УДК 552.513:551.86(571.62)

**ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ И ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ
ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕЗОЗОЙСКОГО ПАЛЕОКЛИМАТА
(НА ПРИМЕРЕ БУРЕЙНСКОГО ОСАДОЧНОГО БАСЕЙНА,
ДАЛЬНИЙ ВОСТОК, РОССИЯ)**

Медведева С.А.*ФГБУН «Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина» Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Хабаровск, e-mail: medvedeva@itig.as.khb.ru*

В работе показана хорошая сопоставимость реконструкций палеоклимата, которые были проведены в разное время независимыми друг от друга методами. Литологический метод показал, что наличие угольных линз и слоев в отложениях верхней юры и нижнего мела Буреинского бассейна характеризует теплый влажный климат в поздней юре и раннем мелу. На основе изучения остатков растений В.А. Красиловым (1973 г.) были выявлены периоды относительного потепления и похолодания в этом возрастном интервале. Сходные колебания климата реконструируются автором данной статьи с использованием стандартных методов литохимии (CIA-индекс и CIW-индекс). Очевидно, что литохимические методы позволяют достаточно надежно выявить обстановки климата прошлых геологических эпох в областях сноса кластического материала при отсутствии флористических данных.

Ключевые слова: палеоклимат, юра, мел, валовый химический состав, псаммиты, алевропелиты, индекс, Буреинский осадочный бассейн

**LITHOCHEMICAL AND FLORAL EVIDENCE FOR RECONSTRUCTION
OF THE MESOZOIC PALEOCLIMATE, AS EXEMPLIFIED
FROM THE BUREYA BASIN, FAR EAST OF RUSSIA**

Medvedeva S.A.*Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
Khabarovsk, e-mail: medvedeva@itig.as.khb.ru*

The paper shows a good correlation of the climatic reconstructions made at different times by using independent methods. Lithologically, it was established that the existence of coal lenses and strata in Upper Jurassic and Lower Cretaceous sediments of the Bureya Basin are evidence of Late Jurassic to Lower Cretaceous warm humid climate. Based on paleofloral study (Krassilov, 1973), periods of relative warming and cooling at that age interval have been distinguished. Similar climatic fluctuations are reconstructed by the author using standard lithochemical methods (CIA and CIW). It is obvious that lithochemical methods make possible paleoclimatic environments to be reliably determined in denudation areas in the absence of the floral data.

Keywords: paleoclimate, Jurassic, Cretaceous, gross chemical composition, psammmites, aleuropelites, index, Bureya sedimentary basin

Климат является одним из основных факторов, определяющих общий облик осадочных ассоциаций. Определение климата прошлых геологических периодов проводится различными методами. Литологическим методом о палеоклимате можно судить по типу осадочной породы: соли – сухой, угли – влажный и т.д. Для детализации применяют различные палеонтологические и палеофлористические методы, основанные на изучении окаменевших остатков фауны и флоры, с помощью которых можно получить более точные сведения в относительно узких возрастных промежутках. Теплолюбивые организмы и растения характеризуют теплый климат, холодоустойчивые, соответственно, характеризуют холодный климат. Ограничением этих методов является неравномерность местонахождений окаменевших остатков и сложность их поисков. Считается, что для реконструк-

ции климата при отсутствии флористических заключений необходимо использовать комплекс литологических, литохимических и геохимических данных. Но существует проблема сопоставления результатов реконструкций, полученных разными методами, поскольку они иногда бывают противоречивыми. Целью данной работы является сравнение палеоклиматических реконструкций для мезозоя Буреинского бассейна, проведенных в разное время независимыми друг от друга методами.

Методы и фактический материал

Идея литохимического метода, позволяющего применять данные о валовом химическом составе терригенных пород (литохимические данные), заключается в том, что химическое выветривание пород протекает интенсивнее в теплом и влажном климате, чем в холодном и сухом

(или сухом), в результате чего изменяется химический состав пород. С помощью расчетов можно количественно определить степень химического выветривания и затем проинтерпретировать климат. В существующих формулах расчета индексов химического выветривания (WI, MWPI, CIA, CIW и др.) используются разные порообразующие элементы. Индекс изменения (*chemical index of alteration*) $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100$ был предложен в 1982 г. [7], а обновленный (*новый, улучшенный*) индекс выветривания (*a new chemical index of weathering*) $CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)] \times 100$ – в 1988 г. [6]. Индексы рассчитываются по молекулярным количествам оксидов, где CaO^* – количество CaO в силикатной части породы. Чем выше степень химического выветривания, тем теплее климат. Исследователи определяют границу между холодным и теплым климатом по значению $CIA = 70$ [7] или по значению $CIW = 80$ [6] в глинистых сланцах (далее алевропелиты).

Тем не менее считается, что изменения флоры более информативны и надежны. Следовательно, реконструкцию палеоклимата, обоснованную палеоботаническими методиками, можно принять за эталон. В Буреинском бассейне подобные исследования проводились В.А. Вахрамеевым, В.А. Красиловым, В.В. Кирьяновой, Н.Д. Литвиненко, В.С. Маркевич, Е.В. Бугдаевой [3, 4, 5 и др.]. Поскольку нами впервые были получены литохимические данные для терригенных пород Буреинского бассейна, то впервые появилась возможность сравнить результаты реконструкций палеоклимата. Для этого были применены CIA – индекс, CIW – индекс терригенных пород и цикадофитовый индекс растений [3].

Фактический материал представлен определениями валового химического состава алевропелитов (20) и псаммитов (46) из юрско-меловой осадочной толщи Буреинского бассейна. Опробование коренных выходов пород было проведено вдоль полотна железной дороги БАМ (р. Солони), в выемках и карьерах автомобильных дорог вдоль рек Солони, Эльганджа, Чегдомын, Умалта (рис. 1). Определение валового химического состава пород выполнено в Лаборатории рентгеноспектрального анализа СВКНИИ ДВО РАН (г. Магадан) рентгенофлуоресцентным методом (аналитики Т.Д. Борходоева и В.И. Мануилова). Числовые значения ЦИ растений взяты из публикации В.А. Красилова [3].

Рис. 1. Схема расположения района исследований

Геологический очерк

Буреинский бассейн расположен на окраине Буреинского микроконтинента и является краевым прогибом [2]. Он выполнен морскими отложениями поздне-триасово-позднеюрского возраста и прибрежно-морскими и континентальными отложениями поздней юры – раннего мела. Стратиграфия приводится по [2]. Разрез юрских отложений в центральной части Буреинского бассейна (ББ) состоит из нижнеюрской дешской ($J_1 ds$), среднеюрских синкальтинской ($J_2 sn$), эпиканской ($J_2 ep$), эльгинской ($J_2 el$), чаганьской ($J_2 cg$), талынджанской ($J_{2,3} tl$) и верхнеюрской дубликанской ($J_3 db$) свит. Меловой разрез сложен солонийской ($K_1 sn$), чагдамынской ($K_1 cg$), чемчукинской ($K_1 cm$), йорекской ($K_1 jr$) и кындальской ($K_{1,2} kn$) свитами. Мощности юрских отложений варьируют по латерали от 4300 до 7500 м, меловых – от 2500 до 3500 м. В разрезе по р. Солони доминируют алевропелиты (песчанистые алевролиты, алевролиты, аргиллиты). Значительное распространение имеют псаммиты (песчаники и алевропесчаники). Присутствуют конгломераты, гравелиты, туфогенные и известковистые разности пород, пепловые туфы, в верхней части – линзы угля. В северо-восточном направлении (к р. Эльганджа и р. Умалта) и к югу разрез становится более грубым [2]. В разрезе по р. Эльганджа нижнеюрских отложений нет. Возраст до-позднеюрских свит обоснован находками

ископаемой фауны, возраст более молодых свит – находками ископаемой флоры [1 и др.]. Фауна представлена различными группами организмов: двусторки, белемниты, аммониты, брахиоподы, гастроподы, черви. Флора – это папоротники, сосновые, гинкговые, беннеттитовые [3–5 и др.].

Вещественный состав пород (петрография и литохимия)

Петрографическим методом установлено, что песчаники состоят из обломков кварца, калиевых полевых шпатов, кислых плагиоклазов, биотита, серицита, различных пород. Обломки пород представлены вулканитами кислого, среднего, редко основного составов, вулканическими стеклами, мелкозернистыми гранитами, аплитами, реже кварцитами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами. Обломки угловатые, плохоокатанные.

В соответствии с широко используемыми отечественными исследователями классификацией В.Д. Шутова (1967) и более поздней «Систематикой и классификацией осадочных пород и их аналогов...» (1998) нижне-среднеюрские сероцветные псаммиты по петрографическому составу являются преимущественно полевошпатовыми граувакками, реже граувакковыми аркозами либо аркозами [2]. Массивные светлые, почти белые псаммиты вышележащих дубликанской и солонийской свит – это аркозы. Псаммиты

чагдамынской и чемчукинской свит относятся к граувакковым аркозам [2 и др.].

Валовый химический состав псаммитов следующий (здесь и далее в мас.%): SiO_2 – 62,4–78; TiO_2 – 0,08–0,9; Al_2O_3 – 11–15,8; Fe_2O_3 – 1,0–7,0; MgO – 0,07–3,4; CaO – 0,1–3,7; Na_2O – 1,3–4,9; K_2O – 1,5–5,0; алевропелитов: SiO_2 – 63–67; TiO_2 – 0,6–0,7; Al_2O_3 – 13,5–16; Fe_2O_3 – 4–6; MgO – 1,5–2,1; CaO – 1–4,2; Na_2O – 2,7–3,1; K_2O – 2,5–3,7.

В соответствии с общепринятыми литохимическими классификациями Ф. Петтиджона с соавторами (1976), Я.Э. Юдовича с М.П. Кетрис (1981) по валовому химическому составу большинство нижне-среднеюрских псаммитов относится к грауваккам, меньшинство – к аркозам; алевропелиты по М. Хиррону (1988) относятся к глинистым сланцам (рис. 2). Большинство псаммитов дубликанской, солонийской и чагдамынской свит – аркозы. Несмотря на достаточно широкий разброс абсолютных содержаний оксидов фигуративные точки разных типов пород на классификационных диаграммах локализуются в пределах изолированных или в какой-то степени перекрывающихся друг с другом полей. Особенно заметно обособление псаммитов талынджанской, солонийской, чагдамынской свит, а также псаммитов и алевропелитов дубликанской свиты от пород нижележащих свит, что обусловлено изменениями валового химического состава (рис. 2).

Рис. 2. Классификационная диаграмма по М. Хиррону (Herron, 1988).

Условные обозначения. 1 – 6 псаммиты: среднеюрские без подразделений на свиты – 1, верхнеюрские свиты: талынджанской – 2, дубликанской – 3, нижнемеловые свиты: солонийской – 4, чагдамынской – 5, чемчукинской – 6. Алевропелиты среднеюрские без подразделений на свиты – 7, алевропелиты дубликанской свиты – 8

Обсуждение результатов

Очевидно, что изменение состава разновозрастных пород отражает определенные геологические процессы. Вещественный состав терригенных осадочных пород является следствием сложного взаимодействия различных факторов, к которым относятся: состав пород области сноса, палеоклимат и рельеф питающей провинции, от которых зависит характер выветривания, дальность переноса обломочного материала, высокий или низкий уровень моря, диагенез. В основном влияние этих составляющих обусловлено тектоническим положением областей сноса и бассейнов, в которых происходит отложение сносимого материала. Следовательно, на основе вещественного состава пород с определенной долей достоверности можно реконструировать тектонические обстановки, палеоклимат, рельеф, состав пород областей сноса, а также проводить корреляцию стратиграфических подразделений.

Рассмотрим CIA, CIW, характеризующие палеоклимат, и их корреляцию между собой. Поскольку изученные алевропелиты и псаммиты залегают в переслаивающихся толщах, то характер распределения породообразующих элементов в них одинаков. Поэтому, хотя пограничные значения индексов химического выветривания CIA и CIW 70 и 80 предложены для глинистых сланцев (алевропелитов), данные по составам псаммитов можно привлекать. При этом следует учитывать, что значения CIA и CIW более крупнозернистых пород (псаммитов) будут меньше (табл. 1).

Это заключение иллюстрируется рисунком, на котором графики псаммитов имеют направление подобное графикам алевропелитов, но располагаются ниже (рис. 3).

На основе проведенных нами расчетов индексов химического выветривания CIA и CIW можно констатировать, что теплый палеоклимат был в поздней юре (дубликанское время), а умеренно холодный – в другие временные интервалы (табл. 1, рис. 3).

Таблица 1

Возраст	CIA		CIW		n
	псаммиты	алевропелиты	псаммиты	алевропелиты	
K ₁	57,5 ± 1,8	–	67 ± 3,6	–	4
J ₃	58,3 ± 3,8	–	73,3 ± 8,8	–	5
J ₂	55,1 ± 4,1	–	63,3 ± 5,6	–	37
J ₃	–	75,2 ± 6,3	–	87,2 ± 4,1	3
J ₂	–	58,8 ± 4,8	–	65,3 ± 6,6	17

Примечание. J₂, J₃ – средняя, верхняя юра соответственно; K₁ – нижний мел; 57 – среднее значение индекса; ±4,1 – стандартное отклонение; n – количество проб; «–» – нет определений.

Рис. 3. Графики, иллюстрирующие изменения климата в юрское и меловое время

На характер и интенсивность выветривания пород существенно влияет рельеф, непосредственно связанный с тектонической активностью. В областях аридного климата химическое выветривание будет слабым как в холодном, так и в теплом интервале температур; как в горах (активная тектоника), так и на равнинах (спокойная тектоника). В областях гумидного климата при спокойной тектонике будет преобладать химическое выветривание над физическим, однако в тектонически активных горных районах оно будет проявлено значительно слабее, чем в равнинных областях.

Более надежными выводами для реконструкции палеоклиматов считают выводы на основе данных об изменениях растительных сообществ. В ББ наличие угольных прослоев в верхнеюрских и нижнемеловых отложениях, образовавшихся при захоронении большого количества разнообразных

влаголюбивых растений, предоставило уникальную возможность качественно подтвердить вывод о теплом влажном палеоклимате дубликанского времени, полученный нами на основе данных о валовом химическом составе терригенных пород.

Количественно обосновать этот вывод можно статистическим приемом, который использовал В.А. Красилов [3]. По формуле К. Раункиера

$$\text{ЦИ} = \frac{b_1}{a_1} \cdot \frac{b}{a} \cdot 100,$$

где a – общее число родов голосеменных; b – общее число родов цикадофитов; a_1 и b_1 – те же показатели для свиты 1), он определил ЦИ растений из ББ и показал его изменение в разрезе верхнеюрских – нижнемеловых отложений. Повышение значений ЦИ указывает на потепление климата, что

Таблица 2
Средние значения CIA и CIW терригенных пород и цикадофитового индекса (ЦИ)

Свита	Псаммиты		Алевропелиты		ЦИ [3]
	CIA	CIW	CIA	CIW	
Талынджанская $J_3 tl$	53,2	61,5	–	–	90
Дубликанская $J_3 db$	59,6	76,3	75,2	87,2	138
Солонийская $K_1 sl$	57,9	67,7	–	–	111
Чагдамынская $K_1 \check{c}g$	56,4	63,1	–	–	84
Чемчукинская $K_1 \check{c}m$	57,7	69,5	–	–	99

Рис. 4. Графики изменения средних значений индексов от поздней юры (талынджанская свита, $J_3 tl$) к раннему мелу (чемчукинская свита, $K_1 \check{c}m$). В данном возрастном интервале $J_3 t - K_1 \check{c}m$ алевропелиты были отобраны только из дубликанской свиты ($J_3 db$), поэтому их средние значения CIA и CIW на рисунке отображаются единичными точками. Примечание. Значения CIA и CIW всегда меньше 100. Все графики иллюстрируют, что наиболее теплый период был в дубликанское время

позволило В.А. Красилкову сделать следующее заключение: «Поскольку в мезозойских флорах низких широт больше цикадофитов, чем в высоких, изменение цикадофитового индекса указывает на потепление в дубликанское время, прогрессирующее похолодание в ургальское и чагдамынское и затем некоторое потепление в чемчукинское время. Такой ход событий подтверждается сменой доминирующих видов гинкговых и чекановских» [3, с. 47]. По значениям исследуемых индексов ЦИ, CIA и CIW (табл. 2) были построены совместные графики. Тренды графиков наглядно показывают синхронность палеоклиматических изменений (рис. 4).

Выводы

1. Реконструкции позднеюрского и раннемелового климата на основе данных о содержании породообразующих элементов в терригенных породах ББ сопоставимы с аналогичными реконструкциями на основе изучения флоры.

2. Использование литохимических данных терригенных пород позволяет сделать не менее достоверные (по сравнению с флористическими данными) заключения о характере палеоклимата и уверенно при-

менять CIA и CIW на других объектах, где нет находок флоры.

Автор выражает благодарность Г.Л. Кирилловой за консультации, замечания и рекомендации, которые помогли в написании статьи. Автор признателен Л.В. Яхно, Т.Л. Карповой, Г.М. Выхованец за помощь в оформлении графики, Л.Д. Песковой – за английский перевод.

Список литературы

1. Атлас мезозойской морской фауны Дальнего Востока России / И.И. Сей, Т.М. Окунева, Т.Д. Зонова, Е.А. Калачева. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – 34 с.
2. Буреинский осадочный бассейн: геолого-геофизическая характеристика, геодинамика, топливно-энергетические ресурсы / отв. ред. Г.Л. Кириллова (Серия «Осадочные бассейны Востока России») / гл. ред. А.И. Ханчук; т. 4. – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 360 с.
3. Красилов В.А. Палеоэкологический метод корреляции континентальных толщ. Бюллетень Моск. о-ва исп. природы, отд. геологии. – 1973. – Т. XLVIII (4). – С. 37–50.
4. Маркевич В.С., Бугдаева Е.В. Позднеюрско – раннемеловые растения – углеобразователи Буреинского бассейна (Российский Дальний Восток) по Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2014. – Т. 22, № 3. – С. 14–30.
5. Роганов Г.В., Кириллова Г.Л., Кирьянова В.В., Литвиненко Н.Д. Состав и биота переходных юрско-меловых отложений в эпиконтинентальных бассейнах Приамурья по Тихоокеанская геология. – 2005. – № 4. – С. 3–23.
6. Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering. Sedimentary Geology. – 1988. – № 55. – P. 319–322.
7. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature. – 1982. – Vol. 299. – P. 715–717.