям, это были непрозрачные шарики. Позднее К.Р. Стауффер [Stauffer, 1940] описал «конодонтовый жемчуг» из девонских отложений в Миннесоте. Эти шарики были прозрачными, в них просматривались стадии роста. И хотя К.Р. Стауффер снова назвал их «оболочки яиц», он указал, что природа этих тел и их возможное значение пока неизвестны, но их общий вид, состав и совместная встречаемость с конодонтами говорят о том, что тела могут принадлежать этим животным [Stauffer, 1940, p. 434].

Впоследствии «конодонтовый жемчуг» был отмечен преимущественно в отложениях девона [Youngquist, Miller, 1948; Leuteritz et al., 1972; Bischoff, 1973; Glenister et al., 1976; Clarkson, 1980; Wang, Chatterton, 1993; Levman, 2001; Giles et al., 2002; Kemp, 2002; Назарова, 2013; Huang, Gong, 2014; Назарова и др., 2016; Назарова, Кононова, 2016], реже ордовика [Kemp, 2002] и силура [Glenister et al., 1976]. Есть также упоминания о «конодонтовом жемчуге» из нижнекаменноугольных отложений [Krumhardt, 1994; Dumoulin et al.,

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра палеонтологии, канд. геол.-минер. н.; ст. науч. с.; e-mail: VM516@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра палеонтологии, канд. геол.-минер. н.; ст. науч. с.; e-mail: ustas62@bk.ru

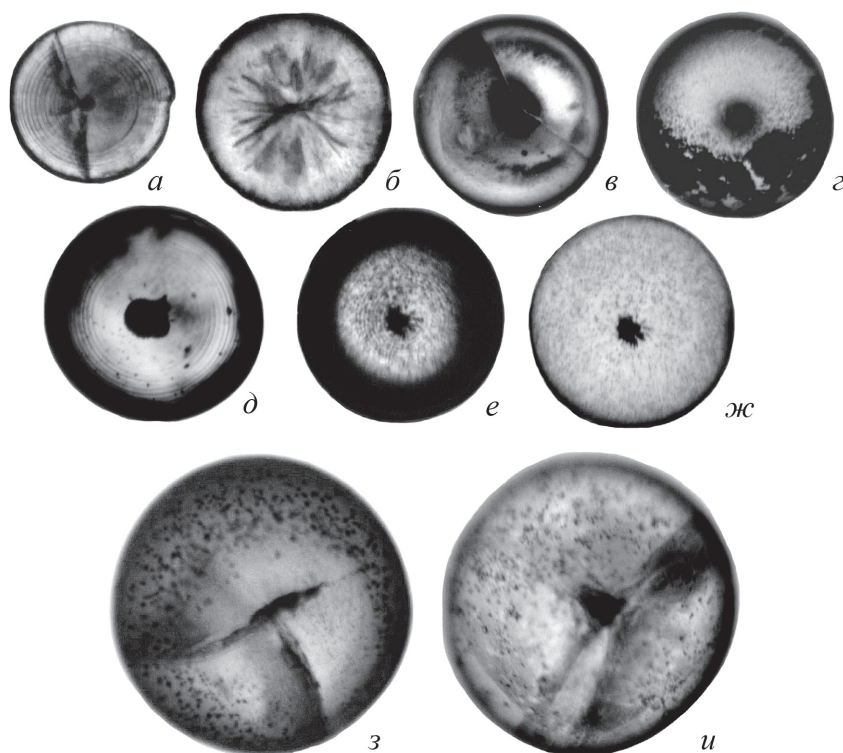


Рис. 1. Элементы строения «конодонтового жемчуга», видимые в световой микроскоп в проходящем свете, во всех случаях увеличение 140: а — линии нарастания и радиальные трещины, экз. 364/9, франский ярус, мендымский горизонт, Башкирия, обнажение на р. Сиказа, обр. 2–6; б — вторичные изменения по радиальным трещинам, экз. 364/10, местонахождение и возраст те же, обр. 1–13; в — радиальные трещины и concentрические вторичные изменения, экз. 364/6, эйфельский ярус, мосоловский горизонт, Курская обл., скв. Шигры-19, интервал 180,0–184,9 м, обр. Ш-19/185; г — вторичные изменения на поверхности, экз. 364/5, обр. тот же; д — concentрические линии нарастания, экз. 364/4, местонахождение и возраст те же, интервал 189,8–194,7 м, обр. Ш-19/203; е — concentрические линии нарастания и короткие радиальные трещины в центре, экз. 364/1, возраст тот же, Курская обл., скв. Шигры-16, интервал 184,35–189,25 м, обр. Ш-16/206; ж — короткие радиальные трещины в центре и вторичные изменения на поверхности, экз. тот же; з — крупные радиальные трещины и вторичные изменения на поверхности, экз. 364/8, эйфельский (?) ярус, чернорарский горизонт, Воронежская обл., скв. Новохоперская 8750/1, интервал

296,6–301,3 м, обр. НХ-568; и — крупные радиальные трещины и вторичные изменения на поверхности, экз. 364/11, франский ярус, мендымский горизонт, Башкирия, обнажение на р. Сиказа, обр. 1–13

2006], но в первой работе возраст определен под вопросом, а во второй — высказаны сомнения относительно принадлежности найденных образований к «конодонтовому жемчугу», изображения и описания в этих работах отсутствуют.

В итоге установлено, что наличие «конодонтового жемчуга» не зависит от литологических особенностей образца [Glenister et al., 1976; Levman, 2001], но всегда сопровождается конодонтовыми элементами [Stauffer, 1935, 1940; Youngquist, Miller, 1948; Glenister et al., 1976; Levman, 2001; Назарова, 2013; Huang, Gong, 2014; Назарова, Кононова, 2016]. Количество «жемчужин» прямо пропорционально количеству конодонтовых элементов, которые всегда более многочисленны [Youngquist, Miller, 1948]. Анализы вещества показали фосфатный состав «конодонтового жемчуга» [Youngquist, Miller, 1948; Leuteritz et al., 1972; Glenister et al., 1976; Wang, Chatterton, 1993; Levman, 2001; Giles et al., 2002; Huang, Gong, 2014; Назарова и др., 2016]. Замечено, что шарики состоят из радиальных кристаллитов, расположенных concentрическими полосами вокруг центрального ядра [Leuteritz et al., 1972; Giles et al., 2002]. Иногда отмечалось присутствие радиальных лучей в центре сферы [Leuteritz et al., 1972; Glenister et al., 1976; Wang, Chatterton, 1993; Назарова, 2013].

Слишком простая морфология не позволяла исследователям выделять какие-либо таксоны среди «конодонтового жемчуга», поэтому публикации посвящены поиску ответа на вопрос о его природе.

К. Лютеритц с соавторами [Leuteritz et al., 1972] полагали, что фосфатные микросферы образовались без участия живых организмов. На поперечных срезах в некоторых шариках из коллекции этих исследователей видны короткие лучи, расходящиеся из ядер шариков. Они были интерпретированы как выросты диноцист, вокруг которых сформировались конкреции. В материалах других авторов [Glenister et al., 1976; Wang, Chatterton, 1993], а также в изученных нами образцах (рис. 1, б, е, ж) подобные лучи тоже иногда присутствуют, они бывают гораздо длиннее и их сложно представить элементами микрофоссилий. Вероятно, это радиальные микротрещины, образовавшиеся позднее. Против неорганической гипотезы происхождения шариков прежде всего свидетельствует наличие у каждого из них базальной ямки. Кроме того, они встречаются в разных породах, а значит, не зависят от условий образования этих пород.

Г.К.О. Бишофф [Bischoff, 1973] интерпретировал фосфатные шарики как статолиты конулят — группы ископаемых медуз, скелет которых содержит фосфат кальция. Этот автор, помимо конодонтовых элементов и «жемчуга», обнаружил в образцах множество разнообразных фосфатных гребней и пластин. Отпечатки конодонтовых животных в то время еще не были найдены, и он попытался представить, как из всех найденных им фосфатных образований можно было бы собрать скелет медузы. Он предложил выделять новый класс Conulariida с двумя подклассами — соб-

ственно конулятами и конодонтами. «Конодонто-вый жемчуг» в рамках этой концепции оказался статолитами медуз. У современных медуз статолиты, хотя и имеют разнообразный химический состав, обычно представлены единичными кристаллами и не имеют такой сложной микроструктуры [Зоология..., 2008]. К тому же, как теперь уже известно, благодаря найденным отпечаткам сами конодонты не имеют отношения к медузам [Барсков, 1985].

Собственно термин «конодонтовый жемчуг» впервые применили Б.Ф. Гленистер с соавторами [Glenister et al., 1976]. Они обобщили все ранее сделанные находки и высказали предположение, что конодонтовые животные, подобно моллюскам, секретировали «жемчуг» в ответ на механические или органические раздражители. Однако при раздражении тканей, производящих конодонтовые элементы, с большей вероятностью появились бы не ровные шаровидные тела, а патологически измененные элементы, что, кстати, нередко встречается в ископаемой летописи [Назарова, Кононова, 2018]. Даже жемчужины моллюсков редко бывают правильной формы. Поэтому далеко не все исследователи поддержали эту гипотезу, но название «конодонтовый жемчуг» за шариками закрепилось. Встречающиеся в литературе термины «микросферы» («*microspherules*») [Wang, Chatterton, 1993; Giles et al., 2002; Huang, Gong, 2014] и «сферы из фосфата кальция» («*calciumphosphat-sphären*») [Leuteritz et al., 1972] могут быть применимы и к другим объектам, например, к конкрециям, тектитам. Термин «конодонтовый жемчуг» отвечает конкретным образованиям, хотя не отражает их природу.

Д. МакКоннел и П. Уорд [McConnel, Ward, 1978] сопоставили «конодонтовый жемчуг» с уролитами современных наутилоидей, которые имеют шарообразную форму, фосфатный состав, характеризуются концентрическим нарастанием и изменяют окраску при нагревании, как конодонтовые элементы. Однако на фотографиях видно, что уролиты имеют неровную форму и срастаются между собой. Кроме того, окраска конодонтовых элементов изменяется не от розовой до серой, а от янтарной до коричневой и черной. Не понятно также, почему не обнаружены уролиты наутилоидей на других возрастных уровнях, например, в мезозое.

К.А. Гилес и ее коллеги [Giles et al., 2002] полагали, что «конодонтовый жемчуг» — отолиты лучеперых рыб, поскольку результаты анализа химического состава материала показали большее сходство с зубами рыб, чем с конодонтовыми элементами. Однако отолиты современных и ископаемых рыб имеют сложную морфологию и известковый химический состав. Они чувствительны к изменению состава морской воды, но эти изменения, как правило, сказываются не на

количестве фосфора в их составе, а кальция и натрия [Павлова, Павлов, 2006]. По данным других исследователей, химический состав «конодонтового жемчуга» ближе к таковому у конодонтовых элементов, а не ихтиолитов [Wang, Chatterton, 1993]. А. Кемп [Kemp, 2002], изучив аминокислоты из разных фосфатных микрофоссилий, также был склонен полагать, что «конодонтовый жемчуг» секретировался внутри организма конодонта, при этом он был нормальной составляющей животного, а не формировался вокруг раздражителя.

Большинство ученых склонялись к тому, что «конодонтовый жемчуг» имеет отношение к конодонтам [Stauffer, 1935, 1940; Youngquist, Miller, 1948; Bischoff, 1973; Glenister et al., 1976; Donoghue, 1998; Levman, 2001]. И «жемчуг», и конодонтовые элементы имеют сходные химический состав, цвет, микроструктуру и встречаются совместно. Но «конодонтовый жемчуг» невозможно представить как часть зубного аппарата, к тому же следы стертостей или прижизненных повреждений на нем не отмечены.

У. Янквист и А.К. Миллер [Youngquist, Miller, 1948] первыми высказали предположение, что фосфатные шарики могут быть отолитами конодонтов. Это мнение было поддержано другими исследователями [Donoghue, 1998; Huang, Gong, 2014]. Органы равновесия (статоцисты) у представителей разных групп животных очень разнообразны. Они отличаются по расположению в теле, а также по форме, количеству, происхождению в онтогенезе, механизму действия, форме статолитов, их химическому составу, причем это разнообразие может проявляться в пределах одного типа и даже более низких таксономических подразделений. То есть органы равновесия в разных (хотя и близких) эволюционных ветвях часто возникали независимо, и образовывались они с помощью тех структур, которые у животных были наиболее развиты (щупальца, конечности, ряды ресничек, голова и т.п.).

У конодонтов единственная минерализованная часть тела — конодонтовые элементы. Возможно, отолиты этих животных имеют с ними общее происхождение.

Наличие у конодонтов отолитов со сложной микроструктурой свидетельствует о высоком уровне их развития по сравнению с беспозвоночными и, возможно, о наличии вестибулярного аппарата. Конодонтам было небезразлично их положение в пространстве, вероятно, они могли хорошо управлять этим положением. Это подтверждает традиционное мнение о нектонном образе жизни конодонтов [Барсков, 1985].

В литературе не обсуждалось назначение базальной ямки, только упоминалось ее присутствие [Stauffer, 1935; Glenister et al., 1976; Wang, Chatterton, 1993; Назарова, 2013; Huang, Gong, 2014]. Мы полагаем, что базальная ямка — место соединения «конодонтового жемчуга» с мягким телом. Темное

вещество, которое в небольшом количестве иногда сохраняется в ямке, может быть аналогом базального каллуса конодонтовых элементов. Подобная интерпретация не противоречит гипотезе о том, что «конодонтовый жемчуг» — отолиты конодонтов. Отолиты рыб, например, тоже соединяются с ресничками чувствительного эпителия [Дзержинский, 2005].

«Конодонтовый жемчуг» не встречается в отложениях моложе девона (раннего карбона?), хотя конодонты просуществовали до конца триаса. Возможно, это объясняется тем, что конодонтам пришлось перестроить вестибулярный аппарат из-за стрессовых изменений внешней среды либо их отолиты стали настолько мелкими, что не обнаруживаются в пробах.

Материалы и методы исследований. На территории России упоминаний о находках «конодонтового жемчуга» до наших исследований [Назарова, 2013; Назарова и др., 2016; Назарова, Кононова, 2016] не было. В первых публикациях проблемы «конодонтового жемчуга» были рассмотрены в тезисной форме [Назарова, 2013; Назарова и др., 2016], в последней — «жемчуг» включен в общие списки конодонтовых элементов мосоловского горизонта Воронежской антеклизы [Назарова, Кононова, 2016].

Собранная коллекция «конодонтового жемчуга» насчитывает 153 экземпляра (табл. 1). Они происходят из отложений среднего и верхнего девона, вскрытых скважинами на Воронежской антеклизе: в Курской (скважины Шигры-16 (Нижнекрасное) и Шигры-19 (Осиновка)), Брянской (скв. Просвет 2П), Орловской (скв. Нарышкино 4177), Воронежской (скв. Новохоперская 8750/1), Липецкой областях (скв. Задонская ЗДОЛ-1). Расположение, разрезы этих скважин и данные о фаунистическом составе опубликованы ранее в [Назарова, Кононова, 2016]. Аналогичные образования обнаружены также в мендымском горизонте верхнего девона на р. Сиказа, Башкирия (данные о разрезе см. в [Кононова, 1979]), в сирачойском горизонте верхнего девона в скв. Хоседаюской Южной 1 в Ненецком АО (данные о разрезе см. в [Кирюхина и др., 2015]), а также в франских отложениях скв. Девонская 3 в Астраханской области (данные о разрезе см. в [Астраханский ..., 2008]). Образцы обрабатывали по стандартной методике для выделения конодонтовых элементов путем растворения в 10%-й уксусной кислоте. Для получения фотографий использовали СЭМ «CamScan», «Tescan» и «Zeiss Evo50» в ПИН РАН, а также микроскоп «Levenhuk 595» с окулярной фотокамерой «Levenhuk C310». Изученная коллекция «конодонтового жемчуга» хранится на кафедре палеонтологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова под № 364.

Результаты исследований и их обсуждение. В изученном материале «конодонтовый жемчуг»

Таблица 1

Места и уровни находок «конодонтового жемчуга»

Ярус, горизонт/ конодонтовая зона	Скважина, обнажение	Интервал, глубина, м	Номер образца	Число экземпляров
Фаменский, елецкий/ rhomboidea	Задонская 1	31,0	ЗДОЛ-1/29А	1
Франский, сирачойский/ нижняя ghenana	Хоседаюская Южная 1	3682,0–3696,0	обр. 38, 40	46
Франский	Скв. Девонская 3, Астраханский свод	5051,17–5057,76	обр. 8	15
Франский, мендымский/ нижняя ghenana	Сиказа	-	Сиказа-1-13	7
			Сиказа-2-6	2
Франский, саргаевский/ верхняя falsiovalis — transitans	Шигры-16	110,85–120,65	Щ-16/84,	1
			Щ-16/210а	1
Живетский, старооскольский/ varcus	Шигры-16	179,45–184,35	Щ-16/196	1
Живетский, чернаярский/ верхняя ensensis	Новохоперская 8750/1	296,6–301,3	НХ-568	7
Эйфельский, мосоловский/ kockelianus — нижняя ensensis	Нарышкино 4177	346,4	Нар-161	2
		346,9	Нар-162	2
	Просвет 2П	319,8	2П-50	1
		321,5	2П-47	3
	Шигры-19	180,0–184,9	Щ-19/185	2
			Щ-19/190	16
		189,8–194,7	Щ-19/203	5
	Шигры-16	184,35–189,25	Щ-16/206	1
			Щ-16/216	2
		189,25–194,15	Щ-16/219	6
			Щ-16/222	7
			Щ-16/223	7
			Щ-16/225	2
	Задонская ЗДОЛ-1	324,5	ЗДОЛ-1/324	4
		327,5	ЗДОЛ-1/327	1
		328,5	ЗДОЛ-1/328	1
		330,0	ЗДОЛ-1/329	2
		334,8	ЗДОЛ-1/334	2
		335,3	ЗДОЛ-1/335	4
		336,0	ЗДОЛ-1/336	1
		336,8	ЗДОЛ-1/337	1

всегда встречается в образцах с конодонтовыми элементами. Шарики гладкие, блестящие, немного сплюснутые, диаметр 90–300 мкм (в среднем 150–200 мкм). Отметим, что при нашей методике обработки породы на конодонты, в частности, в связи с просеиванием отмытого порошка через мельничный газ встречаемость в пробах микрофоссилий диаметром <100 мкм маловероятна. Шарики от полупрозрачных до непрозрачных, цвет от желтоватого до коричневого и черного. На поверхности имеется небольшое углубление — базальная ямка (фототабл. 1, 1–16), иногда с темным веществом внутри. Редко базальных ямок две, расположены они рядом (фототабл. 1, 3–4, 12). На некотором удалении от ямки (ямки) «жемчужину» опоясывает тонкий ободок (фототабл. 1, 1–2, 5–10), иногда он едва различим. В литературе его наличие не упоминалось, но на некоторых опубликованных изображениях он заметен [Huang, Gong, 2014, fig. 3b, e, g–i]. На просвет видны концентрические линии нарастания (рис. 1, а, д, е), подобные таковым у конодонтовых элементов. Они видны также на расколах (фототабл. 2, 1; 2б, 3а, б). Между линиями нарастания — радиально расположенные тонкие кристаллиты апатита (фототабл. 2, 4 а–в), сходные с таковыми в конодонтовых элементах [Donoghue, 1998]. В центре «конодонтовой жемчужины» находится полая сфера с ровными стенками, диаметр ≤10 мкм (фототабл. 2, 2б, 3в).

Нередко наблюдаются трещины (рис. 1, а, в, з, и), вторичные повреждения и изменения как внутри «конодонтового жемчуга» (рис. 1, б, в), так и на его поверхности (рис. 1 г, ж–и). Совместную встречаемость с какими-либо определенными родами конодонтов выявить не удалось. Большинство образцов с конодонтовыми элементами «жемчуг» не содержит.

Результаты химического анализа. С помощью сканирующего электронного микроскопа «Zeiss Evo50» с микроанализатором «Inca Oxford 350» при 20 кВ был изучен химический состав «конодонтового жемчуга», а также сопутствующих фосфатных микрофоссилий (конодонтовых элементов, зубов лопастеперых и хрящевых рыб, чешуи акантод и лучеперых рыб) из двух палеобассейнов. Из мосоловского горизонта (поздний эйфель, средний девон) Воронежской антеклизы (скважины Щигры-16 и -19) проанализировано 17 объектов, а из сирачойского горизонта (верхний фран, верхний девон) Тимано-Печорской провинции (скв. Хоседаюская Южная 1) — 46 объектов. Образцы напыляли золотом. Для расчетов использованы значения в масс.%. Предварительные результаты были доложены на конференции «Ломоносовские чтения-2016» [Назарова и др., 2016].

Во всех изученных микрофоссилиях обнаружены Са, Р, С (табл. 2, 3). Углерод мы вынуждены были исключить из анализов, поскольку

его присутствие в пробах связано не только с его возможным содержанием в апатите, наличием в остатках органического вещества и возможными примесями вмещающих карбонатных пород, но и с технологией исследования: объекты приклеивали на столик органическим клеем, а столик монтировали в микроскоп на органический скотч.

Таблица 2

Средний химический состав (масс.%) фосфатных микрофоссилий мосоловского горизонта в Курской области (скв. Щигры-16, Щигры-19) по данным 17 объектов

Состав	«Конодонтовый жемчуг»	Конодонтовые элементы	Ихтиолиты
Na ₂ O	—	0,15	0,15
MgO	—	—	—
Al ₂ O ₃	—	0,42	0,40
SiO ₂	—	0,24	0,15
P ₂ O ₅	19,21	17,29	17,45
SO ₃	—	—	—
CaO	23,20	17,40	21,48
FeO	—	—	2,16
F	—	—	—
Cl	—	0,07	—

Примечания. Частота встречаемости химического элемента/оксида в объектах: светлый — <25%, курсив — 25–50%, курсив полужирный — 50–75%, полужирный — 75–100%.

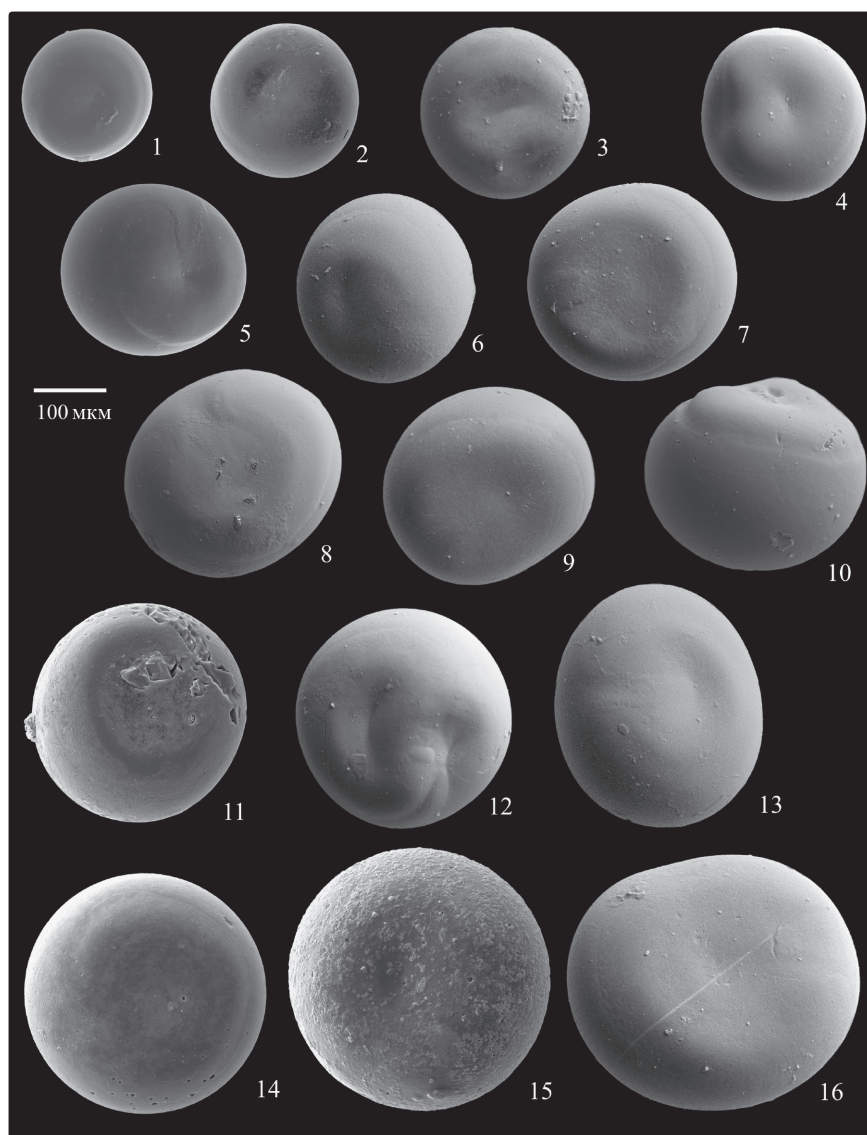
Таблица 3

Средний химический состав (масс.%) фосфатных микрофоссилий сирачойского горизонта в Ненецком АО (скв. Хоседаюская Южная 1) по данным 46 объектов

Состав	«Конодонтовый жемчуг»*	Конодонтовые элементы	Ихтиолиты
Na ₂ O	0,52	0,59	0,35
MgO	0,02	0,10	0,05
Al ₂ O ₃	—	—	—
SiO ₂	—	—	—
P ₂ O ₅	23,16	20,40	16,72
SO ₃	<i>0,30</i>	—	<i>2,2</i>
CaO	29,69	28,88	21,39
FeO	0,05	—	0,96
F	2,95	3,99	3,50
Cl	0,03	<i>0,17</i>	<i>0,06</i>

*См. примечания к табл. 2.

Анализ показал, что химический состав объектов из рассматриваемых палеобассейнов отличается больше, чем между объектами из одного бассейна. При сравнении разных групп микрофоссилий из одного палеобассейна можно отметить, что «конодонтовый жемчуг» состоит из более чистого апатита. В большинстве случаев в его состав входят только Са и Р, реже F



Фототаблица 1. Во всех случаях увеличение 140: 1 — экз. 364/12, эйфельский ярус, мосоловский горизонт, Липецкая обл., скв. Задонская 1, глубина 336,0 м, обр. ЗДОЛ-1/336; 2 — экз. 272/772, возраст тот же, Курская обл., скв. Шигры-16, интервал 189,25–194,15 м, обр. Ш-16/219; 3 — экз. 364/14, франский ярус, сирачийский горизонт, Ненецкий АО, скв. Хоседаюская Южная 1, интервал 3682,0–3696,0 м, обр. 38; 4 — экз. 364/15, местонахождение и возраст те же; 5 — экз. 364/13, эйфельский ярус, мосоловский горизонт, Липецкая обл., скв. Задонская 1, глубина 330,0 м, обр. ЗДОЛ-1/329; 6 — экз. 364/3, возраст тот же, Курская обл., скв. Шигры-19, интервал 180,0–184,9 м, обр. Ш-19/190; 7 — экз. 364/16, франский ярус, сирачийский горизонт, Ненецкий АО, скв. Хоседаюская Южная 1, интервал 3682,0–3696,0 м, обр. 38; 8 — экз. 364/17, местонахождение и возраст те же; 9 — экз. 364/18, местонахождение и возраст те же; 10 — экз. 364/2, эйфельский ярус, мосоловский горизонт, Курская обл., скв. Шигры-16, интервал 189,25–194,15 м, обр. Ш-16/222; 11 — экз. 364/21, франский ярус, Астраханская обл., скв. Девонская 3, интервал 5051,17–5057,76 м, обр. 8; 12 — экз. 364/19, франский ярус, сирачийский горизонт, Ненецкий АО, скв. Хоседаюская Южная 1, интервал 3682,0–3696,0 м, обр. 38; 13 — экз. 364/7, эйфельский ярус, мосоловский горизонт, Курская обл., скв. Шигры-19, интервал 180,0–184,9 м, обр. Ш-19/190; 14 — экз. 364/22, франский ярус, Астраханская обл., скв. Девонская 3, интервал 5051,17–5057,76 м, обр. 8; 15 — экз. 364/23, местонахождение и возраст те же; 16 — экз. 364/20, франский ярус, сирачийский горизонт, Ненецкий АО, скв. Хоседаюская Южная 1, интервал 3682,0–3696,0 м, обр. 38

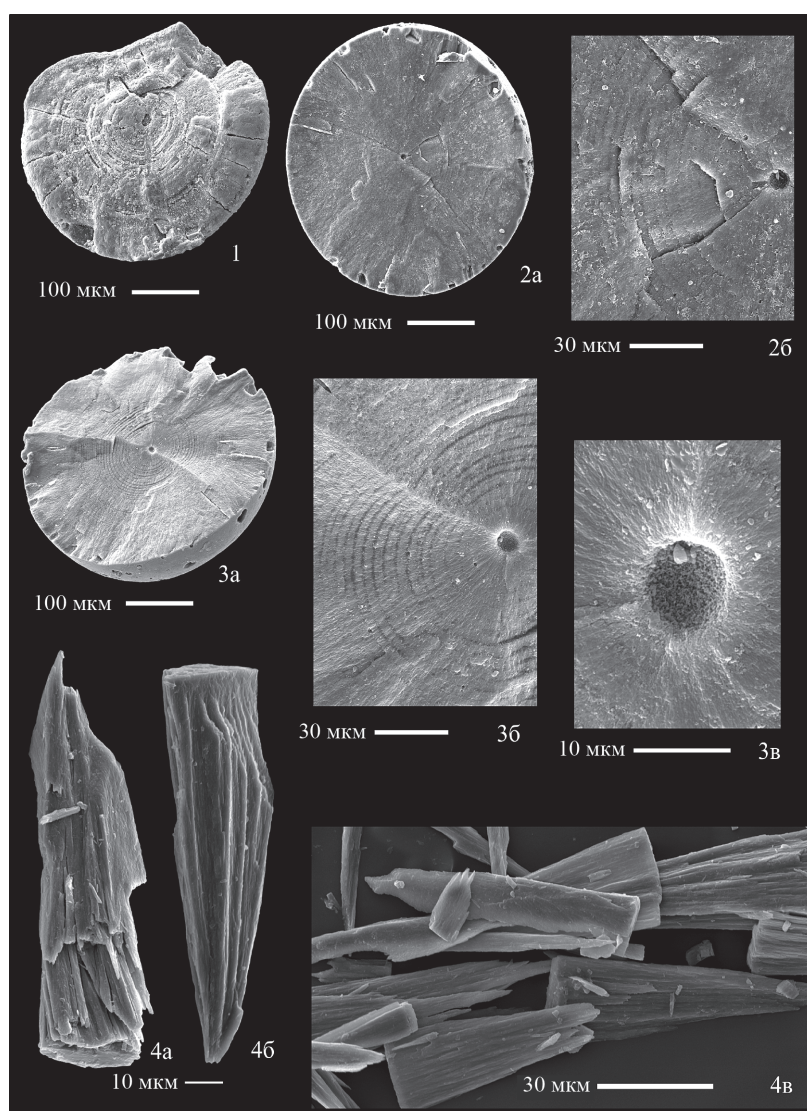
и Na, совсем редко Mg, S, Cl, Fe. Кроме того, установлено, что химический состав «конодонтового жемчуга» не зависит от его цвета, формы и размера. Остатки рыб включают максимум примесей кальцита, алюмосиликатов, пирита и др. Конодонтовые элементы в этом аспекте занимают промежуточную позицию. По-видимому, наличие и количество загрязнения зависят не от исходного состава объекта, а от характера его поверхности (на более гладкой поверхности меньше примесей) и пористости (у более пористых разновидностей больше примесей). Кроме того, большинство ихтиолитов содержит заметное количество железа, что было показано нашими исследованиями и на другом материале [Назарова, Зайцева, 2018]. В остальных микрофоссилиях железо почти не встречается.

Заключение. Рассмотрев историю изучения «конодонтового жемчуга» и проанализировав различные гипотезы его происхождения, мы пришли к выводу, что эти образования не могли принадле-

жать ни одному из рассматриваемых выше животных (конулятам, рыбам и т.д.). Химический состав, цвет, микроструктура и совместная встречаемость указывают на принадлежность «конодонтового жемчуга» к конодонтам. В теле конодонтов эти фосфатные микросферы, скорее всего, играли роль отолитов, входящих в состав органа равновесия, который позволял животным ориентироваться и беспрепятственно передвигаться в морской среде. Необходимо отметить, что до наших работ эти специфичные образования на территории России не отмечались.

Благодарности. Авторы глубоко признательны Л.И. Кононовой за предоставление материала и помощь в его обработке, ценные советы и всестороннюю поддержку, Л.В. Зайцевой — за помощь в проведении химических анализов, Е.А. Жегалло и Р.А. Ракитову — за помощь в фотосъемке материала, С.В. Молошникову, Ю.В. Ростовцевой, Т.В. Филимоновой — за ценные замечания и конструктивную критику.

Фототаблица 2. 1 — экз. 364/24, поперечный скол, франкий ярус, Астраханская обл., скв. Девонская 3, интервал 5051,17–5057,76 м, обр. 8, x140; 2 — экз. 364/25 (а — поперечный скол, x140; б — центральная часть, x500), местонахождение и возраст те же; 3 — экз. 364/26 (а — поперечный скол, x140; б — центральная часть, x500, в — центральная сфера, x2000), местонахождение и возраст те же; 4 — экз. 364/27, а,б,в — отколотые фрагменты, эйфельский ярус, мосоловский горизонт, Липецкая обл., скв. Задонская 1, глубина 336,8 м, обр. ЗДОЛ-1/337, x800



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Астраханский карбонатный массив: Строение и нефтегазоносность / Под ред. Ю.А. Воложа, В.С. Парасыны. М.: Научный мир, 2008. 221 с.

Барсков И.С. Конодонты в современной геологии // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Общая геология. 1985. Т. 19. С. 93–221.

Держинский Ф.Я. Сравнительная анатомия позвоночных животных. М.: Аспект-Пресс, 2005. 320 с.

Зоология беспозвоночных. В 2-х т. / Под ред. В. Вестхайде и Р. Ригера. Т. 1. От простейших до моллюсков и артропод. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2008. 512 с.

Кирюхина Т.А., Большакова М.А., Ступакова А.В. и др. Литолого-геохимическая характеристика доманиковых отложений Тимано-Печорского бассейна // Георесурсы. 2015. Т. 2, № 61. С. 87–100.

Назарова В.М. О природе «конодонтового жемчуга» // Ломоносовские чтения-2013. Москва, апрель 2013 г. / Тез. докл. 2013. URL: http://geo.web.ru/pubd/2013/11/24/0001187290/pdf/nazarova_2013.pdf

Назарова В.М., Гатовский Ю.А., Зайцева Л.В. Исследование фосфатных микрофоссилий из девонских отложений Русской плиты методом энерго-дисперсионного рентгеновского микроанализа // Ломоносовские

чтения-2016. Москва, 13–22 апреля 2016 г. / Тез. докл. URL: http://www1.geol.msu.ru/deps/paleont/conference/Nazarova_et_al_2016.pdf

Назарова В.М., Зайцева Л.В. Химический состав позднедевонских фосфатных микрофоссилий Восточно-Европейской платформы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2018. Т. 93, вып. 2. С. 42–53.

Назарова В.М., Кононова Л.И. Стратиграфия мосоловского горизонта (эйфель, средний девон) Воронежской антеклизы по конодонтам // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24, № 4. С. 1–26.

Назарова В.М., Кононова Л.И. Патологии девонских конодонтовых элементов Воронежской антеклизы // Тр. XVII Всеросс. микропалеонт. совещ. «Современная микропалеонтология — проблемы и перспективы». Казань, 24–28 сентября. М.: ГЕОС, 2018. С. 329–333.

Павлова Л.А., Павлов С.М. Особенности РСМА отолитов рыб как перспективного метода мониторинга окружающей среды // Методы и объекты химического анализа. 2006. Т. 1, № 1. С. 48–53.

Bischoff G.C.O. On the nature of the conodont animal // Geol. et Palaeontol. 1973. Bd. 7. S. 147–174.

Clarkson G.R. Devonian conodont biostratigraphy in the subsurface of Mason county, West Virginia // Submitted

to the Graduate School West Virginia University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science. Morgantown, 1980. 93 p.

Donoghue P.C.J. Growth and patterning in the conodont skeleton // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 1998. B. 353. P. 633–666.

Dumoulin J.A., Harris A.G., Blome Ch.D., Young L.E. Conodont and Radiolarian Data from the De Long Mountains Quadrangle and Adjacent Areas, Northern Alaska // *Open-File Rep.* 2006–1068, 2006. 174 p.

Giles K.A., McMillan N.J., McCarson B.L. Geochemical analysis and paleoecological implications of phosphatic microspherules (otoliths?) from Frasnian-Famennian boundary strata in the Great Basin, USA // *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.* 2002. Vol. 181. P. 111–125.

Glenister B.F., Klapper G., Chauff K.M. Conodont Pearls? // *Science.* 1976. Vol. 193. P. 571–573.

Huang Ch., Gong Y.M. Phosphatic microspherules and their geobiological implications from the Frasnian-Famennian transition at the Yangdi section, Guilin, South China // *Sci. China. Earth Sci.* 2014. Vol. 57. P. 943–956.

Kemp A. Amino acid residues in conodont elements // *J. Paleontol.* 2002. Vol. 76, N 3. P. 518–528.

Kononova L.I. Upper Frasnian and Tournaisian Conodonts of the Sikaza river section (Southern Urals) // *Serv. Geol. de Belgique. Prof. Pap.* 1979. Vol. 161. P. 71–86.

Krumhardt A.P. Conodont analyses from the Arctic National Wildlife refuge, Northeast Brooks range, Alaska 1990–1993 // *Divis. Geol. & Geophys. Surv.* 1994. 78 p.

Leuteritz K., Pietzner H., Vahl J., Ziegler W. Aufbau, Zusammensetzung und Entstehung von Calciumphosphat-sphären in paläozoischen Kalken // *Geol. et Palaeontol.* 1972. Bd. 6. S. 111–137.

Leyman B.G. The Frasnian/Famennian (mid-late Devonian) boundary in the Long Rapids formation, James Bay Lowlands, Northern Ontario, Canada // A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Science Graduate Department of Geology University of Toronto, 2001. 150 p.

McConnell D., Ward P. Nautiloid uroliths composed of phosphatic hydrogel // *Science.* 1978. Vol. 199, N 4325. P. 208–209.

Stauffer C.R. The conodont fauna of the Decorah Shale (Ordovician) // *J. Paleontol.* 1935. Vol. 9, N 7. P. 596–620.

Stauffer C.R. Conodonts from the Devonian and associated clays of Minnesota // *J. Paleontol.* 1940. Vol. 14, N 5. P. 417–435.

Wang K., Chatterton B.D.E. Microspherules in Devonian sediments: origins, geological significance, and contamination problems // *Canad. J. Earth Sci.* 1993. Vol. 30, N 8. P. 1660–1667.

Youngquist W., Miller A.K. Additional conodonts from the Sweet land Creek Shale of Iowa // *J. Paleontol.* 1948. Vol. 22, N 4. P. 440–450.

Поступила в редакцию 15.04.2019

Поступила с доработки 25.04.2019

Принята к публикации 25.04.2019