

КАК МЕНЯЛСЯ КЛИМАТ ЗЕМЛИ

ИЗОТОПНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЗВОЛИЛИ УЧЕНЫМ ЗАГЛЯНУТЬ В ПРОШЛОЕ

ДЖОН ГИБСОН И ПРАДИП АГГАРВАЛ

В начале этого года ученые предупреждали, что “все большее количество данных складывается в общую картину потепления, сопровождаемого другими изменениями в климатической системе на планете”. Такой вывод был сделан в третьем оценочном докладе Межправительственной группы по изменению климата (МГИК).

Сегодня, как правило, признается, что наблюдающееся в последнее время потепление вызвано в основном повышением концентрации парниковых газов в атмосфере, которое, в свою очередь, связано с постиндустриальным сжиганием ископаемого топлива и производимой биомассой энергией. Тем не менее до сих пор существует значительная неопределенность причинно-следственной связи между отдельными параметрами и климатическими явлениями, а также не выяснено влияние изменения климата на круговорот воды на планете.

Вода является основной предпосылкой существования человека, и даже при существующих в настоящее время климатических условиях пресная вода на Земле – весьма дефицитный ресурс. Пресная вода, которую человек может использовать для потребления, составляет менее 0,01% от общего объема воды на Земле. Воздействие изменения климата на ресурсы пресной воды на планете будет иметь далекоидущие последствия для устойчивого развития человечества.

Как ожидается, широко распространенные экологические проблемы, такие как таяние морских льдов и ледников, повышение температуры в приземном слое атмосферы, интенсифика-

ция синоптических ситуаций, разрушение экосистем и повышение уровня моря, в условиях более теплого климата окажут влияние на ресурсы пресной воды, хотя масштаб этого влияния прогнозировать трудно.

В докладе МГИК указывается, что за последние годы глобальное потепление привело к изменению режимов выпадения осадков на Земле. По-видимому, за каждое десятилетие XX в. количество осадков увеличивалось на 0,5–1% в средних и высоких широтах на континентах Северного полушария и на 0,2–0,3% в тропических зонах суши (10° с.ш. – 10° ю.ш.). С другой стороны, в некоторых частях Азии и Африки в последние десятилетия наблюдалось усиление засух, свидетельствующее о более сложном и неустойчивом характере региональных изменений.

Для понимания изменений в целом мы должны начать с осознания того, что климат Земли и гидрологические циклы неразрывно связаны между собой. Тепловой механизм атмосферы приводит в движение в первую очередь энергообменом, связанным с конденсацией воды. Кроме того, водяной пар – один из наиболее распространенных и важных атмосферных газов, создающих парниковый эффект наряду с другими присутствующими в следовых количествах газами, такими как двуокись углерода, которые более тесно связаны с деятельностью человека.

Необходимо также понять, что замедление или обращение вспять комплексных изменений может оказаться трудной задачей. Это связано с взаимозависимостью процессов изменения климата, которые начали действо-

вать задолго до начала хозяйственной деятельности человека. Изменение климата – не новое явление, хотя современный масштаб этих процессов, очевидно, беспрецедентен. Значительные изменения климата Земли происходили в прошлом и, видимо, будут происходить в будущем.

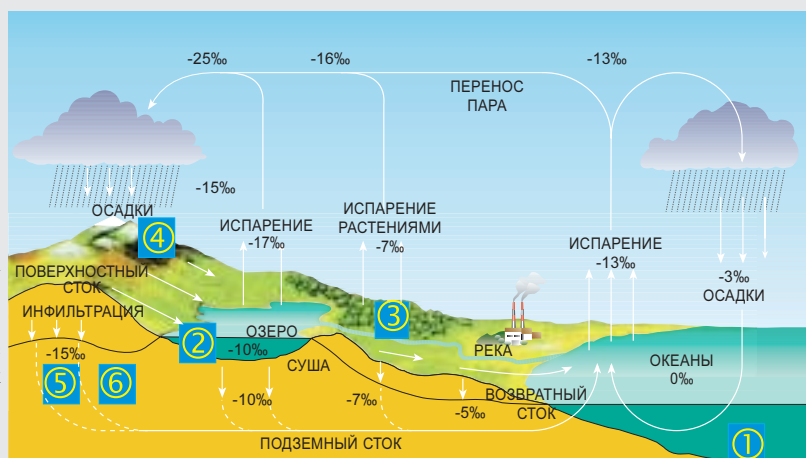
В качестве одного из приоритетных направлений деятельности в докладе МГИК выделяется необходимость уточнения реконструкции климатических периодов прошлого. Изучение причин предыдущих изменений климата является, следовательно, важной частью исследований эволюции климата и единственным способом непосредственного отделения индустриальных климатических факторов от неиндустриальных. Таким образом, в изучении изменения климата прошлое становится ключом к настоящему.

Изучение предшествующих изменений климата осложняется большой продолжительностью рассматриваемых периодов и значительными пространственными масштабами. Определенные данные для изучения изменения климата были получены из инструментальных измерений температуры, влажности, концентраций парниковых газов, уровней воды, ледниковых и морских льдов и т. д. При всей важности таких данных они обеспечивают лишь ограниченную перспективу. Они редко охватывают период данных об изменении окружающей среды продолжительностью более ста лет и относятся к ограничен-

Г-н Гибсон – сотрудник Секции изотопной гидрологии МАГАТЭ; г-н Аггарвал – руководитель Секции.

КРУГОВОРОТ ВОДЫ НА ЗЕМЛЕ

На рисунке показаны гидрологический цикл и современное распределение изотопов. Цифрами обозначены узлы гидрологического цикла, где архивы позволяют датировать изотопы накапливаются для использования при реконструкции изотопного состава, существовавшего в прошлом, и соответствующих изменений климата. Существует множество таких архивов, в том числе: 1) океанические отложения, 2) озерные отложения, 3) клетчатка в годичных кольцах деревьев, 4) снег и ледниковый лед, 5) подземные воды глубокого залегания и 6) пещерные отложения.



ным территориям, где было обеспечено необходимое качество наблюдений. Планетарная система изначально динамична и имеет долгую историю, поэтому трудно отделить флуктуации от долгосрочных тенденций. Особенно трудной задачей является определение последствий деятельности человека.

Изотопы являются одним из важнейших инструментов, позволяющих расширить пространственный и временной анализ соответствующих климатических процессов. Как радиогенные, так и стабильные изотопы дают важную информацию для изучения параметров, связанных с климатом. К таким параметрам относятся температура приземного слоя атмосферы, относительная влажность атмосферного воздуха и количество осадков.

Кроме того, на основе измерений радиоизотопов можно изучать динамику, а также процессы переноса и смещения в атмосфере, определяющие климатические условия и взаимодействие между атмосферой и морем. Изотопы можно сравнить с естественными регистраторами данных или отпечатками пальцев, встречающимися в молекулах воды, в химических веществах и металлах — микрокомпонентах, растворенных в воде.

К наиболее важным индикаторам относятся изотопы кисло-

да и водорода, входящие в молекулу воды. Различия в соотношении видов этих изотопов в воде можно использовать для получения информации об истории данного объема воды, например выяснить, проходила ли она через испарение, смещение или конденсацию. Установлено, что современные схемы распределения изотопов соответствуют современным гидрологическим процессам. Основным источником данных для такого анализа послужила Глобальная сеть изотопов в атмосферных осадках (ГНИП) — совместная программа МАГАТЭ и Всемирной метеорологической организации (ВМО).

В определенных узлах гидрологического цикла следы присутствия изотопов и свидетельства изменений их свойств во времени сохраняются в различных осадочных архивах (см. рисунок). Изменения в составе изотопов в таких архивах позволяют изучать гидрологические и климатические системы прошлого. Изотопы в океанских и озерных отложениях, годичных кольцах деревьев, ледниках и полярных льдах, в пещерных отложениях и подземных водах могут служить источником информации о том, как со временем изменялись гидрологические и климатические системы.

Последнее по времени изменение климата связано с послед-

ним ледниковым максимумом (ПЛМ), имевшим место около 21 тыс. лет назад. На фоне общего глобального снижения температуры земной поверхности в период ПЛМ наблюдались значительные колебания климата с чередованием периодов потепления и охлаждения. Колебания климата, по-видимому, происходили быстро и имели масштаб от нескольких десятилетий до нескольких лет.

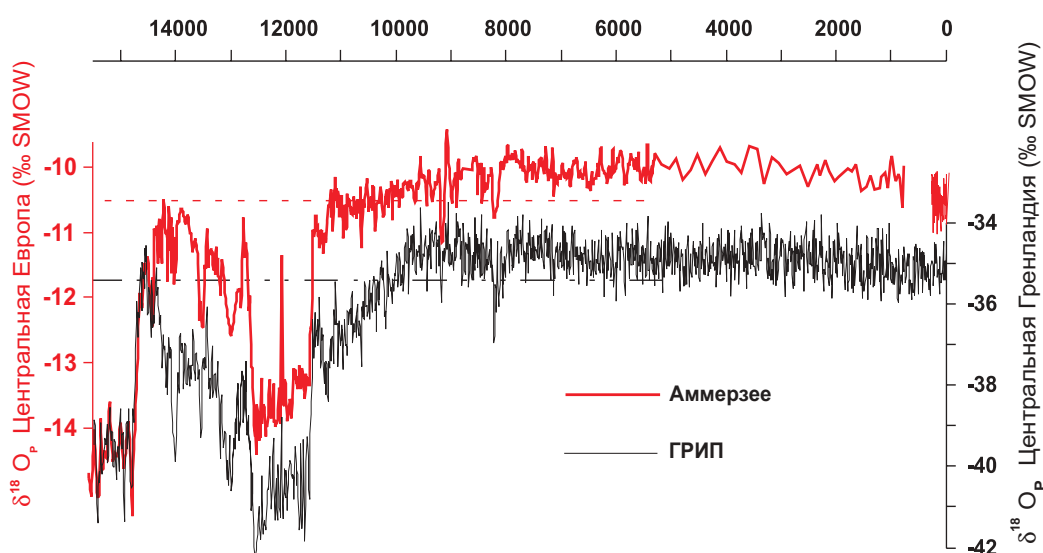
Происхождение и причины этого изменения климата еще до конца не выяснены. Изотопная информация, полученная из кернов льда и донных отложений в океанах и озерах, была одним из основных источников косвенных данных для понимания изменений и колебаний климата в период ПЛМ.

Свидетельства того, что круговорот воды на Земле тесно связан с климатической системой, можно наблюдать в изотопных характеристиках кернов, отобранных из льда и озерных отложений. Изотопный анализ кернов льда из Гренландии и озерных отложений из Германии показывают, что за последние 16 тыс. лет гидрологический цикл прошел долгую историю изменений (см. график на стр. 4).

Обнаруженные колебания свидетельствуют о взаимосвязи процессов на планете и расширяют наши представления об

ИЗМЕНЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА В КЕРНАХ ЛЬДА И ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Возраст, датировка – по данным Проекта изучения гренландских льдов (ГРИП) (календ. годы)



На графике показаны примеры изменения изотопного состава в кернах гренландского льда (ГРИП) и озерных отложениях (Аммерзее, Германия) за последние 16 тыс. лет, интерпретированные в основном как температурные сигналы. Более высокие значения дельта для кислорода-18 соответствуют более теплым климатическим условиям.

Источник: На основании работы U. v. Grafenstern, H. Erlenkeuser, A. Brauer, J. Jouzel, S. Johnsen (1999): A mid-European decadal isotope-climate record from 15,500 to 5,000 years B.P. - Science 284, 1654-1657.

изменении климата. В частности, полученные данные свидетельствуют о том, что около 11 тыс. лет назад климат был более холодным и изменчивым, чем сейчас (значения величины дельта уходили дальше в отрицательную область), с весьма устойчивыми тенденциями как в Гренландии, так и в Германии. Предполагается, что более устойчивые и теплые условия существовали свыше 8 тыс. лет назад, после почти полного отступления Скандинавского и Лаврентийского ледниковых щитов.

Наука об изменении климата продолжает развиваться. МАГАТЭ вносит свой вклад в исследования, координируя изучение климата, участвуя в международных научных программах или поддерживая такие программы, а также содействуя распространению изотопных технологий и методов. С 23 по 27 апреля 2001 г. МАГАТЭ созвало в Вене третью из научных встреч, которые проводятся раз в четыре года. Конференция, в которой приняли участие 150 специалистов из 38 стран

и семи международных организаций, явилась важным форумом для представления результатов, обсуждения идей и концепций, организации международного сотрудничества и определения задач будущих исследований.

К наиболее важным моментам, рассматривавшимся на конференции, относятся следующие:

- Изотопы используются в качестве инструмента для проверки прогнозов, в которых оцениваются последствия обезлесения бассейна Амазонки, и для изучения изотопных сигналов явления Эль-Ниньо в прошлом.

- Изотопные данные, собранные в кернах льда в низких широтах, дают оценки вариаций температуры, близкие к аналогичным оценкам для полярных зон, что свидетельствует о широкомасштабных глобальных изменениях, происходивших в прошлом.

- Изотопы используются в экспериментах по изучению циркуляции в Мировом океане для прослеживания перемещений и смешения, а также для оценки времени водообмена в океан-

ских течениях. Изменения в циркуляции воды в океанах входят в число наиболее важных факторов, определяющих изменчивость современного климата.

- Изотопы используются для изучения характера климата в прошлом с использованием данных по водоносным горизонтам в Европе, Азии, Австралии, Африке, а также Северной и Южной Америке.

Исследования на основе изотопных данных играют важную роль в понимании изменения климата в прошлом. Именно понимание предшествующих изменений дает ключ к прогнозированию изменений в будущем. Эти изменения могут повлиять не только на глобальную температуру, но и на потребности в энергии, обеспеченность питьевой водой и продовольствием. В этом контексте изотопы представляют собой неоценимый инструмент, позволяющий ученым заглянуть “назад в будущее”, чтобы разработать меры для минимизации нежелательного воздействия динамичного и меняющегося климата планеты. □