## Химия и <mark>Хи</mark>мики № 1 (2011)



## Жизнь без фосфора?



Написано немало научно-фантастических романов, где авторы «изобрели» инопланетные формы жизни, в которых роль углерода играет кремний или другие элементы периодической системы. Однако не следует думать, что для земной жизни нужен только углерод. Кроме углерода земным организмам необходим также водород, кислород, азот, сера и фосфор. Данные элементы входят в состав белков и нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), без которых невозможны все известные нам формы жизни. Но этим не ограничиваются биологические функции упомянутых элементов.

Например, фосфор содержится не только в спиралях нуклеиновых кислот и в фосфолипидах клеточных мембран (в обоих случаях – в виде остатков фосфорной кислоты). Фосфор также входит в состав молекулы АТФ – универсального переносчика энергии. Соединения фосфора составляют основу скелета позвоночных. Фосфор играет огромную роль в высшей нервной деятельности. До недавнего времени перспектива жизни без фосфора могла серьезно рассматриваться разве что в научной фантастике.

Соседом фосфора в Периодической системе является мышьяк. Не смотря на схожесть химических свойств, в биологическом отношении эти элементы ведут себя совсем по-разному: если фосфор является символом жизни, то мышьяк — символ укрощения жизни. Химическое сходство фосфора и мышьяка способно принести живым организмам немало проблем. Например, аналогами фосфатов (солей фосфорной кислоты) являются соли мышьяковой кислоты — арсенаты ( $\mathrm{AsO_4}^{3-}$ ). Как и фосфат, анион арсената имеет тетраэдрическую пространственную структуру. Арсенаты способны проникнуть в обычную живую клетку теми же путями, которые используются для транспорта фосфатов, — что вносит свой вклад в токсичность соединений мышьяка.

А возможно мышьяк все-таки способен выполнять в живых организмах те же функции, что и фосфор? Наиболее логично было бы выполнить подобные исследования на бактериях. С этой целью американские ученые приступили к поискам в водах соленого озера Моно в центральной Калифорнии. Этот водоем в некоторых участках отличается сравнительно высокими количествами мышьяка, что поступает в озеро с водами, которые постепенно растворяют минералы из окружающих озеро гор.



Озеро Моно



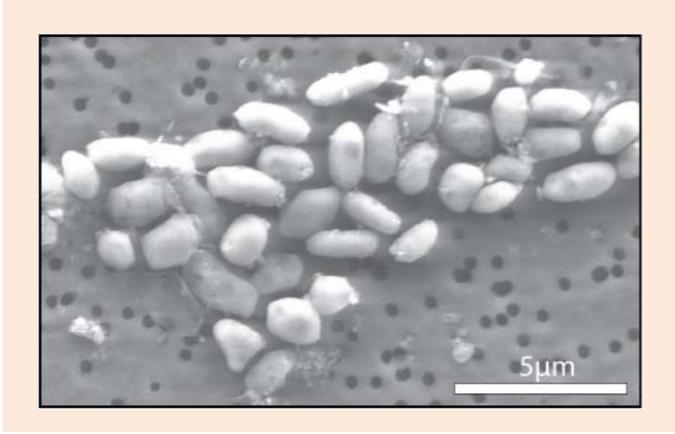
Фелиза Вольф-Симон (Felisa Wolfe-Simon) во время проведения исследований

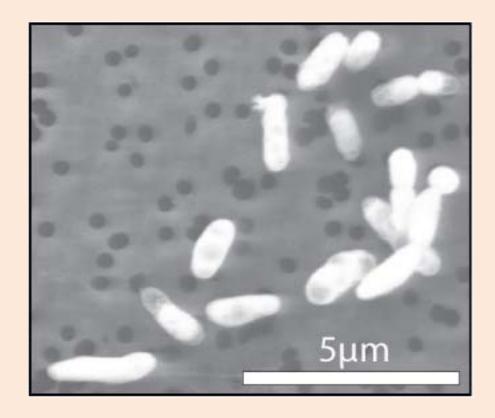
## Химия и Химики № 1 (2011)

Ученые провели отбор проб ила и культивировали их в искусственной питательной среде, в которую добавили арсенат. Постепенно, через серию разведений, они добились того, что в среде практически не осталось фосфатов. Результаты оказались неожиданными: даже в таких экстремальных условиях один вид бактерий продолжил активно расти и делиться. Данный вид относится к группе галофильных протеобактерий семейства Halomonadaceae.

Чтобы установить локализацию мышьяка в клетке, в питательную среду ввели арсенат, содержащий радиоактивный изотоп (был применен распространенный в биохимии метод меченых атомов). Мышьяк был обнаружен в клеточных белках и липидах, в метаболитах вроде АТФ, а также в нуклеиновых кислотах. Дополнительные исследования подтвердили, что мышьяк содержится в этих микробах в виде арсената, который образует те же связи с атомами кислорода и углерода, что и фосфат у обычных организмов (в том числе и в случае ДНК).

Количество и распределение обнаруженного арсената позволяет предположить, что мышьяк заместил фосфор в соответствующих соединениях. Однако ни один из проведенных экспериментов не позволяет достаточно строго подтвердить гипотезу о выполнении мышьяком той же роли, которую обычно выполняет фосфор. Все найденные доказательства этой гипотезы лишь косвенные.





Сверху – бактерии GFAJ-1, выросшие в питательной среде с арсенатом; снизу – те же бактерии, выросшие на среде с фосфатом

Ученым предстоит еще доказать присутствие арсената не только в самой клетке, но и в определенных местах важных биологических молекул (например, ДНК, РНК, АТФ). Но даже если это удастся, необходимо также продемонстрировать, что данные молекулы сохраняют структуру, активность и биологическую функциональность.

Не смотря на схожесть мышьяка и фосфора, эти элементы проявляют много химических отличий. Органические соединения мышьяка менее устойчивы, чем их аналоги среди фосфорорганических соединений. В отличие от пятивалентного фосфора, неорганические соединения пятивалентного мышьяка проявляют окислительные свойства и склонны восстанавливаться до трехвалентного мышьяка (или до простого вещества). Кроме того, замещение фосфата на арсенат может ощутимо сказаться на конформациях биологических молекул.

Таким образом, открытие поставило несравненно больше вопросов, чем дало ответов.

Источники: информация NASA и сайт журнала Nature.

http://www.nasa.gov/topics/universe/features/astrobiology\_toxic\_chemical.html http://www.nature.com/news/2010/101202/full/news.2010.645.html