УДК (543.51+550.846):(551.8:551.762.3)(571.1+571.51/.52)

# ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ В ВЕРХНЕЮРСКОМ ОСАДОЧНОМ БАССЕЙНЕ ЗАПАДНОЙ И СРЕДНЕЙ СИБИРИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛИТО-БИОХИМИЧЕСКИХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

### А.А. Злобин<sup>1</sup>, В.И. Москвин<sup>2</sup>, О.Н. Злобина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск; <sup>2</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

Приводятся результаты детальных литологических и биохимических исследований отложений верхней юры Западной и Средней Сибири. Изучение морфологии включений керогена с помощью сканирующего электронного микроскопа, анализ данных микрозондового химического и массспектрометрического (метод ИСП-МС) анализов позволили идентифицировать группы организмов (красных водорослей, туникат, радиолярий), которые ранее в ископаемом состоянии не определялись. Установлена взаимосвязь минеральных форм брома, цинка, бария и стронция с первичными биогенными комплексами. Предполагается, что некоторые таксоны радиолярий использовали соединения бария типа Ba[Pt(CN)<sub>4</sub>] в инкрустации оболочки для создания защитного механизма от радиоактивного излучения. Установлена прямая или близкая к ней зависимость между количеством бария и концентрацией урана, которая нарушается при высоких (до аномальных) значениях обоих элементов. Это характерно для разрезов, вскрытых скважинами вблизи гранитных массивов или в зонах с активным геодинамическим режимом.

**Ключевые слова**: верхняя юра, Западная и Средняя Сибирь, биогенные минеральные комплексы, спектральный анализ, палеоэкологические реконструкции.

# PALEOECOLOGICAL RECONSTRUCTIONS IN THE UPPER JURASSIC SEDIMENTARY BASIN OF WEST AND CENTRAL SIBERIA RESULTING FROM LITHOBIOCHEMICAL AND SPECTRAL METHODS OF ANALYSIS

### A. A. Zlobin<sup>1</sup>, V. I. Moskvin<sup>2</sup>, O. N. Zlobina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk; <sup>2</sup>A. A. Trofimuk Institute of Oil and Gas Geology and Geophysics, Novosibirsk

The paper presents some results of detailed lithological and biochemical analyses of Upper-Jurassic deposits in West and Central Siberia. Studying the morphology of kerogen inclusions with the help of the scanning electronic microscope, data of microprobe chemical and mass and spectrometer (ICP-MS method) analyses have allowed to identify groups of organisms (red algae, tunicates, radiolarias) which weren't defined earlier in a fossil state. An interrelation of mineral forms of bromine, zinc, barium and strontium with primary biogenous complexes is established. It is supposed that some of radiolaria taxons used compounds of barium of the Ba [Pt(CN)4] type in the incrustation of their covers to create a protective mechanism from radioactive radiation. A direct or close to it relationship between a barium amount and uranium concentration is established. It is broken in case of high (up to abnormal) values of both elements, which is characteristic of the sections drilled in close to granite massifs or in the zones of active geodynamic regime.

*Keywords*: Upper Jurassic, Western and Central Siberia, biogenic mineral complexes, spectral analysis, paleoecological reconstructions.

DOI 10.20403/2078-0575-2016-4-29-40

В последние годы в рамках научных проектов сотрудниками ИНГГ СО РАН под руководством академика А. Э. Конторовича проводится комплексное литолого-геохимическое изучение отложений верхней юры Западной и Средней Сибири. Программа включает спектральные методы исследований: определение микроэлементного состава пород масс-спектрометрическим анализом с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), изучение морфологии, фазового и химического состава пород с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) LEO1430VP, снабженного энергетическим спектрометром «OXFORD», что обеспечивает проведение рентгено-спектрального микрозондового химического анализа в указанных точках. В нашу задачу входило изучение морфологии включений керогена в породе и сопутствующей минерализации. Полученные материалы дополнили палеоэкологическую характеристику верхнеюрского бассейна седиментации, которая широко освещается в работах Ф. Г. Гурари, В. А. Захарова, Е. А. Предтеченской, В. В. Сапьяника, С. Г. Неручева, Б. Л. Никитенко, Б. Н. Шурыгина, С. В. Мелединой, Ю. Н. Занина и др.

С точки зрения биогенного нефтеобразования возникает вопрос о степени участия в этом процессе остатков различных групп растений и животных. Масс-спектрометрическими методами было установлено, что значительная часть нефти севера Западной Сибири образовалась из аквагенного органического вещества (OB) [2]. Предполагается, что для сохранения керогена в породе на стадиях седиментогенеза и диагенеза необходимы благоприятные условия, которым отвечают морфология и вещественный состав диатомовых водорослей и радиолярий. Кремнистые створки последних являются естественным барьером, препятствующим разложению ОВ внутри каркаса. По мере катагенетических преобразований, нарастающих при погружении осадочных толщ, происходит дифференциация вещества в составе остатков диатомей и радиолярий. Раковинки микроорганизмов теряют прочность, ломаются, затем перекристаллизуются с образованием слойков, линз кремнистого состава, часто спаивая между собой зерна обломочного кварца. При этом ОВ также обособляется в виде линзочек, чередующихся с кремнистыми и глинистыми прослоями [18]. Необходимо отметить, что скелетные формы существуют также у красных водорослей (отдел Rodophita). Однако их вклад в образование углеводородов (УВ) до сих пор не рассматривался как значимый, несмотря на то что в разрезах высококерогенистых отложений Западной Сибири часто присутствуют участки, сложенные карбонатными биогенными породами. При их исследовании в СЭМ (съемка во вторично рассеянных электронах) часто наблюдаются раковинки кокколитофорид, поэтому наличие карбонатов в разрезах традиционно связывают с массовым, возможно сезонным, захоронением этих организмов. Ни на одной из опубликованных палеогеографических карт поздней юры Западной Сибири не отмечены ареалы расселения водорослей. Исследователи полагают, что они обитали по всей акватории «баженовского» моря, однако следует признать, что не на всей площади бассейна отлагались высококерогенистые породы. Сопоставление ареалов расселения водорослей различных таксономических групп с картой распределения нефтематеринских отложений в баженовском горизонте представляется весьма актуальным. В то же время геохимические критерии для выделения таких ареалов до сих пор не предложены.

В разрезах баженовской свиты с содержанием органического углерода (Сорг) более 7-10 % керогенистые фрагменты часто образуют сплошной непрозрачный матрикс, что не позволяет их идентифицировать методами оптической микроскопии. Поэтому в качестве предмета исследования были выбраны образцы из верхней части гольчихинской свиты – стратиграфического аналога баженовской с более низким содержанием Сорг (Гыданский фациальный район). Разрез свиты, в котором толщины баженовского горизонта в разных скважинах составляют от 30 до 200 м, сложен аргиллитами темносерыми, участками черными, часто алевритистыми, в нижней части алевритовыми до алевролитов с конкреционными прослоями серых известняков [10]. Толщина черных более углеродистых глинистых прослоев от 0,05 до 0,40 м, известняков – от 0,02 до 0,48 м. Для пород характерны включения пирита, отпечатки раковин двустворок и крючков Onychites sp. Слойчатость тонкая неравномерная горизонтальная, образованная намывами на плоскостях наслоения более светлого алевритового материала, содержащего редкий углефицированный детрит, часто нарушенная биотурбацией. Кероген смешанного аквагенно-террагенного типа, присутствует в тонкодисперсном рассеянном состоянии, в виде деформированных линзочек (длиной до 0,32 мм, толщиной до 0,035 мм) и пятен (диаметром до 0,15 мм). В линзочках углеродистого состава отмечаются агрегаты многочисленных глобул пирита, образующих сетчатый рисунок. Наблюдения морфологии органических фрагментов в СЭМ в большинстве случаев не позволяли однозначно определить их происхождение, за исключением микрофаунистических остатков. В нескольких образцах обнаружены поля, в пределах которых детрит в ископаемом состоянии сохранил свою изначальную (или близкую к ней) форму в виде сегментированных тел





Рис. 1. Современные водоросли семейства Rhodomelaceae (срезы: а – поперечный, б – продольный) [26]



70µm

Electron Image 1



40µm

Electron Image 1

60µm

**Рис. 2.** *Polysiphonia* sp. из верхнеюрских отложений Гыданского фациального района севера Средней Сибири: а – поперечный срез таллома водоросли с сохранившимся органическим веществом (1–6 – точки микрозондового анализа, состав см. в табл. 1); б – деформированный таллом, сохранивший объемность сегментов; в – полностью лейкоксенизированный таллом

[11]. По ряду признаков было установлено, что это поперечные сечения красных водорослей, подобных *Polysiphonia arctica* из семейства Rhodomelaceae (Ceramiales), обитающих в области литорали и верхней сублиторали [21, 26] (рис. 1). Находка также позволила идентифицировать сильно поврежденные и деформированные фрагменты *Polysiphonia arctica*  по характерной объемности сегментов и приуроченности к ним соединений брома и цинка (рис. 2).

По результатам рентгеноспектрального микрозондового химического анализа (табл. 1) содержание Br в некоторых заданных точках достигает 34 %, Zn – 60 %, в спектрах бром также фиксируется вместе с Si, Fe, Ca, Ti, K и S, очень редко с Ba и P. Nº 4(28) ♦ 2016

Таблица 1

| Spectrum | 0     | F    | Mg   | Al    | Si    | S     | К    | Ca    | Р     | Fe            | Zn    | Br    |
|----------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| 1        | 42,01 | -    | -    | -     | 22,58 | _     | 5,91 | -     | -     | 6,25          | _     | 23,25 |
| 2        | 7,60  | -    | -    | -     | 2,33  | 25,24 | -    | -     | -     | 1,98          | 60,32 | 2,53  |
| 3        | 49,31 | 3,13 | 0,80 | 3,49  | 4,87  | 0,59  | 0,42 | 21,29 | 11,23 | 3,68          | 1,20  | -     |
| 4        | 59,91 | -    | 1,28 | 4,71  | 27,81 | -     | 0,36 | -     | -     | 5 <i>,</i> 93 | -     | -     |
| 5        | 45,39 | -    | 2,95 | 12,40 | 18,40 | 2,19  | 2,00 | -     | -     | 16,67         | _     | -     |
| 6        | 51,05 | -    | 3,27 | 9,06  | 9,50  | 4,80  | -    | _     | _     | 13,71         | 8,61  | -     |

Результаты рентгеноспектрального микрозондового химического анализа в заданных точках (см. рис. 2)

Примечание. Концентрации элементов нормированы к 100 %.

Бромсодержащие минералы в глинистых и смешанных (карбонатно-кремнисто-глинистых) породах фиксируются исследователями очень редко, поскольку соли брома в значительной степени подвержены процессам вымывания из осадка на стадиях седиментогенеза, раннего диагенеза и растворения в пластовых водах при катагенетических изменениях. До настоящего времени наличие этого элемента в спектрах образцов из мезозойских разрезов учеными не комментировалось, хотя известно, что представители некоторых современных классов наземных растений и грибов, морских водорослей и рыб активно накапливают бром в течение жизни [25].

По данным Г. Н. Саенко, содержание Br в современных водорослях рода Polysiphonia составляет около 70 мг на 100 г сухого вещества, количество Fe в альбуминах и глобулинах достигает 0,1 %, Zn -0,025 % (для литоральных видов) [20]. Следует отметить, что бром не аккумулируется в водорослях в виде простого вещества из-за его чрезвычайно сильной окислительной способности. Исследователями установлено, что бромсодержащими метаболитами красных водорослей семейства родомеловых являются бромфенолы нескольких структурных типов [24, 25]. Выделяются соединения с несколькими бензольными кольцами или гидрокси- и бромзаместителями (иногда молекула содержит три и более атома Br в отличие от простой двухатомной) (рис. 3).

Вероятно, некоторые из бромфенолов обладают повышенной кислотностью за счет электроноакцепторных заместителей, что способствует образованию соответствующих солей металлов – фенолятов, которые инкрустируют клеточные стенки водорослей. После отмирания организмов соединения окисляются до воды, углекислого газа и бромсодержащих солей. Сложные фенолы разрушаются не до конца, образуя до 40 % промежуточных продуктов, которые далее разлагаются в осадке хемолитоавтотрофными бактериями. В присутствии достаточного количества сероводорода металлы (Zn, Fe и др.) из фенолятов связываются с серой, создавая сульфидные включения в керогенистом веществе, которые могут сохраняться в ископаемом состоянии и служить критерием для определения ареалов расселения красных водорослей в палеобассейнах. Таким образом, можно предполагать, что верхнеюрские глинистые породы, обогащенные Br, Zn и Fe, генетически связаны с широким развитием в палеобассейне красных водорослей рода Polysiphonia. Поэтому комплекс аналитических работ следует дополнить исследованиями содержаний Br и Zn в породе. Возможно, при достаточном количестве данных обнаружится прямая корреляция повышенных концентраций этих элементов с содержанием Соог.

Наряду с остатками красных водорослей, подобных *Polysiphonia arctica*, в образцах гольчихинской свиты были зафиксированы углефицированные фрагменты нитчатых водорослей и отличающиеся от них по морфологии волокнистые выделения керогена, которые часто сопровождались минерализацией барита. По данным ИСП-МС анализа в 313 пробах баженовского горизонта, вскрытого скважинами на разных площадях Западной и Средней Сибири, содержание Ва варьирует в диапазоне от 371 до 47192 г/т, в среднем 1899 г/т, что значительно превышает кларковое значение (260 г/т по Ведеполю).



Рис. 3. Примеры бромфенолов, выделенных из представителей Polysiphonia [25]

№ 4(28) **+** 2016ипал

Следует заметить, что повышенные концентрации этого элемента зафиксированы многими исследователями, изучающими осадочные толщи разного возраста. В разрезах девонского сланцевого массива на северо-востоке Рейнского грабена среди окремнелых и доломитизированных пород выделяется уровень сульфатно-сульфидной минерализации, представленной баритом (BaSO<sub>4</sub>), пиритом (FeS<sub>2</sub>) и вюрцитом (ZnS) [23]. В отложениях верхней юры Каспийской впадины, Западной и Средней Сибири повышенные (до аномальных) количества бария отмечаются в прослоях углеродистых сланцев, известковистых глин, сульфатно-карбонатно-глинистых пород [15–17]. Выделения барита различных модификаций, включая цемент в песчаниках, обнаружены в плейстоцен-голоценовых осадках Охотского моря во впадине Дерюгина [1]. Большинство исследователей признают биохемогенный генезис этих образований. Однако в опубликованных работах в основном рассматриваются механизмы обогащения морской воды микроэлементами (Ва, Zn, Pt, Au и др.) за счет растворения в ней продуктов подводных газофлюидных потоков, поступающих в бассейн по трещинам и разломам из более глубоких горизонтов, которые часто связаны с рифтовыми системами.

Хорошо изучена минерализация в районах черных «курильщиков», где происходят разгрузка низко-среднетемпературных гидротерм и хемогенное образование сегментно-столбчатых построек барита, обогащенных золотом (до 21 г/т) [13]. Участки с аномально высокими концентрациями микроэлементов локальны, тогда как горизонты с их повышенным содержанием могут простираться на значительные расстояния от активных геодинамических зон. Вопрос о том, каким образом осуществлятся перенос тяжелых металлов и распределение их в древних бассейнах седиментации, до сих пор является дискуссионным [9, 14]. Л. Л. Демина, исследуя раковины двустворчатых моллюсков из разных геохимических зон, располагающихся на шельфе и в районах глубоководных гидротермальных полей, доказала, что накопление тяжелых металлов в осадках на 70–97 % связано с биоминерализацией [5].

Биологическая роль бария изучена недостаточно, однако установлена высокая токсичность его растворимых солей. Следует учитывать, что катион бария имеет относительно большой размер, благодаря чему он в значительной степени подвержен сорбции глинистыми частицами, гидроксидами некоторых металлов, органическими смолами. Это обусловливает его низкую подвижность в воде. Барий способен концентрировать некоторые морские организмы: асцидии (подтип оболочников или личинкохордовых) и акантарии (радиолярии со скелетом, сложенным SrSO<sub>4</sub>) [20]. Ранее считалось, что обе группы организмов не сохраняются в ископаемом состоянии. Наблюдения в СЭМ пород, которые сформировались в относительно глубоководных (60-200 м) обстановках на большом удалении от берега, выявили среди керогенистых выделений одинаковые изометричные волокнистые фрагменты, подобные углефицированному растительному детриту (рис. 4). Идентификация проводилась при их сравнительном анализе с остатками наземной растительности и с микроскопическими фитолеймами пластинчатых и лентовидных водорослей, описанных В. А. Лучининой и др. [4]. Показатели водородного индекса (HI) в этих отложениях варьируют от 30 до 203 мг УВ/г Сорг [10]. Низкие значения НІ при невысоких степенях катагенетических преобразований свидетельствуют о преобладании органического вещества террагенного типа, гене-



**Рис. 4.** Изометричные волокнистые фрагменты, сложенные керогеном длиной до 0,25 мм (а) и 0,46 мм (б) из глинистых отложений, сформировавшихся в относительно глубоководных обстановках морского бассейна



**Рис. 5.** Тип хордовых (Chordata), подтип оболочников (Tunicata), класс асцидий (Ascidiacea)

Строение асцидий [6]: а – внешний вид: 1 – вводной, или ротовой, сифон, 2 – выводной, или клоакальный, сифон, 3 – туника, 4 – подошва; 6 – схема строения одиночной асцидии: 1 – ротовой сифон, 2 – ротовые щупальца, 3 – глотка с жабрами, 4 – эндостиль, 5 – спинная пластинка, 6 – начало пищевода, 7 – желудок, 8 – пищеварительная железа, 9 – кишка, 10 – задний проход, 11 – сердце, 12 – яичник и семенник, 13 – клоака, 14 – клоакальный сифон, 15 – нервный ганглий, 16 – спинной нерв, 17 – околонервная железа, 18 – туника; в – часть стенки глотки с жаберными щелями: 1 – жаберные щели, 2 – продольные и поперечные кровеносные сосуды



**Рис. 6.** Фрагменты глотки асцидия в верхнеюрских глинистых отложениях севера Средней Сибири: а – отпечатки прижаберных вертикальных складок туники; б – следы продольных и поперечных кровеносных сосудов (1–6 – точки микрозондового анализа, состав см. в табл. 2)

| Spectrum | 0     | Na   | Mg   | AI    | Si    | S     | К    | Ca    | Ti   | Fe    | Ва   | Total |
|----------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 1        | 32,88 | 5,93 | -    | 13,14 | 44,70 | -     | 1,93 | 0,61  | -    | 0,82  | -    | 100   |
| 2        | 61,95 | _    | 0,13 | 0,31  | 36,27 | 0,16  | -    | 0,66  | -    | 0,23  | 0,29 | 100   |
| 3        | 64,07 | 0,28 | 1,33 | 2,90  | 11,20 | 0,10  | 0,62 | 17,69 | -    | 1,81  | -    | 100   |
| 4        | 31,89 | _    | 1,19 | 7,64  | 21,66 | 3,73  | 2,88 | 19,53 | 1,35 | 5,03  | 5,09 | 100   |
| 5        | 40,69 | 2,73 | 1,26 | 12,42 | 29,73 | 2,12  | 3,11 | 2,59  | 2,79 | 2,56  | -    | 100   |
| 6        | 19,92 | 0,36 | -    | 2,74  | 3,52  | 34,57 | 0,32 | 0,70  | -    | 30,68 | 7,19 | 100   |

Результаты рентгеноспектрального микрозондового химического анализа в заданных точках (см. рис. 6)

Примечание. Концентрации элементов нормированы к 100 %.

тически связанного с остатками высшей наземной растительности [12].

Как известно, в составе высших растений преобладают целлюлоза и лигнин – компоненты нерастворимой клетчатки. Однако тела асцидий покрыты оболочкой, в которой под внешней кутикулой лежит слой клеток, также содержащих клетчатку (туницин) (рис. 5). Оболочники – исключительно морские одиночные или колониальные животные, ведущие частично прикрепленный, частично свободноплавающий пелагический образ жизни [7]. Они многочисленны на глубине до 500 м, ареал

Таблица 2

расселения 50 видов достигает 2000 м, единичные таксоны обнаружены на глубине до 7000 м. Тела асцидий составляют в среднем несколько сантиметров в диаметре и столько же в высоту, среди них также известны очень мелкие виды размером менее 1 мм. У колониальных форм отдельные мелкие особи (диаметром в несколько миллиметров) погружены в общую тунику, которая бывает хрящевидной или желеобразной консистенции. Толщина стенок оболочки, которая более чем на 60 % состоит из целлюлозы, может достигать 2-3 см. У бентосных представителей количество туницина достигает четверти сухой массы тела. Нерастворимая клетчатка из тела асцидий захороняется в виде лигнина, аналогично остаткам наземной растительности. Современные оболочники в процессе жизнедеятельности аккумулируют P, Pb, V, Ti, Zn, Ba, Ni, Be, Sn, Mo и Ag. В настоящее время в условиях тропиков на морском дне встречаются очень плотные поселения асцидий (до 140 кг биомассы на 1 м<sup>2</sup>).

Морфология керогенистых включений в глинистых породах верхней юры сопоставима с волокнистыми фрагментами глотки асцидий, в которой вертикальные складки туники формируют жабры, пронизанные продольными и поперечными кровеносными сосудами (рис. 5, в, рис. 6, табл. 2). На стенках сосудов в процессе жизнедеятельности осаждаются карбонаты кальция, магния и железа (спектры 3-4 на рис. 6). Органическая сера из тела асцидия после его захоронения в процессе диагенетических преобразований связывается с металлами, образуя соединения с железом, барием и кальцием (спектры 4-6 на рис. 6). Таким образом, подобные по морфологии выделения керогена с низким показателем водородного индекса в сочетании с минерализацией барита и/или витерита можно рассматривать как остатки асцидий, существовавших в палеобассейне.

Часто в отложениях верхней юры (по наблюдениям в СЭМ) сульфаты Ва и Sr не приурочены к выделениям керогена. В тонкочешуйчатых, иногда ячеистых агрегатах соединения бария вместе со стронцием слагают реликты бактериальных пленок, инкрустируют поверхность кристаллов пирита, распределяются между обломочными зернами в виде тонких двойниковых срастаний типа ласточкиного хвоста. Сочетание этих двух элементов может свидетельствовать об их генетической связи с остатками акантарий.

Акантарии (Acantharea) – планктонные и нектонные радиолярии диаметром 0,1-0,3 мм, основу скелета которых составляют иглы, сложенные целестином (SrSO<sub>4</sub>). Они многочисленны до глубины 200 м, ареал обитания некоторых видов достигает глубины 1000 м. Форма скелетов радиолярий чрезвычайно разнообразна, наиболее распространены два типа: астроидный (с радиальными иглами, более или менее сходящимися к центру) и сфероидный, представляющий собой решетчатые шары, где элементы скелета развиваются на периферии тела (рис. 7) [6]. Шаровидная капсула находится внутри решетчатого каркаса с геометрически правильным расположением игл и пронизана порами, собранными в группы (вокруг основания игл). Центральная часть микроорганизма, состоящая из эндоплазмы, обособлена от эктоплазмы при помощи особой тонкой мембраны.

До настоящего времени акантарии (подобно оболочникам) в ископаемом состоянии исследователями не определялись, так как обоснованно предполагалось, что после гибели организма большая часть скелетных фрагментов растворяется в морской воде (общий коэффициент активности Sr<sup>2+</sup> составляет 0,17, доля свободных ионов 76 %) [19]. В результате исследований верхнеюрских глини-



Electron Image 1

Рис. 7. Скелет современных акантарий с решетчатым каркасом (а) и иглоподобные фрагменты деформированного скелета микроорганизма, содержащие барий и стронций, из верхнеюрских отложений севера Средней Сибири (б) [22]

Ŗ

Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири – Geology and mineral resources of Siberia



№ 4(28) ♦ 2016

Рис. 8. Агрегаты баритоцелестина в алеврито-глинистой породе из верхнеюрских отложений севера Средней Сибири (1–9 – точки микрозондового анализа, состав см. в табл. 3)

альтернативные механизмы поступления в бассейн рассольно-соляных масс рассматриваются в работах Г. А. Беленицкой [3]. В целом замещение одного металла другим могло происходить как приспособление организмов к недостатку одного и избытку другого в среде обитания или для стимуляции основных процессов жизнедеятельности: питания, размножения, защиты.

Авторы данной работы, используя материалы ИСП-МС анализа, изучили возможные коррелятивные связи концентраций бария с содержанием других микроэлементов в верхнеюрских разрезах, вскрытых 12 скважинами в разных районах Западной и Средней Сибири. В результате в отложениях была установлена прямая или близкая к ней зависимость между количеством бария и концентрацией урана, которая может нарушаться в случае высоких (до аномальных) значений обоих элементов. Это характерно для разрезов, вскрытых скважина-

Таблица З

Результаты рентгеноспектрального микрозондового химического анализа в заданных точках (см. рис. 8)

| Spectrum | 0     | Na   | Mg   | AI    | Si    | S     | К    | Ca   | Ti   | Fe    | Sr    | Ва    | Р    | Total |
|----------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|
| 1        | 38,19 | 0,48 | 0,44 | 5,58  | 8,46  | 9,59  | 1,81 | 0,56 | -    | 0,55  | 15,11 | 19,23 | -    | 100   |
| 2        | 55,34 | 0,94 | 1,25 | 13,62 | 21,86 | -     | 4,68 | -    | 0,56 | 1,75  | -     | -     | -    | 100   |
| 3        | 41,45 | -    | 0,74 | 6,44  | 9,02  | 8,01  | 1,61 | 0,26 | -    | 3,03  | 10,07 | 19,36 | -    | 100   |
| 4        | 27,65 | 0,41 | 0,49 | 2,46  | 3,63  | 33,39 | 0,67 | 0,23 | -    | 27,15 | 2,18  | 1,73  | -    | 100   |
| 5        | 38,91 | 0,54 | 0,97 | 8,49  | 14,34 | 6,88  | 2,89 | 0,23 | -    | 2,36  | 8,20  | 16,19 | -    | 100   |
| 6        | 45,92 | 1,58 | 0,55 | 8,46  | 15,82 | 3,88  | 2,04 | 5,87 | -    | 0,94  | 7,96  | 3,82  | 3,15 | 100   |
| 7        | 39,98 | 5,09 | 0,55 | 13,52 | 37,20 | -     | 1,69 | 0,39 | 0,33 | 1,25  | -     | -     | -    | 100   |
| 8        | 45,29 | 4,45 | 0,37 | 8,42  | 22,47 | -     | 0,51 | 9,91 | -    | 1,97  | -     | -     | 6,60 | 100   |
| 9        | 45,14 | 1,31 | 0,64 | 8,74  | 16,08 | 4,26  | 2,11 | 5,49 | -    | 1,62  | 8,27  | 3,90  | 2,45 | 100   |

Примечание. Концентрации элементов нормированы к 100 %.

стых пород в СЭМ выявлены скопления иглоподобных фрагментов по составу, размерам и взаимному расположению аналогичных сплющенным скелетам акантарий с решетчатым каркасом (рис. 7, 8, табл. 3). В составе большинства спектров на рис. 8 стронций наблюдается вместе с барием и серой. Возможно, обладая высокой химической активностью, Ва заменял часть Sr в скелетах древних микроорганизмов. Присутствие среди алевритовых зерен обломков гипса, барита, баритового полевого шпата свидетельствует о поступлении этих минералов из близко расположенных источников сноса. Известно, что низкая растворимость барита возрастает в 14 раз в 1%-ном растворе MgCl<sub>2</sub>, растворимость гипса – в 6 раз в 10%-ном растворе NaCl. Поэтому при некотором увеличении содержания ионов Mg в морской воде среда обитания могла насыщаться Ва. В то же время стоит отметить, что барий легко (почти количественно) выпадает в труднорастворимый осадок в присутствии сульфатов. Возможные

ми вблизи гранитных массивов или в зонах с активным геодинамическим режимом (рис. 9). Прямая корреляция часто отсутствует на участках интенсивных урановых выбросов, вероятно, из-за значительного вымирания популяции акантарий и временного снижения концентраций Ва, входящего в их состав. После нормализации радиоактивного фона в среде обитания численность радиолярий и корреляционная зависимость постепенно восстанавливаются. Иногда зависимость нарушается обильным привносом бария. В связи с этим возникло предположение об использовании микроорганизмами соединений бария для создания защитного механизма от радиоактивного излучения. Возможно, соединения типа Ba[Pt(CN)<sub>4</sub>] инкрустировали тонкую мембрану, отделяющую эндоплазму от внешней среды, или формировали защитную пленку, натянутую на иглы скелета подобно парусу, предохраняя весь организм. Платиноцианатом бария Ba[Pt(CN)<sub>4</sub>] покрывают экраны при работе

Рис. 9. Распределение содержаний бария (г/т) и урана (×100, г/т) в верхнеюрских разрезах Западной и Средней Сибири. Фациальные районы: а – Пурпейско-Васюганский, б – Фроловско-Тамбейский, в – Гыданский, г – Тазо-Хетский





Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири – Geology and mineral resources of Siberia

Nº 4(28) ♦ 2016

с рентгеновским и радиоактивным излучением (в кристаллах этой соли под действием излучений возбуждается яркая желто-зеленая флуоресценция). Это явление впервые обнаружил В. К. Рентген в конце XIX в. Содержание золота и платины в баженовской свите (титон – берриас) Западной Сибири проанализировано в работе Ю. Н. Занина с соавторами [8]. Исследователи рассмотрели результаты, изложенные в публикациях А. Ф. Коробейникова, М. П. Кетрис, Я. Э. Юдовича, В. А. Гавшина, В. А. Захарова и др., и пришли к выводу, что платина привносилась в бассейн седиментации в основном в растворах и интенсивно захватывалась биогенными формами. Среднее содержание платины по проанализированным пробам в глинистых радиоляритах, силицитах баженовской свиты составило 0,013±0,002 г/т, в аргиллитах – 0,005 г/т. Кроме того, зафиксирована прямая корреляция концентраций этих элементов с содержанием органического углерода и серы пиритной. Таким образом, сочетание в соединениях трех элементов – Ва, Sr и S (на спектрах СЭМ) – при повышенных концентрациях в пробах Pt (по результатам ИСП-МС), вероятно, свидетельствует о наличии в отложениях скелетных остатков акантарий.

Разнообразие приспособлений и огромное количество видов Radiolaria (свыше 6000) при сравнительно одинаковом образе жизни приводят к тому, что у разных отрядов в пределах подкласса и в разных семействах в пределах одного отряда наблюдается большое количество параллелизмов и конвергенции [6]. Поэтому предполагается, что защитную пленку строили не только акантарии, но и другие микроорганизмы. Кроме того, экосистема морского бассейна, возможно, использовала акантарий, светящихся при радиоактивном воздействии, как индикатор неблагоприятной среды обитания для многих других организмов. Биолюминесцирующие в желто-зеленых тонах планктонные и нектонные скопления радиолярий отпугивали представителей морской биоты от опасных участков, тем самым сохраняя генофонд биоценоза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахова Н. В. Геохимические особенности осадков впадины Дерюгина (Охотское море) // Тихоокеанская геология. – 2000. – Т. 19. – № 2. – С. 87–93.

2. Баженовская свита: литолого-геохимическая классификация и седиментационная модель / И. Д. Полякова, Л. А. Кроль, Г. Н. Перозио, Е. А. Предтеченская // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43, № 3. – С. 225–236.

3. Беленицкая Г. А. Мертвое море – очаг рассольно-соляной разгрузки недр. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. – 109 с

4. Биофациальный анализ верхнеюрских и нижнемеловых отложений центральных районов Западной Сибири / В. А. Маринов, С. В. Меледина,

О. С. Дзюба и др. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2006. – Т. 14, № 4. – С. 81–96.

5. **Демина Л. Л.** Микроэлементы в глобальных биофильтрах океана // Матер. XVIII Междунар. науч. конф. (школы) по морской геологии. Т. IV. – М.: ГЕОС, 2009. – С. 56–60.

6. **Догель В. А., Полянский Ю. И., Хейсин Е. М.** Общая протозоология. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 592 с.

7. **Жизнь** животных. В 6 т. Т. 2. Беспозвоночные / под ред. акад. АН СССР Л. А. Зенкевича. – М.: Просвещение, 1968. – 563 с.

8. Занин Ю. Н., Замирайлова А. Г., Эдер В. Г. Распределение золота и платины в различных вещественно-генетических типах пород черносланцевой баженовской свиты Западно-Сибирского морского бассейна // Эволюция осадочных процессов в истории Земли: матер. 8-го Всерос. литол. совещ. Т. I. – М.: РГУНГ, 2015. – С. 339–342.

9. Захаров В. А. Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии // Эволюция биосферы и биоразнообразия. Проблемы биостратиграфии и палеобиогеографии. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. — С. 552—568.

10. Злобина О. Н., Родченко А. П. Литологогеохимическая характеристика гольчихинской свиты в разрезе скважины Пайяхская 4 (Гыданский фациальный район, север Средней Сибири) // Сб. матер. XI междунар. выставки и науч. конгр. «ИН-ТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2015». – Новосибирск: СГГА, 2015. – С. 48–53.

11. Злобина О. Н., Москвин В. И., Злобин А. А. Источники брома, бария и цинка в осадочных отложениях верхней юры Енисей-Хатангского прогиба (север Средней Сибири) // Академический журнал Западной Сибири. – Тюмень, 2016. – Т. 12, № 1 (62). – С. 33–35.

12. Конторович А. Э. Очерки теории нафтидогенеза: избранные статьи. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. – 545 с.

13. Лисицын А. П., Демина Л. Л., Гордеев В. В. Геохимический барьер река – море и его роль в осадочном процессе // Биогеохимия океана. – М.: Наука, 1983. – С. 32–50.

14. Лисицин А. П., Богданов Ю. А., Зоненшайн Л. П. «Черные курильщики» Калифорнийского залива // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1989. – № 12. – С. 3–20.

15. **Нефтегазоносные** толщи Прикаспийской впадины / Г. Е.-А. Айзенштадт, С. Н. Колтыпин, С. С. Размыслова [и др.] // Тр. ВНИГРИ. – 1967. – Вып. 253. – С. 81–100.

16. **Предтеченская Е. А., Малюшко Л. Д.** Геохимические особенности и факторные модели баженовской свиты в центральных и юго-восточных районах Западно-Сибирской плиты // Виртуальные и реальные литологические модели: матер. 10-го Урал. литол. совещ. – Екатеринбург: УрО РАН, 2014. – С. 155–157.

17. Предтеченская Е. А., Злобина О. Н., Бурлева О. В. Минералогические и геохимические аномалии как индикаторы флюидодинамических процессов в юрских нефтегазоносных отложениях Западно-Сибирской плиты // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 1. – С. 11–24.

18. Предтеченская Е. А., Злобина О. Н., Кроль Л. А. К вопросу о генезисе и методах прогноза высокоуглеродистых кремнистых аргиллитов и силицитов баженовского горизонта (Западная Сибирь) // Приоритетные и инновационные направления литологических исследований: матер. 9-го Урал. литол. совещ. – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2012. – С. 134–138.

19. Савенко А. В. Растворимость карбоната и сульфата стронция в морской воде // Геохимия. – 2004. – № 2. – С. 222–232.

20. **Саенко Г. Н.** Металлы и галогены в морских организмах. – М.: Наука, 1992. – 200 с.

21. **Agardh J. G.** Species genera et ordines algarum, seu descriptiones succinctae specierum, generum et ordinum, quibus algarum regnum constituitur. Volumen secundum: algas florideas complectens. – Lundae: C.W.K. Gleerup, 1863. Part 2, fasc. 3. – P. 787–1138, 1158–1291.

22. **Boltovskoy D., Correa N.** Acantharia // The Tree of Life Web Project, 2010. – Available at: http:// tolweb.org/Acantharia/2385/2010.09.28.

23. **Cloos H.** Hebung-Spaltung-Vulkanismus // Geol. Rdsch. – 1939. – Bd. 30. – S. 405–528.

24. **In-vitro** cytotoxic activities of the major bromophenols of the red alga Polysiphonia lanosa and some novel synthetic isomers / N. A. Shoeib, M. C. Bibby, G. Blunden et al. // J. Nat. Prod. – 2004. – No. 67. – P. 1445–1449.

25. Liu M., Hansen P. E., Lin X. Bromophenols in marine algae and their bioactivities // Mar. Drugs. – 2011. – No. 9. – P. 1273–1292.

26. **Stuercke B., Freshwater D.W.** Rhodomelaceae. Version 22 September 2006 // The Tree of Life Web Project. – Available at: http://tolweb.org/Rhodomelaceae/23531/2006.09.22.

#### REFERENCES

1. Astakhova N.V. [Geochemical features of the Deryugin depression sediments (Sea of Okhotsk)]. *Tikhookeanskaya geologiya – Pacific geology,* 2000, vol. 19, no. 2, pp. 87–93. (In Russ.).

2. Polyakova I.D., Krol L.A., Perozio G.N., Predtechenskaya E.A. [Bazhenovo Formation: litologic-geochemical classification and depositional model]. *Geologiya i geofizika* – *Geology and Geophysics*, 2002, vol. 43, no. 3, pp. 225–236. (In Russ.).

3. Belenitskaya G.A. *Mertvoe more – ochag rassol'no-solyanoy razgruzki nedr* [The Dead Sea is the center of brine and salt discharge of mineral wealth]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2013. 109 p. (In Russ.).

4. Marinov V.A., Meledina S.V., Dzyuba O.S., et al. [Biofacial analysis of Upper Jurassic and Lower Cretaceous deposits of the central regions of West Siberia ]. *Stratigrafia i geologicheskaya korrelyatsiya – Stratigraphy and Geological correlation*, 2006, vol. 14, no. 4, pp. 81–96. (In Russ.).

5. Demina L.L. [Minerals in global biofilters of the ocean]. *Materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauch. konf. (shkoly) po morskoy geologii* [Materials XVIII International Sci. Confer. (School) on sea geology]. Moscow, GEOS Publ., 2009, vol. IV, pp. 56–60. (In Russ.).

6. Dogel' V.A., Polyanskiy Yu.I., Kheysin E.M. *Obshchaya protozoologiya* [General protozoology]. Moscow-Leningrad, USSR AS Publ., 1962. 592 p. (In Russ.).

7. Zhizn' zhivotnykh. Tom 2. Bespozvonochnye [Life of animals. Vol. 2. Invertebrates]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1968. 563 p. (In Russ.).

8. Zanin Yu.N., Zamiraylova A.G., Eder V.G. [Distribution of gold and platinum in various material and genetic types of rooks of the black-shale Bazhenovo Formation of the West-Siberian sea basin]. *Materialy 8-go Vserossiyskogo litologicheskogo soveshchaniya "Evolyutsiya osadochnykh protsessov v istorii Zemli"* [Materials of the 8th All-Russian lithologic meeting *"Evolution of sedimentary processes in the Earth's his*tory (Moscow, October 27–30, 2015)]. Moscow, 2015, vol. I, pp. 339–342. (In Russ.).

9. Zakharov V.A. Usloviya formirovaniya volzhskoberriasskoy vysokouglerodistoy bazhenovskoy svity Zapadnoy Sibiri po dannym paleoekologii [Conditions of the formation of Volgian-Berriasian high-carbon Bazhenovo Formation of West Siberia on palaeoecology evidence]. In Evolution of the biosphere and biodiversity. Problems of biostratigraphy and paleobiogeography]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2006, pp. 552–568. (In Russ.).

10. Zlobina O.N., Rodchenko A.P. [Lithologic-geochemical characteristics of Golchikhinskaya Formation in the section of Payakhskaya 4 well (the Gydan facial region, the North of Central Siberia)]. *Sbornik materialov XI mezhdunarodnoy vystavki i nauchnogo kongressa "INTEREKSPO GEO-Sibir'-2015"* [Collection of materials XI International Exhibition and Scientific Congress "IN-TEREXPO GEO-Siberia-2015"]. Novosibirsk, SGGA Publ., 2015, pp. 48–53. (In Russ.).

11. Zlobina O.N., Moskvin V.I., Zlobin A.A. [Bromine, barium and zinc sources in sedimentary deposits of Upper Jurassic of the Yenisei-Khatanga trough (North of Central Siberia)]. Akademicheskiy zhurnal Zapadnoy Sibiri: Tyumen'. OOO "M-tsentr" – Academic magazine of West Siberia, Tyumen. LLC M-center, 2016, no. 1 (62), vol. 12, pp. 33–35. (In Russ.).

12. Kontorovich A.E. *Ocherki teorii naftidogeneza: Izbrannye stat'I* [Sketches on the naftidogenesis : Chosen articles]. Novosibirsk, SB RAS Publ., GEO Branch, 2004. 545 p. (In Russ.).

13. Lisitsyn A.P., Demina L.L., Gordeev V.V. [A geochemical river-sea barrier and its role in the sedimentary process]. *Biogeokhimiya okeana* [Ocean Biogeochemistry]. Moscow, Nauka Publ., 1983, pp. 32-50. (In Russ.).

14. Lisitsin A.P., Bogdanov Yu.A., Zonenshayn L.P. ["Black smokers" of the Gulf of California]. Izv. AN SSSR. Ser. geol. - USSR AS News. Ser. Geol., 1989, no. 12, pp. 3–20. (In Russ.).

15. Ayzenshtadt G.E.-A., Koltypin S.N., Razmyslova S.S., et al. [Oil-and-gas strata of the Caspian Depression]. Tr. Vsesoyuznogo neftyanogo nauchnoissledovatel'skogo geologorazvedochnogo instituta (VNIGRI) – Proc. of the All-Union Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), 1967, issue 253, pp. 81-100. (In Russ.).

16. Predtechenskaya E.A., Malyushko L.D. [Geochemical features and factorial models of the Bazhenovo Formation in the central and southeastern regions of the West Siberian plate] Sb. dokladov 10-go Ural'skogo litologich. soveshchaniya "Virtual'nye i real'nye litologicheskie modeli" [Proc. 10<sup>th</sup> Ural Lithological Meeting "Virtual and real lithological models"]. Ekaterinburg, IGiG UrO RAN Publ., 2014, pp. 155–157. (In Russ.).

18. Predtechenskaya E.A., Zlobina O.N., Krol' L.A. [On the genesis and methods of the forecast of highcarbon siliceous mudstones and silicits of the Bazhenovsky horizon (West Siberia)]. Materialy 9 Ural'skogo litologicheskogo soveshchaniya "Prioritetnye i innovatsionnye napravleniya litologicheskikh issledovaniy" [Proc. 9th Ural Lithological Meeting "Priority and innovative directions of lithological researches"]. Ekaterinburg, IGiG UrO RAS Publ., 2012, pp. 134-138. (In Russ.).

18. Predtechenskaya E.A., Zlobina O.N., Burleva O.V. [Mineralogical and geochemical anomalies as indicators of the fluid dynamic processes in the Jurassic oil-and-gas deposits of the West Siberian plate]. Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, geophysics and development of oil and gas fields, 2015, no. 1, pp. 11–24. (In Russ.).

19. Savenko A.V. [Solubility of carbonate and strontium sulphate in sea water]. Geokhimiya - Geochemistry, 2004, no. 2, pp. 222-232.

20. Saenko G.N. Metally i galogeny v morskikh organizmakh [Metals and halogens in marine organisms]. Moscow, Nauka Publ., 1992. 200 p. (In Russ.).

21. Agardh J.G. Species genera et ordines algarum, seu descriptiones succinctae specierum, generum et ordinum, quibus algarum regnum constituitur. Volumen secundum: algas florideas complectens. Lundae: C.W.K. Gleerup, 1863. Part 2, fasc. 3. - Pp. 787-1138, 1158-1291.

22. Boltovskoy D., Correa N. Acantharia. The Tree of Life Web Project, 2010. – Available at: http://tolweb. org/Acantharia/2385/2010.09.28.

23. Cloos H. Hebung-Spaltung-Vulkanismus. Geol. Rdsch., 1939, Bd. 30, S. 405-528.

24. Shoeib N.A., Bibby M.C., Blunden G., et al. Invitro cytotoxic activities of the major bromophenols of the red alga Polysiphonia lanosa and some novel synthetic isomers. J. Nat. Prod., 2004, no. 67, pp. 1445-1449.

25. Liu M., Hansen P. E., Lin X. Bromophenols in marine algae and their bioactivities. Mar. Drugs., 2011, no. 9, pp. 1273-1292.

26. Stuercke Br., Freshwater D.W. Rhodomelaceae. Version 22 September 2006. The Tree of Life Web Project. – Available at: http://tolweb.org/Rhodomelaceae/23531/2006.09.22.

© А. А. Злобин, В. И. Москвин, О. Н. Злобина, 2016