Литература

Конторович А.Э. и др. (1995) // *Геология и геофизика*, Т.36, №6, с. 110-126

Тимошина И.Д. *Геохимия органического вещества нефтепроизводящих пород и нефтей верхнего докембрия юга Восточной Сибири. Новосибирск, СО РАН филиал «ГЕО», 2005. 166 с.*

**ИЗОТОПНАЯ КАНАЛОМИКА ХЕМОАВТОТРОФОВ
И ЕЕ РОЛЬ В ИЗОТОПНОЙ ГЕОХИМИИ
КАК РЕГУЛЯТОРА ФОРМИРОВАНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТАЛЛОВ
И ФАКТОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ**

О.В. Градов

*Институт Энергетических Проблем Химической Физики
им. В.Л. Тальрозе, Российской Академии Наук (ИНЭПХФ РАН)
gradov@chph.ras.ru; gradov@center.chph.ras.ru*

Практически общеизвестна роль хемоавтотрофов / литотрофов в формировании месторождений и выветривании, однако результаты этой биогеохимической активности и массопереноса, опосредуемого хемоавтотрофами, кардинально различны в зависимости от ионного состава среды, солевых эффектов проводимости и диаграмм Пурбе соответствующих условий указанной активности, а также ряда иных физико-химических характеристик, часто не рассматривающихся как факторы воздействия (для упрощения моделей). Биогеохимические представления раннего периода, на которых базировались модели и кинетические подходы к анализу подобных процессов, являются, по большинству критериев, феноменологическими и «эмпирическими», но не раскрывают суть процессов, происходящих на границе среды, процессируемой микроорганизмами, и поверхности хемоавтотрофов как активных агентов, процессирующих данную среду. Между тем, с точки зрения биохимической физики (и, в частности, биологической кинетики), механизмы, реализующиеся на границе раздела фаз или в

её диффузионной окрестности, являются определяющими в таких случаях, так как ввод вещества в «микрореакторные» компартменты биологического происхождения и агрегация при биоминерализации, как правило, происходят опосредовано поверхностью биомембраны.

Из специфичности хемоавтотрофов к химически-различным средам можно коррелятивно заключить, что свойства мембраны у них также различны и, как минимум, не противоречат условиям их нахождения в природной минеральной среде. Очевидно, что это прямо связано с механизмами действия мембраны в этой среде. Любые механизмы, определяющие мембранную активность в неорганической среде, по определению, должны являться механизмами взаимодействия этой среды с мембраной, следовательно – механизмами взаимодействия структурных единиц, обеспечивающих трафик неорганических ионов сквозь мембрану (трансмембранный перенос).

Таковыми структурными единицами являются ионные каналы клетки, точнее их совокупность – т. н. каналом (Publicover, Barratt, 2012), что обеспечивает баланс переноса и специфику в кинетике мембранных процессов. Популяции ионных каналов очень чувствительны не только к окружающей среде, но и к сопряженным с электрофизиологической функцией набором параметров мембран (Labriola et al., 2013); изменение комплексной параметрики канала хемоавтотрофов приводит, с другой стороны, к изменению эффективности процессов вблизи их поверхности и, как следствие, изменению эффективности биогеохимического процессинга среды.

Отдельные условия могут не только десенситизировать каналы (Velisetty, Chakrapani, 2012), но и привести к угнетению или гибели популяций клеток хемотрофов, что, естественно, приведет к обнулению эффективности биогеохимического процессинга среды в силу нулевой эффективности ионных каналов.

Известны ионные каналы, взаимодействующие с большинством элементов и взаимодействующих с мембраной агентов в орогенезе, минералогенезе, метаморфизме (и химической тафономии, которой определяется сохранности индикативных образцов

в стратиграфии / приближенной биоморфологически-опосредованной датировке). Как примеры можно привести структуры каналомы, взаимодействующие (по разному и селективно, хотя и не всегда абсолютно) с: Fe (Behera et al., 2014), Mg (Payandeh et al., 2013), Zn (Inoue et al., 2015; Baron et al., 2001), Gd (Elinder, Arhem, 1994), La (Lewis, Spalding, 1998), Cs (Quigley, 2000), гидросульфатом (Czyzewski, Wang, 2012), не говоря об общеизвестных кальциевых, калиевых, натриевых, хлорных каналах и возможности их не абсолютной селективной регуляции отличными от номинальных ионами, соответствующими рядам заместителей и функциям селективности.

Учитывая эволюционно ранний характер и простую физико-химическую реализацию ионоселективных каналов и функций селективности, соответственно, возможно считать, что на достаточно ранних стадиях (например, соответствующих генезису и условиям происхождения джеспеллитов) могли работать каналомы автотрофов, включая не сохранившихся «проблемных» (shadow life) (Ranganathan, 1994; Pohorille et al., 2005).

Учитывая возможности изотопного фракционирования – как углерода (Galimov, 1985), так и неорганических элементов, металлов (предметы компетенции металломики или элементомики (Li et al., 2008), соответственно), в ходе биогеохимической деятельности «планетарной микробиоты», можно гарантировать участие каналомы и мембраномы литотрофов в биологическом фракционировании изотопов в ходе формирования месторождений и выветривания (предметом мембраномики (Shimanouchi et al., 2009) для данных случаев должна являться совокупность мембран популяции, взаимодействующей посредством ионных каналов и реализующей с их помощью как фильтрующую, сорбционную и биокаталитическую функцию, так и коммуникационную / координирующую массоперенос в гомогенной по некоторому параметру среде или области среды). Нами предлагается использование для целей синхронного измерения активности каналомы прокариот и результатов их биогеохимической, а также изотопно-фракционирующей деятельности техник МС-патч-клампа (Gradov, Gradova, 2015) и изотопных методов локальной фиксации потенциала (Pankratov, 2015).

Литература

- Baron A. et al. // JBC. 2001, 276(38):35361-35367.
Behera R.K. et al. // PNAS USA, 2014, 111(22):7925-7930.
Czyzewski B.K., Wang D.N. // Nature. 2012, 483(7390):494-497.
Elinder F., Arhem P. // Biophys. J. 1994, 67(1):71-83.
Galimov E.M. *The Biological Fractionation of Isotopes* // Academic Press Inc., 1985, 282 p.
Gradov O., Gradova M. // Adv. Biochem., 2015, 3, 66-71.
Inoue K. et al. // Curr. M. Chem., 2015, 22(10):1248-1257.
Labriola J.M. et al. // JBC. 2013, 288(16):11294-11303.
Lewis B.D., Spalding E.P. // J. Membr. Biol. 1998, 162(1):81-90.
Li Y. F. et al. // Pure & Appl. Chem., 2008, 80(12):2577-2594.
Pankratov S. // Adv. Biochem., 2015, 3, 96-112.
Payandeh J. et al. // Bioch. Bioph. Acta, 2013, 1828(11):2778-2792.
Pohorille A. et al. // Astrobiology, 2005, 5(1):1-17.
Publicover S.J., Barratt C.L. // J. Physiol. 2012, 590(11):2553-2554.
Quigley E.P. // J. Membr. Biol., 2000, 174(3):207-212.
Ranganathan R. // PNAS USA, 1994, 91(9):3484-3486.
Shimanouchi T. et al. // Membr., 2009, 34(6):342-350.
Velisetty P., Chakrapani S. // JBC. 2012, 287(22):18467-18477.

НОВЫЕ ДАННЫЕ ИЗОТОПНОГО ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) СОСТАВА КАЛЬЦИТИЗИРОВАННЫХ ХАРОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

Т.П. Митюшева, В.И. Каткова

ИГ Коми НЦ УрО РАН (mityusheva@geo.komisc.ru)

Исследован изотопный состав харовых водорослей из озер Южного Тимана. Харофиты *Chara contraria* A. Braun обитают в озере Черманты, вид *Chara intermedia* A. Braun – в группе озер «Параськины озера». Пробы обызвествленных харофитов и вод отобраны в 2013–2014 гг.

Измерения изотопного состава пород выполнялись в ИГ Коми НЦ УрО РАН в г. Сыктывкаре на массспектрометре Delta V Advantage, IsotopeRatio MS, аналитик И. В. Смолева. Погрешность измерения $\pm 0.1\text{‰}$ (1 σ). Определения $\delta^{18}\text{O}$, δD и $\delta^{13}\text{C}$ (HCO_3) в воде произво-