

А. О. Кравчук

ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ НА МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И МОРФОЛОГИЮ РАКОВИН БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР В ШЕЛЬФОВОЙ ОБЛАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ



(Рекомендовано чл.-кор. НАН Украины А. Ю. Митропольским)

Розглянуто застосування бентосних форамініфер для оцінки геоекологічної обстановки на шельфі Чорного моря. Вперше для біоіндикації середовища рекомендовано вивчення мінералоутворюючих функцій форамініфер.

The article is devoted to application of the benthic foraminifera for an evaluation of an geoeological situation on a north-west shelf of the Black Sea. For the first time analysis of mineralogical functions of the foraminifera is recommended for bioindication of environment.

В последние десятилетия при оценке качества морской среды получили распространение различные системы биоиндикации и биотестирования. К наиболее перспективным мониторам загрязнения донных отложений относятся бентосные фораминиферы, для которых характерна повышенная чувствительность к изменению условий обитания.

Отклонение в морфологии раковин фораминифер относятся к интегральным признакам влияния абиотических факторов. Универсальность этого метода биоиндикации обусловлена тем, что почти все нарушения развития организмов (генетические, физиологические, биохимические, иммунологические) связаны с изменением морфогенетических показателей. Появление нарушений контролируют как отдельные параметры, так и общая направленность геохимических процессов. По данным Л. Ш. Давиташвили [4], эти изменения характерны для аберрантных биотопов – участков экологических областей со значительным отклонением от условий на смежных пространствах.

Разнообразие морфологических изменений фораминифер в загрязненной среде подтверждено многими исследователями. Главным аргументом для генетического обоснования специфических нарушений служит пространственная связь возрастания аномально развитых раковин с ареалами загрязнения. Наряду с этим, некоторые авторы [7] повторяют тезис Дж. Кешмена [5] о зависимости морфологических аномалий от гипосолености вод Черного моря. Эти выводы лишь частично отражают роль средообразующих природных факторов для современного состояния бассейна.

По данным сканирующей электронной микроскопии, в бентосных фораминиферах северо-западного шельфа нами определены девять типов морфологических нарушений: отклонение от нормального типа камер и размера (1); наличие

недоразвитых камер (2); нарушение навивания камер (3); дополнительные камеры (4); отсутствие скульптуры (5); вздутие камер в виде тератомы или “опухоль” (6); многочисленные отверстия (7); неровный киль (8); двойникование типа “сиамских близнецов” (9). Преобладающим типом морфологических аномалий является наличие недоразвитых камер и тератом (“опухоль”, вздутий трех последних камер). Часто в одной раковине наблюдается несколько морфологических нарушений. Практически все морфологические нарушения определены для эврибионтного вида *Ammonia tepida*.

Для количественной оценки отклонений от нормального роста раковин автором применен анализ изображения фораминифер с помощью полярной сетки Болдырева. Преобразование полярной системы координат в прямоугольную диаграмму упрощает оценку развития организмов. Этот методический прием обеспечивает обнаружение даже незначительных отклонений в размерах и количестве камер в раковинах, которые рассматривались как нормально развитые формы.

Некоторые морфологические аномалии различаются по действию природных и техногенных факторов. Снижение солености морских вод влияет на слабую кальцификацию и механическое повреждение слабо отвердевших камер фораминифер. “Злокачественная эвтрофикация” сопровождается появлением слабокислой среды в донных осадках, последствием чего является декальцификация фораминифер. Как экспериментально установлено [8], при снижении pH до 6 и прежде всего растворяются тонкие последние камеры. Относительную устойчивость к растворению сохраняют лишь интерлокулярные стенки.

Дифференцированная оценка токсичного влияния тяжелых металлов и нефтепродуктов возможна на основании косвенных признаков тератогенных эффектов, которые возникают при загрязнении. Например, на Днестровской площади нарушения морфологии отмечено для 10

видов фораминифер при аномальном содержании жидких углеводородов в осадках (0,320 %).

Морфологические аномалии гидробионтов являются последствием влияния токсикантов на развитие биоминерализации. Мобильные формы тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb) поступают в Черное море с речным стоком, мигрируют за границы приустьевых барьерных зон и накапливаются в карбонатном веществе осадков. Механизм концентрирования токсикантов включает фиксацию в минеральном веществе и органической матрице раковин.

Раковины бентосных фораминифер представляют собой типичные биоминеральные агрегаты, в строении которых участвует органическое и минеральное вещество. Твердая фаза в секреторных фораминиферах образуется при минерализации органической матрицы. Органическая матрица как среда биогенного минералообразования служит первичным концентратором вещества, включая токсические соединения. Примесные компоненты могут блокировать активные центры минерализации, что влияет на направления роста и размеры кристаллитов, а в ряде случаев нарушает минералогическую специализацию организма.

По данным Ю. А. Борисенко [1], органическая матрица способна программировать различные типы биоминерализации и при изменении условий ее состав может отличаться от генетически обусловленного. Большинство фораминифер образует мономинеральный экзоскелет кальцитового состава. Предполагается, что появление арагонита контролируется активной ролью изоморфных замещений и нарушением функций органической матрицы в загрязненной среде. Д. К. Возняк, Ю. А. Галабурда, А. А. Кульчецкая [3] считают, что формирование арагонита зависит от аминокислотного и микроэлементного состава органического вещества, а также от наличия углеводородов нефтяного ряда.

Наряду с этим, многими авторами отмечается прямая зависимость минералообразующих функций морских организмов от физиологических особенностей родовых сообществ, а не от разнообразных факторов среды (солености морской воды, индуцирующего влияния ионов стронция на появление арагонита, соотношения Mg и Ca в водных растворах) [6].

Для решения дискуссионных вопросов нами проведен фазовый анализ минеральной составляющей раковин фораминифер, отобранных автором в различных районах шельфовой области Черного моря. Анализ 20 образцов проведен на рентгеновском диффрактометре ДРОН-3. Учитывая трудности получения больших навесок материала, мы выделили три группы проб:

- образцы нормально развитых раковин

Ammonia tepida, *Elphidium ponticum* (ст. 12, полигон 981);

- образцы этих же форм с нарушением развития (ст. 12, полигон 981);
- остальные образцы представляли собой смесь фораминифер без группировки по морфологическим признакам.

Установлено, что в карбонатном веществе фораминифер преобладает стехиометрический кальцит, который выделяется на дифрактограмме по интенсивному рефлексу 0,3031–0,3036 нм. Стойкие рефлексы кальцита в раковинах *A. tepida* (0,3035–0,3036 нм) не зависят от степени морфологических изменений. Раковины с аномальной морфологией отличаются осложнением дифракционного спектра, что отвечает возрастанию примесных фаз. В этих случаях усиливается рефлекс 0,3337–0,3348 нм, имеющий диагностическое значение для кварца. Присутствие кварца свидетельствует о захвате механических примесей, связанном с дезорганизацией структуры стенок раковины и нарушением минералообразующих функций фораминифер.

Количество примесных компонентов согласуется со степенью морфологических нарушений в раковинах исследуемых организмов. В этом, по нашему мнению, заключается возможность минералогического контроля уровней проявления тератогенных реакций фораминифер в загрязненной морской среде.

В ряде случаев на дифрактограммах отмечены отдельные рефлексы арагонита, образование кластеров которого на стенках раковин фораминифер может иметь наложенный характер и быть предположительно связано с деятельностью бактерий. Вероятность этого процесса отмечена В. Х. Геворкьяном (устное сообщение).

Таким образом, пороки развития бентосных фораминифер относятся к проявлениям патологических изменений организмов в загрязненных районах Черного моря. Прежде всего нарушения физиологических функций фораминифер отражено в дезорганизации минералообразующих функций и захвате органической матрицей механических примесей (псевдоагглютинация). Наряду с этим, независимо от степени поражения, сохраняется устойчивость генетически программируемого образования кальцита стехиометрического состава.

1. Борисенко Ю. А. Двомінеральність черепашок молюсків: екологічна чи систематична ознака? // Мінерал. зб. – 1991. – № 45, вип. 1. – С. 45–47.
2. Васильев Е. К., Васильева Н. П. Рентгенометрический определитель карбонатов. – Новосибирск: Наука, 1980. – 143 с.
3. Возняк Д. К., Галабурда Ю. А., Кульчецкая А. А. Мінералоутворення та його органічні сполуки // Мінерал. зб. – 1991. – № 45, вип. 1. – С. 33–36.

4. Давиташвили Л. Ш. Изменчивость организмов в геологическом прошлом. – Тбилиси: Мнецниереба, 1970. – 255 с.
5. Кеишмен Д. Фораминиферы: Пер. с англ. – М.-Л.: ОНТИ, 1933. – 459 с.
6. Кудрин Л. Н., Мельников В. С., Йорыш З. И., Тымчишин Я. Д. О минеральном составе и строении ископаемых и современных раковин и скелетов морских организмов // Минерал. сб. – 1964. – № 18, вып. 2. – С. 231–235.
7. Geslin E., Debenay J.-P., Lessourd M. Abnormal texture in the wall of deformed tests of *Ammonia* (Hyaline foraminifer) // J. Foraminiferal Res. – 1998. – № 28 (2). – P. 1–17.
8. Le Cadre V., Debenay J.-B., Lessourd M. Low pH effects on test deformation: Implications for studying test deformation as a pollution indicator // The Second Intern. Conference "Application of Micro- and Meioorganisms to Environmental Problems". – Winnipeg (Canada), 2000. – P. 74–75.

Палеонтол. музей
Одес. нац. ун-та,
Одесса

Статья поступила
29.06.04