

УДК 551.86

О.В. Хотылев¹, Н.А. Балущкина², В.С. Вишневская³, Н.И. Коробова⁴,
Г.А. Калмыков⁵, А.С. Рослякова⁶

МОДЕЛЬ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОЛЯРИТОВЫХ СЛОЕВ В БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Баженовская свита Западной Сибири — одна из наиболее важных и перспективных углеродистых формаций. Ее особенности — огромная площадь распространения и высокий генерационный потенциал слагающих ее отложений, а также преобладание силицитов в ее составе, среди которых наибольший интерес представляют радиоляриты, с которыми часто связаны притоки углеводородов. Однако механизм прогноза и характер распространения их до сих пор не однозначны. На основе исследования состава и текстурных особенностей строения радиоляритовых слоев в глинисто-кремнистых породах баженовской свиты предлагается модель их формирования, основанная на взаимодействии планктона (радиолярий) и течений.

Ключевые слова: баженовская свита, радиоляритовые слои, радиолярии, течения, рельеф.

The Bazhenov Formation of Western Siberia is one of the most important and promising high-carbon formations. Its peculiarity is a huge area of distribution and high generation potential of its constituent deposits. Another feature of the formation is the predominance of silicides in its composition, among which the most interesting are radiolarites, which are often associated with hydrocarbon inflows. However, the mechanism of the forecast and the nature of their distribution still do not have an unambiguous solution. Based on a study of the composition and textural features of the structure of radiolarite layers in the clayey-siliceous rocks of the Bazhenov formation, a model of their formation based on the interaction of plankton (radiolarians) and currents is proposed.

Key words: Bazhenov formaion, radiolarians' layers, radiolarians, currents, relief.

Введение. Породы, слагающие разрез баженовской свиты Западной Сибири, представлены кремнистыми и глинисто-кремнистыми типами, в составе которых значительную роль играют остатки радиолярий. Радиолярии в разрезе могут встречаться как в рассеянном виде в составе глинисто-кремнистых пород, так и формировать отдельные слои, практически полностью состоящие только из скелетов этих организмов, — радиоляритовые слои (РС). Последние в разрезах в основном приурочены к нижней части баженовской свиты. Такие слои выявлены в разрезах на основных месторождениях в центральной части Западной Сибири — Салымском, Приобском, Правдинском, Средне-Назымском и др. В разных скважинах количество РС варьирует от 1 до 6, а мощность — от 0,1 до 2 м. Единичные маломощные прослои встречаются и в других частях разреза свиты.

Изучение комплексов радиолярий позволяет получить информацию об обстановках осадконако-

пления, включая батиметрию, морфоструктурные особенности бассейна и даже палеоклиматические условия. Рубежи одновременного возникновения или вымирания группы характерных видов также служат базой для стратиграфического расчленения разрезов. Такой подход ныне общепризнан [Вишневская, Филатова, 2008].

Кроме того, в РС часто формируются коллекторы, к которым приурочены промышленные притоки нефти. Это делает задачу исследования радиоляритов актуальной не только с точки зрения генезиса этих отложений, но и с точки зрения прогноза нефтеносности баженовской свиты.

Краткая характеристика состава радиоляритовых слоев. В результате исследования полных разрезов баженовской свиты в пределах битуминозной верхнеюрской–неокомской толщи выделено четыре сменяющих одно другое радиоляриевых сообщества, характеристика которых приводится ниже.

¹ Фонд НИР, вед. инженер; e-mail: hot63@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, науч.с.; e-mail: nataliabalushkina@mail.ru

³ ГИН РАН, зав. лаборатории биостратиграфии и палеогеографии; e-mail: valentina.vishnaa@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, ассистент; e-mail: nataliya.korobova54@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, профессор; e-mail: gera64@mail.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, аспирант; e-mail: yo.ro@mail.ru

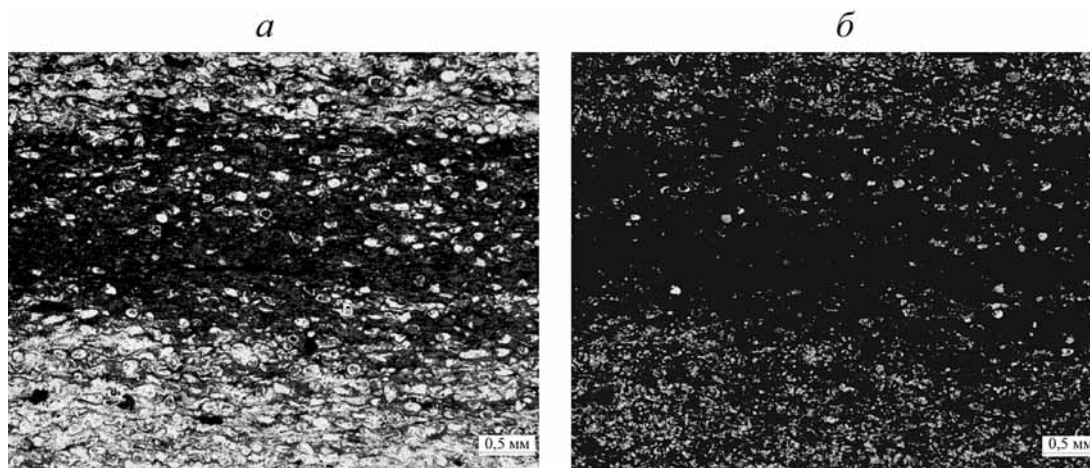


Рис. 1. Ориентировка длинных осей раковин радиоларий в кремнистой породе с реликтовой радиолариевой структурой (никколи: а — параллельные, б — скрещенные)

Биогоризонт Parvicingula blowi — радиолариевая ассоциация представлена населляриями и спумелляриями (дискоидеи) практически в близких соотношениях. Дискоидеи составляют 40%, среди них часто встречаются неопределимые до вида *Orbiculiformaspr.*, *Paronaella sp.*; 40% представлено высококоническими циртоидными населляриями, причем преобладают *Parvicingulidae*, среди которых со значительной долей условности определены несколько видов; еще 20% — сфероидными скрытоцефалическими населляриями. Возраст комплекса радиоларий определен как ранний титон (ранний? — низы среднего подъяруса волжского яруса) [Вишневская, 2013; Vishnevskaya, 2017].

Биогоризонт Parvicingula jonesi Pessagno — радиолариевая ассоциация представлена преимущественно населляриями. По числу экземпляров в комплексе доминируют представители рода *Parvicingula* (более 75%). Отмечено особое разнообразие видов высококонических форм рода *Parvicingula*, которые составляют 75% комплекса в радиолариевой ассоциации этого биогоризонта. Возраст комплекса радиоларий определен как средний титон — начало позднего титона (средний подъярус волжского яруса и, возможно, низы верхневолжского яруса) [Вишневская, 2001; Vishnevskaya, 2017].

Биогоризонт Parvicingula haeckeli — радиолариевая ассоциация представлена преимущественно населляриями, но здесь на смену высококоническим формам приходят средне- и даже низкокониические. Возраст комплекса радиоларий определен как поздний титон (средний подъярус волжского яруса) [Вишневская, 2013; Vishnevskaya, 2017].

Биогоризонт Parvicingula khabakovi — Williriedellum salymicum — радиолариевая ассоциация представлена преимущественно скрытоцефалическими населляриями, среди которых доминирует род *Williriedellum*, встречаются единичные экземпляры *Parvicingula*. Возраст комплекса радиоларий определен как берриасский [Вишневская, 2013; Vishnevskaya, 2017].

Установлено, что состав РС представлен исключительно скелетами радиоларий. Количество других компонентов чрезвычайно мало. Радиоларии часто длинными осями ориентированы по слоистости (рис. 1), а в некоторых местах отмечается свал скелетных остатков и игл радиоларий, ориентированных в одном направлении, вероятно, по течению.

Макротекстура РС массивная или горизонтальная (рис. 2, а). Встречаются также линзовидные текстуры и косая слоистость (рис. 2, б), подошва резкая, неровная (рис. 2, в), кровля резкая, волнистая, иногда с оползневыми языками. В единичных случаях кровля слоев имеет градиционную текстуру. В некоторых разрезах фиксируются фрагменты РС с отчетливо различной параллельной слоистостью, «закатанные» в глинисто-кремнистую матрицу (рис. 2, г) и сформированные оползневыми процессами.

Модели накопления РС. Для объяснения формирования подобных объектов были предложены различные механизмы. В частности, предполагалось, что РС возникают в результате вспышки размножения радиоларий при разовом поступлении в водоем большого количества питательных веществ с пеплопадом или подводными эксгаляциями, последующее резкое истощение пищевой базы вызывает массовое отмирание радиоларий [Вишневская, 1984; Афанасьева, Михайлова, 2001; Условия..., 1988; Ван и др., 2011]. Однако наличие в верхней части разреза баженовской свиты пепловых прослоев [Панченко и др., 2015], не сопровождаемых РС, не подтверждает вулканическую гипотезу. Также вызывает возражения и гипотеза подводных эксгаляций, так как, в частности, не обнаружены подводные каналы для таковых, а также фиксируется явная локальность распределения РС по площади бассейна.

Предлагаемая нами к рассмотрению модель образования радиоларитовых слоев (рис. 3) основана на формировании в процессе развития юрского бассейна Западной Сибири определенной

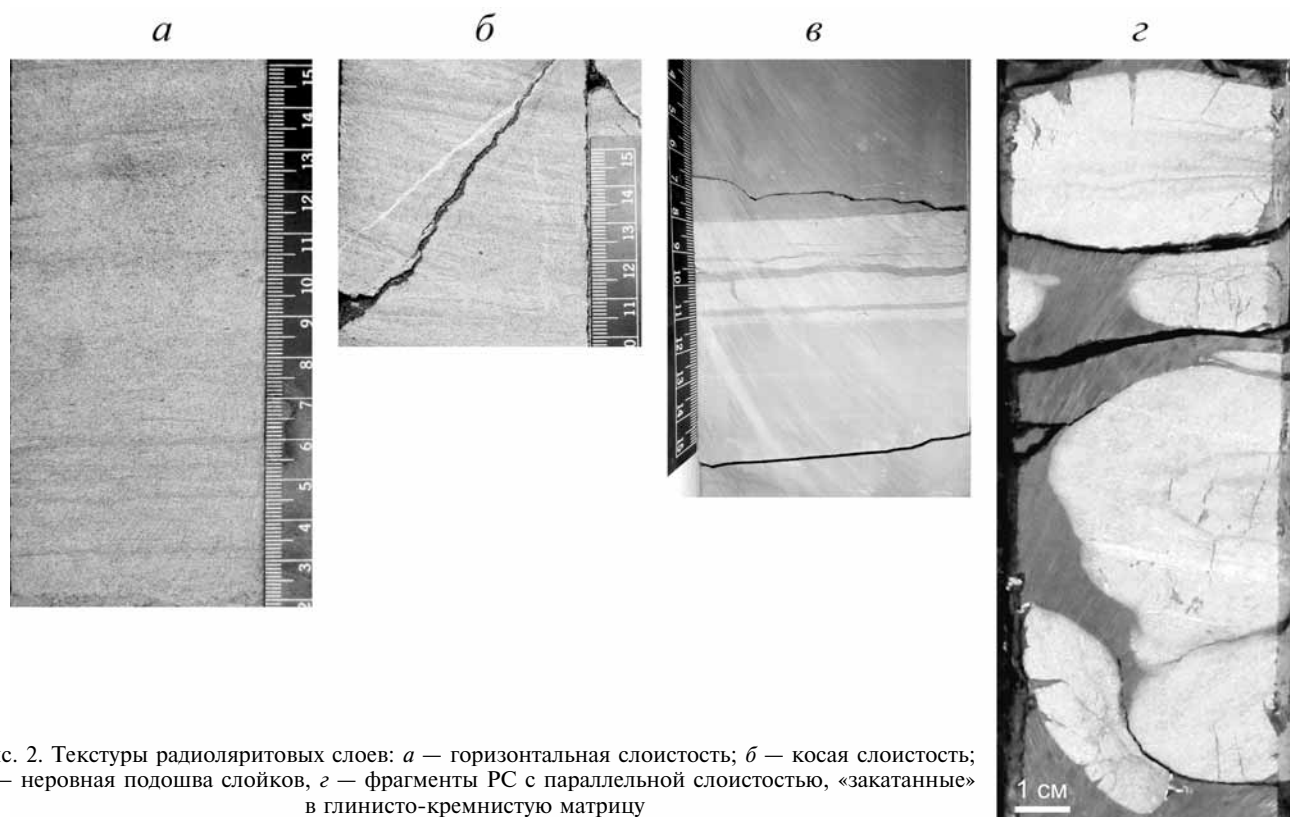


Рис. 2. Текстуры радиоляритовых слоев: *а* — горизонтальная слоистость; *б* — косая слоистость; *в* — неровная подошва слоев, *г* — фрагменты РС с параллельной слоистостью, «закатанные» в глинисто-кремнистую матрицу

схемы течений [Брадучан и др., 1986; Захаров, 2006], которые постоянно и непрерывно влияли на распределение состава осадков и их мощности.

Данные исследования потоков органического вещества в современных морях и океанах указывают на то, что из фотического слоя, где происходит массовая генерация взвеси фитопланктоном, а также его фильтрация зоопланктоном, на глубину идет два потока вещества, разделенных по крупности частиц: во-первых, многочисленные остатки панцирей, тканей, тонкие минеральные зерна и глинистые минералы, а во-вторых, относительно крупные пеллетные комки размером 0,1–1 мм и более, представленные минерально-органическими агрегатами, которые производят биофильтраторы, пропуская через свой организм взвешенный в воде материал [Лисицын, 1986]. Пеллеты со скоростью от 40 до 440 м/сут доставляют терригенный материал на дно [Лисицын, 1991]. В процессе падения, происходит растворение мелкого биодетрита, которое резко усиливается на горизонте «жидкого дна» (150–200 м) — слоя, где скачкообразно меняется плотность воды. В этом слое задерживается основная часть биодетрита и только мелкие тяжелые (силикатные) частицы и крупные пеллеты проходят этот барьер без заметных потерь [Лисицын, 2001].

Наличием горизонта «жидкого дна» объясняется доминирование в РС представителей рода *Parvicingula*, поскольку основной пик их численности находился ниже слоя «жидкого дна» (рис. 4), а время достижения поверхности грунта было от-

носительно небольшим. Из-за малого промежутка времени пребывания во взвешенном состоянии на момент захоронения на скелетах парвицингулид еще сохранялась цитоплазма. Радиолярии других родов, жившие в верхних частях толщи воды, в подавляющем большинстве успевали раствориться или были съедены другими планктонными организмами и преобразованы в пеллеты.

Несмотря на значительный размер радиолярий *Parvicingula* (до 0,2 мм), гидравлическая крупность (скорость падения частиц в стоячей воде) отмерших индивидов благодаря ажурному скелету неправильной формы и сохранившейся на нем протоплазме была значительно ниже, чем у таких же и меньшего размера плотноупакованных пеллет [Афанасьева и др., 2005], включавших в себя органический углерод, остатки скелетов мелкого зоопланктона и глинистые частицы.

Опускаясь на дно, остатки радиолярий подхватывались течением (рис. 3, 5), подобно тополиному пуху ветром, и оседали в зонах динамической тени — на поворотах и завихрениях потока, в его краевых частях и за препятствиями (рис. 3, 8). В результате подобной дифференциации образовывались локальные прослои чистых радиоляритов мощностью более 1 м с горизонтальными, линзовидными и косослоистыми текстурами (рис. 2, *а–в*, рис. 3, 1). Тип текстуры непосредственно зависел от расстояния до потока, т.е. ближе к стрежню течения — косослоистая, на максимальном удалении — горизонтальная, в промежуточных областях — линзовидная. Длинные оси радиолярий,

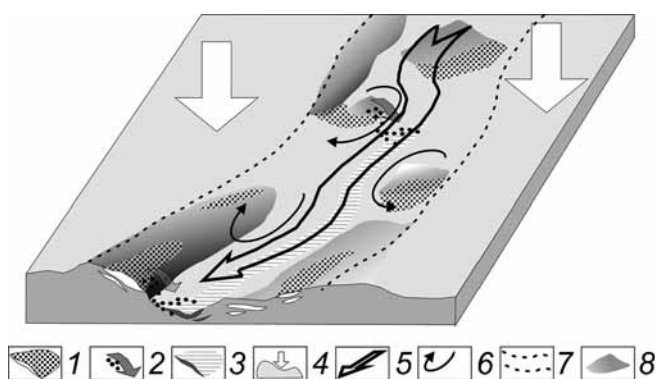


Рис. 3. Модель накопления радиоляритовых слоев в баженовском морском бассейне Западной Сибири: 1 — радиоляритовые слои; 2 — участки размыва консолидированных радиоляритов и сползания их по склону; 3 — конденсированные горизонты; 4 — области фонового накопления осадков; 5 — основное течение; 6 — мелкие боковые ответвления течения и вихревые потоки; 7 — зона влияния основного течения; 8 — неровности рельефа дна

опускавшихся на дно, приобретали ориентировку в соответствии с затухающим течением. А более тяжелые пеллеты в соответствии с законами гидродинамики выпадали в осадок на других участках дна, там, где скорость потока была выше, и формировали слои со значительным количеством глинистого компонента. Такое распределение осадков подтверждается данными, полученными при изучении голоценовых отложений глубоководного конуса выноса р. Дунай [Иванов и др., 1989], где на поворотах русла подводного каньона реки, т.е. на участках резкого падения скорости подводных течений, мощность диатомовых илов увеличивается более чем в 2 раза по сравнению с мощностью тех же отложений в тальвеге и на борту каньона.

С момента формирования РС в них начинались процессы диагенеза. Радиолярии теряли остатки протоплазмы, что сопровождалось частичным растворением кремнистых скелетов и перераспределением кремнезема. Слои уплотнялись и консолидировались. Выполняющие их частицы

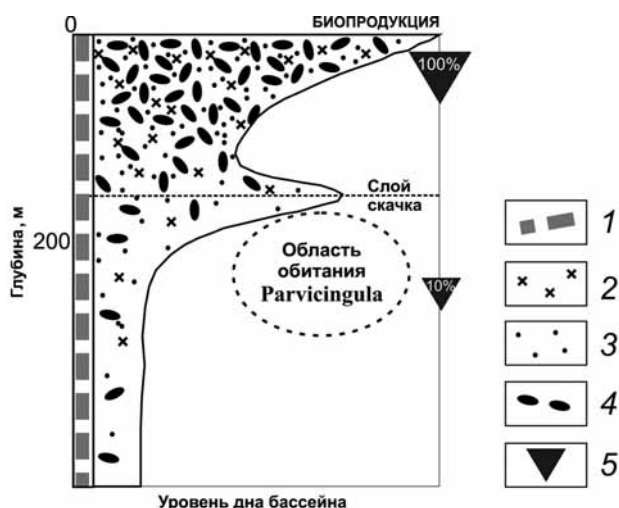


Рис. 4. Расположение слоя «жидкого дна» и области обитания радиолярий *Parvicingula* (с использованием материалов [Лисицын, 2001]): 1 — терригенное вещество, стойкое к растворению; 2 — биогенное вещество фитопланктона; 3 — биогенное карбонатное вещество; 4 — пеллеты фильтраторов зоопланктона; 5 — количество $C_{орг}$ в потоке (100% на поверхности, 10% ниже слоя скачка плотности)

укрупнялись, а скелетные каркасы заполнялись кремнеземом.

В стрекневых же областях течений формировались поверхности размыва и конденсированные горизонты из перемытого биогенного материала [Панченко, Немова, 2017] (крючки кальмаров (*Onychites* sp.) и косточки рыб) с характерной неровной нижней границей, сформированной в процессе размыва (рис. 3, 3; рис. 5, а, б). Туда же попадали и скелеты радиолярий (рис. 5, в), но уже заполненные кремнеземом и, соответственно, имеющие высокую плотность. Размыв накопившихся прослоев постоянно изменяющимся потоком вызывал разрушение уже сформированных РС и оползание их фрагментов (рис. 3, 2; рис. 2, в).

В зоне отсутствия течений, т.е. вне предела их зоны влияния, проходила фоновая седиментация с накоплением нормального ряда кремнисто-глинистых осадков, содержащих радиолярии в рассеянной форме (рис. 3, 4; рис. 6). В состав

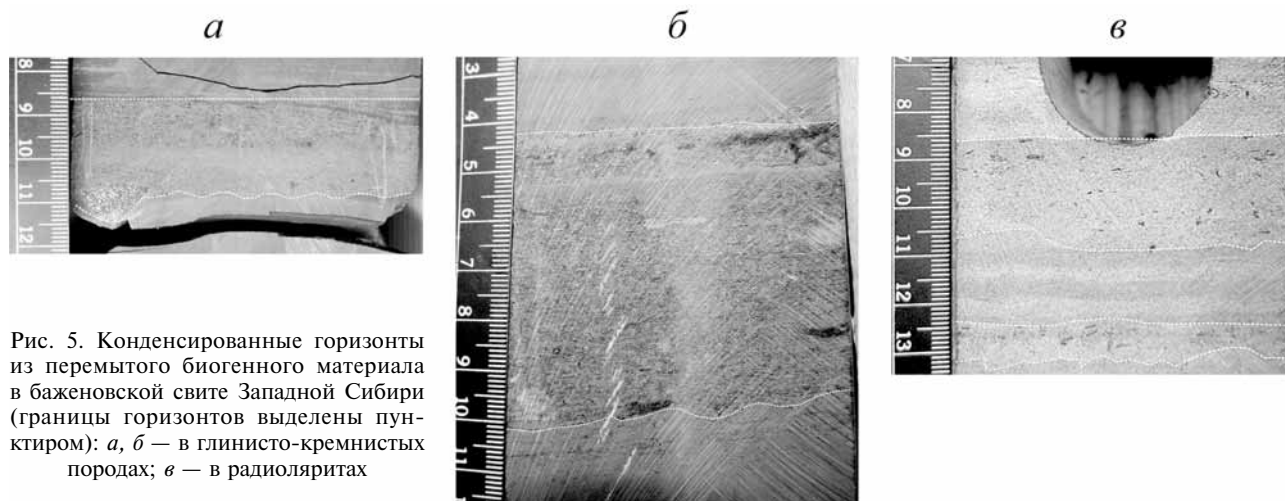
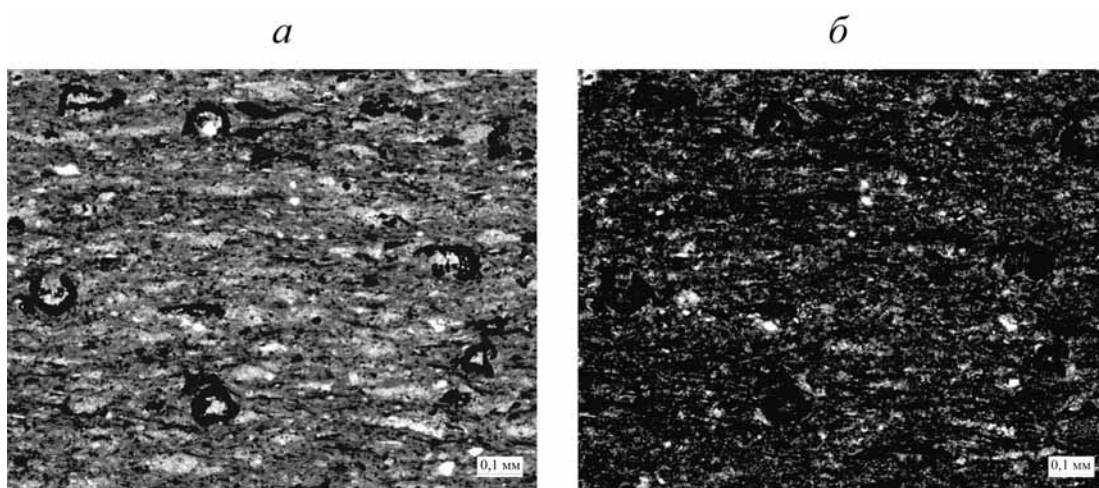


Рис. 5. Конденсированные горизонты из перемытого биогенного материала в баженовской свите Западной Сибири (границы горизонтов выделены пунктиром): а, б — в глинисто-кремнистых породах; в — в радиоляритах

Рис. 6. Радиолярии (темные «колечки») в керогеново-глинисто-кремнистой породе характерной для участков фоновой седиментации (николи: *а* — параллельные; *б* — скрещенные)



таких толщ входил и эоловый материал, представленный обломками кварца и полевых шпатов и привносимый в бассейн юго-западными ветрами из береговых пустынь [Гольберт, 1983].

Флуктуации основного потока течения и его побочных ветвей (рис. 3, б) вызывали локальное формирование РС на разных площадях и в разных частях разреза — участки накопления РС мигрировали в соответствии с изменением конфигурации основного потока течения. Вследствие этого процесса они не образовывали сплошной покров, а были распространены локально, в частности, на склонах и вершинах поднятий, расположенных в области течения и прилегающих к ней (рис. 3, л). При ширине зоны влияния течения несколько сотен километров протяженность однородных радиоляритовых слоев, вероятно, должна достигать несколько десятков километров.

Отсутствие или редкие находки РС в низах и верхних частях баженовской свиты объясняются миграцией общего уровня бассейна, связанным с этим изменением глубины, конфигурации береговой линии и, соответственно, схемы течений. К определяющим факторам формирования РС относится также изменение видового состава радиолярий — их меньший размер и иная глубина

проживания вызывали их более интенсивное растворение, а также поглощение другими формами планктона и агрегирование радиолярий в пеллеты.

Выводы. 1. Весьма однородный состав РС объясняется условиями обитания слагающих их радиолярий и динамикой среды осадконакопления.

2. Распространение РС контролировалось полосой течений.

3. Формирование РС происходило в зонах динамической тени течений.

4. РС отсутствуют или имеют минимальную мощность в области максимальных значений скорости течения.

5. Участки накопления РС мигрировали в соответствии с изменениями конфигурации основного потока течения соответственно, они распространены локально, не образуя сплошного покрова на поверхности дна.

6. РС локализованы, в частности, на склонах и вершинах поднятий, расположенных в области течения и ее окрестностях.

7. Отсутствие или редкие находки слоев РС в низах и верхних частях баженовской свиты объясняются конфигурацией схемы течений при изменении общего уровня бассейна и сменой сообществ биоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Афанасьева М.С., Амон Э.О., Болтовской Д. Экология и биогеография радиолярий: новый взгляд на проблему. Ч. 1. Экология и тафономия // Литосфера. 2005. № 3. С. 31–56.

Афанасьева М.С., Михайлова М.В. Доманиковская свита Тимано-Печорского бассейна: радиолярии, биостратиграфия и условия седиментации // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2001. Т. 9, № 5. С. 3–25.

Афанасьева М.С., Тимохин И.М. Радиолярии и вопросы гидродинамики: новый взгляд на проблему // Мат-лы по стратиграфии и палеонтологии Урала. Вып. 2. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. С. 219–226.

Брадучан Ю.В., Гольберт А.В., Гулари Ф.Г. и др. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск: Наука, 1986. 217 с.

Ван А.В., Предтеченская Е.А., Злобина О.Н. Продукты вулканизма в юрских отложениях Приуральской части Западно-Сибирской плиты // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 4. С. 15–22.

Вишневская В.С. Радиоляриты как аналоги современных радиоляриевых илов. М.: Наука, 1984. 118 с.

Вишневская В.С. Радиоляриевая биостратиграфия юры и мела России. М.: ГЕОС, 2001. 376 с.

Вишневская В.С. Биостратиграфия и палеогеография баженовской свиты по данным радиоляриевого анализа // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Тюмень, 2013. С. 34–37.

Вишневская В.С., Филатова Н.И. Корреляция юрско-меловых кремнисто-вулканогенных отложений северо-западного обрамления Тихого океана (Корякское

нагорье) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2008. Т. 16, № 6. С. 42–43.

Вишневская В.С., Филатова Н.И. Обстановки накопления морских среднемезозойских аллохтонных комплексов Северо-Востока Азии и их корреляция // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24, № 6. С. 30–48.

Гольберт А.В. Региональная палеоклиматология Сибири (юра–палеоген. Методы, результаты): Автореф. докт. дисс. Новосибирск, 1983.

Захаров В.А. Условия формирования волжско-бериасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии // Эволюция биосферы и биоразнообразия: К 70-летию А.Ю. Розанова. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2006. С. 552–568.

Иванов М.К., Конюхов А.И. Глубинное строение и осадки подводного конуса выноса р. Дунай // Докл. АН СССР. 1989. Т. 305, № 1. С. 171–175.

Лисицын А.П. Биодифференциация вещества в океанах и осадочный процесс // Биодифференциация вещества в морях и океанах. Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1986. С. 3–66.

Лисицын А.П. Процессы терригенной седиментации в морях и океанах. М.: Наука, 1991. 271 с.

Лисицын А.П. Потоки вещества и энергии во внешних и внутренних сферах Земли // Глобальные изменения природной среды-2001 / Под ред. Н.Л. Добрецова, В.И. Коваленко. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. С. 181.

Панченко И.В., Камзолкин В.А., Латышев А.В., Соболев И.Д. Туфы и туффиты в баженовском горизонте // Эволюция осадочных процессов в истории Земли: Мат-лы 8-го Всеросс. литол. совещ. (Москва, 27–30 октября 2015 г.). М.: РГУ имени Губкина, 2015. Т. 2. С. 258–261.

Панченко И.В., Немова В.Д. Контуриты в баженовских отложениях Западной Сибири: формирование, распространение и практическое значение // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Науч. мат-лы Седьмого Всеросс. совещ. (Москва, 18–22 сентября 2017 г.). М.: ГИН РАН, 2017. С. 153–157.

Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты. М.: Недра, 1988. 197 с.

Поступила в редакцию 00.00.2018

Поступила с доработки 00.00.2018

Принята к публикации 00.00.2018