

## Окружающая среда



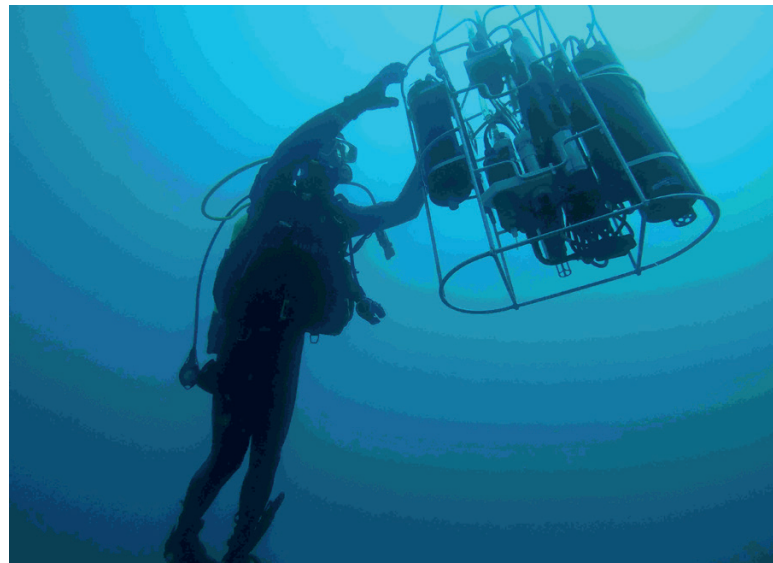
# Ядерные и изотопные методы помогают оценить подкисление океана и последствия изменения климата

### РЕЗЮМЕ

- Состояние климата определяется сложным сочетанием факторов. В океанах хранится около четверти углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), выбрасываемого в результате деятельности человека, поэтому они играют огромную роль в ограничении последствий изменения климата.
- Увеличение выбросов углерода и повышение температуры приводят к нарушению океанических процессов, что может сильно повлиять на морские экосистемы, глобальный климат, состояние береговой линии, рыболовство и туризм в прибрежной зоне.
- Чтобы понять, как может поменяться климат, нужно разобраться в том, как происходит глобальный круговорот углерода.
- Повышение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере вызывает глобальное потепление. Оно приводит не только к повышению температуры океана, но и к его подкислению. Это так называемая “вторая проблема  $\text{CO}_2$ ” (первая – изменение климата).
- МАГАТЭ помогает государствам-членам в использовании радиоизотопов для анализа круговорота углерода в океане и влияния подкисления океана на морскую среду и важнейшие экосистемные услуги.

### ВВЕДЕНИЕ: СВЯЗЬ МЕЖДУ ОКЕАНАМИ И КЛИМАТОМ

Глобальный углеродный цикл – это перемещение углерода между разными природными резервуарами (атмосферой, океаном, земной биосферой и отложениями). Углерод может находиться, например, в составе углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) или метана ( $\text{CH}_4$ ) – оба они известны как парниковые газы. Для создания климатических моделей, позволяющих предсказать последствиями изменения климата, крайне важно точно оценить эти изменения и сохраняющиеся запасы углерода.



Исследователи МАГАТЭ измеряют температуру и соленость моря, чтобы больше узнать о глобальном углеродном цикле и влияющих на него факторах.

(Фото: Р. Касси/МАГАТЭ)

По меньшей мере четверть  $\text{CO}_2$ , поступающего в атмосферу из антропогенных источников, таких как сжигание органического топлива, поглощается океаном. Часть этого  $\text{CO}_2$  возвращается в атмосферу, а часть уходит из поверхностных слоев океана в глубинные, где хранится в 50 раз больше углерода, чем в атмосфере. Способность океана поглощать  $\text{CO}_2$  из атмосферы позволяет поддерживать общий природный баланс.

Изменение потоков океанического углерода, вызванное, например, деятельностью человека, может повлиять на эту способность, что, в свою очередь, серьезно отразится на концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Кроме того, по мере потепления и подкисления океан будет не в состоянии поглощать те же объемы  $\text{CO}_2$ , что приведет к увеличению его концентрации в атмосфере и усугубит глобальное потепление.

## ПОДКИСЛЕНИЕ ОКЕАНА

Поглощение  $\text{CO}_2$  океаном не обходится без последствий для морской флоры и фауны. Он вызывает подкисление океана: изменение концентрации углерода в океанской воде иногда называют “второй проблемой  $\text{CO}_2$ ”. За последнее десятилетие подкисление океана стало одной из главных глобальных проблем из-за его способности воздействовать на морские организмы и биогеохимические циклы.

Подкисление океана включает в себя ряд изменений в химическом составе морской воды, таких как снижение уровня pH морской воды (показатель кислотности/щелочности), т.е. сдвиг в сторону повышения кислотности. Эти изменения можно измерить: с начала промышленной революции средний уровень pH океана уменьшился на 0,1, что эквивалентно увеличению кислотности на 26%. Однако полностью оценить будущее воздействие подкисления океана на морскую флору и фауну непросто. Как показывают исследования, спектр возможных эффектов, как положительных, так и отрицательных, довольно велик, а разные виды демонстрируют различные уровни сопротивляемости и приспособляемости.

При падении pH ниже определенного уровня и при соответствующей концентрации соединений углерода начинается разрушение карбоната кальция, который входит в состав раковин и скелетов многих организмов. Некоторые кораллы, птероподы (крошечные морские улитки), двустворчатые (например моллюски и мидии) и кальцифицирующий фитопланктон, по-видимому, особенно чувствительны к изменениям в химическом составе морской воды.

Кроме того, энергозатраты на сопротивление повышающейся кислотности могут уменьшить объем энергии для физиологических процессов, таких как размножение и рост. Ученые из Лабораторий окружающей среды МАГАТЭ используют радиоизотопные методы, чтобы понять, как происходит подкисление океана и как оно взаимодействует с другими стрессорами, как глобальными (вызванное изменением климата повышение температуры), так и локальными (загрязнители).

## АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДКИСЛЕНИЯ ОКЕАНА

Ядерные и изотопные методы – это мощные инструменты для изучения подкисления океана. Они помогли понять, как менялась кислотность океана в прошлом и как изменение кислотности

может повлиять на морские организмы в будущем. Например, исследуя кораллы и окаменевшие организмы с использованием изотопов бора ученые могут понять, каким был уровень pH океана раньше, выявить предшествующие “эпизоды подкисления” и, возможно, установить корреляции с массовым вымиранием и изменениями в структуре экосистем.

Ядерные и изотопные методы также могут использоваться для изучения воздействия подкисления океана на морские организмы, например кораллы. На коралловых рифах располагаются одни из самых разнообразных экосистем на планете, при этом многие кораллы очень чутко реагируют на изменения в своей среде, а коралловые рифы относятся к числу наиболее уязвимых экосистем в мире.

В Лабораториях окружающей среды МАГАТЭ проводятся исследования с применением радиоактивных изотопов, например кальция-45, который можно использовать в качестве радиоиндикатора для определения темпов роста таких кальцифицирующих организмов, как кораллы, мидии и другие моллюски, скелеты и раковины которых состоят из карбоната кальция. Индикаторные вещества также используются для определения того, как подкисление океана влияет на физиологию других морских организмов, а также каково совокупное влияние нескольких стрессоров, таких как подкисление океана, температура и загрязнение.

С учетом потенциального воздействия подкисления океана на морскую среду и экосистемы Лаборатории окружающей среды МАГАТЭ проводят исследования и оказывают поддержку государствам-членам в прояснении таких вопросов, как экономические последствия подкисления океана для рыболовства.

В лабораториях МАГАТЭ в Монако проводятся не только исследования, но и глобальная совместная научная работа в рамках расположенного там Международного координационного центра по проблеме подкисления океана (МКЦ-ПО) с целью получения достоверных данных, цель которых – содействие фактологическому анализу воздействия подкисления океана на морскую среду и население прибрежных районов. Лаборатории в Монако также содействуют расширению осведомленности о том, как использовать традиционные, ядерные и изотопные методы для изучения влияния изменения химического состава морской воды на морские организмы и экосистемы наряду с различными видами антропогенной нагрузки, например переловом рыбы, эвтрофикацией и загрязнением.



**Участники учебного курса МКЦ-ПО в Китае учатся измерять содержание углеродных соединений для анализа подкисления океана.**

(Фото: В. Ши/Сямьньский университет, Китай)

## ОЦЕНКА “УГЛЕРОДНОЙ ЕМКОСТИ” ОКЕАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯДЕРНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

В Лабораториях окружающей среды МАГАТЭ радиоизотопы используются для анализа “углеродной емкости” океана и ее возможных изменений вслед за изменением климата.

Есть два основных механизма хранения углерода в океане: физико-химический насос и биологический углеродный насос.

Физико-химический насос – это перенос  $\text{CO}_2$  из атмосферы в глубины океана за счет физических и химических процессов, включая газообмен, растворение и океаническую циркуляцию.

Биологический углеродный насос – это часть процесса фотосинтеза: фитопланктон (микроскопические морские растения с нижних звеньев океанической пищевой цепи) поглощает  $\text{CO}_2$  в поверхностных водах и превращает его в твердые частицы и растворенный органический углерод (углеродсодержащие молекулы, обычно образуемые живыми организмами). Часть этого углерода проникает в глубинные слои, где снова

переходит в неорганическую форму и хранится изолированно от атмосферы.

Если бы биологический насос отключился, то концентрация атмосферного  $\text{CO}_2$  могла бы вырасти на 200-400 частей на миллион (чнм) сверх сегодняшнего уровня 400 чнм, который был впервые достигнут в 2015 году.

Приток углерода в глубины океана можно измерить напрямую, т.е. собрав погружающиеся частицы (живые и мертвые микроскопические организмы, экскременты) в осадочных ловушках, и опосредованно, т.е. с использованием природных радиоизотопов тория и полония.

Эти радиоизотопы распадаются с известной скоростью и используются в качестве “часов” для определения того, как быстро оседают углеродсодержащие частицы. Для анализа микробных процессов в глубине океана в Лабораториях окружающей среды МАГАТЭ с использованием радиоизотопов изучается экологическая судьба углерода. Микробы отвечают за превращение органического материала из погружающихся частиц в неорганический углерод. Для измерения этих микробных процессов и их



Ученый из Лабораторий окружающей среды МАГАТЭ берет пробы морской воды для изучения роли микробов в углеродном цикле океана.

(Фото: Р. Хансман/МАГАТЭ)

## В ЧЕМ МАГАТЭ МОЖЕТ ПОМОЧЬ ГОСУДАРСТВАМ-ЧЛЕНАМ

1. В изучении того, как ядерная наука и технологии могут способствовать лучшему пониманию изменения климата, подкисления океана и их последствий для морской флоры и фауны и прибрежных промыслов.
2. В участии в совместных исследовательских мероприятиях МКЦ-ПО, которые поддерживают эффективное глобальное сотрудничество в целях устранения угроз морской среде вследствие подкисления океана.
3. В сотрудничестве с Лабораториями окружающей среды МАГАТЭ в сфере наращивания потенциала и обучения использованию ядерных технологий в целях активизации усилий по сдерживанию последствий подкисления океана.

участия в круговороте углерода в глубинных слоях океана могут использоваться как природные радиоуглеродные изотопы, так и радиоизотопные метки.





Применение этих инструментов в разнообразии океанских условий помогает определить масштабы прохождения погружающегося углерода через разные экосистемы и оценить ее чувствительность к изменению климата. Лаборатории окружающей среды МАГАТЭ участвуют в исследовательских миссиях по всему миру и собирают пробы для измерения потока частиц, в том числе в Северном Ледовитом океане, который больше всего чувствителен к океаническому потеплению, и в зонах кислородного минимума, расположенных у берегов Перу и Мавритании. Согласно сценариям дальнейшего изменения климата, такие зоны будут расширяться.

Знание темпов круговорота углерода и условий, которые влияют на них, необходимо, чтобы понять, сколько углерода может храниться в глубинных слоях океана и к каким последствиям может привести изменение климата и морской среды.

Обозрение МАГАТЭ издается Бюро общественной информации и коммуникации (ОПИС)

Редактор: Аабха Диксит • Дизайн: Риту Кенн

С более подробной информацией о МАГАТЭ и его работе можно ознакомиться на сайте [www.iaea.org](http://www.iaea.org) или на наших

страницах     или в ведущем издании Агентства "Бюллетень МАГАТЭ" по адресу: [www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

МАГАТЭ, Венский международный центр, а/я 100, 1400 Вена, Австрия

Эл. почта: [info@iaea.org](mailto:info@iaea.org) • Телефон: (+43 1) 2600-0 • Факс: (+43 1) 2600-7