

УДК 577.47 : 551.763 : 550.4(571.511)

В. А. ЗАХАРОВ, И. Н. РАДОСТЕВ

## СОЛЕННОСТЬ ВОД РАННЕМЕЛОВОГО МОРЯ НА СЕВЕРЕ СРЕДНЕЙ СИБИРИ ПО ПАЛЕОБИОГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

При биогеохимическом анализе раковин устриц *Liostrea anabarensis* Bodyl. из раннемеловых отложений на севере Сибири (Хатангская впадина) получены следующие значения палеосолености: для мористых обстановок раннего берриаса — 35%, для прибрежно-морских обстановок валанжина — около 32%, для лагунно-морских обстановок раннего готерива — 31%.

До недавнего времени о солёности палеобассейнов можно было судить только по комплексу литологических и палеоэкологических данных. Комплексный литолого-палеоэкологический метод оказался чрезвычайно эффективным при реконструкции обстановок бассейнов геологического прошлого [1, 5, 6]. Однако этот классический метод позволяет оценить лишь качественную сторону условий осадконакопления. Количественные характеристики солёности, не говоря уже о соотношении отдельных элементов в водах мезозойских и более древних бассейнов, не могут быть определены этим методом, поскольку выделение комплекса морских стеногалинных организмов в мезозое еще не дает основания проводить аналогию между солёностью мезозойского и современного Мирового океана.

Стремление получить количественные характеристики палеосолёности стимулировало поиски определенных геохимических критериев. Исследованию подвергались современные, главным образом глинистые и карбонатные, осадки и карбонатные раковины бесозоночных с целью выявления корреляций между содержанием элементов в водах и в веществе, сформировавшемся в этих же водах. Наиболее устойчивые связи были установлены для Mg, Ca, Na, K, Sr, Mn, B, Fe,  $C_{org}$ , Cl. На основании изучения этих связей в отдельных типах осадков и раковинном веществе организмов было предложено несколько геохимических и биогеохимических методик определения палеосолёности [2, 5, 9, 11—13, 16—18].

*Методика исследования.* Метод множественной регрессии для определения палеосолёности был применен в 1961 г. Ракером и Валентайном [14, 15]. Исследуя раковины устриц *Crassostrea virginica* в водах с известной солёностью (13—30,5‰) с атлантического побережья Северной Америки, авторы выявили довольно четкую зависимость между значениями  $Na/Mg+Sr$  и  $Na/Mn$  в раковинах и величиной солёности. Определив содержание Mg, Sr, Mn, Na, Cu, Ba в 71 раковине *C. virginica*, они установили, что содержание  $Mg+Sr$  и Mn обратно пропорционально солёности, а Na с возрастанием солёности в общем увеличивается. При этом ни скорость роста, ни возраст, ни внутривидовые различия устриц не влияют на концентрации элементов в раковинах. Солёность вод с помощью описанного метода устанавливается в преде-

## Соотношения элементов Mg, Sr, Mn, и Na в раковинах современных устриц в связи соленостью воды

№ пунктов отбора проб*	Исследованные виды	Средне- довая со- леность, ‰	Содержание, %				Na Mg+Sr +Mn
			Mg	Sr	Mn	Na	

## Атлантическое побережье Северной Америки [14]

1	Crassostrea virgini- nica	29,4	0,206	0,141	0,004	0,323	0,92
2		13,2	0,218	0,165	0,012	0,206	0,52
3		19,2	0,213	0,147	0,006	0,282	0,77
4		30,4	0,207	0,126	0,003	0,317	0,94
5**		?	0,274	0,114	0,008	0,260	—
6		25,0	0,197	0,149	0,002	0,257	0,74
7		30,0	0,196	0,157	0,005	0,326	0,91
8		13,7	0,239	0,118	0,005	0,209	0,58
9		17,4	0,196	0,155	0,023	0,215	0,57
10		13,3	0,222	0,143	0,007	0,284	0,76
11		18,2	0,216	0,164	0,004	0,319	0,83

## Западное побережье Японского моря, о. Попова

1	Crassostrea gigas	31,1***	0,510	0,100	0,003	0,780	1,27
2		32,7	0,210	0,040	0,040	0,670	2,31
3		32,7	0,200	0,160	0,003	0,840	2,31
4		33,0	0,180	0,040	0,050	0,670	2,48

\* Точную привязку см. в [14].

\*\* Данные по этому пункту не подсчитывались.

\*\*\* Цифры солености — усредненные данные многократных измерений, взятые из [7] и [1]. Однако поскольку отсутствует точная привязка и не проводилось непосредственных измерений солености, эти цифры в некоторой степени условны.

лах довольно большой стандартной ошибки. Так, по ископаемым раковинам *C. virginica* была установлена соленость вод ( $12,5 \pm 5,3\%$ ) в заливе Мобиле для сангамонского времени.

Метод Ракера и Валентайна нами несколько видоизменен. Учитывая положительную корреляцию между  $Na/Mg+Sr$  и  $Na/Mn$ , можно изменить указанные отношения на  $Na/Mg+Sr+Mn$ . Это позволяет перейти от зависимости, выраженной множественной регрессией, к простой линейной. Данные Ракера и Валентайна были пересчитаны нами для суммы элементов. Коэффициент корреляции, вычисленный для нового отношения, оказался выше (+0,71), чем в исходном случае (+0,533) [14]. Полученные отношения приводятся в табл. 1 вместе с соответствующими значениями солености. Эти отношения использованы для построения графика корреляции их с соленостью (рис. 1). Верхняя полая часть

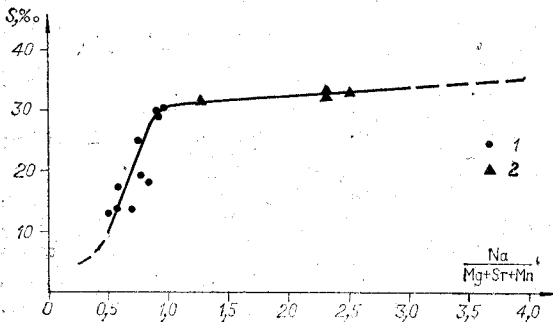


Рис. 1. График зависимости содержания Na, Mg, Sr и Mn в раковинах устриц от солености среды их обитания.

1 — по *Crassostrea virginica*, 2 — по *C. gigas* (см. табл. 1).

линии регрессии была построена нами на основании анализов раковин устрицы *Crassostrea gigas* из Японского моря. (Этот вид очень близок к *C. virginica* и обитает в приблизительно сходных гидрологических условиях.) Плогость линии уменьшает стандартную ошибку при определении солености (не более 1,013% по сравнению с крутой частью линии (до 6,75%

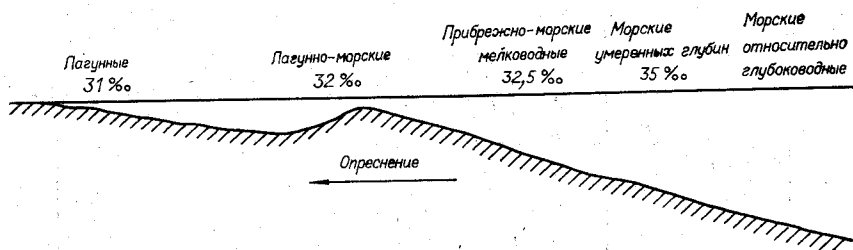


Рис. 2. Схема обстановок раннемелового моря Хатангской впадины. Цифры — усредненные значения палеосолёности по результатам геохимического исследования раковин устриц.

Палеосолёность раннемелового моря Хатангской впадины определялась нами двумя способами: по графику линейной регрессии (рис. 1) и по формулам статистики. На графике каждому отношению  $Na/Mg+Sr+Mn$  соответствует определенная величина солёности. Поскольку обобщенная линия регрессии представляет собой совокупность двух регрессий, она описывается двумя формулами. Крутая часть графика (интервал отношений 0,5—0,9) выражается формулой линейной регрессии:  $S=43,0921 Na/Mg+Sr+Mn-10,1536$ , где  $S$  — солёность в ‰. Эта формула позволяет определять солёность в пределах 13—30‰ с довольно большим стандартным отклонением (до 6,75‰). По-видимому, распределение величин концентраций элементов в раковинах устриц в этих пределах солёностей более точно описывается множественной регрессией, поскольку стандартные ошибки определений у Ракера и Валентайна не превышают 5,3‰. [14].

Пологая часть графика ( $Na/Mg+Sr+Mn > 0,9$ ) описывается формулой  $S=28,8273+1,6681 Na/Mg+Sr+Mn$ . Величины расхождения между солёностью, вычисленной по формуле и определенной по графику, не превышают 0,5‰, что составляет не более 1,6‰. (рис. 3). Таким образом, для оперативного определения палеосолёности вполне достаточно эмпирического графика (рис. 1). Более простой и быстрый графический метод одновременно обеспечивает высокую точность определений палеосолёности.

Материалом для исследования послужили раковины одного вида устриц — *Liostrrea anabarensis* Bodyl. — из нижнемеловых отложений южного борта Хатангской впадины [3]. Непрерывный разрез берриаса, валанжина и нижнего готерива представлен чередующимися преимущественно глинистыми, алевритовыми и песчаными породами [4, 8]. Устрицы встречаются только в алевритово-песчаных разностях. Из 14 слоев было отобрано 19 раковин. Из каждого образца были приготовлены валовые пробы, подвергнутые затем химическому и количественному спектральному анализу на Na, Mg, Sr и Mn. (Так же анализировались и современные *S. gigas*.) При анализе проводился 10-процентный контроль, которым установлено, что ошибка определений не превышает 20%. По результатам анализов были подсчитаны величины  $Na/Mg+Sr+Mn$ , после чего по графику рис. 1 и формулам статистики были определены значения палеосолёности (табл. 2).

Условия постановки работ и принятые допущения. На севере Средней Сибири устрицы встречаются почти по всему разрезу морских отложений юры и нижнего мела. Для палеобиогеохимических исследований были выбраны нижнемеловые отложения, наиболее детально изученные литолого-геохимическими и палеоэкологическими методами. В результате этих исследований построены качественные модели раннемелового моря Хатангской впадины на разных этапах его существования. Выявлены качественные характеристики абиотических факторов среды конкретных участков палеобассейна в берриасе, валанжине и раннем готериве [5, 6]. Установлено, что в берриасе существовали ти-

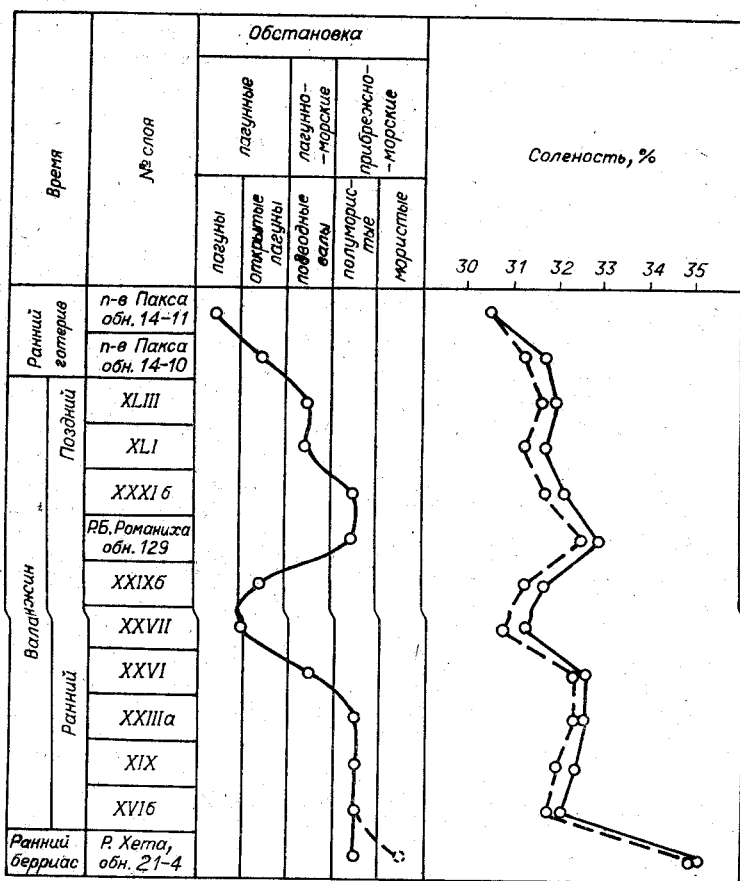


Рис. 3. График, иллюстрирующий соответствие качественных и количественных характеристик процесса гидрохимической эволюции Хантагского раннемелового бассейна.

Кривая слева, построенная по литолого-палеоэкологическим данным [5, 6] и данным качественных оценок этого процесса; кривые справа, построенные по данным биогеохимических анализов: пунктирная — по вычислениям, сплошная — по графику. Римские цифры — номера слоев в опорном разрезе неокома на р. Боярке [4].

пично морские обстановки: относительно глубоководные, умеренных глубин и мелководные. На прибрежных участках валанжинского моря в результате начавшейся в конце берриаса регрессии преобладал неустойчивый гидродинамический режим; прибрежно-мелководные морские сменялись иногда обстановками подводных песчаных валов и, вероятно, лагунно-морскими. Настоящие лагуны были особенно характерны для раннеготеривского времени [5, 6].

Таким образом, эволюция гидрохимического режима раннемелового бассейна на севере Средней Сибири представляется как направленный процесс в сторону опреснения. К такому заключению исследователи пришли на основании комплекса литолого-геохимических и палеоэкологических данных. Принципиальная схема фаций раннемелового моря показана на рис. 2.

Использование принятой в работе биогеохимической методики по определению палеосолености предполагает следующие допущения:

1) накопление Na, Mg, Sr и Mn в раковинах *Crassostrea virginica* с атлантического побережья Северной Америки и в раковинах *S. gigas* с западного побережья Японского моря связано с соленостью вод функциональной зависимостью линейной регрессии;

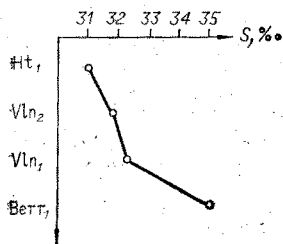


Рис. 4. Генерализованная кривая солености раннемелового моря Хатангской впадины по данным геохимического исследования раковин устриц.

вого моря Хатангской впадины от берриаса к раннему готериву (рис. 4).

Несмотря на хорошую корреляцию между палеоэкологическими и палеобиогеохимическими данными, ее не следует переоценивать. Э лишь первый опыт подобных исследований мезозойских морей на севере СССР. Для более убедительных выводов следует увеличить число анализов и охватить ими большую площадь.

Изложенный материал позволяет сделать следующие выводы:

1. На основании биогеохимического анализа раковин устриц *Liostrea anabarensis* Bodyl. и нижнемеловых отложений на севере Средней Сибири получены значения солености раннемелового бассейна в пределах от 30,5 до 35‰.
2. Количественные характеристики в большинстве случаев согласуются с данными ранее выполненных комплексных литолого-геохимических и палеоэкологических исследований. Это позволяет утверждать, что абсолютная величина солености и соотношения Na, Mg, Sr и Mn в раннемеловом море на севере Сибири были близки к таковым в современном Мировом океане.
3. Поскольку палеобиогеохимические методы находятся в стадии становления и экспериментальной проверки, они не могут быть использованы для заключений о палеосолености в отрыве от других методов. Эти методы могут совершенствоваться лишь при комплексных исследованиях бассейнов геологического прошлого. Только в случае хорошего соответствия результатов палеоэкологических исследований и палеобиогеохимических данных последние могут рассматриваться как весьма достоверные.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Геккер Р. Ф., Осипова А. И., Бельская Т. Н. Ферганский залив палеогенового моря Средней Азии, кн. II. М., Изд-во АН СССР, 1962.
2. Грамберг И. С., Спиро Н. С. Опыт использования геохимических данных для корреляции и фациального анализа пермских отложений Хатангской впадины. В кн. Сб. статей по геохимии осадочных пород, 1959 (Тр. НИИГА, т. 98, вып. 1).
3. Захаров В. А. Позднеюрские и раннемеловые двустворчатые моллюски севера Сибири и условия их существования (отряд Anisomyaria). «Наука», 1966.
4. Захаров В. А. Позднеюрские и раннемеловые двустворчатые моллюски севера Сибири и условия их существования (сем. Astartidae). «Наука», 1970.
5. Захаров В. А., Юдовный Е. Г. Условия осадконакопления и существования фауны в раннемеловом море Хатангской впадины. Тр. ИГиГ СО АН СССР, 1974, вып. 80.
6. Захаров В. А., Санин В. Я. и др. Зональное расчленение, литолого-геохимическая и палеоэкологическая характеристика нижнемеловых отложений северной части п-ва Пакса, Анабарский залив (север Средней Сибири). Тр. ИГиГ СО АН СССР, 1974, вып. 267.
7. Муромцев А. М. Основные черты гидрологии Тихого океана. Гидрометеиздат, 1958.
8. Сакс В. Н., Басов В. А. и др. Стратиграфия верхнеюрских и нижнемеловых отложений Хатангской впадины.— В кн.: Стратиграфия и палеонтология мезозойских отложений севера Сибири. «Наука», 1965.
9. Спиро Н. С. Поглощенный комплекс морских отложений. В кн. Сб. статей по геохимии осадочных пород, 1969 (Тр. НИИГА, т. 161, вып. 4).
10. Степанов В. Н. (ред.). Основные черты геологии и гидрологии Японского моря. М., Изд-во АН СССР, 1961.
11. Страхов Н. М., Залманзон Э. С., Глаголева М. А. Очерки геохимии верхнепалеозойских отложений гумидного типа. (Опыт фациально-геохимического исследования). Тр. ГИН АН СССР, 1959, вып. 23.

12. Frederickson A. F., Reynolds R. C. How measuring paleosalinity aids exploration. *Oil and Gas Y.*, 1960, № 5.
13. Keith M. L., Degens E. T. Geochemical indicators of marine and fresh-water sediments. In: *Researches in geochemistry* — Ed. by P. H. Abelson. New York, 1959.
14. Rucker J. B., Valentine J. W. Salinity response of trace element concentration in *Crassostrea virginica*. «*Nature*», 1961, v. 190, № 4781.
15. Rucker J. B., Valentine J. W. Paleosalinity prediction using trace-element concentration on oyster shells. *Geol. Soc. Amer., Spec. Papers*, 1961, v. 68.
16. Walker C. T. Separation techniques in sedimentary geochemistry illustrated by studies of boron. «*Nature*», Lond., 1962, v. 164.
17. Walker C. T. Paleosalinity in upper viséan Yoredale Formation of England — geochemical method for locating porosity. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 1964, v. 48, № 2.
18. Weber J. N. Chloride ion concentration in liquid inclusions of carbonate rocks as a possible environmental indicator. *J. Sediment. Petrol.*, 1964, v. 34.

*ИГГиГ СО АН СССР*  
Новосибирск

*Поступила в редакцию*  
29 мая 1974 г.

---

**V. A. Zakharov and I. N. Radostev**

**SALINITY OF EARLY CRETACEOUS SEA WATER**  
**IN THE NORTH OF CENTRAL SIBERIA**  
**BY PALEOBIOGEOCHEMICAL DATA**

Biogeochemical analysis of the shells of the oysters *Liostrea anabarensis* Boydl. from the Early Cretaceous deposits recovered in Northern Siberia (Khatanga depression) provided the following paleosalinity values for the Early Berriassian morene environment 35%, for littoral-marine environment of Valangin time around 32%, for lagoon-marine environment of Early Gotterivian around 31%.

---