

ОЦЕНКА РОЛИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В СЕДИМЕНТАЦИИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ГЕОХИМИЧЕСКИ РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ОКЕАНА

Л.Л. Демина

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, l_demina@mail.ru

Живое вещество океана характеризуется рядом важных геохимических функций, главнейшими из которых служит трансформация химического состава морской воды и концентрирование химических элементов (Вернадский, 1923). Как известно, в первичные продуценты — фитопланктон и фитобентос — ассимилируют преимущественно растворенные формы элементов, тогда как сообщества более высоких трофических уровней (зоопланктон, зообентос, nekton) наряду с раствором поглощают коллоидные и взвешенные формы. Формируя вертикальные потоки осадочного материала в морях и океанах, живые организмы служат важнейшими участниками седиментационных процессов (Лисицын, 1978, 1994, 2004).

Нам удалось показать, что интенсивность биогеохимических процессов определяется, помимо содержания металлов в биомассе организмов, еще и такими биологическими параметрами, как биомасса организмов и динамика жизненных циклов сообществ (Демина, 2011; Демина, Лисицын, 2013). Наши данные показывают, что биопоглощение металлов и высокая интенсивность биопродуцирования в эуфотической зоне океана приводят к ускорению геохимической миграции металлов: продолжительность биологических циклов металлов в составе фитопланктона в 10 (Mn и Fe) до более чем в 1000 (Cu, Ni, Cd) раз меньше, чем время их пребывания в океане (Демина, Лисицын, 2013).

В гидротермальных высокотемпературных биотопах Срединно-Атлантического хребта (САХ) по численности и биомассе доминируют биосообщества двустворчатых моллюсков-симбиотрофов, *Bathymodiolus spp.*, функционирующих на основе хемосинтеза. Они характеризуются наибольшей биомассой, которая в расчете на целый организм (т.е. суммарно для мягких тканей вместе с раковинами) достигает 60 кг/м² (Демина, Галкин, 2010), что в десятки раз больше, чем в прибрежных районах, и в тысячи раз выше, чем в фоновых районах пелагиали океана, где средняя биомасса донных животных обычно составляет около 2 г/м² (Зенкевич и др., 1971). Концентрационная функция гидротермальных симбиотрофных моллюсков (в расчете на целый организм), изученная нами ранее для пяти разных полей Срединно-Атлантического хребта (САХ), проявляется в эффективном извлечении (с коэффициентом накопления от 10² до 10⁵) из воды не только биогеохимически важных металлов (Fe, Cu, Zn, Co), но и таких токсичных металлов, как Hg, Ag, Pb и Cd (Демина, 2010).

Отметим, что геохимические барьерные зоны маргинального фильтра (Лисицын, 1994) и глубоководных гидротермальных полей океана характеризуются сопоставимо высокими биомассами, которые измеряются несколькими десятками кг на квадратный метр биотопа.

Интересно сопоставить интенсивность процессов биоаккумуляции металлов в геохимически различных областях океана: 1) маргинальном фильтре, эуфотическом слое и пелагиали открытого океана, где энергетическим источником биогеохимических процессов служит фотосинтез, и 2) глубоководных гидротермальных полях, доминантные сообщества которых функционируют на основе хемосинтеза. Отметим, что по нашим данным, различия между средними медианными содержаниями каждого из микроэлементов (мкг/г сух. веса целого организма) в донной фауне открытого океана, обитающей в фоновых глубоководных областях Атлантики, и на гидротермальных полях САХ не превышают одного порядка величин (Демина, Лисицын, 2013). Если мы рассмотрим данные, которые характеризуют интенсивность процессов биоаккумуляции металлов, в частности, массы микроэлементов, поглощаемых интегральной биомассой сообществ на единице площади биотопа (ΣM био, мг/м²), то получим более интересные результаты.

В таблице приведены данные по массам тяжелых металлов, поглощаемых интегральной биомассой доминирующих сообществ на единице площади биотопа. Из нее можно видеть, что наименьшей интенсивностью биоаккумуляции тяжелых металлов обладает донная фауна пелагиали океана, где накопление металлов не превышает 0,35 мг/м² биотопа (Fe), а для большинства остальных металлов — менее 0,01 мг/м² биотопа; напомним, что биомасса бентоса здесь также минимальна.

Массы микроэлементов (мг/м² биотопа), поглощаемых биомассой сообществ, обитающих в геохимически различных областях океана

Металл	Маргинальный фильтр	Эуфотическая зона океана	Пелагиаль океана	Глубоководная гидротермаль САХ
Mn	470	6,3	0,092	894
Fe	9128	105	0,35	63060
Co	19,4	0,5	0,005	258
Ni	78,5	1	0,012	1092
Cu	102	6,3	0,046	4272
Zn	656	24,7	0,128	17100
As	7,8	5,7	0,005	2142
Cd	7,1	0,3	0,002	142
Pb	87	4,19	0,011	1013

В эуфотической зоне океана в биомассе фитопланктона накапливаются примерно в 100 раз большие массы каждого из металлов по сравнению с донной фауной пелагиали. Еще более интенсивное накопление большинства металлов, от 10 до 90 раз превышающее таковое для фитопланктона эуфотической зоны открытого океана, происходит в интегральной биомассе маргинального фильтра. Однако предельно высокая интенсивность аккумуляции металлов обнаружена нами в биомассе донной фауны высокотемпературных гидротермальных полей САХ, где накапливается от 142 (Cd) до 63060 (Fe) мг/м² биотопа. Интенсивность накопления металлов донной фауной глубоководной гидротермали в 10⁴–4·10⁵ раз выше, чем фоновой донной фауной пелагиали, хотя среднее содержание исследуемых металлов (кроме Mn) в последней в 2–6 раз ниже, чем в гидротермальном бентосе. Марганец, показывающий близкие с Fe концентрации в гидротермальных флюидах, обладает пониженной способностью биоаккумуляции в гидротермальных животных, по-видимому, вследствие пониженной (по сравнению с Fe) доли биодоступных форм в воде. Можно предположить, что в процессе миграции из гидротермальных флюидов происходит разделение Fe и Mn в воде гидротермальных биотопов (Демина, 2010), обусловленное, вероятно, различиями в кинетике их окислительно-восстановительных процессов.

В фауне гидротермали отмечается от двух до двадцати пяти раз более высокая интенсивность биоаккумуляции тяжелых металлов по сравнению с маргинальным фильтром,

при этом оба эти района характеризуются сопоставимо высокими биомассами.

Таким образом, оценка интенсивности биоаккумуляции тяжелых металлов, при которой учитывается не только содержание элементов в организмах, но и биомасса на единице площади биотопа, дает наиболее четкое представление о роли живого вещества в современных седиментационных процессах. Основная причина различий в интенсивности накопления металлов в разных районах океана, обусловлена, надо полагать, не только различиями в содержаниях тяжелых металлов в разных биосообществах, но и различиями в величинах биомассы.

Сравнительная оценка абсолютного (т.е. в биомассе на единицу площади биотопа) биопоглощения металлов сообществами, обитающими в различных геохимических обстановках (маргинальный фильтр, эуфотическая зона и пелагиаль открытого океана и глубоководные гидротермальные поля), показала, что донная фауна гидротермалы обладает наибольшей интенсивностью биоаккумуляции для каждого из исследованных металлов: в десятки раз превышающей таковую в маргинальном фильтре, в сотни раз — в эуфотической зоне и в несколько десятков тысяч раз — в пелагиали океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ведущих научных школ НШ-618.2012.5, а также РФФИ, проект № 11-05-01118а.

Литература

- Вернадский В.И.* Живое вещество в химии моря. Петербург. 1923. 217 с.
- Демина Л.Л.* О концентрационной функции донной фауны гидротермальных областей океана // ДАН. 2010. Т. 430, № 1. С. 114–118.
- Демина Л.Л.* К оценке роли глобальных биологических фильтров в геохимической миграции микроэлементов в океане. Маргинальный фильтр океана // ДАН. 2011. Т. 439, № 1. С. 114–117.
- Демина Л.Л., Галкин С.В.* Полихета Альвинелла помпеяна — супертермофил и чемпион по металлам // Природа. 2010. № 8. С. 14–21.
- Демина Л.Л., Лисицын А.П.* Сравнительная оценка роли глобальных биологических фильтров в геохимической миграции микроэлементов в океане // ДАН. 2013. Т. 449, № 6. С. 710–714.
- Зенкевич Л.А., Филатова З.Н., Беляев Г.М. и др.* Количественное распределение зообентоса в Мировом океане // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1971. Т. 76. Вып. 3. С. 235–249.
- Лисицын А.П.* Процессы океанской седиментации: литология и геохимия. М.: Наука, 1978. 358 с.
- Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 735–747.
- Лисицын А.П.* Потоки осадочного вещества, природные фильтры и осадочные системы «живого океана» // Геология и геофизика. 2004. Т. 45, № 1. С. 15–48.