

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.15>

УДК 551.14

К вопросу о разнообразии микрофоссилий баженовского горизонта Западной Сибири (поздняя юра–ранний мел)

Э.О. Амон^{1*}, В.С. Вишневская^{1,2}, Ю.А. Гатовский³, Е.А. Жегалло¹

¹Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, Москва, Россия

²Геологический институт РАН, Москва, Россия

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Палеонтологические остатки из баженовского горизонта Западной Сибири (титон–берриас) представлены макро- и микроископаемыми формами. Горизонт имел морской генезис, и основу экосистемы палеобассейна составляли пелагические организмы-продуценты (фитопланктон: прازیнофиты, кокколитофориды, динофлагелляты; а также бурые водоросли) и консументы (зоопланктон: радиолярии, личинки беспозвоночных, ракообразных; а также нектон: пелагические костистые рыбы, аммониты, белемниты, палеокальмары-теутиды и морские ящеры; и, кроме них, бентосные двустворчатые моллюски, фораминиферы и остракоды). Среди микрофоссилий ведущее значение имеют радиолярии, реже встречается фитопланктон (динофлагелляты, кокколитофориды) и еще реже микробентос (фораминиферы, спикулы губок). Радиолярии, динофлагелляты, кокколитофориды и фораминиферы используются в целях биостратиграфического расчленения разрезов и их корреляции, и, помимо этого, совместно со спикулами губок, для восстановления параметров и обстановок палеосреды. В литературе в ряде работ указывалось на наличие в палеобиоте баженовского моря кремневых микрофоссилий – диатомей, силикофлагеллят, а также акантарий. В статье кратко охарактеризованы радиолярии, кокколитофориды, динофиты и критически рассмотрены сообщения о других микрообъектах. Показано, что сведения о диатомеях, силикофлагеллятах и акантариях среди палеонтологических остатков баженовского горизонта являются, по всей видимости, недостоверными.

Ключевые слова: радиолярии, кокколитофориды, динофлагелляты, баженовский горизонт, Западная Сибирь, поздняя юра, титон, ранний мел, берриас

Для цитирования: Амон Э.О., Вишневская В.С., Гатовский Ю.А., Жегалло Е.А. (2021). К вопросу о разнообразии микрофоссилий баженовского горизонта Западной Сибири (поздняя юра–ранний мел). *Георесурсы*, 23(3), с. 118–131. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.15>

Обширный морской бассейн, существовавший на территории Западной Сибири в период завершения юрской и начала меловой систем (титон–берриас), характеризовался специфическими, подчас уникальными чертами. Осадками этого бассейна был сформирован высокоуглеродистый баженовский региональный литолого-стратиграфический горизонт, являющийся нефтематеринским и, одновременно, региональным экраном для месторождений углеводородов. В настоящее время, когда добыча нефти в традиционных залежах в Западно-Сибирском бассейне снижается, эта толща становится объектом потенциального прироста запасов и добычи нефти (Лобусев и др., 2011; Конторович и др., 2013; Конторович и др., 2014 и др.). Стратиграфии, палеогеографии, палеобиологии и палеогеоэкологии бассейна посвящена представительная литература (Захаров, Сакс, 1983; Брэдучан и др., 1986; Захаров, 2006 и др.).

Биологическая продуктивность внутреннего Западно-Сибирского моря, с которой связывают баженовский нафтидогенез, в течение волжского времени – берриаса была исключительно высокой (Конторович и др., 2013). Накопление громадных масс органического вещества было обусловлено существованием эвтрофной

пелагической экосистемы, центральным звеном которой являлся планктон. Основа экосистемы бассейна состояла из разнообразных пелагических (рис. 1, 2) организмов-продуцентов (фитопланктон: прازیнофиты, кокколитофориды, динофлагелляты) и консументов (зоопланктон: радиолярии, личинки беспозвоночных, ракообразные; а также нектон: пелагические костистые рыбы, аммониты, белемниты, палеокальмары-теутиды и морские ящеры; кроме них бентосные двустворчатые моллюски, фораминиферы и остракоды) (Захаров, 2006). Заметим также, что, помимо одноклеточной планктонной альгофлоры, акваторию и дно бассейна могли населять многоклеточные бурые водоросли, которые также были способны создавать огромную биомассу (Куликова и др., 2013).

Весьма важным элементом планктона Западно-Сибирского эпиконтинентального баженовского бассейна были радиолярии, подчас игравшие существенную роль в формировании палеобиоты и процессов осадконакопления (рис. 3, 4, 5). В настоящем сообщении рассмотрены некоторые черты палеобиоты радиолярий, поскольку они не в полной мере освещены в литературе (Брэдучан и др., 1986; Захаров, 2006 и др.). Биостратиграфические аспекты распространения радиолярий в баженовском горизонте и составы их ископаемых комплексов проанализированы ранее (Брэдучан и др., 1986; Амон и др., 2011; Вишневская, 2013; Панченко и др., 2015; Вишневская и др., 2018а,б, 2020).

* Ответственный автор: Эдуард Оттович Амон
e-mail: edwardamon@mail.ru

© 2021 Коллектив авторов

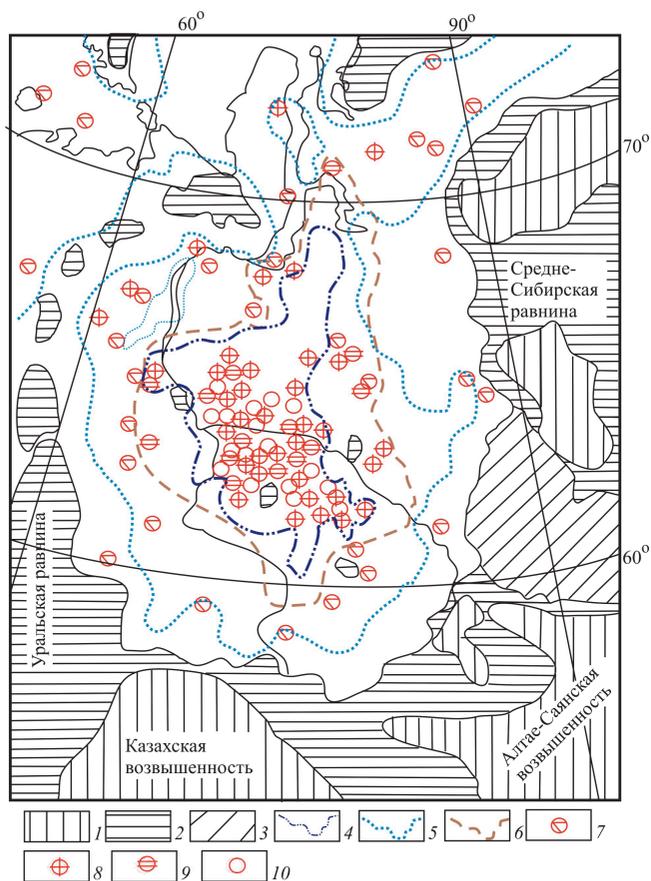


Рис. 1. Схема палеогеографии Западносибирского морского бассейна и распространение микрофоссилий в баженовское время (титон–берриас) (Предтеченская, 2006; Панченко и др., 2015; Вишневская и др., 2020, с изменениями). 1 – плато, горные области; 2 – области денудации (холмистые плато); 3 – лагуны, марши, аллювиально-озерно-болотные равнины; 4–6 – контуры (границы) областей распространения: 4 – наибольших глубин (псевдоабиссаль); 5 – относительно глубоких вод (средняя и нижняя сублитораль); 6 – битуминозных отложений; 7–10 – микрофоссилии: 7 – фораминиферы; 8 – радиолярии; 9 – кокколитофориды; 10 – известковые цисты динофлагеллят (кальцисферы).

Кроме того, приведены новые данные о кокколитофоридеях, динофлагеллятах и критически пересмотрены известные в литературе сообщения о диатомеях, силикофлагеллятах и акантариях из баженовского горизонта.

Таким образом, в предлагаемой обзорно-аналитической работе в сжатой форме приведены наши новые данные о радиоляриях, динофитах, кокколитофоридеях, палиноморфах, микроспикулах, полученные в последние годы, и подвергнуты критическому анализу сведения о других микрофоссилиях, что вносит новый вклад в познание особенностей баженовской свиты.

Оригинальный каменный материал, послуживший основой настоящего исследования и насчитывающий несколько тысяч образцов, был получен в ходе изучения скважин, пробуренных на более чем трех десятках разведочных площадях в Западной Сибири и на ее арктической периферии на полуострове Ямал (площади Южно-Тамбейская, Губкинская, Имилорская, Новоортьягунская, Правдинская, Апрельская, Средне-Шапкинская, Молодежная, Нижне-Янлотская, Верхне-Салымская, Радонежская, Малобалыкская и др.) (рис. 1,

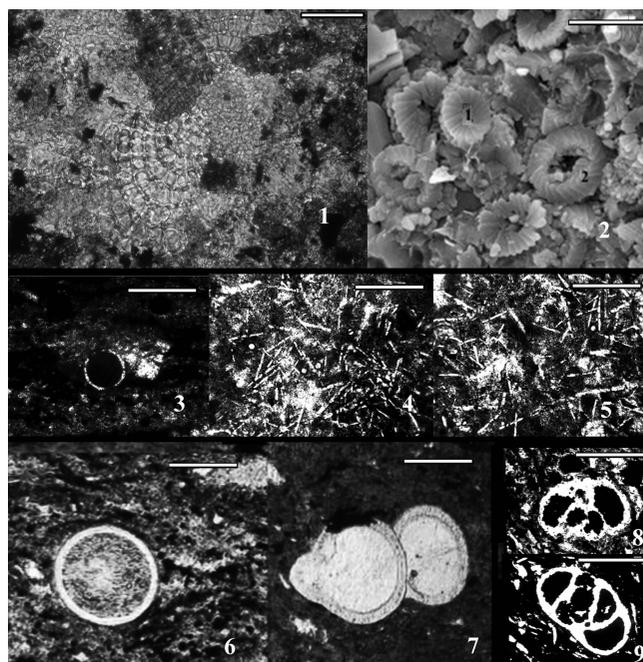


Рис. 2. Микрофоссилии баженовского горизонта, 1, 3–9 – оптические фотографии в проходящем свете, 2 – фотография в сканирующем электронном микроскопе. 1 – биоморфная структура радиолярита, на переднем плане фрагмент радиолярии из сем. *Spongidiscidae*, Северо-Емангальская площадь, средневожжский подъярус; 2 – нанопланктон с монородовым составом комплексов, преобладают *Watznaueria* spp. (фото Н.С. Балушкиной, определения М.А. Устиновой), Емангальская площадь, средневожжский подъярус; 3 – известковые диноцисты, Западно-Унлорская площадь, средневожжский подъярус; 4, 5 – спикулы губок в верхах баженовской свиты, Апрельская площадь, верхневожжский подъярус; 6–9 – сечения через раковинки фораминифер, средневожжский подъярус: 6, 7 – Северо-Конитлорская площадь, 8 – Нижне-Янлотская площадь, 9 – Средне-Помутская площадь. Длина масштабной линейки: 1, 3–9 – 50, 2 – 5 мкм.

табл. 1) (Козлова, 1983; Амон, 2011; Панченко и др., 2015; Вишневская, 2013, 2017; Вишневская и др., 2018a,б, 2020; Vishnevskaya, Kozlova, 2012).

Обработка каменного материала производилась стандартными методами, включавшими изготовление петрографических шлифов, химическую дезинтеграцию и препарирование с использованием CH_3COOH , HF и HCl . Микрофоссилии (скелеты радиолярий и др.) изучались в оптическом и сканирующем электронном микроскопах, а также с применением новой методики рентгеновской компьютерной томографии (Vishnevskaya, 2017; Вишневская и др., 2018a).

Радиолярии

Радиолярии в породах баженовского горизонта встречаются наиболее часто и, как правило, являются породообразующими (рис. 3, 4, 5). Нами предложен и охарактеризован новый вариант схемы биостратиграфического расчленения и корреляции разрезов баженовского горизонта по радиоляриям (Панченко, 2015; Вишневская и др., 2018a,б, 2020; Vishnevskaya, 2017; Vishnevskaya et al., 2019a,б).

Радиолярии (протисты с внутренним кремнистым скелетом) были широко распространены в экосистеме и

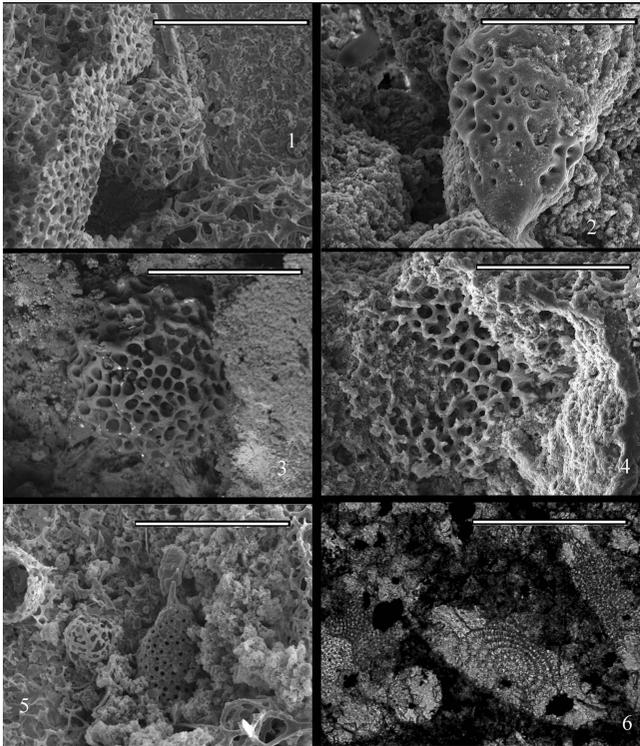


Рис. 3. Породообразующее значение микрофоссилий в баженовском горизонте, скелеты радиолярий слагают как основу, так и матрикс породы, 1–5 – фотографии в сканирующем электронном микроскопе, 6 – оптическая фотография в проходящем свете. 1 – представители *Sputellaria*, в центре маленькая сферическая форма, внизу справа крупная сфера, длинная игла которой делит снимок на две части, слева разрушенный скелет крупной губчатой формы, экз. ГИН № 170/1-УЗ-005, Южно-Тамбейская площадь, нижневолжский подъярус; 2 – представитель *Nassellaria*, хорошо различима макушечная область, экз. ГИН № 170-TRI-90, Южно-Тамбейская площадь, нижневолжский подъярус; 3 – представитель *Praeoposaryomma* из отряда *Sputellaria* с характерной узловатой внешней скульптурой, экз. ГИН № 170-STI-4, Южно-Тамбейская площадь, нижневолжский подъярус; 4 – расположение пор рядами в шахматном порядке на стенке раковинки указывает на принадлежность фрагмента к *Nassellaria*, экз. ГИН № 170-TRI-54, Южно-Тамбейская площадь, нижневолжский подъярус; 5 – ювенильные формы из разных отрядов радиолярий среди распавшихся скелетных элементов, в правом нижнем углу фрагменты решетчатых скелетов сем. *Poulpridae* и периферических колец *Saturnalidae*?, экз. ГИН № 170/1-УЗ-004, Южно-Тамбейская площадь, нижневолжский подъярус; 6 – ячеистая структура скелетов в центре и справа, обилие сфер и дисков слева, экз. ГИН № СЕ-98-28-20х-15, Северо-Емангальская площадь, средневолжский подъярус. Длина масштабной линейки для всех объектов 100 мкм.

в осадках баженовского Западносибирского моря. Они являются типичными представителями пелагического планктона; обитали и обитают в интервале глубин 0–1500 м с заметным предпочтением верхнего водного горизонта до глубин 10–75–150–500 м. В Арктике живые радиолярии встречаются в интервале глубин 15–1000 м (Ikenoue et al., 2015, 2019). При этом максимум обилия индивидов (живые формы и погибшие) приурочен к интервалу 15–300 м. В частности, по данным Д.Н. Засько, К.Н. Кособоковой, живые особи вида *Actinomma boreale* Cleve, 1899 обнаружены в Арктике в Канадской котловине в слое 50–500 м с максимумом обилия в слое 50–100 м.

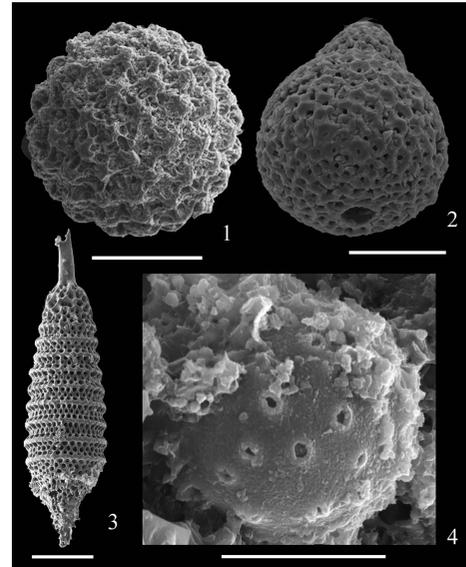


Рис. 4. Отдельные представители радиолярий баженовского горизонта, фотографии в сканирующем электронном микроскопе. 1 – *Praeoposaryomma hexagonata* (Rüst), экз. ГИН № 651/2-048, Губкинская площадь, средневолжский подъярус; 2 – *Willriedellum salyiticum* (Kozlova), экз. ГИН РАН № 651/5-4-067(1), Губкинская площадь, берриас; 3 – *Parvicingula blowi* Pessagno, экз. ГИН № 170/1-018, Южно-Тамбейская площадь, нижневолжский подъярус; 4 – *Siphonosphaera* sp., экз. ГИН № 170/1-TRI-90, Южно-Тамбейская площадь, нижневолжский подъярус. Длина масштабной линейки: 1, 2 – 100, 3 – 50, 4 – 10 мкм.

Но скелеты этого вида, т.е. отмершие особи, встречались до максимальных обловленных глубин (3000 м). Тот же вид в бассейне Макарова вертикально распространен следующим образом: живые особи населяли слой 25–1000 м с максимумом на глубинах 50–100 м, а скелеты встречались также до максимальных обловленных глубин и имели самое высокое обилие в слое 2000–3000 м. В бассейне Амундсена живые особи этого вида встречались только в слое 25–300 м, их максимальные концентрации приурочены к слою 200–300 м (Засько, Кособокова, 2014). Поскольку позднеюрский Западносибирский бассейн являлся бореальным, а в Западной Сибири радиолярии волжского возраста обнаружены в керне многих скважин в полосе широт примерно от 58° до 66° с.ш., то осторожные аналогии с современной Арктикой могут быть распространены на сибирский материал – радиолярии здесь, вероятно, обитали в интервале глубин 25–300 м, формируя максимум обилия в интервале 50–100 м.

Напомним, что палеобатиметрический анализ показал, что баженовское Западносибирское море было относительно глубоководным, большинство исследователей оценивало его глубину в 200–500 м (Захаров, Сакс, 1983; Брэдучан и др., 1986 и др.), возможно глубже, до 700–750 м в самых глубоководных частях (Бочкарев и др., 2008). При этом придонные аноксийные обстановки с сероводородным заражением, столь развитые в Западносибирском море, препятствуя развитию бентосной эпи- и инфавны, не оказывали заметного отрицательного влияния на обитание радиолярий в верхних горизонтах водного столба. Впрочем, известна и другая точка зрения о том, что высокоуглеродистые черносланцевые породы баженовской свиты накапливались на относительно

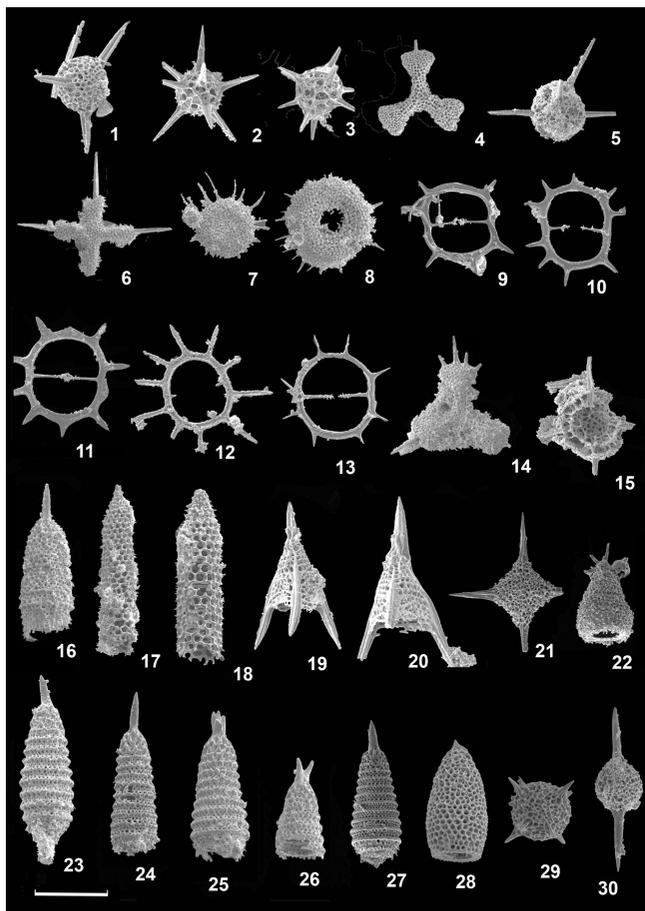


Рис. 5. Морфологические группы радиолярий баженковского горизонта, Южно-Тамбейская площадь, нижневолжский подъярус: 1, 4, 6–14, 21, 29 – дискоидная; 2, 3, 5, 15 – сфероидная группа; 16–20, 22–28 – циртоидная; 30 – пруноидная; фотографии в сканирующем электронном микроскопе. 1 – *Triposyclia trigonum* Rüst; 2, 3 – *Actinomma frigida* Kiessling; 4 – *Santonaella cf. obesa* Yang; 5, 15 – *Centrocubidae* (?) gen. et sp. indet.; 6 – *Higumastra inflata* Baumgartner gr.; 7, 8 – *Orbiculiforma cf. teres* Hull; 9–11 – *Acanthocircus cf. minispineus* Yang; 12 – *Acanthocircus cf. yaoui* Yang; 13 – *Acanthocircus aff. breviaculeatus* Donofrio et Mostler; 14 – *Homoeoparonaella cf. barbata* Hull; 16 – *Parvicingula gorda* Hull; 17, 18 – *Triversus cf. fastigatus* Hull; 19, 20 – *Napora aff. cruda* Yang; 21, 29 – *Spongostaurus* sp.; 22 – *Arctocapsula cf. devorata arctica* (Vishnevskaya et Murchey); 23, 25, 27 – *Parvicingula blowi* Pessagno; 24 – *P. jonesi* Pessagno s.l.; 26 – *Parvicingula* sp. A; 28 – *Parvicingula* sp.; 30 – *Archaeospongoprum* sp. Длина масштабной линейки 100 мкм.

поднятию – мелководном холмистом плато (Стафеев и др., 2019 и др.).

Радиолярии – это классические гетеротрофы и симбиотрофы, они являлись и являются консументами первого уровня в пищевых цепях пастбищного типа, потребляя органические вещества, производимые первичными продуцентами: фито- (динофиты, кокколитофориды, празиофиты) и бактериопланктоном. Одновременно, накапливая значительную биомассу, радиолярии являлись в трофических сетях вторичным продуцентом для консументов более высокого уровня – главным образом для ювенильных стадий развития различных ракообразных, головоногих моллюсков, рыб планктофагов и др.

Ресурсная пищевая база для радиолярий в баженковском бассейне была практически неистощима. Фитопланктон мог давать не менее двух сезонных вспышек повышенной

биопродуктивности (цветение) в течение года: весеннюю (кокколитоины) и летне-осеннюю (динофиты).

Оптимальные гидрологические (сравнительно высокая температура, стандартная плотность, спокойная динамика, прозрачность вод), гидрохимические (нормальная соленость, высокое содержание биофильных элементов и растворенного кремния (dSi), насыщенность растворенными газами, прежде всего кислородом) и экотопные (эвтрофность, высокий трофический статус) факторы среды и наличие свободных экологических ниш способствовали стремительному развитию радиоляриевой фауны в баженковском бассейне на нескольких этапах.

Результаты жизнедеятельности радиолярий были настолько высоки, что они являлись одним из существенных факторов седиментогенеза, и породообразующая роль радиолярий (рис. 2) очень хорошо видна при исследованиях в сканирующем электронном и оптическом микроскопах.

Верхнеюрско-нижнемеловые радиолярии Западной Сибири известны более полувека и ныне являются одним из значимых инструментов для стратиграфического расчленения и корреляции разрезов региона (Козлова, 1983; Брудучан и др., 1986; Амон и др., 2011; Вишневецкая, 2013; Панченко и др., 2015; Вишневецкая и др., 2018а,б, 2020). Вместе с тем остается еще много невыясненных аспектов и непонятых особенностей их палеогеографического распространения и палеобиономии, требующих дальнейшего изучения. В частности, внимание следует обратить на взаимоотношения различных типов конструкций скелетов, соотношения морфотипов и доминирование тех или иных форм в зависимости от конкретных условий обитания. Так, в нижневолжских отложениях радиолярии представлены всеми типовыми морфологическими группами: сфероидная группа (рис. 5, фиг. 2, 3, 5, 15), дискоидная (рис. 5, фиг. 1, 4, 6–14, 21, 29), пруноидная (рис. 5, фиг. 30), циртоидная (рис. 5, фиг. 16–20, 22–28). Для средневолжских отложений по предварительным наблюдениям можно заключить, что доминируют циртоидные морфотипы, многочисленны сфероидные и менее представлены дискоидные и пруноидные, что с определенностью свидетельствует о нормально-морских пелагических обстановках в регионе. Как правило, резкое доминирование циртоидных форм может указывать на существование устойчивых восходящих течений типа апвеллинга.

С некромассой радиолярий на дно бассейна поступало значительное в валовом отношении количество органического вещества, причем в виде наиболее ценной его части – липидов. Поэтому радиолярий можно рассматривать как группу планктонных микроорганизмов, способную при определенных условиях служить важным источником органического вещества, которое могло способствовать образованию нефти (Амон, 2011). Это коррелирует с ранее высказанными соображениями о том, что: «Наиболее благоприятными для формирования нефтяных залежей являются типы ... и классы ... разрезов с пачками высокоомных кремнистых, карбонатных и кремнисто-карбонатных сапропелево-глинистых пород, приуроченных к впадинам и склонам поднятий» (Полякова и др., 2001, с. 70).

Кокколитофориды

Для нанопланктонных кокколитофорид (кокколитин), формально относимых к золотистым водорослям

Сис-тема	Ярус/подъярус		Зоны по радиоляриям (Вишневская и др., 2020)	Разведочные площади		
				Наннопланктон	Кальцисферы	Спикулы губок
Меловая	Берриас – валанжин		Williriedellum		Апрельская, Восточно-Панлорская, Западно-Унлорская, Западно-Ташинская, Ватьеганская, Емангальская, Новоортьягунская, Ем-Еговская	
	Берриас		Parvicingula khabakovi – Williriedellum salymicum	Апрельская, Емангальская, Южно-Ягунская		Апрельская, Емангальская, Молодежная, Радонежская
Юрская	Тигон	Волжский		Емангальская, Верхнесалымская, Северно-Нивагальская	Молодежная, Гальяновская, Средне-Шапкинская, Нижне-Янлотская	Емангальская, Молодежная
				Parvicingula rotunda – P. alata		
				Parvicingula jonesi – P. excelsa		
		Нижний	Parvicingula antoshkinae – P. blowi			Губкинская, Ем-Еговская, Южно-Тамбейская

Табл. 1. Биостратоны баженовской свиты по радиоляриям и распространение микрофоссилий в разрезах баженовской свиты разведочных площадей

Chrysophyta (иначе гаптофиты, примнезиофиты, Haptophyta, Prymnesiophyta), свойственно то, что максимальная концентрация их современных живых особей наблюдается вблизи берегов (Корчемкина, Ли, 2015). Однако в периоды аномальных цветений этих микроводорослей, вызываемых, по-видимому, зимними конвекционными подтоками глубинных вод и ветровым перемешиванием, цветения начинаются (стартуют) в глубоководных зонах и быстро (в течение 2–3 недель) охватывают шельф и прибрежные акватории (Ясакова, Станичный, 2012).

Это характерно как для Черного (южный водоем закрытого типа), так и для Норвежского моря (северный водоем открытого типа). Нормальная глубина обитания ограничена зоной фотосинтеза и не превышает 100 м несмотря на то, что они могут обитать над областями разной глубины, вплоть до абиссали. Эти представители нанопланктона известны своей способностью быстро размножаться, вызывая цветение воды на огромных акваториях.

В Западной Сибири находки кокколитофорид приурочены преимущественно к верхам баженовского горизонта, причем эти микроископаемые водоросли обладают чаще всего очень плохой сохранностью и представлены так называемыми «реликтами кокколитин» (рис. 6, фиг. 1) (Панченко и др., 2015; Вишневская и др., 2018б; Эдер и др., 2019). В отдельных случаях возможны видовые определения форм, относящихся в основном к роду *Watznaueria*, – это массивные кокколиты, более устойчивые к растворению. Из них определены *Watznaueria barnesae* (Black), *W. fossacincta* Black, и *Watznaueria* sp. indet. (Устинова и др., 2014, Vishnevskaya et al., 2019б). Кроме *Watznaueria fossacincta*, *W. barnesae* в средне-верхневолжских отложениях баженовской свиты Емангальской площади найдены *W. ? britannica* Stradner, *W. sp.* (мелкая), *Cyclagelosphaera tubulata* Grün et Zweili, *C. margerelii* Noël, *Biscutum* sp. (крупный), *Zeugrhabdotus erectus* (Deflandre) (Вишневская и др., 2018б). Это очень бедный комплекс, и причиной обедненности комплекса нанопланктона баженовской свиты, возможно, является сравнительно большая глубина бассейна и удаленность от береговой линии.

Ю.Н. Заниным с коллегами (Zanin et al., 2012) в переходных волжско–берриасских слоях баженовской свиты Западной Сибири были установлены *Ellipsagelosphaera keftalrempti* Grun, *E. bazhenovi* Zanin, *E. ovata* Bukry, *Cyclagelosphaera margerelii* Noel, *Watznaueria* sp., *Tetralithus opelxiros* Zanin. Все эти виды имеют широкий возрастной интервал и не пригодны для точного определения возраста вмещающей толщи, но важны для фиксации устойчивого существования пищевых цепей и расшифровки палеогеографии.

Роль представителей пикопланктона прازیнофитов (класс *Prasinophyceae* отдела Зеленых водорослей) в общей экологии моря мало изучена из-за их очень малых размеров.

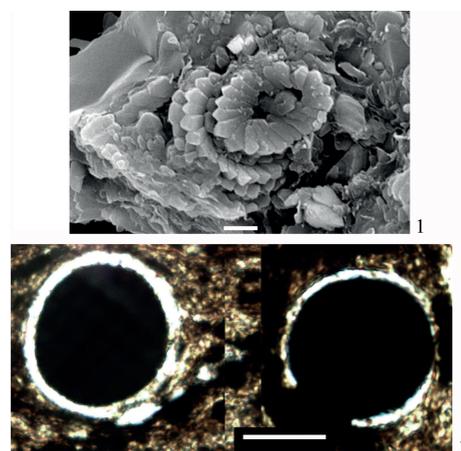


Рис. 6. Отдельные представители кокколитофор и динофитовых баженовского горизонта. 1 – раковинка кокколитофориды в кремнисто-карбонатной породе; Верхнесалымский мегавал, верхневолжский подъярус, обр. 72/3003, фотография в сканирующем электронном микроскопе (фото Н.С. Балушкиной). Длина масштабной линейки 1 мкм. 2 – известковые диноциты, слева *Colomisphaera? fortis* Rehánek, экз. 11-23, справа *Stomiosphaerina cf. proxima* Rehánek, экз. 11-23-1, Апрельская площадь, берриас (Vishnevskaya, 2017, Fig. 13C и Fig. 12, соответственно), оптическая фотография в проходящем свете. Длина масштабной линейки 15 мкм.

Палиноморфы и диноцисты

Микрофоссилии баженовского горизонта представлены также палиноморфами и динофитами. Если палиноостатки не являются планктоном *sensu stricto*, то динофлагелляты (динофиты), принадлежащие к своеобразной группе фитопланктона, характеризуются тем, что могут образовывать значительные по плотности популяции, формируя от 30 до 54% видового состава фитопланктона и до 89% его биомассы в летне-осенний сезон. Считается, что пищевая ценность биомассы (соотношение органических веществ и сухого зольного остатка), формируемой динофитами, весьма значительна, существенно превышая таковую других представителей фитопланктона.

По результатам палинологического исследования большое число палиноморф прослеживается в кровельной части баженовской свиты и низах ачимовской толщи. Это пыльца *Podocarpidites* sp., *Piceapollenites* spp. *Classopollis*, *Cycadopites* spp., *Quaraeculina limbata*, *Callialosporites dampieri*, *Sciadopityspollenites macroverrucosus*, *S. multiverrucosus*; споры *Leiotriletes* spp., *Gleicheniidites*, *Osmundacidites* spp., *Cyathidites* spp., *Ebora ciatorosa*, *E. granulosa*, *Contignisporites problematicus*, *Lycopodium sporites* sp., *Neoraistrickia truncata*, *Densoisporites velatus*, *Sestrosporites pseudoalveolatus*, *Cicatricosisporites* sp.; микрофитопланктон – празиофиты *Tasmanites* spp., *Pterospermella* spp. и акритархи *Michhystridium* sp., *Fromea amphora* (Панченко и др., 2015).

Среди органостенных диноцист встречены *Hystriochodium pulchrum*, *Circulodinium* sp., *Sirmiodinium grossi*, *Systematosphora* sp., *Cassiculosphaeridia magna*, *Batioladinium radiculatum*, *B. jaegeri*, *B. varigranosum*, *Bourkidinium granulatum*, *Gocheodinia judilentinae*. К сожалению, не приведено исчерпывающей палеонтологической стратиграфической характеристики и не дано никакой возрастной оценки этих пыльцевого спектра и комплекса диноцист (Панченко и др., 2015, с. 21).

В верхах баженовской свиты были обнаружены известковые диноцисты (Vishnevskaya, 2017; Вишневецкая и др., 2018б) (рис. 3, фиг. 3, рис. 6, фиг. 2), которые здесь до настоящего времени палеонтологически не изучались и не описывались. Ранее подобные микрообъекты обозначали как «кальцисферы», «кальцисфериды», а в последнее время появились публикации, свидетельствующие об их принадлежности к цистам известковых динофлагеллят (Вишневецкая, 2018; Vishnevskaya, 2017; Kietzmann, Scasso, 2019). Заметим, что использование известковых диноцист в целях стратиграфии имеет большой потенциал, поскольку во многих разрезах баженовской свиты найден представительный спектр этих микрофоссилий.

В разрезах баженовской свиты Западной Сибири установлена ассоциация известковых цист динофлагеллят, которая содержит типовые кальцисферы титона–берриаса, такие как *Stomiosphaerina proxima* Rehánek, *S. wanneri* (Borza), *Colomisphaera fortis* Rehánek, *C. tenuis* (Nagy), *C. conferta* Rehánek, *C. volgeri* (Borza), *Stomiosphaera? alpine* Leisnerch, *Cadosina semiradiata olzae* Nowak, *Colomisphaera lapidosa* (Vogler) (Вишневецкая и др., 2018а,б; Vishnevskaya, 2017; Vishnevskaya et al., 2019а,б). Баженовская ассоциация кальцисфер во многом похожа на Антарктическую, где по известковым диноцистам в интервале кимериджа–титона выделены тетические зоны *Carpistomiosphaera borzai*,

Carpistomiosphaera tithonica, *Parastomiosphaera malmica*, *Colomisphaera tenuis*, *Colomisphaera fortis*, *Stomiosphaerina proxima* (Kietzmann, Scasso, 2019).

Небезынтересно, что известковые диноцисты обнаружены в биогоризонтах *Parvicingula haeckeli* и *P. khabakovi* Широкого Приобья (Вишневецкая и др., 2018а,б), где вместе с радиоляриями присутствуют многочисленные *Stomiosphaerina proxima* Rehánek, *S. wanneri* (Borza), *Colomisphaera fortis* Rehánek, *C. tenuis* (Nagy) (Вишневецкая и др., 2018а,б; Vishnevskaya, 2017; Vishnevskaya et al., 2019а,б), сопоставимые с формами северной периферии Тетического пояса (Reháková, 2000; Michalík et al., 2016).

Другие микрообъекты

Спикулы кремневых губок. В баженовской свите нами и другими исследователями (Карнюшина, 2003 и др.) найдены также многочисленные микроспикулы (элементы минерального скелета) кремневых губок (рис. 2, фиг. 4, 5). Кремневые губки – это единственная группа бентических организмов, которая концентрирует кремнезем для образования крупных игл (или спикул) макросклер, а также тонких, часто очень сложно построенных микросклер (Вишневецкая и др., 2009). В верхах баженовской свиты встречены микрослой спонголитов, сложенных микроспикулами кремневых губок, преимущественно одноосных. Все спикулы прямые, имеют ровные и гладкие лучи, постепенно утоняющиеся к концам. Спикулы отличаются высокой степенью симметрии и правильностью геометрической формы, что указывает на нормальную соленость водоема. Длина спикул варьирует от 0.5 до 3 мм. Диаметр спикул соответственно изменяется от 0.01 до 0.1, иногда до 0.2 мм, а сечение осевого канала — от 0.001 до 0.01 мм.

Известно, что кремневые губки, являясь колониальными или одиночными бентосными организмами и принадлежат к пассивным фильтраторам, могут существовать на участках дна с постоянным перемещением придонных высокопродуктивных слоев воды (Колтун, 1964, 1966). Кроме того, все кремневые губки могут развиваться только в водах нормальной солености. Спикулы губок из среды аномальной солености имеют неправильную геометрическую форму, изогнуты и искажены. Большинство кремневых губок холоднолюбивые, а кремнеуголовые – теплолюбивые. Все эти факторы (высокое содержание питательных веществ, наличие придонных течений, поставляющих новые порции взвеси, соленость, температура) определяют места поселения губок и глубины их распространения.

Массовое количество кремневых губок и их спикул встречено на глубинах 500–600 м, при этом у берегов Австралии и Африки выявлено содержание спикул выше 10 спикулоединиц на 1 см², а у самых берегов Антарктиды – до 100–300 спикулоединиц и больше в придонных слоях воды (Колтун, 1966). Распределение спикул в осадке иное: в районе склона континентальной ступени («свала») спикулы относительно мелководных губок, обитающих на шельфе, образуют собственные осадки на глубине 1000–3000 м и даже обогащают океанические осадки на глубине до 4000 м (Колтун, 1966). Снос спикульного материала на склон и подножие континентальной ступени

Антарктического материка находится в прямой зависимости от придонных течений. Спикулы в значительном количестве переносятся на расстояние свыше 700 км от места их продуцирования или первоначального нахождения. Интенсивность сноса столь велика, что в ряде случаев спикул в осадках на склоне и в прибрежной абиссалии гораздо больше, чем на прилежащих участках шельфа. Отдельные обломки спикул обнаружены в поверхностных слоях воды (1–6 штук на 1 л воды) (Колтун, 1966). В целом, спикулы кремневых губок являются хорошими показателями солености, температуры, глубины бассейна и гидродинамических условий.

Исходя из этих данных, возможно предположить, что в баженовском бассейне кремневые губки обитали близ бровки шельфа, а также на отдельных поднятиях переуглубленного шельфа, в верхней части материкового склона, и на подводных цоколях островов, находящихся на месте современного Урала. Для поселений кремневых губок было характерно линейное или пятнистое островное размещение, поскольку спонголиты не образуют больших непрерывных ареалов. Современные поселения кремневых губок известны не только на шельфе Антарктиды на участках дна с высокой подвижностью придонных вод, но и в юго-западной части Баренцева моря, в Японском, Охотском, Беринговом морях, вдоль Тихоокеанского побережья Курильских островов (Петелин, 1954).

Бентосные фораминиферы. В редких случаях в шлифах обнаружены единичные раковинки бентосных фораминифер (рис. 3, фиг. 6–9). В подошве баженовских битуминозных алевроаргиллитов встречаются единичные переотложенные обломки раковинок фораминифер из комплекса фораминиферной зоны JF42 *Tolypammina virgula* – *Planularia pressula* (верхний кимеридж–нижний титон). Выше зафиксированы единичные секреторные бентосные фораминиферы, относящиеся к фораминиферной зоне JF45 *Spiroplectammina vicinalis*–*Dorothia tortuosa* (средневожский подъярус) (Амон, 2011).

Проблемные микрофоссилии: диатомей, силикофлагелляты и акантарии

Основные породообразующие компоненты баженовской свиты представлены органическим, кремнистым, глинистым, карбонатным веществами и сульфидами. Для битуминозных отложений характерно высокое содержание аутигенного кремнезема биогенного происхождения, и его накопление было связано с развитием в бассейне микроорганизмов с опаловым скелетом, среди которых в литературе назывались радиолярии, а также диатомей и силикофлагелляты. Но если остатки радиолярий в породах баженовской свиты были достоверно установлены уже довольно давно (начиная с изысканий Р.Х. Липман 1948–1959 гг.), хорошо подтверждены исследованиями в сканирующем электронном микроскопе (Вишневская и др., 2018а,б; 2020), то по поводу кремнескелетного фитопланктона полной ясности до сих пор нет.

В авторитетных изданиях, посвященных литологии, стратиграфии, палеогеографии и палеобиологии баженовского бассейна, диатомовые микроводоросли с опаловым панцирем либо совсем не упоминались (Захаров, 2006; Эдер и др., 2017 и др.), либо о них осторожно говорилось со знаком вопроса (Ясович, Поплавская, 1975;

Захаров, Сакс, 1983; Брэдучан и др., 1986), либо, наоборот, говорилось вполне уверенно (Карнюшина, 2003) и подчеркивалось их большое значение как необходимой составной части палеобиоты (Ушатинский, 1981, 1984). Наличие остатков диатомовых водорослей в верхней юре Западной Сибири отмечали разные исследователи, например, В.Н. Векшина в работах 1960 и 1962 гг.; Р.А. Коньшева и Р.С. Сахибгареев в 1976 г.; И.Н. Ушатинский в 1979 г. По мнению Ушатинского (1981, 1984), основным источником биогенного кремнезема в отложениях баженовской свиты являлись диатомей, следовательно, они же служили основным источником органического вещества, а вклад остальных организмов подчиненный.

О наличии диатомей иногда говорилось в предположительной степени: «Вероятно, наряду с радиоляриями в водной толще сосуществует кремнистый фитопланктон – диатомовые водоросли» (Эдер и др., 2015, с. 26). Ф.Г. Гурари эмоционально высказался по поводу диатомей в породах баженовской толщи: «А сколько остатков организмов не замечено исследователями или погибло в процессах осадконакопления, вторичных преобразований пород и даже просто было разрушено при бурении! Почти ничего не известно, например, о весьма многочисленной группе планктонных организмов, каковыми являются диатомей. Дело в том, что эти организмы обычно скапливаются в изобилии, но панцири их очень хрупки и легко разрушаются... Если же диатомей действительно не обитали в пелагиали Баженовского моря, то причиной могли быть слишком высокие температуры вод» (Гурари и др., 1983, с. 8).

В ряде публикаций (Немова, 2012; Данько, 2015 и др.) изложена довольно распространенная и повторяющаяся из издания в издание точка зрения о том, что «Источником биогенного кремнезема в осадках баженовского бассейна служат в основном остатки раковин радиолярий, реже – диатомей, силикофлагеллят и кремневых губок» (Предтеченская и др., 2006, с. 136–137; Важенина, 2010, с. 162), допускающая реальность существования диатомей и силикофлагеллят в пелагиали баженовского моря.

Вместе с тем, подобная точка зрения, по нашему мнению, дискуссионна, поскольку подлинных доказательств наличия остатков панцирей диатомей и скелетов силикофлагеллят в породах баженовской свиты в цитированных работах не приведено, и эти сведения вызывают сомнение. В частности, в качестве доказательства приводились фото псевдоморфоз вторичных карбонатов(!) по остаткам «раковин радиолярий, диатомей и кремнистых водорослей» (Предтеченская и др., 2006, с. 139, рис. 3, 4). Однако эти микрообъекты (например, Предтеченская и др., 2006, рис. 4) мало что доказывают, поскольку представляют собой некие аморфные образования, в которых неразличимы никакие детали строения фрустул и поясков диатомей, или скелетов силикофлагеллят. Аналогично в характеристике и на фотографии баженовского биоморфного силицита, который назван диатомово-радиоляриевым (Предтеченская, Злобина, 2017, с. 115, рис. 1а,б), остатки диатомей(?) и мелких радиолярий полностью замещены карбонатом и пиритом, что не позволяет с уверенностью говорить именно о диатомеях.

Основное наше сомнение в реальности находок остатков диатомей в баженовских толщах состоит в том, что

сам факт существования диатомовых водорослей в поздней юре является дискуссионным и вызывает серьезные возражения. Еще в 1974 г. Н.И. Стрельникова отмечала, что «Диатомеи юрского возраста достоверно не найдены. То, что до сих пор относилось к юрским диатомеям, в настоящее время подверглось пересмотру» (Стрельникова, 1974, с. 101).

За минувшие десятилетия ситуация, в сравнении с описанной Н.И. Стрельниковой, изменилась мало: по-прежнему, когда говорят о начальных этапах эволюции диатомей, ссылаются на опубликованное в 1896 и 1900 гг. сообщение, принадлежащее А. Rothpletz, о находке диатомей *Ruxidicula* из лейаса Вюртенберга (северо-запад Германии). Правда, это сообщение признается очень сомнительным и непроверяемым (Katz et al., 2004; Sims et al., 2006; Kooistra et al., 2007).

Если не принимать во внимание такую палеонтологическую фантастику, как сообщения о находке диатомей в докембрии и палеозое (Siemińska, 2000; Kwiecińska, 2000; Siemińska, Kwiecińska, 2002), то документированных данных о домеловых диатомеях ничтожно мало. Единственное подтвержденное фактами свидетельство о юрских диатомеях было приведено Д.М. Харвудом с коллегами, описавшими диатомей *Calypptosporium* из верхнеюрских-нижнемеловых континентальных(!) отложений Южной Кореи (Harwood et al., 2004; Sims et al., 2006; Kooistra et al., 2007). А самые древние хорошо сохранившиеся фосцильные остатки морских диатомей зафиксированы в меловых апт-альбских образцах программы глубоководного бурения в море Уэдделла атлантического сектора Южного Океана (ODP, Leg 113, Site 693, Weddell Sea) (Harwood, Gersonde, 1990; Sims et al., 2006).

Также очень мало данных о древних диатомеях нижнего мела. Р. Герсонд и Д. Харвуд привели превосходный обзор и ревизию всех опубликованных данных, в которых так или иначе освещены раннемеловые диатомеи (Gersonde, Harwood, 1990). Названы немногим более десятка литературных источников с сообщениями о местонахождениях в Европе в районах Германии, Польских Карпат, Лигурийских Альп, Ставрополя, Пензы; в Канаде – Северо-Восточной Альберты; Квинсленда в Австралии, и моря Уэдделла в Южном Океане. При этом панцири диатомей очень плохой сохранности и пиритизированы, что нередко ставит под сомнение сами определения.

Примечательно, что Герсонд и Харвуд проанализировали известнейшую монографию Г. Рюста, посвященную юрским радиоляриям Европы (Rüst, 1885), и установили, что среди кремнистых микрофоссилий (радиолярии, спикулы губок), извлеченных Рюстом из так называемых «копролитов» (на самом деле – из фосфоритовых конкреций) в железорудных отложениях (слои датированы Рюстом верхним лейасом – ранним доггером по находкам двух аммонитов) в районе Ильзеде (окрестности Пайна в Нижней Саксонии, Германия), изображены шесть экземпляров диатомей хорошей сохранности (Rüst, 1885, Taf. 44, Fig. 1–6). Эти диатомеи очень близки к формам из апт-альбских отложений моря Уэдделла, и важно то, что возраст фосфоритовых конкреций (= «копролиты» Рюста), является альбским, а не юрским, и аммониты – переотложенными в нижнемеловых отложениях (Kemper, 1973). Исследование диатомей из местонахождения Ильзеде

показало, что они имеют альбский (гольт) возраст (Forti, Schulz, 1932; Gersonde, Harwood, 1990; Sims et al., 2006).

Некоторые исследователи полагали, опираясь на данные биогеохимии, что эволюция планктонных диатомей началась, согласно биохимическим маркерам (в частности, по 24-nordiacholestanes) с поздней юры (Moldowan, Jacobson, 2000; Katz et al., 2004). Не исключено также, что, согласно молекулярной филогении, это событие может быть отнесено к ранней юре, но, возможно, и к среднему триасу (Kooistra et al., 2007; Cermeño, 2016; Medlin, 2016). Однако следует заметить, что эти «виртуальные» данные пока еще не подкреплены никакими палеонтологическим свидетельствами.

Ранее в позднеюрско-раннемеловых кремнях Малого Кавказа в шлифах были отмечены единичные микрообъекты, сходные с панцирями диатомовых водорослей размером 0.05–0.15 мм, и высказано предположение об их принадлежности к классу *Centrophicea* (Вишневецкая, 1984). Но плохая сохранность и большой размер при отсутствии фотоизображений, заставляют усомниться в том, что это находка именно диатомовых водорослей.

Обобщая сказанное выше, можно заключить, что до настоящего времени нет возможности с уверенностью говорить о реальном существовании диатомей в домеловую эпоху. Поэтому литературные сведения о диатомеях баженовской свиты являются, по всей видимости, недостоверными.

Несколько иначе дело обстоит с силикофлагеллятами, которые в литературе по баженовскому горизонту также упоминаются (Предтеченская и др., 2006; Важенина, 2010). Весьма характерным является мнение, что «Среди остатков организмов с кремнистым скелетом в породах баженовского горизонта преобладают радиолярии. Реже встречаются силикофлагелляты, диатомеи и кремнистые губки» (Предтеченская и др., 2012, с. 134), однако доказательств наличия именно силикофлагеллят приведено не было.

Среди нашего материала в одном из образцов из Южно-Тамбейской площади на Ямале (нижневожский подъярус) были обнаружены фрагменты фосцилизованных кремнистых микробиообъектов (рис. 3, фиг. 5 в правом нижнем углу), состоящие из ажурной вязи перекладин и игл. Они являются сгруженными обломками решетчатых камер форм из сем. *Poulpidae* и периферических колец каких-то *Saturnalidae*, столь свойственных титону юга Германии (Dumitrica, Zügel, 2008) и недавно найденных в нижневожском подъярусе (Вишневецкая и др., 2020). Эти обломки отчасти напоминают фрагменты скелетов силикофлагеллят, также состоящих из перекладин (Глезер, 1966), и, возможно, аналогичные образования послужили основой суждений о наличии силикофлагеллят в баженовском горизонте. Безусловно, подобные находки требуют более пристального внимания и серьезного изучения, однако следует подчеркнуть, что силикофлагелляты не характерны для юры. Напомним, что ранее на восточном склоне Урала и в Западной Сибири по материалам буровых скважин и естественных обнажений наиболее древние силикофлагелляты были найдены в верхнемеловых (сантон-кампан) отложениях. Комплексами этих кремневых жгутиковых микроводорослей, помимо мела, здесь охарактеризованы палеоцен, эоцен и олигоцен, при

этом силикофлагелляты, как правило, сопровождают и соподчинены диатомеям (Глезер, 1966).

В целом, наиболее древние, достоверно документированные находки силикофлагеллят приурочены лишь к позднему мелу (сантон–кампан), и их ранняя эволюция начинается с этой эпохи (McCartney et al., 2010; Van Tol et al., 2012). Правда, появлялись первые сведения о находках фрагментов силикофлагеллят? в более древних альбских отложениях моря Уэдделла (McCartney et al., 2014) и Южного бассейна Аргентины (Pérez-Panera, 2015), но они еще требуют перепроверки.

Помимо названных выше кремнистых микрофоссилий, в литературе упоминались и другие. Высказано мнение (Злобин и др., 2016) со ссылкой на находки в образцах из гольчихинской свиты Гыданского фациального района Западной Сибири, что северо-восточную периферию баженовского моря населяли красные водоросли, асцидии и акантарии. Эти исследователи отнесли акантарий к радиоляриям и указали, что: «некоторые таксоны радиолярий использовали соединения бария типа $Ba[Pt(CN)_4]$ в инкрустации оболочки для создания защитного механизма от радиоактивного излучения» (Злобин и др., 2016, с. 29). Более того, «экосистема морского бассейна, возможно, использовала акантарий, светящихся при радиоактивном воздействии, как индикатор неблагоприятной среды обитания для многих других организмов. Биолуминесцирующие в желто-зеленых тонах планктонные и нектонные скопления радиолярий отпугивали представителей морской биоты от опасных участков, тем самым сохраняя генофонд биоценоза» (Злобин и др., 2016, с. 38). Мы оставляем это высказывание цитируемых авторов о фантастической роли «радиолярий» в качестве «отпугивателей» и «охранителей генофонда» без развернутого комментария, заметив лишь, что радиолярии и акантарии представляют собой две разные группы в ранге типов в царстве ризарий, и что за более чем 160-летнюю историю изучения акантарий (с 1865 г.) не было зафиксировано ни одной(!) их находки в ископаемом состоянии.

Заключение

Известные к настоящему времени микрофоссилии баженовского морского бассейна Западной Сибири представлены остатками зоопланктона (радиолярии) и фитопланктона (динофлагелляты, кокколитофориды), а также, реже, микробентосом (бентосные фораминиферы и спикулы губок). Радиолярии, динофлагелляты, кокколитофориды и фораминиферы используются в целях биостратиграфического расчленения разрезов и их корреляции, и, помимо этого, совместно со спикулами губок, для восстановления параметров и обстановок палеосреды. В периоды расцвета радиоляриевой фауны производимая радиоляриями биоорганика, и, прежде всего липиды, была настолько велика, что эта некрома, обогащавшая иловые донные сапропели, могла стать одним из возможных источников нефти.

В ряде литературных источников сообщалось, что источником биогенного кремнезема в баженовской свите являлись, помимо радиолярий, диатомей и силикофлагелляты. Однако анализ показал, что до настоящего времени нет возможности с уверенностью говорить о реальном существовании диатомей и силикофлагеллят в

домеловую эпоху. Поэтому сведения об этих микрофоссилиях в баженовской свите являются, по всей видимости, недостоверными.

Финансирование/Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания ГИН РАН (№ госрегистрации темы 0135-2020-0057). Авторы выражают признательность и благодарность рецензентам, а также А.С. Алексееву, Н.С. Балужиной и Г.А. Калмыкову (МГУ), И.В. Панченко (ВНИГНИ) и М.А. Устиновой (ГИН РАН) за помощь в подборе материала, за обсуждение основных положений статьи и ряд полезных замечаний и уточнений.

Литература

- Амон Э.О. (2011). Радиолярии в экосистеме баженовского моря (поздняя юра – начало раннего мела, Западная Сибирь). *Литология и геология горючих ископаемых*, 21, с. 145–169.
- Амон Э.О., Алексеев В.П., Федоров Ю.Н., Лебедев А.И. (2011). Микрофоссилии баженовской свиты в Широком Приобье (Западная Сибирь, волжский ярус бореальной юры). *Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии*. СПб.: Изд-во ЛЕМА, с. 26–27.
- Бочкарев В.С., Огнев Д.А., Черданцев С.Г. (2008). Палеобатиметрия эпиконтинентальных морей на примере мела Западной Сибири. *Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии*. Новосибирск: СО РАН, с. 44–46.
- Брадучан Ю.В., Гольберт А.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А., Булыникова С.П., Климова И.Г., Месежников М.С., Вячкилева Н.П., Козлова Г.П., Лебедев А.И., Нальняева Т.И., Турбина А.С. (1986). Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск: Наука, 160 с.
- Важенина О.А. (2010). Особенности осадконакопления и литологические типы пород баженовской свиты на территории Широкого Приобья (Западная Сибирь). *Вестник Томского гос. ун-та, Науки о Земле*, 335, с. 161–164.
- Вишневская В.С. (1984). Радиоляриты как аналоги современных радиоляриевых илов. М.: Наука, 120 с.
- Вишневская В.С. (2013). Биостратиграфия и палеогеография баженовской свиты по данным радиоляриевого анализа. *Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии*. Екатеринбург: ИздатНаукаСервис, 34–37.
- Вишневская В.С. (2018). Юрско-меловые «кальцисфериды» России и методы их исследования. *Эколит – 2018. Литогенез: стадийность, процессы и диагностика*. М.: МАКС Пресс, с. 17–19.
- Вишневская В.С., Гатовский Ю.А. (2020). Первая находка позднелюрских радиолярий на Ямале (Арктическая Сибирь). *Проблемы региональной геологии Северной Евразии*. М.: МГРИ-РГГРУ, с. 17–20.
- Вишневская В.С., Амон Э.О., Гатовский Ю.А. (2020). Радиоляриевая биостратиграфия баженовского горизонта (верхняя юра–нижний мел) Западной Сибири. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, 47(8), с. 1–20. <https://doi.org/10.1134/S0869593820060106>
- Вишневская В.С., Дубинина Е.О., Мохов А.В. (2009). Загадочное строение некоторых спикульных элементов губок, радиолярий и нанотехнологии. *Палеонтол. общество НАН Украины*. Киев, с. 78–81. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2009.147924>
- Вишневская В.С., Гатовский Ю.А., Козлова В.А. (2018а). Радиоляриевый биогоризонт Parvicingula khabakovi – Willriedellum salypticum баженовской свиты Западной Сибири (берриас). *Современная микропалеонтология — проблемы и перспективы*. М.: ПИН РАН, с. 209–212.
- Вишневская В.С., Овечкина М.А., Устинова М.А. (2018б). Биостратиграфия и палеогеография баженовской свиты (Западная Сибирь) по радиоляриям, наннопланктону и известковым диноцистам. *Современная микропалеонтология — проблемы и перспективы*. М.: ПИН РАН, с. 213–217.
- Глезер З.И. (1966). Кремневые жгутиковые водоросли. *Флора споровых растений СССР*, VII. М.–Л.: Наука, 331 с.
- Гурари Ф.Г., Гольберт А.В., Захаров В.А. (1983). Новые данные об условиях образования баженовской свиты. *Новые данные по стратиграфии и палеогеографии нефтегазоносных бассейнов Сибири*. Новосибирск: СНИИГиМС, с. 5–17.

Данько Д.А. (2015). Методика выявления перспективных объектов в баженовской свите на основе комплексирования геомеханических, геохимических и геофизических параметров. *Геофизика*, 2, с. 38–47.

Засько Д.Н., Кособокова К.Н. (2014). Радиоларии в планктоне Арктического бассейна: видовой состав и распределение. *Зоологический журн.*, 93(9), с. 1–13. <https://doi.org/10.7868/S0044513414090116>

Захаров В.А. (2006). Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии. *Эволюция биосферы и биоразнообразие*. М.: Т-во научных изданий КМК, с. 552–568.

Захаров В.А., Сакс В.Н. (1983). Баженовское (волжско-берриасское) море Западной Сибири. *Палеобиогеография и биостратиграфия юры и мела Сибири*. М.: Наука, с. 5–32.

Злобин А.А., Москвин В.И., Злобина О.Н. (2016). Палеоэкологические реконструкции в верхнеюрском осадочном бассейне Западной и Средней Сибири по результатам лито-биохимических и спектральных методов исследования. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*, 4(28), с. 29–40. <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2016-4-29-40>

Карнюшина Е.Е. (2003). Кремнистые породы нефтеносной баженовской свиты Красноленинского свода (Западная Сибирь). *Вестник Московского ун-та. Серия 4 Геология*, 6, с. 19–27.

Козлова Г.Э. (1983). Распространение радиоларий в баженовской свите Западной Сибири. *Палеобиогеография и биостратиграфия юры и мела Сибири*. М.: Наука, с. 47–55.

Колтун В.М. (1964). Губки Антарктиды. *Исследование фауны морей*. Л.: Наука, 132 с.

Колтун В.М. (1966). Спикулы губок в поверхностном слое осадков морей южной части Индийского океана. *Геохимия кремнезема*. М.: Наука, с. 262–283.

Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Казаненков В.А., Конторович В.А., Костырева Е.А., Пономарева Е.В., Рыжкова С.В., Ян П.А. (2014). Баженовская свита – главный источник ресурсов нетрадиционной нефти в России. *Георесурсы, геозервентика, геополитика*, 2(10), с. 1–8. http://oilgasjournal.ru/vol_10/kontorovich.html

Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В., Шурыгин Б.Н., Вакуленко Л.Г., Гайдебурова Е.А., Данилова В.П., Казаненков В.А., Ким Н.С., Костырева Е.А., Москвин В.И., Ян П.А. (2013). Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде. *Геология и геофизика*, 54(8), с. 972–1012. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.07.002>

Корчемкина Е.Н., Ли М.Е. (2015). Аномальные оптические характеристики прибрежных вод Черного моря в июле 2012 года и их связь с концентрацией минеральной взвеси в воде. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*, 8(4), с. 101–105.

Куликова Н.К., Раевская Е.Г., Шурекова О.В. (2013). Альгофлора в формировании органического вещества высокоуглеродистой волжско-берриасской баженовской свиты Западной Сибири. Водоросли в эволюции биосферы. М.: ПИН РАН, с. 59–62.

Лобусев А.В., Лобусев М.А., Вертинец Ю.А., Кулик Л.С. (2011). Баженовская свита – дополнительный источник углеводородного сырья в Западной Сибири. *Территория нефтегаз*, 3, с. 28–31.

Немова В.Д. (2012). Условия формирования коллекторов в отложениях баженовского горизонта в районе сочленения Красноленинского свода и Фроловской мегавадины. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 7(2), с. 1–14. http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2012.pdf

Панченко И.В., Балушкина Н.С., Барабошкин Е.Ю., Вишневская В.С., Калмыков Г.А., Шурекова О.В. (2015). Комплексы палеобиоты в абалакско-баженовских отложениях центральной части Западной Сибири. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 10(2), с. 1–29. http://www.ngtp.ru/rub/2/24_2015.pdf

Петелин В.П. (1954). О современных кремнево-губковых морских осадках. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. геол.*, 29(1), с. 67–70.

Полякова И.Д., Кроль Л.А., Перозии Г.Н., Предтеченская Е.А. (2001). Классификация разрезов и детальное картирование доманикитов. *Тихоокеанская геология*, 20(5), с. 58–71.

Предтеченская Е.А., Злобина О.Н. (2017). Литолого-фациальные особенности баженовской свиты как «промежуточного» коллектора углеводородов в зонах дизъюнктивных нарушений. *Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге*. Томск: Изд-во ЦППС НД, с. 113–122.

Предтеченская Е.А., Кроль Л.А., Гурари Ф.Г., Сапьяник В.В., Перозии Г.Н., Малюшко Л.Д. (2006). О генезисе карбонатов в составе баженовской свиты центральных и юго-восточных районов Западно-Сибирской плиты. *Литосфера*, 4, с. 131–148.

Предтеченская Е.А., Злобина О.Н., Кроль Л.А. 2012. К вопросу о генезисе и методах прогноза высокоуглеродистых кремнистых

аргиллитов и силицитов баженовского горизонта (Западная Сибирь). *Приоритетные и инновационные направления литологических исследований*. Екатеринбург, с. 134–138.

Стафеев А.Н., Ступакова А.В., Сулова А.А., Гилаев Р.М., Шелков Е.С., Книппер А.А. (2019). Баженовский горизонт Сибири (титон – нижний берриас): тектонические и гидродинамические условия осадконакопления. *Георесурсы*, 21(2), с. 117–128. <https://doi.org/10.18599/grs.2019>

Стрельникова Н.И. Диатомовые водоросли мезозоя. (1974). *Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные)*. Т. 1. Л.: Наука, с. 101–108.

Устинова М.А., Балушкина Н.С., Панченко И.В. (2014). Известковый нанопланктон средневожских отложений высоких широт (Тимано-Печорская область и Западная Сибирь). *Диверсификация и этапность эволюции органического мира в свете палеонтологической летописи*. СПб.: ВПО, с. 138–140.

Ушатинский И.Н. (1981). Литология и перспективы нефтеносности юрско-неокомских отложений Западной Сибири. *Советская геология*, 2, с. 11–22.

Ушатинский И.Н. (1984). Состав и микроэлементы пород баженовской свиты и вмещающих глин. *Ассоциация микроэлементов с органическим веществом в осадочных толщах Сибири*. Новосибирск: СО АН СССР, с. 21–31.

Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Занин Ю.Н. Е., Хабаров М., Ян П.А. (2015). Особенности формирования баженовской свиты на границе юры и мела в центральной части Западной Сибири. *Литосфера*, 3, с. 17–32.

Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Ян П.А. (2017). Закономерности распространения кремнистых пород и «кокколитовой» пачки баженовской свиты. *Геология и геофизика*, 58(3–4), с. 511–521. <https://doi.org/10.15372/GiG20170314>

Эдер В.Г., Костырева Е.А., Юрченко А.Ю., Балушкина Н.С., Сотнич И.С., Козлова Е.В., Замирайлова А.Г., Савченко Н.И. (2019). Новые данные о литологии, органической геохимии и условиях формирования баженовской свиты Западной Сибири. *Георесурсы*, 21(2), с. 129–142. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.129-142>

Ясакова О.Н., Станичный С.В. (2012). Аномальное цветение *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae) в Черном море в 2012 году. *Морской экологический журнал*, XI(4), с. 54.

Ясович Г.С., Поплавская М.Д. (1975). К стратиграфии битуминозных отложений верхней юры и неокома Западно-Сибирской равнины. *Материалы по геологии нефтегазоносных районов Западной Сибири. Труды ЗапсибНИГНИ*. Вып. 102. Тюмень, с. 28–57.

Cermeño P. (2016). The geological story of marine diatoms and the last generation of fossil fuels. *Perspectives in Phycology*, 3(2), pp. 53–60. <https://doi.org/10.1127/pip/2016/0050>

Dumitrica P., Zügel P. (2008). Early Tithonian Saturnulidae (Radiolaria) from the Solnhofen area (Southern Franconian Alb, southern Germany). *Paläontologische Zeitschrift*, 82(1), pp. 55–84. <https://doi.org/10.1007/BF02988433>

Forti A., Schulz P. (1932). Erste Mitteilung über Diatomeen aus dem Hannoverschen Gault. *Beihefte zum Botanisches Centralblatt*, 50, pp. 241–246.

Gersonde R., Harwood D.M. (1990). Lower Cretaceous diatoms from ODP Leg 113 site 693 (Weddell Sea). Part 1: vegetative cells. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 113, pp. 365–402. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.113.127.1990>

Harwood D.M., Chang K.H., Nikolaev V.A. (2004). Late Jurassic to earliest Cretaceous diatoms from Jasong Synthem, Southern Korea: evidence for a terrestrial origin. *Abstracts, 18th International Diatom Symposium*. Miedzyszdroje, Poland, pp. 81. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.113.201.1990>

Harwood D.M., Gersonde R. (1990). Lower Cretaceous diatoms from ODP Leg 113 Site 693 (Weddell Sea). Part 2: resting spores, chrysophycean cysts, an endoskeletal dinoflagellate and notes on the origin of diatoms. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 113, pp. 403–425. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.113.201.1990>

Ikenoue T., Björklund K.R., Kruglikova S.B. (2015). Flux variations and vertical distributions of siliceous Rhizaria (Radiolaria and Phaeodaria) in the western Arctic Ocean: indices of environmental changes. *Biogeosciences*, 12, pp. 2019–2046. <https://doi.org/10.5194/bg-12-2019-2015>

Ikenoue T., Björklund K.R., Fujiwara A., Uchimiya M., Kimoto K., Harada N., Nishino S. (2019). Horizontal and vertical distribution of polycystine radiolarians in the western Arctic Ocean during the late summers of 2013 and 2015. *Polar Biol.*, 42, pp. 285–305. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2421-3>

Katz M.E., Finkel Z.V., Grzebyk D., Knoll A.H., Falkowski P.G. (2004). Evolutionary trajectories and biogeochemical impacts of marine eukaryotic

phytoplankton. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 35, pp. 523–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130137>

Kemper E. (1973). The Aptian and Albian stages in northwest Germany. *The Boreal Lower Cretaceous. Geol. J. Spec.*, 5, pp. 345–361.

Kietzmann D.A., Scasso R.A. (2019). Jurassic to Cretaceous (upper Kimmeridgian–lower Berriasian) calcispheres from high palaeolatitudes on the Antarctic Peninsula: Local stratigraphic significance and correlations across Southern Gondwana margin and the Tethyan realm. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 537, 109419. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109419>

Kooistra W.H.C.F., Gersonde R., Medlin L.K., Mann D.G. 2007. The origin and evolution of the diatoms: their adaptation to a planktonic existence. *Evolution of Primary Producers in the Sea*. Acad. Press, Burlington, pp. 207–249. <https://doi.org/10.1016/B978-012370518-1/50012-6>

Kwiecińska B. 2000. How the diatoms were found in the Proterozoic marbles at Przeworno. *The origin and early evolution of diatoms: fossil, molecular and biogeographical approaches*. Szafer Inst. of Botany, Polish Acad. Sci. Cracow, Poland, pp. 281–289.

McCartney K., Witkowski J., Harwood D.M. (2010). Early evolution of the silicoflagellates during the Cretaceous. *Marine Micropaleontology*, 77, pp. 83–100. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2010.08.001>

McCartney K., Witkowski J., Harwood D.M. (2014). New insights into skeletal morphology of the oldest known silicoflagellates: *Variramus*, *Cornua* and *Gleserocha* gen. nov. *Revue de Micropaléontologie*, 57, pp. 75–91. <https://doi.org/10.1016/j.revmic.2014.05.001>

Medlin L.K. (2016). Evolution of the diatoms: major steps in their evolution and a review of the supporting molecular and morphological evidence. *Phycologia*, 55(1), pp. 79–103. <https://doi.org/10.2216/15-105.1>

Michalík J., Reháková D., Grabowski J., Lintnerová O., Svobodová A., Schlögl J., Sobieñ K., Schnabl P. (2016). Stratigraphy, plankton communities, and magnetic proxies at the Jurassic /Cretaceous boundary in the PieninyKlippen Belt (Western Carpathians, Slovakia). *Geologica Carpathica*, 67(4), pp. 303–328. <https://doi.org/10.1515/geoca-2016-0020>

Moldowan J.M., Jacobson S.R. (2000). Chemical signals for early evolution of major taxa: biosignatures and taxon-specific biomarkers. *Int. Geol. Rev.*, 42, pp. 805–812. <https://doi.org/10.1080/00206810009465112>

Pérez-Panera J.P. (2015). A silicoflagellate from the middle Albian of Austral Basin, Argentina. *Andean Geology*, 42(3), pp. 397–402. <https://doi.org/10.5027/andgeoV42n3-a07>

Reháková D. (2000). Calcareous dinoflagellate and calcipionellid bioevents versus sea-level fluctuations recorded in the west Carpathian (Late-Jurassic/Early Cretaceous) pelagic environments. *Geologica Carpathica*, 51(4), pp. 229–243.

Rüst G. (1885). Beiträge zur Kenntniss der fossilen Radiolarien aus Gesteinen des Jura. *Palaeontographica*, 31, pp. 271–321.

Sims P.A., Mann D.G., Medlin L.K. (2006). Evolution of the diatoms: insights from fossil, biological and molecular data. *Phycologia*, 45(4), pp. 361–402. <https://doi.org/10.2216/05-22.1>

Siemińska J. (2000). The discoveries of diatoms older than the Cretaceous. *The origin and early evolution of diatoms: fossil, molecular and biogeographical approaches*. Szafer Inst. of Botany, Polish Acad. Sci. Cracow, Poland, pp. 55–74.

Siemińska J., Kwiecińska B. 2002. *Horstia* gen. et sp. nov., a new diatom from the Przeworno Proterozoic marbles. *Acta Palaeobotanica*, 42, pp. 3–6.

Van Tol H.M., Irwin A.J., Finkel Z.V. (2012). Macroevolutionary trends in silicoflagellate skeletal morphology: the costs and benefits of silicification. *Paleobiology*, 38(3), pp. 391–402. <http://dx.doi.org/10.1666/11022.1>

Vishnevskaya V.S. (2017). The Jurassic-Cretaceous boundary in Boreal Russia: radiolarian and calcareous dinoflagellate potential biomarkers. *Geological Quarterly*, 61(3), pp. 641–654. <https://doi.org/10.7306/gq1370>

Vishnevskaya V.S., Kozlova G.E. (2012). Volgian and Santonian – Campanian radiolarian events from the Russian Arctic and Pacific Rim. *Acta Palaeontol. Polon.*, 2012, 57(4), pp. 773–790. <http://dx.doi.org/10.4202/app.2011.0040>

Vishnevskaya V.S., Gatovsky Y.A., Kozlova V.A. (2019a). The Parvicungula khabakovi–Williriedellum salyemicum Radiolarian Biohorizon in the West Siberian Bazhenovo Formation (Berriasian–Valanginian). *Paleontological Journal*, 53(8), pp. 808–811. <https://doi.org/10.1134/S0031030119080239>

Vishnevskaya V.S., Ovechkina M.N., Ustinova M.A. (2019b). Biostratigraphy and Paleogeography of the Bazhenovo Formation (Upper Jurassic and Lower Cretaceous) Based on Radiolarians, Nannoplankton and Calcareous Dinocysts. *Paleontological Journal*, 53(9), pp. 916–921. <https://doi.org/10.1134/S003103011909017X>

Zanin Y.N., Zamirailova A.G., Eder V.G. 2012. Some Calcareous Nannofossils from the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Bazhenovo Formation of the West Siberian Marine Basin, Russia. *The Open Geology Journal*, 6, pp. 25–31. <https://doi.org/10.2174/1874262901206010025>

Сведения об авторах

Эдуард Оттович Амон – доктор геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН

Россия, 117647 Москва, ул. Профсоюзная, д. 123

e-mail: edwardamon@mail.ru

Валентина Сергеевна Вишневецкая – доктор геол.-мин. наук, заведующий лабораторией биостратиграфии и палеогеографии океанов, Геологический институт РАН

Россия, 119017 Москва, Пыжевский пер, 7, стр.1

Юрий Артурович Гатовский – кандидат геол.-мин. наук, старший научный сотрудник кафедры палеонтологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234 Москва, Ленинские горы, д. 1

Елена Александровна Жегалло – кандидат геол.-мин. наук, заведующий лабораторией приборной аналитики, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН

Россия, 117647 Москва, ул. Профсоюзная, д. 123

Статья поступила в редакцию 13.10.2020;

Принята к публикации 19.04.2021;

Опубликована 30.09.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

On the diversity of microfossils in the Bazhenov Horizon of Western Siberia (Late Jurassic–Early Cretaceous)

E.O. Amon^{1*}, V.S. Vishnevskaya^{1,2}, Yu.A. Gatovsky³, E.A. Zhegallo¹

¹Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

²Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Edward O. Amon, e-mail: edwardamon@mail.ru

Abstract. Paleontological remains from the Bazhenovo Horizon of Western Siberia (Tithonian–Berriasian) are represented by macro- and microfossils. The Horizon had a marine genesis and the basis of ecosystem of this paleobasin

composed of pelagic organisms-producers (phytoplankton: prasinophytes, coccolithophorids, dinoflagellates, as well as brown algae) and consumers (zooplankton: radiolarians, invertebrate larvae, crustaceans; and nekton: pelagic bony

fish, ammonites, belemnites, paleosquids-teutids and marine dinosaurs; and, in addition, benthic bivalves, foraminifera, and ostracods). Among microfossils, radiolarians are the leading importance, phytoplankton (dinoflagellates, coccolithophorids) and microbenthos (foraminifera, sponge spicules) are less common. Radiolarians, dinoflagellates, coccolithophorids, and foraminifera are used for biostratigraphic subdividing of sections and their correlation, and, in addition, together with sponge spicules, for reconstruction the paleoenvironments. In literature, a several paper indicated the presence of other siliceous microfossils in paleobiota of the Bazhenovo paleosea – diatoms, silicoflagellates, and acantharians. The article summarized data on radiolaria, coccolithophorids, dinophyta and critically reviewed reports of other microobjects. It is shown that the information about diatoms, silicoflagellates and acantharians from Bazhenovo Horizon and Bazhenovo Formation is probably unreliable.

Keywords: Radiolaria, coccolithophorids, dinoflagellates, Bazhenovo Horizon, Western Siberia, Late Jurassic, Tithonian, Early Cretaceous, Berriasian

Acknowledgments

The work was carried out as part of a state assignment of the GIN RAS (State Registration No. 0135-2020-0057). The authors are grateful to the reviewers and A.S. Alekseev, N.S. Balushkina, G.A. Kalmykov (Moscow State University), I.V. Panchenko (VNIGNI) and M.A. Ustinova (GIN RAS) for help in the selection of material, for a discussion of the main thesis of the article and useful comments.

Recommended citation: Amon E.O., Vishnevskaya V.S., Gatovsky Y.A., Zhegallo E.A. (2021). On the diversity of microfossils in the Bazhenov Horizon of Western Siberia (Late Jurassic–Early Cretaceous). *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 118–131. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.15>

References

- Amon E.O. (2011). Radiolaria in the ecosystem of the Bazhenov sea (late Jurassic – the beginning of early Cretaceous, West Siberia). *Coll. papers: Lithology and Geology of fossil fuels*, V(21). Yekaterinburg: USMU, pp. 145–169. (In Russ.)
- Amon E.O., Alekseev V.P., Fedorov Yu.N., Lebedev A.I. (2011). Microfossils of the Bazhenov formation in the Latitudinal Ob region (Western Siberia, Volgian stage of boreal Jurassic). *Jurassic system of Russia: problems of stratigraphy and paleogeography*. Saint Petersburg: LEMA Publ., pp. 26–27. (In Russ.)
- Bochkarev V.S., Ognev D.A., Cherdantsev S.G. (2008). Paleobathymetry epicontinental seas on the example of the Cretaceous of Western Siberia. *Cretaceous system of Russia and neighboring countries: problems of stratigraphy and paleogeography*. Novosibirsk: SB RAS, 2008, pp. 44–46. (In Russ.)
- Braduchan Yu.V., Golbert A.V., Gurari F.G., Zakharov V.A., Bulynnikova S.P., Klimova I.G., Mesezhnikov M.S., Vyachkileva N.P., Kozlova G.P., Lebedev A.I., Nalnyaeva T.I., Turbina A.S. (1986). Bazhenov Horizon of Western Siberia (stratigraphy, paleogeography, ecosystem, oil content). Novosibirsk: Nauka, 160 p. (In Russ.)
- Cermeño P. (2016). The geological story of marine diatoms and the last generation of fossil fuels. *Perspectives in Phycology*, 3(2), pp. 53–60. <https://doi.org/10.1127/pip/2016/0050>
- Danko D.A. (2015). Method for identifying promising objects in the Bazhenov formation based on the integration of geomechanical, geochemical and geophysical parameters. *Geophysika*, 2, pp. 38–47. (In Russ.)
- Dumitrica P., Zügel P. (2008). Early Tithonian Saturnulidae (Radiolaria) from the Solnhofen area (Southern Franconian Alb, southern Germany). *Paläontologische Zeitschrift*, 82(1), pp. 55–84. <https://doi.org/10.1007/BF02988433>
- Eder V.G., Kostyreva E.A., Yurchenko A.Yu., Balushkina N.S., Sotnich I.S., Kozlova E.V., Zamiraylova A.G., Savchenko N.I. (2019). New data on lithology, organic geochemistry and accumulation conditions of the Bazhenov formation in Western Siberia. *Georesursy = Georesources*, 21(2), pp. 129–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.129-142>
- Eder V.G., Zamiraylova A.G., Zanin Yu.N., Khabarov E.M., Yan P.A. (2015). Features of the black shale Bazhenov Formation on the transition from Jurassic to Cretaceous in the central part of the Western Siberia. *Litosfera = Lithosphere*, 3, pp. 17–32. (In Russ.)
- Eder V.G., Zamiraylova A.G., Yan P.A. (2017). The regularities of the distribution of siliceous mudstones and “coccolith” member of the Bazhenov formation. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 58 (3–4), pp. 511–521. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/GiG20170314>
- Forti A., Schulz P. (1932). Erste Mitteilugüber Diatomeen aus dem Hannoverschen Gault. *Beihefte zum Botanisches Centralblatt*, 50, pp. 241–246.
- Gersonde R., Harwood D.M. (1990). Lower Cretaceous diatoms from ODP Leg 113 site 693 (Weddell Sea). Part 1: vegetative cells. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 113, pp. 365–402. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.113.127.1990>
- Glezer Z.I. (1966). Siliceous flagellate algae. *Flora of spore plants of the USSR*, VII. Moscow–Leningrad: Nauka. 331 p. (In Russ.)
- Gurari F.G., Golbert A.V., Zakharov V. A. (1983). New data on the conditions of formation of the Bazhenov formation. *New data on stratigraphy and paleogeography of oil and gas basins in Siberia*. Novosibirsk: SNIIGGIMS, pp. 5–17. (In Russ.)
- Harwood D.M., Chang K.H., Nikolaev V.A. (2004). Late Jurassic to earliest Cretaceous diatoms from Jasong Synthem, Southern Korea: evidence for a terrestrial origin. *Abstracts, 18th International Diatom Symposium*. Miedzyzdroje, Poland, pp. 81. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.113.201.1990>
- Harwood D.M., Gersonde R. (1990). Lower Cretaceous diatoms from ODP Leg 113 Site 693 (Weddell Sea). Part 2: resting spores, chrysophycean cysts, an endoskeletal dinoflagellate and notes on the origin of diatoms. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 113, pp. 403–425. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.113.201.1990>
- Ikenoue T., Björklund K.R., Kruglikova S.B. (2015). Flux variations and vertical distributions of siliceous Rhizaria (Radiolaria and Phaeodaria) in the western Arctic Ocean: indices of environmental changes. *Biogeosciences*, 12, pp. 2019–2046. <https://doi.org/10.5194/bg-12-2019-2015>
- Ikenoue T., Björklund K.R., Fujiwara A., Uchimiya M., Kimoto K., Harada N., Nishino S. (2019). Horizontal and vertical distribution of polycystine radiolarians in the western Arctic Ocean during the late summers of 2013 and 2015. *Polar Biol.*, 42, pp. 285–305. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2421-3>
- Karnyushina E.E. (2003). Siliceous rocks of the oil-bearing Bazhenovo formation of the Krasnoleninsky arch (Western Siberia). *Vestnik Moskovskogo un-ta = Bulletin of Moscow University: Series 4 Geology*, 6, pp. 19–27. (In Russ.)
- Katz M.E., Finkel Z.V., Grzebyk D., Knoll A.H., Falkowski P.G. (2004). Evolutionary trajectories and biogeochemical impacts of marine eukaryotic phytoplankton. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 35, pp. 523–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130137>
- Kemper E. (1973). The Aptian and Albian stages in northwest Germany. *The Boreal Lower Cretaceous. Geol. J. Spec.*, 5, pp. 345–361.
- Kietzmann D.A., Scasso R.A. (2019). Jurassic to Cretaceous (upper Kimmeridgian–?lower Berriasian) calcispheres from high palaeolatitudes on the Antarctic Peninsula: Local stratigraphic significance and correlations across Southern Gondwana margin and the Tethyan realm. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 537, 109419. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109419>
- Koltun V.M. (1964). Sponges of Antarctica. *The study of fauna of the seas*. Leningrad: Nauka. 132 p. (In Russ.)
- Koltun V.M. (1966). Sponge spicules in the surface layer of sediments of seas in the Southern part of Indian ocean. *Geochemistry of silica*. Moscow: Nauka, pp. 262–283. (In Russ.)
- Kontorovich A.E., Burshtein L.M., Kazanenkov V.A., Kontorovich V.A., Kostyreva E.A., Ponomareva E.V., Ryzhkova S.V., Yan P.A. (2014). The Bazhenov formation is the main source of unconventional oil resources in Russia. *Georesursy, Geoenergetika, Geopolitika*, 2(10), pp. 1–8. http://oilgasjournal.ru/vol_10/kontorovich.html. (In Russ.)
- Kontorovich A.E., Kontorovich V.A., Ryzhkova S.V., Shurygin B.N., Vakulenko L.G., Gaideburova E.A., Danilova V.P., Kazanenkov V.A., Kim N.S., Kostyreva E.A., Moskvina V.I., Yan P.A. (2013). Paleogeography of the West Siberian sedimentary basin in the Jurassic period. *Geologiya i geofizika*

- = *Russian Geology and Geophysics*, 54(8), pp. 972–1012. (In Russ.) <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.07.002>
- Kooistra W.H.C.F., Gersonde R., Medlin L.K., Mann D.G. 2007. The origin and evolution of the diatoms: their adaptation to a planktonic existence. *Evolution of Primary Producers in the Sea*. Acad. Press, Burlington, pp. 207–249. <https://doi.org/10.1016/B978-012370518-1/50012-6>
- Korchemkina E.N., Lee M.E. (2015). Anomalous optical properties of the Black Sea in July 2012 and relationship with the concentration of mineral suspension in the water. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika = Fundam. Prikl. Gidrofiz.*, 8(4), pp. 101–105. (In Russ.)
- Kozlova G.E. (1983). Distribution of radiolarians in the Bazhenovo Formation in Western Siberia. *Paleobiogeography and biostratigraphy of the Jurassic and Cretaceous of Siberia*. Moscow: Nauka, pp. 47–55. (In Russ.)
- Kulikova N.K., Raevskaya E.G., Shurekova O.V. (2013). Algaeflora in the formation of organic matter in the high-carbon Volgian-Berriasian Bazhenovo formation of Western Siberia. *Algae in the evolution of the biosphere*. Moscow: PIN RAS, pp. 59–62. (In Russ.)
- Kwiecińska B. 2000. How the diatoms were found in the Proterozoic marbles at Przeworno. *The origin and early evolution of diatoms: fossil, molecular and biogeographical approaches*. Szafer Inst. of Botany, Polish Acad. Sci. Cracow, Poland, pp. 281–289.
- Lobusev A.V., Lobusev M.A., Vertievets Yu.A., Kulik L.S. (2011). Bazhenov Formation – an additional source of hydrocarbons in Western Siberia. *Territoriya neftegaz*, 3. pp. 28–31. (In Russ.)
- McCartney K., Witkowski J., Harwood D.M. (2014). New insights into skeletal morphology of the oldest known silicoflagellates: *Variramus*, *Cornua* and *Gleserocha* gen. nov. *Revue de Micropaléontologie*, 57, pp. 75–91. <https://doi.org/10.1016/j.revmic.2014.05.001>
- Medlin L.K. (2016). Evolution of the diatoms: major steps in their evolution and a review of the supporting molecular and morphological evidence. *Phycologia*, 55(1), pp. 79–103. <https://doi.org/10.2216/15-105.1>
- Michalík J., Reháková D., Grabowski J., Lintnerová O., Svobodová A., Schlögl J., Sobieň K., Schnabl P. (2016). Stratigraphy, plankton communities, and magnetic proxies at the Jurassic /Cretaceous boundary in the Pieniny Klippen Belt (Western Carpathians, Slovakia). *Geologica Carpathica*, 67(4), pp. 303–328. <https://doi.org/10.1515/geoca-2016-0020>
- Moldowan J.M., Jacobson S.R. (2000). Chemical signals for early evolution of major taxa: biosignatures and taxon-specific biomarkers. *Int. Geol. Rev.*, 42, pp. 805–812. <https://doi.org/10.1080/00206810009465112>
- Nemova V.D. (2012). Conditions for the formation of reservoirs in the sediments of the Bazhenovo horizon in the area of junction of the Krasnoleninsky arch and the Frolov megadepression. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika = Oil and gas geology. Theory and Practice*, 7(2), pp. 1–14. (In Russ.) http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2012.pdf
- Panchenko I.V., Balushkina N.S., Baraboshkin E.Yu., Vishnevskaya V.S., Kalmykov G.A., Shurekova O.V. (2015). Complexes of paleobiota in Abalak-Bazhenovo deposits in the central part of Western Siberia. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika = Oil and gas geology. Theory and practice*, 10(2), pp. 1–29. (In Russ.) http://www.ngtp.ru/rub/2/24_2015.pdf
- Pérez-Panera J.P. (2015). A silicoflagellate from the middle Albian of Austral Basin, Argentina. *Andean Geology*, 42(3), pp. 397–402. <https://doi.org/10.5027/andgeoV42n3-a07>
- Petelin V.P. (1954). About modern siliceous-sponge marine sediments. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otd. geol. = Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series*, 29(1), pp. 67–70. (In Russ.)
- Polyakova I.D., Krol L.A., Perosio G.N., Predtechenskaya E.A. (2001). Classification of sections and detailed mapping of domankites. *Tikhookeanskaya geologiya = Pacific Geology*, 20(5), pp. 58–71. (In Russ.)
- Predtechenskaya E.A., Krol L.A., Gurari F.G., Sapjanik V.V., Perozio G.N., Malyushko L.D. (2006). On genesis of the carbonates within Bazhenovo suit in central and south-eastern regions of West-Siberian plate. *Litosfera = Lithosphere*, 4, pp. 131–148. (In Russ.)
- Predtechenskaya E.A., Zlobina O.N. (2017). Lithological-facial features of the Bazhenovo formation as an “intermediate” hydrocarbon reservoir in zones of disjunctive disturbances. *Modern problems of sedimentology in oil and gas engineering*. Tomsk, pp. 113–122. (In Russ.)
- Predtechenskaya E.A., Zlobina O.N., Krol L.A. (2012). On the genesis and methods of forecasting high-carbon siliceous mudstones and silicites of the Bazhenovo horizon (Western Siberia). *Priority and innovative directions of lithological research*. Yekaterinburg, pp. 134–138. (In Russ.)
- Reháková D. (2000). Calcareous dinoflagellate and calpionellid bioevents versus sea-level fluctuations recorded in the west Carpathian (Late-Jurassic/Early Cretaceous) pelagic environments. *Geologica Carpathica*, 51(4), pp. 229–243.
- Rüst G. (1885). Beiträge zur Kenntniss der fossilen Radiolarien aus Gesteinen des Jura. *Palaeontographica*, 31, pp. 271–321.
- Siemińska J. (2000). The discoveries of diatoms older than the Cretaceous. *The origin and early evolution of diatoms: fossil, molecular and biogeographical approaches*. Szafer Inst. of Botany, Polish Acad. Sci. Cracow, Poland, pp. 55–74.
- Siemińska J., Kwiecińska B. 2002. Horstiarenatae gen. et sp. nov., a new diatom from the Przeworno Proterozoic marbles. *Acta Palaeobotanica*, 42, pp. 3–6.
- Sims P.A., Mann D.G., Medlin L.K. (2006). Evolution of the diatoms: insights from fossil, biological and molecular data. *Phycologia*, 45(4), pp. 361–402. <https://doi.org/10.2216/05-22.1>
- Stafeev A.N., Stoupakova A.V., Suslova A.A., Gilaev R.M., Shelkov E.S., Knipper A.A. (2019). Bazhenovo horizon of Siberia (Tithonian-Lower Berriasian): tectonic and hydrodynamic conditions of sedimentation. *Georesursy = Georesources*, 21(2), pp. 117–128. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.117-128>
- Strelnikova N.I. (1974). Diatom algae of the Mesozoic. *Diatoms of the USSR (fossil and modern)*. Vol. 1. Leningrad: Nauka, pp. 101–108. (In Russ.)
- Ushatinsky I.N. (1981). Lithology and oil-bearing prospects of Jurassic-Neocomian deposits of Western Siberia. *Sovetskaya geologiya = Soviet Geology*, 2, pp. 11–22. (In Russ.)
- Ushatinsky I.N. (1984). Composition and microelements of rocks of the Bazhenovo Formation and host clays. *Association of trace elements with organic matter in sedimentary strata of Siberia*. Novosibirsk: SB AS USSR, pp. 21–31. (In Russ.)
- Ustinova M.A., Balushkina N.S., Panchenko I.V. (2014). Calcareous nanoplankton of the middle Volgian deposits of high latitudes (Timan-Pechora region and Western Siberia). *Diversification and staging of the evolution of organic world in the light of the paleontological chronicle*. St. Petersburg: VPO, pp. 138–140. (In Russ.)
- Van Tol H.M., Irwin A.J., Finkel Z.V. (2012). Macroevolutionary trends in silicoflagellate skeletal morphology: the costs and benefits of silicification. *Paleobiology*, 38(3), pp. 391–402. <http://dx.doi.org/10.1666/11022.1>
- Vazhenina O.A. (2010). Features of sedimentation and lithological types of rocks of the Bazhenovo formation on the territory of the Latitudinal Ob region (Western Siberia). *Vestnik Tomskogo gos. universiteta, Nauki o Zemle = Tomsk State University Journal, Earth Sciences*, 335, pp. 161–164. (In Russ.)
- Vishnevskaya V.S. (1984). Radiolarites as analogues of modern radiolarian oozes. Moscow: Nauka, 120 p. (In Russ.)
- Vishnevskaya V.S. (2013). Biostratigraphy and paleogeography of the Bazhenovo Formation based on radiolarian analysis. *Jurassic system of Russia: problems of stratigraphy and paleogeography*. Yekaterinburg: IzdatNaukaServis, pp. 34–37. (In Russ.)
- Vishnevskaya V.S. (2017). The Jurassic-Cretaceous boundary in Boreal Russia: radiolarian and calcareous dinoflagellate potential biomarkers. *Geological Quarterly*, 61(3), pp. 641–654. <https://doi.org/10.7306/gq1370>
- Vishnevskaya V.S. (2018). Jurassic-Cretaceous “calcspherides” of Russia and methods of their study. *Exolith-2018. Lithogenesis: stages, processes and diagnostics*. Moscow: MAKS Press, pp. 17–19. (In Russ.)
- Vishnevskaya V.S., Gatovsky Yu.A. (2020). The first find of Late Jurassic radiolarians in Yamal (Arctic Siberia). *Problems of regional geology of Northern Eurasia*. Moscow: MGRI-RGGRU, pp. 17–20. (In Russ.)
- Vishnevskaya V.S., Kozlova G.E. (2012). Volgian and Santonian – Campanian radiolarian events from the Russian Arctic and Pacific Rim. *Acta Palaeontol. Polon.*, 2012, 57(4), pp. 773–790. <http://dx.doi.org/10.4202/app.2011.0040>
- Vishnevskaya V.S., Amon, E.O. & Gatovsky, Y.A. (2020). Radiolarian Biostratigraphy of the Bazhenovo Regional Substage (Upper Jurassic–Lower Cretaceous) of Western Siberia. *Stratigr. Geol. Correl.* 28, pp. 665–683. <https://doi.org/10.1134/S0869593820060106>
- Vishnevskaya V.S., Dubinina E.O., Mokhov A.V. (2009). The enigmatic structure of some sponge spicular elements, radiolarians and nanotechnology. *Paleontol. Society of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Kiev, pp. 78–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2009.147924>
- Vishnevskaya V.S., Gatovsky Y.A., Kozlova V.A. (2019a). The Parvicingula khabakovi–Williriedellum salymicum Radiolarian Biohorizon in the West Siberian Bazhenovo Formation (Berriasian–Valanginian). *Paleontological Journal*, 53(8), pp. 808–811. <https://doi.org/10.1134/S0031030119080239>
- Vishnevskaya V.S., Gatovsky Yu.A., Kozlova V.A. (2018a). Radiolarian biohorizon Parvicingula khabakovi – Williriedellum salymicum of the Bazhenovo Formation in Western Siberia (Berriasian). *Modern micropaleontology – problems and prospects*. Moscow: PIN RAS, pp. 209–212. (In Russ.)

Vishnevskaya V.S., Ovechkina M.A., Ustinova M.A. (2018b). Biostratigraphy and paleogeography of the Bazhenovo Formation (Western Siberia) based on radiolarians, nannoplankton, and calcareous dinocysts. *Modern micropaleontology – problems and prospects*. Moscow: PIN RAS, pp. 213–217. (In Russ.)

Vishnevskaya V.S., Ovechkina M.N., Ustinova M.A. (2019b). Biostratigraphy and Paleogeography of the Bazhenovo Formation (Upper Jurassic and Lower Cretaceous) Based on Radiolarians, Nannoplankton and Calcareous Dinocysts. *Paleontological Journal*, 53(9), pp. 916–921. <https://doi.org/10.1134/S003103011909017X>

Yasakova O.N., Stanichny S.V. (2012). Abnormal blooming of *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae) in the Black Sea in 2012. *Morskoy ekologicheskiy shurnal = Marine ecological journal*, XI(4), p. 54. (In Russ.)

Yasovich G.S., Poplavskaya M.D. (1975). On the stratigraphy of the Upper Jurassic and Neocomian bituminous deposits of the West Siberian Plain. *Materials on the geology of oil and gas bearing regions of Western Siberia. Proc. ZapSibNIGNI*, Is. 102, pp. 28–57. (In Russ.)

Zakharov V.A. (2006). Formation conditions of the Volga-Berrias highcarbon Bazhenovo formation of Western Siberia according to paleoecology. *Evolution of the biosphere and biodiversity*. Moscow: Tovarith. nauch. izd. KMK, pp. 552–568. (In Russ.)

Zakharov V.A., Saks V.N. (1983). Bazhenovo (Volgian – Berriasian) sea of Western Siberia. *Paleobiogeography and biostratigraphy of the Jurassic and Cretaceous of Siberia*. Moscow: Nauka, pp. 5–32. (In Russ.)

Zanin Y.N., Zamirailova A.G., Eder V.G. 2012. Some Calcareous Nannofossils from the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Bazhenovo Formation of the West Siberian Marine Basin, Russia. *The Open Geology Journal*, 6, pp. 25–31. <https://doi.org/10.2174/1874262901206010025>

Zasko D.N., Kosobokova K.N. (2014). Radiolaria in the plankton of the Arctic basin: species composition and distribution. *Zoologicheskiy zhurnal = Zoological journal*, 93(9), pp. 1–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0044513414090116>

Zlobin A.A., Moskvina V.I., Zlobina O.N. (2016). Paleocological reconstructions in the Upper Jurassic sedimentary basin of Western and

Central Siberia based on the results of litho-biochemical and spectral research methods. *Geologiya i mineral'no-syr'yevyye resursy Sibiri = Geology and mineral resources of Siberia*, 4(28), pp. 29–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.20403/2078-0575-2016-4-29-40>

About the Authors

Edward O. Amon – DSc (Geology and Mineralogy), leading researcher, Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences

123 Profsoyuznaya St., Moscow, 117997, Russian Federation

Valentina S. Vishnevskaya – DSc (Geology and Mineralogy), Head of the Laboratory of Biostratigraphy and Paleogeography of the Oceans, Geological Institute of the Russian Academy of Sciences

7 Pyzhevsky lane, bld. 1, Moscow 119017, Russian Federation

Yury A. Gatovsky – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Department of Paleontology, Lomonosov Moscow State University

1 Leninskie gory, Moscow 119234, Russian Federation

Elena A. Zhegallo – PhD (Geology and Mineralogy), Head of Instrument Analytics Laboratory, Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences

123 Profsoyuznaya St., Moscow, 117997, Russian Federation

Manuscript received 13 October 2020;

Accepted 19 April 2021; Published 30 September 2021