УДК 551.781.3+ 561.232+ 552.55 (470.45) EDN VMLXLF
DOI 10.29003/m4156.0514-7468.2023_46_2/172-185

ПАЛЕОГЕНОВЫЕ СТОЛБЧАТЫЕ СТРОМАТОЛИТЫ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ «КАМЫШИНСКИЕ УШИ» (НИЖНЕЕ ПОВОЛЖЬЕ)

С.Ю. Малёнкина, А.В. Иванов*

Рассматриваются результаты предварительных исследований палеоценовых столбчатых строматолитов местонахождения «Камышинские уши», расположенного близ северо-западной окраины города Камышин. Изучались морфология, состав и особенности построек. Их можно отнести к морфологическому типу столбчатых неветвящихся строматолитов, реже попадаются веерообразно расходящиеся ветвящиеся строматолиты; минеральный состав мало отличается от вмещающих пород и состоит в основном из сцементированных оксидом кремния зёрен кварца. Тёмные прослои значительно больше насыщены рудными включениями. Концентрация хрома, молибдена, вольфрама, ванадия, кобальта и никеля в тёмных разностях заметно возрастает, что подтверждает их строматолитовое происхождение. Обстановки их формирования остаются дискуссионными.

Ключевые слова: *Нижнее Поволжье, Камышин, палеоген, палеоценовые отложения, кремнистые столбчатые строматолиты*

Ссылка для цитирования: *Малёнкина С.Ю., Иванов А.В.* Палеогеновые столбчатые строматолиты местонахождения «Камышинские уши» (Нижнее Поволжье) // Жизнь Земли. 2024. Т. 46, № 2. С. 172–185. DOI: 10.29003/m4156.0514-7468.2023_46_2/172-185.

Поступила 02.04.2024 / Принята к публикации 29.05.2024

PALEOGENE COLUMNAR STROMATOLITES FROM THE "KAMYSHINSKIE USHI" LOCATION (LOWER VOLGA REGION)

S.Yu. Malyonkina[1], PhD, A.V. Ivanov[1,2,3], PhD

[1] Lomonosov Moscow State University (Earth Science Museum)
[2] Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow
[3] Tambov State Technical University, Tambov

The article discusses the results of our preliminary studies of Paleocene columnar stromatolites from the "Kamyshinskie Ushi" location, near the northwestern periphery of the town of Kamyshin. The morphology, composition and features of the buildings were studied. They can be attributed to the morphological type of columnar non-branching stromatolites; fan-shaped branching stromatolites are less common; their mineral composition differs little from the host rocks and consists mainly of quartz grains cemented by silicon oxide. Dark layers are much more saturated with ore inclusions. The concentration of chromium, molybdenum, wolfram, vanadium, cobalt and nickel in dark varieties increases noticeably, which confirms their stromatolite origin. The deposition settings of their formation remain controversial.

Keywords: *Lower Volga region, Kamyshin, Paleogene, Paleocene deposits, siliceous columnar stromatolites*

For citation: Malyonkina, S.Y., Ivanov, A.V., "Paleogene columnar stromatolites from the "Kamyshinskie ushi" location (Lower Volga Region)", *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **46**, no 2, 172–185 (2024) (in Russ., abstract in Engl.). DOI: 10.29003/m4156.0514-7468.2023_46_2/172-185.

* Малёнкина Светлана Юрьевна – к.г.-м.н., н.с. Музея землеведения МГУ, *maleo@mail.ru*, Иванов Алексей Викторович – к.г.-м.н., с.н.с. Музея землеведения МГУ, с.н.с. Института географии РАН, доцент Тамбовского государственного технического университета, *ivanovav@igras.ru.*

Введение. В рамках научно-просветительских экспедиций «Флотилия плавучих университетов» 2022–23 гг. нами проведено комплексное полевое исследование палеоценовых отложений камышинской свиты в окрестностях г. Камышин и, в частности, выявленных ранее кремнистых столбчатых строматолитов [1]. Местонахождение расположено на правом берегу Волги у северо-западной окраины города Камышин Волгоградской области (**рис. 1**).

Здесь находятся три возвышенности (т. наз. горы Уши и Лоб, или Шишанка), поднимающиеся на 174 м н.у.м., 30–40 м над окружающей местностью, сложенные песками и кварцитовидными песчаниками, образующими разнообразные тела в виде протяжённых структур и локальных массивов необычной формы, разбитыми крупными трещинами.

Исследование этого объекта имеет длительную историю и, прежде всего, он давно широко известен как уникальный палеоботанический памятник природы и сначала изучался именно с этих позиций. Впервые прекрасно сохранившиеся отпечатки листьев нашёл и собрал здесь ещё Р.И. Мэрчисон (Мурчисон) в 1841 г. во время своей экспедиции в Поволжье [7, 14], затем объект исследовали Карл Бэр, Г.И. Траутшольд, А.П. Павлов, М.Э. Янишевский, А.Д. Архангельский, Б.А. Можаровский, И.В. Палибин,

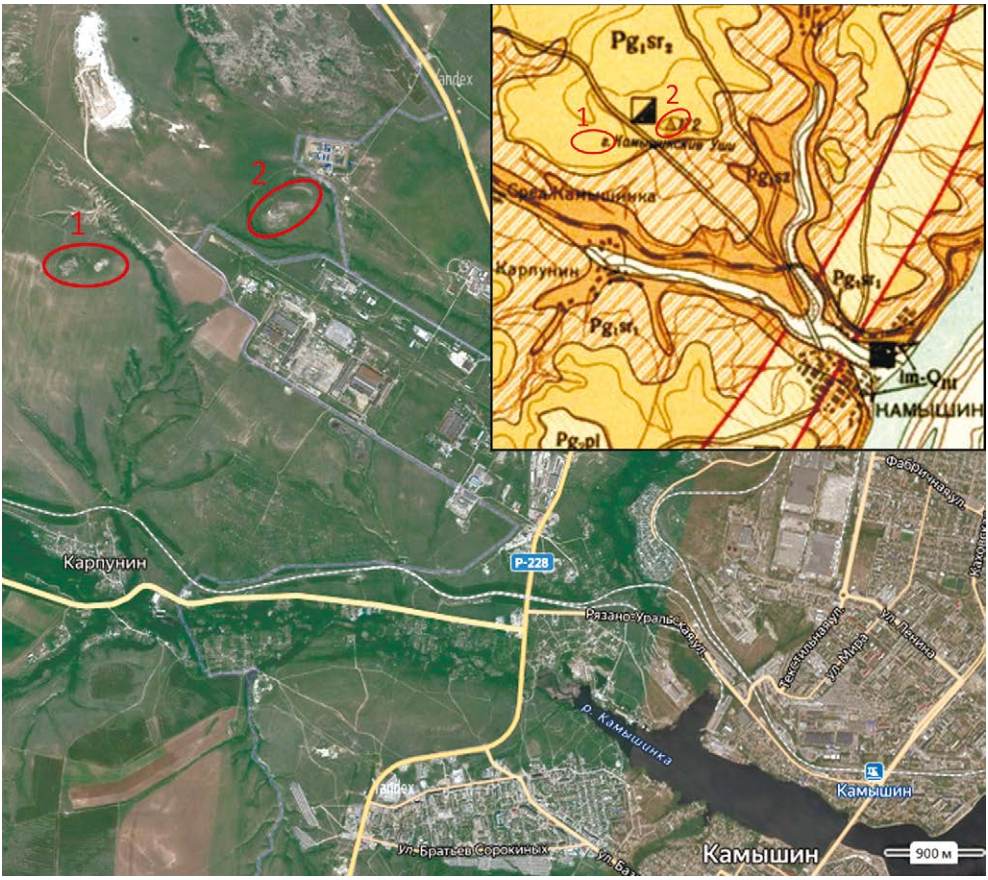

Рис. 1. Расположение местонахождения «Камышинские уши». 1 – гора Уши, 2 – гора Лоб.
Fig. 1. Map of the "Kamyshinskiye ushi" location. 1 – "Ushi Hill", 2 – "Lob Hill".

В.И. Баранов, Н.М. Макулбеков и другие палеоботаники и геологи [5]. В настоящее время из местонахождения известно более 30 видов каштанодуба, магнолии, литсеи, калины, оксикарпии, девальквеи и других форм. Более 300 отпечатков листьев с «Камышинских ушей» хранится в фондах областного краеведческого музея, также остатки листовых пластин представлены во многих ведущих естественнонаучных музеях страны. В дальнейшем геологическое строение и стратиграфическую последовательность слоёв этого разреза изучали многие исследователи [3, 5].

Гораздо позже проводилось изучение условий образования вмещающих кварцитовидных тел группой сотрудников Саратовского государственного университета под руководством чл.-корр. РАН Г.И. Худякова [10] и одновременно коллективом сотрудников Геологического института РАН в середине 1990-х гг. [6, 11]. Они предположили, что формирование горизонта с растительными остатками и цементация пород кремниевым гелем были синхронны, поскольку макрофитофоссилии в песчаниках были без признаков переотложения, а процесс окремнения пород протекал в результате разгрузки насыщенных кремнезёмом растворов либо в субаэральных, либо в мелководно-морских условиях литорали. Начиная с 2000 г. по настоящее время исследованием массивов камышинских кварцитовидных песчаников активно занимался ряд исследователей [1, 2, 4, 8]. В результате предварительно проведённого изучения А.В. Иванов интерпретировал их как ископаемые стириолитовые (кремнистые водорослево-бактериальные) постройки – разновидность строматолитов, хотя и уточнил, что изначальность кремнистого состава строго не доказана [1]. Наличие строматолитов в песчаниках также свидетельствует о мелководно-морских обстановках литорали или сублиторали. Они же были описаны волгоградским исследователем к.г.н. А.А. Ярковым как окаменевшие биогермы *Filiformis giganteus* Yarkov, относимые к выделенной им особой группе багрянок (Zarizinlaminata) [12].

Геологическая характеристика изученных отложений. Нашими исследованиями установлено наличие строматолитов в пределах одного «Уха» и Шишанки (на восточном «Ухе» строматолиты нами чётко не выявлены). Светло-серые кварцевые пески, по которым сформировались кварцитовидные песчаники в виде неправильных тел, имеют мощность 30–35 м и залегают пластообразно в пределах камышинской свиты (мощностью 40–50 м), датированной остатками палеоценовых растений. Она чётко выделяется в разрезах волжского палеоцена, поскольку с размывом залегает на отложениях сызранской свиты и также с размывом перекрывается толщей пород пролейской свиты. По данным Г.П. Леонова [3], в основании камышинской свиты прослеживается слой гравийно-галечных базальных конгломератов мощностью 0,6 м с обилием зубов акул. Разрез свиты венчается сыпучими, часто косослоистыми кварцевыми песками (до 30 м мощности) с линзовидными прослоями серых и коричневато-серых ожелезнённых глин и алевритов с комплексами различных ихнофоссилий, а также несколькими горизонтами окремнения и онколитами примерно в средней части толщи, фрагменты минерализованной с палеофлорой камышинского комплекса (в них заключены отпечатки листьев и обломки древесины). Их можно наблюдать в карьере Елшанского месторождения стекольных песков, находящемся примерно в 1 км к северу от г. Уши (абс. отм. 180).

Описание разреза г. Уши дано сверху (абс. отм. 174) вниз (**рис. 2**).

1. Песчаники кварцевые, серые разных оттенков, неравномерно прокварцованные вплоть до белых силицитовых жил и кварцитовидных сливных разностей, иногда довольно рыхлые ожелезнённые осыпающиеся. В них отмечаются отпечатки листовых пластин. Наблюдаются «окна» неправильной формы умеренно плотных песчаников в

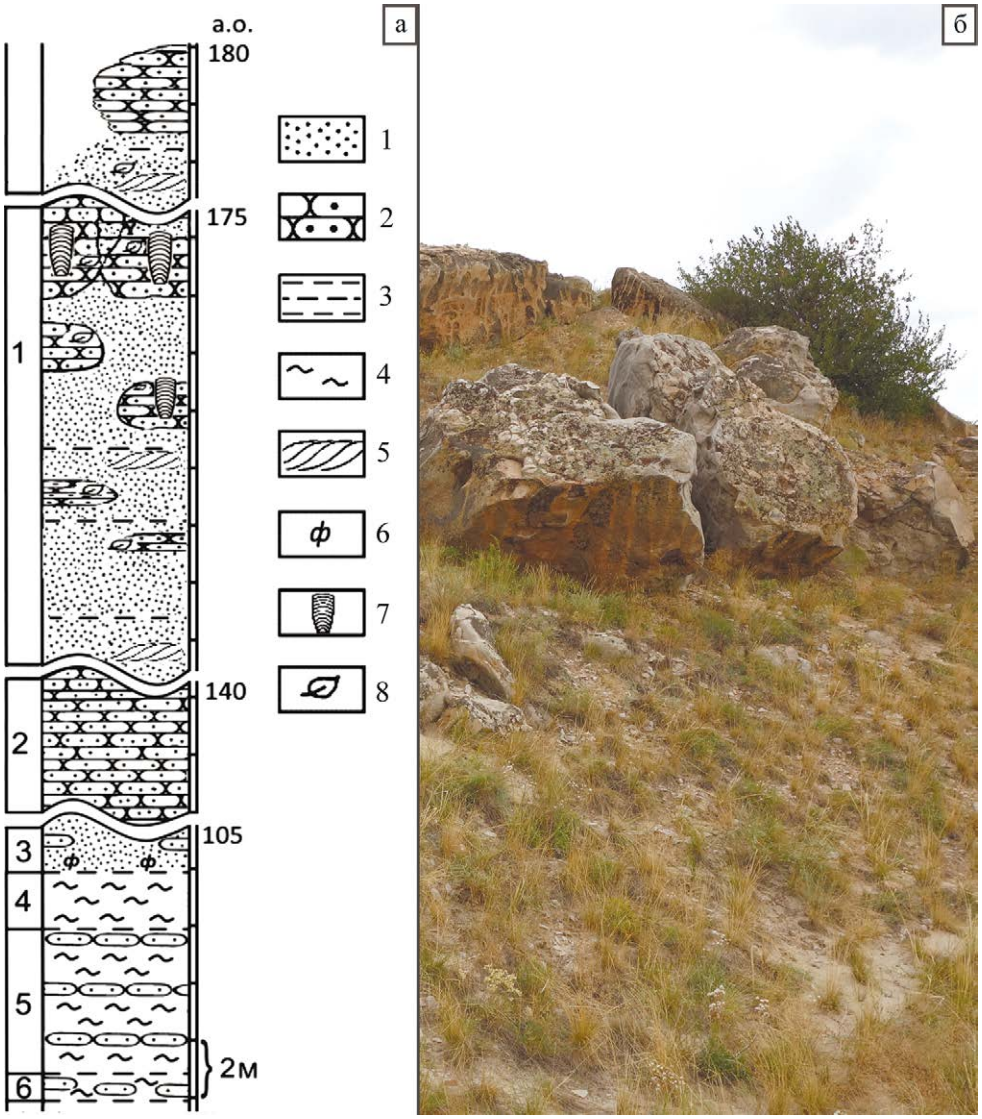

Рис. 2. Строение разреза палеоценовой камышинской свиты местонахождения «Камышинские уши»: а – литологическая колонка и условные обозначения: 1 – пески, 2 – песчаники, 3 – глины, 4 – алевриты, 5 – косая слоистость, 6 – фосфориты, 7 – строматолиты, 8 – растительные остатки; б – обнажение на г. Лоб (Шишанка).

Fig. 2. Structure of the Paleocene Kamyshin Formation section in the "Kamyshinskiye ushi" location: a – lithological column and symbols: 1 – sands, 2 – sandstones, 3 – clays, 4 – silts, 5 – cross-bedding, 6 – phosphorites, 7 – stromatolites, 8 – plant remains; b – outcrop on Lob Hill (Shishanka).

кварцитовидных песчаниках, а также многочисленные строматолитовые постройки. Залегают на светлых кварцевых песках. Контакт с подстилающим слоем закрыт осыпью и дёрном. Мощность (по абс. отм.) около 30–40 м.

Наращивание разреза вниз возможно в оврагах севернее западного «Уха» примерно 200 м (абс. отм. 140).

2. Песчаники кварцево-глауконитовые, грязно-серо-зеленоватые, умеренно плотные. Контакт с подстилающим слоем проследить не удалось. Видимая мощность около 5 м.

Далее прослеживается наращивание разреза вниз в оврагах восточнее «Уха» около 800–1000 м (абс. отм. 105).

3. Пески с прослоем кварцитовидных песчаников, с включениями фосфоритов в нижней части слоя. Видимая мощность около 2 м.

4. Алевриты грязно-серо-жёлтые. Мощность 2 м.

5. Алевролито-песчаниковая пачка (водопад верхний) (наблюдается глинизированный прослой в 2 м ниже кровли слоя). Мощность около 5 м.

6. Алевро-песчаник плотный (водопад нижний). Видимая мощность 1 м.

Морфология строматолитов. На западном «Ухе» наблюдается рифовый массив по северной периферии и единичные столбы в других частях. Массив содержит многочисленные строматолитовые постройки, издалека выделяющиеся своим более тёмным ржаво-бурым (из-за ожелезнения) цветом на фоне светлых песчаников. Практически вся вершинная поверхность Шишанки представляет собой единый рифовый массив столбчатых строматолитов (рис. 2б). На этой точке фиксируется наибольшее представительство и разнообразие форм.

Строматолиты имеют красноватую окраску, от светлой до охристо-красной с чёрными, тёмно-коричневыми и бежевыми участками (в зависимости от степени выветрелости), отличающую их от вмещающих светло-серых (до белых) песчаников. Чаще всего их можно отнести к морфологическому типу столбчатых неветвящихся строматолитов [9], реже попадаются ветвящиеся строматолиты, веерообразно расходящиеся (**рис. 3**). Один из них зафиксирован на западном «Ухе», высотой около 2 м, другие два на Шишанке – 0,5 м и около 2,5 м. Неветвящиеся строматолиты представляют собой субцилиндрические вертикальные столбики различного размера: редкие столбики диаметром первые сантиметры относительно невысокие – до 1 м, подавляющее большинство среднего размера – диаметром 10–20 см, не превышающие 1–1,5 м, и редкие единичные диаметром 30–50 см и высотой 1–2,5 м. Обычно столбики располагаются субпараллельно друг другу на расстоянии нескольких сантиметров один от другого.

Вертикальные сечения столбиков часто сохраняют чёткую слоистость неравномерной толщины, подчёркнутой чередованием более тёмных и более светлых куполовидных слойков. Иногда она затушёвывается окварцеванием (видимо, более поздним), от строматолитов остаются лишь «тени». Столбики непостоянной ширины и формы – с раздувами и изгибами, чаще всего расширяющиеся кверху по мере роста постройки, иногда их рост прерывался (рис. 3а, б).

Горизонтальные сечения концентрические, асимметричные, не всегда правильные, со слойками переменной толщины (рис. 3ж), иногда с кавернами на месте отсутствующей центральной части постройки и узкими длинными полостями по центру.

Степень окварцевания очень различается в пределах одного массива. Иногда она примерно одинакова в строматолитах и вмещающем песчанике, в этом случае границы между ними несколько расплывчаты, с зазубренным краем. Часто вмещающая порода окварцована сильнее, ещё чаще наиболее окварцованы стенки, непосредственно примыкающие к строматолитам. Иногда очень заметен контраст плотности вмещающей породы, стенок и менее плотных строматолитовых столбиков – при выветривании они разрушаются несколько быстрее, образуя западины на поверхности скал. Более сильное окварцевание отчётливо выделяется более светлым цветом. Слоистость в настоящее время выражена, вероятно, в основном лишь различной степенью ожелезнения, ве-

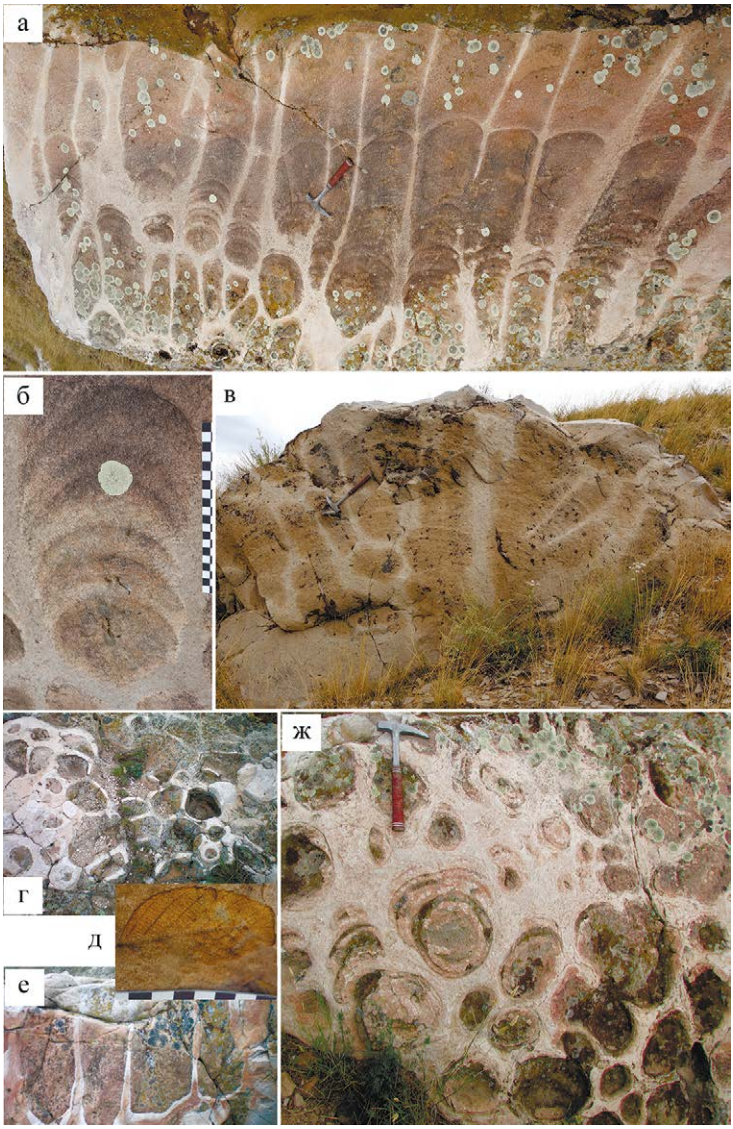

Рис. 3. Строение строматолитовых построек: а – вертикальные сечения столбиков с чёткой слоистостью (вероятно, иногда их рост прерывался) (западное «Ухо»); б – один из столбиков более крупно, с чёткими куполовидными слойками (там же); в – веерообразно расходящиеся ветвящиеся строматолиты (Шишанка); г – горизонтальные сечения строматолитов разной формы и степени выветрелости (Шишанка); д – отпечаток листовой пластины дерева на поверхности строматолита; е – вертикальные сечения столбиков, сильно изменённые, слоистость не выявляется (Шишанка); ж – горизонтальные сечения строматолитов, как с чётко различимой слоистостью, так и сильно выветрелые, вплоть до каверн на месте центральных частей построек (западное «Ухо»).

Fig. 3. Structure of stromatolite buildups: a – vertical sections of columns with clear layering, sometimes their growth was interrupted (western "Ukho"); б – one of the columns with a close approximation, with clear dome-shaped layers (ibid.); в – fan-shaped diverging branching stromatolites (Shishanka); г – horizontal sections of stromatolites of various shapes and degrees of weathering (Shishanka); д – imprint of a tree leaf plate on the surface of a stromatolite; e – vertical sections of columns, strongly altered, layering is not revealed (Shishanka); ж – horizontal sections of stromatolites, both with clearly visible layering and highly weathered to caverns in place of the central parts of the buildings (western "Ukho").

роятно из-за первоначально неравномерного распределения рудных минералов на поверхностях роста строматолита.

Аналитические данные. Визуальное изучение сколов породы, а также под микроскопом шлифов, изготовленных из отобранных проб кварцитовидных песчаников [8], показывает, что размер частиц кварца в породе колеблется от 0,2 до 1,7 мм, иногда наблюдаются признаки сортировки. Зёрна окатаны, с сохранившимися следами угловатости. Пористость колеблется 0,1 до 1 %. Цемент заполнения (поровый, реже контактовый) представлен только оксидом кремния, иногда с незначительной регенерацией зёрен кварца за счёт их обрастания новообразованным кварцевым агрегатом (**рис. 4**). В отдельных случаях установлены микростилолитовые контакты между зёрнами кварца,

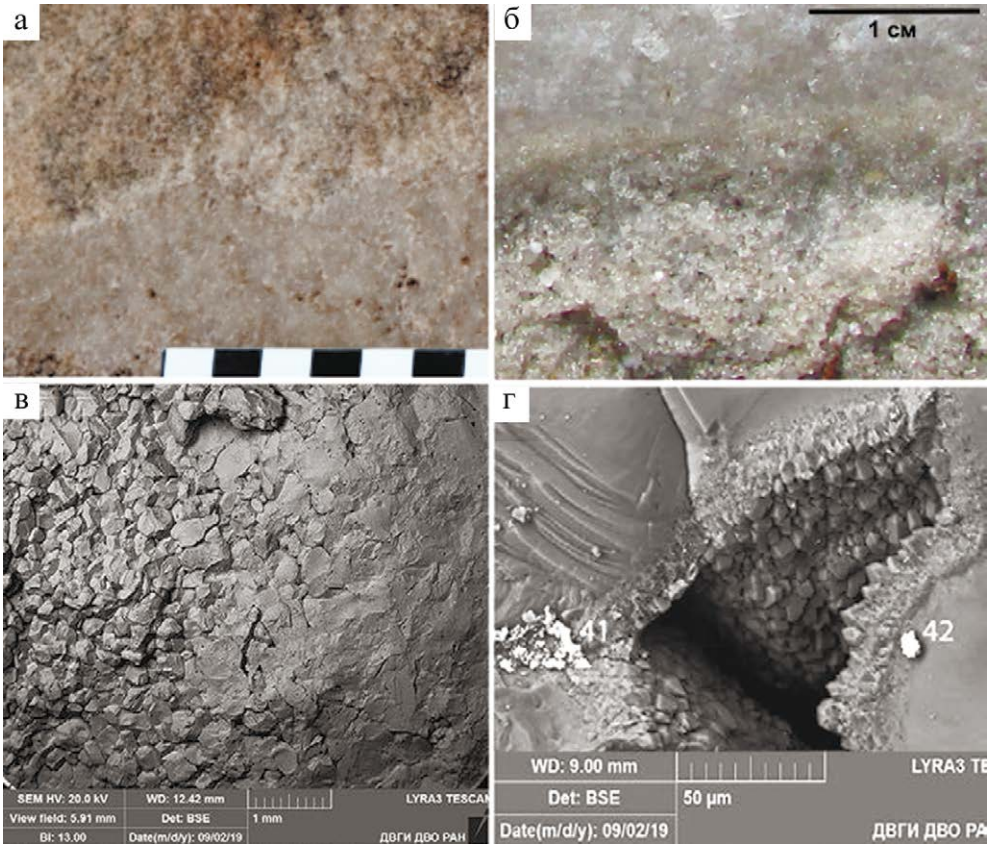

Рис. 4. Фотографии границы строматолитов и кварцитовидных песчаников: а – макро, вверху – строматолит, сложенный более рыхлым песчаником; б – микро, внизу – строматолит, сверху тёмная стенка; в, г – сделанных с помощью сканирующего электронного микроскопа при исследовании напылённого углеродом скола, г – микрополость в «тёмном» песчанике, инкрустированная микрокристаллами кварца (скопления светлых частиц слева и аналогичная частица справа идентифицированы как агрегаты FeCrNi – см. табл. 2, спектры 41 и 42).

Fig. 4. Photos of the boundary between stromatolites and quartzite sandstones: a – macrophoto, at the top is the stromatolite composed of looser sandstone; б – microphoto, below is a stromatolite, above is a dark wall; в, г – SEM images while examining a carbon-coated chip, d – a microcavity in “dark” sandstone encrusted with quartz microcrystals (clusters of light particles on the left and a similar particle on the right are identified as FeCrNi aggregates – see Table 2, spectra 41 and 42).

характеризующиеся проникновением обломков друг в друга по сложной зубчатой сутурной границе. Иногда в цементе встречаются редкие округлые (вероятно, биоморфные) выделения пирита.

Предыдущими исследованиями [8] показано (благодаря результатам рентгенодифракционного минералогического анализа), что минеральный состав кварцитовидных песчаников мало отличается от неизменённого кварцевого песка. Важно отметить, что данным методом анализа опаловидных (рентгеноаморфных) форм кремния выявить не удалось. Весь оксид кремния идентифицируется как кварц (**табл. 1**).

Таблица 1. Результаты рентгенодифракционного количественного минералогического анализа исходных песков (K) и кварцитовидных песчаников (%) [8]
Table 1. Results of XRD quantitative mineralogical analysis of initial sands (K) and quartzite sandstones (%). Common sands are marked grey [8]

Minerals	K	U-1a	U-1b	U-8a	U-8b	U-8c	U-10a	U-10b
Quartz	98,0	99,0	99,3	98,6	95,1	98,7	98,5	98,9
Microcline	0,5	0,3	0,0	0,5	2,3	0,6	0,7	0,3
Albite	1,1	0,7	0,6	0,9	1,9	0,7	0,8	0,9
Calcite	0,4	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
Muscovite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Исследование на электронном микроскопе с микрозондом рудных фаз показало, что тёмные разности песчаников значительно больше насыщены рудными включениями. Среди идентифицированных включений выявлены преимущественно восстановленные формы железа, формы, сочетающие железо, хром и никель, а также меди и олова; в явно подчинённом количестве присутствуют окислы железа и сульфиды железа, мышьяка и меди. Несколько рудных частиц хорошо видны на рис. 4г. В **табл. 2** приведены результаты анализа спектров этих рудных фаз по данным [8].

Таблица 2. Результаты анализа рудных фаз на электронном микроскопе [8]
Table 2. Results of ore phase analysis obtained by an electron microscope [8]

Спектр 68		Спектр 70		Спектр 41		Спектр 42	
Элемент	Вес. %	Элемент	Вес. %	Элемент	Вес. %	Элемент	Вес. %
Fe	100,00	Fe	100,00	Cr	18,57	Cr	17,32
				Fe	71,95	Fe	71,33
				Ni	9,48	Ni	11,35
Сумма:	100,00	Сумма:	100,00	Сумма:	100,00	Сумма:	100,00

Светлая разновидность песчаника состоит лишь из слабо (точечно) сцементированных частиц кварца. Стенки, примыкающие к строматолитам, представлены почти монолитным кварцитом, поры которого заполнены новообразованными микрокристаллическими агрегатами кварца (см. рис. 4). В составе микроэлементов изменения в кварцитовидных песчаниках заметно выражены только в тёмных плотных разностях по хрому, молибдену, вольфраму, ванадию, кобальту и никелю. Концентрация этих элементов в тёмных разностях резко возрастает (по Cr – на три порядка, по Mo и W – на 2 порядка, по Co и V – на порядок) [8], что согласуется с их строматолитовой природой (**табл. 3**).

Таблица 3. Состав микроэлементов в исходных песках, кварцитовидных песчаниках и кремнисто-карбонатных породах (ppm) (по данным [8])

Table 3. Microelement composition of initial sands, quartztose sandstones and siliceous carbonate rocks (ppm) [8]

Element	K	U-1A	U-1B	U-8A	U-8B	U-8C	U-10A	U-10B	U-11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Li	1,29	2,79	2,42	3,51	2,70	2,30	1,69	1,38	3,03
Be	0,06	0,02	0,02	0,09	0,02	0,03	0,04	0,03	0,10
Sc	0,45	0,15	0,27	0,73	0,20	0,17	0,19	0,17	0,21
V	3,56	13,13	1,80	18,90	4,55	3,33	14,35	0,56	13,29
Cr	4,36	429,8	2,46	198,71	76,73	62,52	327,99	3,57	386,36
Co	0,11	1,91	0,04	1,73	0,74	0,39	1,25	0,04	1,35
Ni	2,30	10,33	12,41	6,41	3,06	3,59	9,68	2,47	4,15
Cu	0,61	4,61	2,10	5,86	1,33	1,30	4,99	1,11	3,76
Zn	3,64	0,858	1,67	6,17	0,02	0,41	1,05	2,69	2,98
Ga	0,31	0,19	0,19	0,85	0,23	0,09	0,10	0,01	0,02
Ge	0,78	0,59	0,64	0,67	0,63	0,58	0,76	0,66	0,71
As	0,25	0,16	0,29	2,67	0,18	0,12	0,11	0,08	0,23
Se	0,03	0,02	<*	0,03	<	<	0,04	0,08	<
Rb	3,84	0,36	0,94	2,28	0,44	0,30	0,22	0,29	0,29
Sr	6,23	1,53	1,79	4,48	2,44	1,36	1,04	0,94	1,81
Y	0,82	0,46	0,45	0,62	0,44	0,43	0,36	0,32	0,37
Zr	13,00	9,03	8,57	10,03	6,92	7,73	11,60	8,63	9,99
Nb	1,11	0,49	0,39	0,59	0,42	0,37	0,42	0,28	0,33
Mo	0,13	23,73	0,06	10,64	8,40	3,08	17,90	0,30	18,52
Ag	0,02	0,01	0,01	<	<	<	0,01	<	<
Cd	<ПО	0,03	0,04	0,01	<	<	0,01	<	0,01
Sn	0,03	0,20	0,24	0,41	0,09	0,08	0,35	0,01	0,47
Sb	0,05	0,07	0,05	0,16	0,06	0,05	0,07	0,03	0,08
Te	0,03	0,01	<	0,03	<	<	<	0,01	<
Cs	0,09	0,02	0,06	0,18	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03
Ba	25,64	5,20	4,95	12,56	4,84	4,34	2,96	2,43	6,11
La	1,169	0,554	0,550	1,243	0,467	0,472	0,419	0,401	0,380
Ce	2,06	1,019	0,990	2,337	0,886	0,914	0,826	0,808	1,194
Pr	0,231	0,118	0,112	0,219	0,094	0,094	0,096	0,084	0,141
Nd	0,810	0,407	0,382	0,764	0,337	0,305	0,314	0,324	0,519
Sm	0,169	0,083	0,071	0,127	0,068	0,067	0,059	0,055	0,100
Eu	0,031	0,010	0,011	0,021	0,010	0,008	0,008	0,008	0,008

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gd	0,180	0,061	0,120	0,106	0,055	0,061	0,050	0,047	0,074
Tb	0,021	0,012	0,019	0,017	0,010	0,012	0,008	0,008	0,012
Dy	0,142	0,070	0,104	0,116	0,064	0,074	0,064	0,054	0,068
Ho	0,030	0,015	0,021	0,023	0,015	0,017	0,011	0,011	0,015
Er	0,096	0,055	0,063	0,073	0,055	0,054	0,013	0,036	0,043
Tm	0,014	0,007	0,008	0,010	0,009	0,009	0,041	0,006	0,008
Yb	0,102	0,057	0,058	0,083	0,058	0,057	0,007	0,049	0,055
Lu	0,015	0,009	0,011	0,011	0,009	0,009	0,060	0,006	0,008
Hf	0,37	0,26	0,234	0,27	0,21	0,22	0,008	0,23	0,31
Ta	0,07	0,05	0,044	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
W	0,16	21,45	0,205	7,58	5,68	2,59	14,96	0,21	15,43
Tl	0,02	<ПО	0,006	0,01	<	<	<	<	<
Pb	1,41	1,02	0,947	2,02	0,91	0,93	1,39	0,39	1,26
Th	0,29	0,22	0,177	0,54	0,25	0,19	0,22	0,16	0,30
U	0,15	0,10	0,112	0,16	0,12	0,12	0,27	0,12	0,16

* – меньше предела обнаружения.

Очень характерно ведут себя редкоземельные элементы (РЗЭ). Слабые различия просматриваются по лантану, церию и неодиму, их концентрация в песчаниках, по сравнению с песком, незначительно снижается. На графике (**рис. 5**) [8] очевидно, что

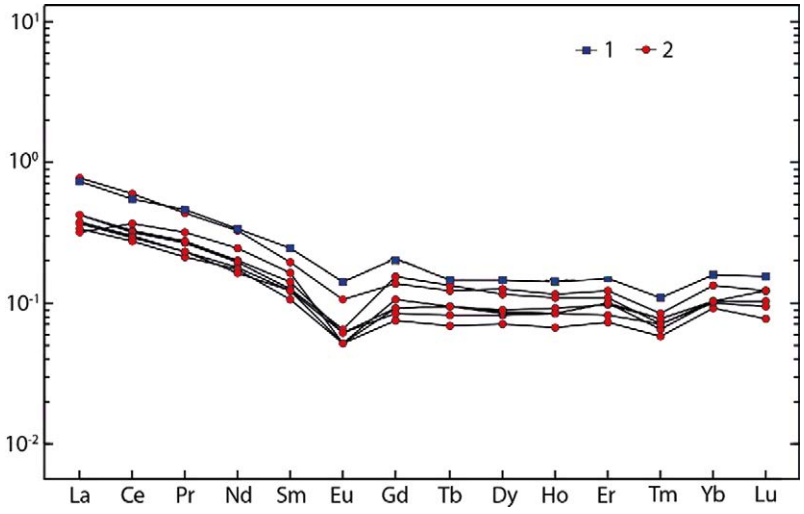

Рис. 5. Распределение редкоземельных элементов в породах (нормировано на состав хондрита, по [15]): 1 – песок из песчаного карьера; 2 – кварцитовидные песчаники (по данным [8]).

Fig. 5. Distribution of rare-earth elements in the rocks (chondrite-normalized according to Ref. [15]): 1 – sand from the sand pit; 2 – quartzite sandstones [8].

кварцитовидные песчаники обеднены относительно исходного кварцевого песка. Более низкие содержания РЗЭ в кварцитовидных песчаниках можно объяснить выносом этой группы элементов глеевыми растворами на этапе окременения.

Дискуссионные вопросы. Насколько формирование горизонта с растительными остатками и строматолитами и цементация пород кремнезёмом были синхронны? Сопряжённость роста строматолитов (стириолитов) с функционированием системы флюидоразгрузки [1, 2, 8, 11] возможна. При этом по некоторым признакам нам представляется, что первоначально при формировании строматолитов не было такой степени окварцевания, какая наблюдается в настоящее время. Кроме того, микробиальные постройки морфологически очень похожи на современные строматолиты залива Шарк-Бей (Австралия) и одновременно – юрские строматолиты Приуралья, которые формировались преимущественно в сублиторальных условиях и имели первоначально карбонатный состав. Нашими исследованиями пока не выявлено окремнённых микрофоссилий цианобактерий, так же, как и кремнистых микрослоёв в постройках. То есть окварцевание произошло, вероятнее всего, постдиагенетически. Во время образования построек обстановки осадконакопления, вероятно, были относительно спокойными и мелководными. Предполагаемая среда формирования этих строматолитов, вероятно, была относительно спокойной и мелководной и связана с приливно-отливными условиями с хорошей освещённостью. При этом имели место значительные поставки терригенного материала, судя по форме и составу построек. Также видно, что иногда их засыпало полностью и рост прекращался, а затем возобновлялся.

Режим постепенного медленного погружения и постоянное поступление осадочного вещества благоприятствовали росту биогермов до определённого момента, затем оно прекратилось, вероятно, из-за резкого обмеления (**рис. 6**). Недалеко от берега произрастали древесные растения, обеспечившие попадание листовых пластин на постройки. Возможно также, что здесь, как в модели [13], постройки строматолитов возникли в результате сочетания факторов, включая море, трансгрессировавшее на затопленный лес, пни с корневой системой в прижизненном положении древесных растений, обеспечивающие возвышение субстрата над дном и хороший фотосинтез, обильные поставки богатой кальцием (способствовала усилению осаждения карбонатов) родниковой и поверхностной воды, которая смешивалась с солёно-щелочной водой моря, а скорость опускания прибрежной среды озера не превышала скорости роста строматолитов. Проникновение родниковой воды, смешанной с солёно-щелочной поровой водой внутри строматолитов (постройки были очень пористыми), приводило к цементации кремнезёма при падении pH поровой воды и, в дальнейшем, к окремнению. Вероятен также сюжет, при котором ткани оказавшихся затопленными прикорневых частей стволов и собственно корневых систем древесных растений («пней»), произраставших у побережья, не фоссилизировались и не сохранились – от них остались лишь извилистые полости (рис. 6б), что не противоречит, а в определённой мере и гармонирует с развитием локальной флюидотранспортной канализированной системы.

Очевидно, что междисциплинарные исследования памятника природы «Камышинские уши» всё более раскрывают его комплексность. Одним из аспектов уникальности является показательность остатков палеоценовой прибрежной биогеоценотической системы, важнейшим элементом которой являются описанные строматолитовые постройки.

Благодарности и источники финансирования. Материал для исследования получен в ходе научно-просветительской экспедиции «Флотилия плавучих университетов». Авторы благодарят А.М. Паничева (Тихоокеанский институт географии РАН, Владивосток),

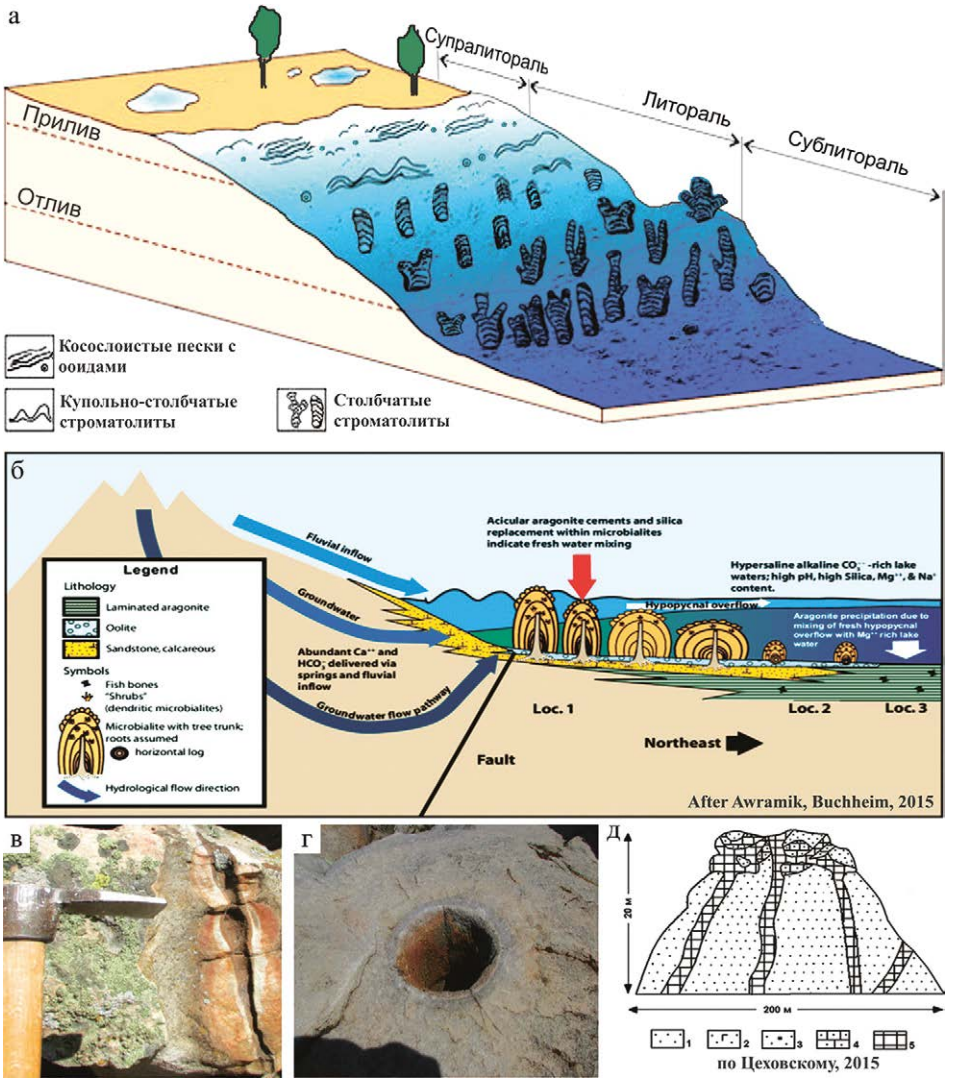

Рис. 6. а – Реконструкция обстановок осадконакопления, существовавших во время формирования строматолитов; б – модель образования строматолитов [13]; в, г – каналы флюидоразгрузки или, возможно, полости от корней и стволов древесных растений; д – схема гидротермального окремнения нижнекайнозойских отложений в эрозионном останце палеоценовой камышинской свиты, г. Камышин, Поволжье, по Ю.Г. Цеховскому [6, 11].

Fig. 6. a – Reconstruction of sedimentation environments existed during the formation of stromatolites; б – a model of stromatolite formation [13]; в, г – fluid discharge channels or, possibly, cavities of tree roots and trunks; д – a scheme of hydrothermal silicification of Lower Cenozoic deposits in the erosional remnant of the Paleocene Kamyshin formation, Kamyshin, Volga region, according to Yu.G. Tsekhovsky [6, 11].

А.А. Коковкина (ИТиГ имени Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Хабаровск), В.А. Епифанова (СНИИГиМС, Новосибирск), И.А. Яшкова (Музей геологии, нефти и газа города Ханты-Мансийска) за консультации и совместные полевые работы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственных заданий Музея землеведения МГУ АААА-А16-116042010089-2 и АААА-А16-116042710030-7, а также государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0007 (1021051703468-8).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов А.В.* Палеоэкологические особенности кайнозойских гидротерм Нижнего Поволжья // Коэволюция геосфер: от ядра до Космоса. Мат-лы Всерос. конф. памяти чл.-корр. РАН Глеба Ивановича Худякова. Саратов: Изд-во СГТУ, 2012. С. 269–272.

2. *Коковкин А.А., Иванов А.В., Тюленева В.М., Яшков И.А.* Тектоника, сейсмотектоника и гидротермальный метасоматоз в новейшей структуре Волжского (Саратовско-Камышинского) правобережья: новые данные // Отечественная геология. 2018. № 6. С. 51–66.

3. *Леонов Г.П.* Основные вопросы региональной стратиграфии палеогеновых отложений Русской плиты. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1961. 552 с.

4. *Маленкина С.Ю., Иванов А.В.* Проблема генезиса палеогеновых столбчатых строматолитов местонахождения «Камышинские уши» // Геология морей и океанов: Мат-лы XXV Межд. науч. конф. по морской геологии. Т. IV. М.: ИО РАН, 2023. С. 67–71.

5. *Макулбеков Н.М.* Палеогеновые флоры Западного Казахстана и Нижнего Поволжья. Алма-Ата, 1977. 233 с.

6. *Муравьёв В.И., Цеховский Ю.Г., Каледа К.Г., Бабушкин Д.А., Суворов А.И.* Процессы окремнения в палеогеновых песчаниках Восточно-Европейской платформы // Литология и полезные ископаемые. 1997. № 2. С. 150–162.

7. *Мурчисон Р.И., Вернейль Ф.Э., Кейзерлинг А.А.* Геологическое описание Европейской России и хребта Уральского. В 2 ч. СПб: тип. ИАН, 1849. Ч. 1. 1141 с.; Ч. 2. XII. 649 с.

8. *Паничев А.М., Иванов А.В., Чекрыжов И.Ю., Яшков И.А., Иванов В.В.* Геохимические особенности кремнистых и кремнисто-карбонатных метасоматитов в меловых и палеогеновых отложениях Нижнего Поволжья // Жизнь Земли. 2021. Т. 43, № 1. С. 4–19. DOI: 10.29003/m1990.0514-7468.2020_43_1/4-19.

9. *Раабен М.Е.* Строматолиты // Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. С. 52–58.

10. *Худяков Г.И., Ахлестина Е.Ф., Букина Т.Ф.* Палеогидротермальные проявления в Нижнем Поволжье // Структура и эволюция минерального мира: Мат-лы Межд. минералогического семинара. Сыктывкар, 1997. С. 166–167.

11. *Цеховский Ю.Г.* Седиментогенез и геодинамика в пограничную мел-палеогеновую эпоху пенепленизации континентов. Сообщение 1. Центральная и Восточная Евразия // Литосфера. 2015. № 1. С. 5–23.

12. *Ярков А.А.* Водоросли океана Тетис Волгоградской области // Стержень. Волгоград, 2008. С. 91–113.

13. *Awramik, S.M., and Buchheim, H.P.* Giant stromatolites of the Eocene Green River Formation (Colorado, USA): Geology, 2015. V. 43. P. 691–694.

14. *Murchison R. I., Verneuil, E., Keyserling A.* The geology of Russia in Europe and the Ural Mountains. Vol. 1: Geology. London: John Murray, 1845. 700 p.

15. *Taylor S.R., McLennan S.M.* The continental crust: its composition and evolution. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.

REFERENCES

1. Ivanov, A.V., “Paleoecological features of Cenozoic hydrotherms of the Lower Volga region”, *Co-evolution of geospheres: from the core to the Cosmos* (Saratov: SSTU Publishing House, 2012. P. 269–272) (in Russian).

2. Kokovkin, A.A., Ivanov, A.V., Tyuleneva, V.M., Yashkov, I.A., “Tectonics, seismotectonics and hydrothermal metasomatism in the newest structure of the Volga (Saratov–Kamyshin) right bank: new data”, *Domestic Geology* **6**, 51–66 (2018) (in Russian).

3. Leonov, G.P., *Main issues of regional stratigraphy of Paleogene deposits of the Russian Plate* (Moscow: Publishing house of Moscow Univ., 1961) (in Russian).

4. Malenkina, S.Yu., Ivanov, A.V., "Problem of the genesis of Paleogene columnar stromatolites at the Kamyshin Ushi location", *Geology of the seas and oceans: Proc. of the XXV Inter. Sci. Conf. (School) on Marine Geology* **IV** (Moscow: IO RAS, 2023. P. 67–71) (in Russian).

5. Makulbekov, N.M., *Paleogene floras of Western Kazakhstan and the Lower Volga region* (Alma-Ata, 1977) (in Russian).

6. Muravyov, V.I., Tsekhovsky, Yu.G., Kaleda, K.G., Babushkin, D.A., Suvorov, A.I., "Processes of silicification in Paleogene sandstones of the East European Platform", *Lithology and minerals* **2**, 150–162 (1997) (in Russian).

7. Murchison, R.I., Verneuil, F.E., Keyserling, A.A., *Geological description of European Russia and the Ural Range, Parts 1, 2* (St. Petersburg: typ. IAN, 1849) (in Russian).

8. Panichev, A.M., Ivanov, A.V., Chekryzhov, I.Yu., Yashkov, I.A., Ivanov, V.V., "Geochemical features of siliceous and siliceous–carbonate metasomatites in Cretaceous and Paleogene deposits of the Lower Volga region", *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **43** (1), 4–19 (2021). DOI: 10.29003/m1990.0514-7468.2020_43_1/4-19 (in Russian).

9. Raaben, M.E., "Stromatolites", *Bacterial paleontology* (Moscow: PIN RAN, 2002. P. 52–58) (in Russian).

10. Khudyakov, G.I., Akhlestina, E.F., Bukina, T.F., "Paleohydrothermal manifestations in the Lower Volga region", *Structure and evolution of the mineral world: Materials of the International Mineralogical Seminar* (Syktyvkar, 1997. P. 166–167) (in Russian).

11. Tsekhovsky, Yu.G., "Sedimentogenesis and geodynamics during the Cretaceous-Paleogene boundary era of continental peneplanation. Report 1. Central and Eastern Eurasia", *Lithosphere* **1**, 5–23 (2015) (in Russian).

12. Yarkov, A.A., "Algae of the Tethys ocean of the Volgograd region", *Sterzhen'* (Volgograd, 2008) (in Russian).

13. Awramik, S.M., and Buchheim, H.P., "Giant stromatolites of the Eocene Green River Formation (Colorado, USA)", *Geology* **43**, 691–694 (2015).

14. Murchison, R.I., Verneuil, E., Keyserling, A., *The geology of Russia in Europe and the Ural Mountains* **1**, Geology (London: John Murray, 1845).

15. Taylor, S.R., McLennan, S.M., *The continental crust: its composition and evolution* (Oxford: Blackwell, 1985).